

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Programa de Pós-Graduação Poli Integra

Especialização em Gestão de Projetos na Construção Civil

**Gestão do processo de projeto no sistema de alvenaria estrutural
voltado à Habitações de Interesse Social no Brasil**

São Paulo

2016

CÁTIA PORTELLA GONÇALVES WU

**Gestão do processo de projetos no sistema de alvenaria estrutural
voltados à Habitações de Interesse Social no Brasil**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Gestão de Projetos na Construção

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Sérgio Franco

São Paulo

2016

AGRADECIMENTOS

Os anos de aprendizado no curso de especialização em Gestão de Projetos na Construção Civil foram proveitosos não só no aspecto profissional, onde tive o privilégio de contar com professores excelentes e informações valiosas, mas principalmente na convivência com colegas de profissão que foram um motivo a mais a persistir, tornando-se meus grandes amigos. Obrigada especialmente à Ana Menêzes, Clarissa Ávilla, Felipe Antonoff, João Queiróz e Mariana Costa, pela parceria fora da Poli que pretendo preservar.

Agradeço à disponibilidade de nosso coordenador, Silvio Melhado, por nos proporcionar esse curso onde tanto pudemos aprender e trocar.

Agradeço ao meu orientador, Luiz Sérgio Franco, pela paciência e dedicação prestada durante essa etapa, com muita gentileza e profissionalismo.

Agradeço à Letícia Lindenberg Lemos, madrinha, afilhada, comadre e amiga, que sempre dispõe de seus inumeráveis talentos quando mais preciso deles.

Agradeço especialmente à Tecno Logys, por possibilitar esse passo em minha formação; à minha equipe de trabalho, por serem um time com o qual sempre posso contar quando outros assuntos surgem como prioridade, como essa monografia; à Gabrielle Pedace, cuja ajuda foi essencial para conclusão desta pesquisa; sobretudo ao Valério Dornelles, que sempre contribui para meu crescimento profissional, principalmente no estímulo diário em buscarmos a excelência em nosso trabalho.

Por fim, agradeço à minha querida família, por ter tornado possível minha trajetória pessoal e profissional, dando toda a assistência durante os momentos mais atribulados em que a ausência é necessária; especialmente ao Fábio Wu, meu parceiro de vida, que me ensina diariamente a persistir com paciência, mantendo o sorriso, e que com muito amor me dá o suporte sem o qual, certamente, teria desistido em muitas circunstâncias.

A vocês, muitíssimo obrigada!

RESUMO

WU, Cátia Portella Gonçalves. **Gestão do processo de projetos no sistema de alvenaria estrutural voltados à Habitações de Interesse Social no Brasil**. São Paulo: Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) – GPC Poli-Integra, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2016. 74p .

O sistema de alvenaria estrutural modular é adotado em construções no país desde o início da normalização do conceito de coordenação modular, a partir da década de 60. Sua evolução tecnológica até meados dos anos 80 o transformou num método amplamente divulgado e objeto de muitas pesquisas, colaborando para que oferecesse grandes índices de produtividade e economia, fazendo desse sistema o mais utilizado na construção de Habitações de Interesse Social no país até os dias atuais. Por seu caráter racionalizado, as etapas de projeto e planejamento da execução tornam-se fundamentais para que os resultados alcançados sejam satisfatórios. A gestão do processo de projeto desde a definição do produto até sua implantação no canteiro deve ser coerente com o sistema, atendendo às particularidades exigidas pela racionalização e construtibilidade. Conhecer a especificidade de cada etapa de execução é uma necessidade de toda a equipe multidisciplinar envolvida, a fim de resolver as interfaces com as soluções mais adequadas dentre as várias disponíveis em nossa cultura construtiva. A análise dos pontos críticos de um processo de projeto e execução por todos os envolvidos possibilita a detecção das falhas mais recorrentes e a criação de novas soluções continuamente, permitindo a evolução do setor como um todo. Por este motivo o principal objetivo desse trabalho é analisar o processo de projeto e sua implantação, antecipando soluções que garantam a construtibilidade tão essencial aos bons resultados que o sistema pode oferecer.

PALAVRAS-CHAVE: Alvenaria Estrutural; Coordenação Modular; Gestão do processo de projeto; Coordenação de projetos; Racionalização; Construtibilidade.

ABSTRACT

WU, Cátia Portella Gonçalves. **Management of the Design Process in Structural Masonry System for Social Housing in Brazil**. São Paulo: School of Engineering at Sao Paulo University (POLI-USP), 2016. 74p.

The modular structural masonry system has been adopted in Brazilian buildings since the 1960s, when the concept of modular coordination began to be standardized. Until mid-1980s, the technical evolution turned it into a widely publicized masonry system, also becoming the object of several researches, improving its productivity and economic efficiency indexes, and resulting in a wide spread use of this technique for Social Housing buildings until the present day. Due to the level of rationalization imposed by this system, the planning phases, either for the design or the construction, become central to reach adequate results. Therefore, the management of the design must be coherent with the system, from the definition of the product, to its implementation on the construction site, taking into account the specific requirements of rationalization and constructability. Also, the detection of the most frequent flaws and the continuous development of new solutions depend upon the analysis of the critical points of the process by all team members and project partners. Consequently, every multidisciplinary team must have knowledge of each phase and its particularities in order to work out the best available solution for each interface. In view of the exposed, the main objective of this paper is to analyze the project process for modular structural masonry system, from the design to its implementation, anticipating solutions that may ensure the constructability, essential to achieve the positive results offered by it.

KEYWORDS: *Structural Masonry; Modular coordination system; Design management system; Design coordination system; Rationalization of planning and construction; Constructability*

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa – blocos com 4 pavimentos | 14 |
| Figura 2: Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa – blocos com 12 pavimentos | 15 |
| Figura 3: Edifício Muriti e Edifício Jardim Prudência..... | 15 |
| Figura 4: Planta do Parthenon, templo grego | 17 |
| Figura 5: As ordens gregas..... | 17 |
| Figura 6: Aqueduto romano | 18 |
| Figura 7: Malha ken e sua aplicação em residência tradicional japonesa | 18 |
| Figura 8: Sistema de Balloon Frame | 19 |
| Figura 9: Construção no sistema de Balloon Frame | 19 |
| Figura 10: O Modulor | 21 |
| Figura 11: Medida modular, medida nominal, junta modular, ajuste modular. | 27 |
| Figura 12: Quadrícula modular no triedro axonométrico | 28 |
| Figura 13: Exemplo de família de blocos modulares..... | 33 |
| Figura 14: Representação gráfica de tensões e deformações na região dos vãos | 37 |
| Figura 15: Fissuras tipo ‘bigode’ | 37 |
| Figura 16: Dimensões mínimas de vergas e contravergas | 38 |
| Figura 17: Vergas e contravergas executadas em blocos tipo canaleta | 39 |
| Figura 18: Vergas e contravergas executadas em pré-moldados | 40 |
| Figura 19: Vergas e contravergas executadas em pré-moldados | 40 |
| Figura 20: Exemplo de batente metálico envolvente | 41 |
| Figura 21: Central de chumbamento de caixas para instalações elétricas e sistemas | 44 |
| Figura 22: Caixa de encaixe para instalação em furo feito por serra copo..... | 45 |
| Figura 23: Residência em alvenaria estrutural aparente com aplicação de sistema..... | 45 |
| Figura 24: Pré-moldado para instalação hidráulica..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 25: Shaft para instalações, com pré-moldado tipo chaminé no nível da laje superior. | 47 |
| Figura 26: Carenagem plástica ocultando instalação sob pia | 48 |
| Figura 27: Dimensões máximas dos cortes admitidos em paredes estruturais..... | 49 |
| Figura 28: Esquema de fabricação de laje com vigotas treliçadas e caixões perdidos em EPS50 | |
| Figura 29: Execução de contraverga em bloco canaleta, com irregularidades..... | 65 |
| Figura 30: Execução de verga em bloco canaleta, com escoramento | 65 |
| Figura 31: Execução de verga de porta em bloco canaleta e escoamento de graute | 66 |
| Figura 32: Rasgos para instalações..... | 67 |
| Figura 33: Rasgos para instalações..... | 67 |
| Figura 34: Quebra da alvenaria para passagem de eletroduto em etapa posterior à programada | 68 |
| Figura 35: Visão geral da execução da fase 2..... | 69 |
| Figura 36: Casa Cerâmica - 2010 | 70 |
| Figura 37: Casa Cerâmica - 2015 | 71 |
| Figura 38: Planta do projeto Casa Cerâmica - 2015 | 72 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Publicação das primeiras normas de Coordenação Modular | 22 |
| Quadro 2: Vantagens e Desvantagens dos procedimentos executivos das esquadrias | 42 |
| Quadro 3: Vantagens e desvantagens da alvenaria estrutural em relação aos processos tradicionais | 51 |
| Quadro 4: Etapas de projetos em alvenaria estrutural em HIS unifamiliar e seus objetivos .. | 54 |
| Quadro 5: Exemplo de matriz de responsabilidade RACI..... | 58 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 Justificativa..... | 11 |
| 1.2 Objetivos | 12 |
| 1.3 Metodologia..... | 12 |
| 2. HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS) NO BRASIL..... | 14 |
| 3. ETAPAS DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL..... | 17 |
| 3.1 Coordenação Modular | 17 |
| 3.2 Alvenaria | 30 |
| 3.2.1 Componentes e elementos do sistema de alvenaria estrutural | 32 |
| 3.3 Vãos..... | 36 |
| 3.4 Instalações | 42 |
| 3.4.1 Elétrica e Sistemas Especiais | 43 |
| 3.4.2 Hidráulica e Gás | 46 |
| 3.5 Cobertura | 49 |
| 4. PROCESSO DE PROJETO NO SISTEMA DE ALVENARIA ESTRUTURAL PARA HIS UNIFAMILIAR | 51 |
| 4.1 Introdução..... | 51 |
| 4.2 Equipe | 52 |
| 4.3 Coordenação e Gestão do Projeto..... | 53 |
| 4.4 As etapas de desenvolvimento | 53 |
| 4.5 A gestão da informação no processo de projeto..... | 56 |
| 4.6 Matriz de responsabilidades..... | 57 |

| | |
|---|-----------|
| 5. ANÁLISE DOS ASPECTOS CRÍTICOS NO PROCESSO DE PROJETO, IMPACTOS NA EXECUÇÃO E SOLUÇÕES DURANTE SEU DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO. | 59 |
| 5.1 Definição do sistema construtivo e do programa | 59 |
| 5.2 Fluxo de informações..... | 60 |
| 5.3 Compatibilização de vãos e esquadrias | 60 |
| 5.4 Compatibilização com a previsão de reforços estruturais | 62 |
| 5.5 Compatibilização das Instalações | 62 |
| 5.6 Fabricação, transporte e instalação de pré-moldados | 63 |
| 5.7 Planejamento de canteiro..... | 63 |
| 5.8 Deficiência de projetos e utilização | 64 |
| 6. ESTUDO DE CASO I..... | 65 |
| 7. ESTUDO DE CASO II..... | 70 |
| 8. CONCLUSÃO | 73 |
| 9. BIBLIOGRAFIA..... | 75 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

O sistema de alvenaria modular estrutural é um método de construção racionalizada consolidado no Brasil para a construção de habitações populares, uma vez que apresenta grande oferta de materiais a custos acessíveis. Ramalho e Corrêa (2003) afirmam que desenvolvido dentro de uma boa prática de elaboração de projetos, seguindo-se procedimentos e com rigoroso controle durante a execução, o sistema de alvenaria modular traz grande rapidez, facilidade, qualidade e alto desempenho e, conseqüentemente, menor custo quando comparado a outros sistemas construtivos.

A estrutura de uma construção nesse sistema acaba por interferir em todas as medidas resultantes para a instalação dos demais componentes tais como esquadrias, instalações elétricas e hidrossanitárias (BARBOZA *et al.*, 2011). Os componentes, por sua vez, apresentam critérios e dimensões de mercados padronizados entre si, mas muitas vezes incompatíveis com a estrutura modular, gerando a necessidade de quebra e enchimentos que resultam em custo e produtividade insatisfatórios, considerados os maiores objetivos da utilização desse sistema. No prefácio de Introdução à Coordenação Modular da Construção no Brasil: uma abordagem atualizada (BALDAUF; GREVEN, 2005), Humberto R. Roman cita que apesar do Brasil ter desenvolvido, ainda na década de 50, a primeira norma de coordenação modular em sistema decimétrico do mundo e da ABNT ter desenvolvido outras dezenas de normas após a observação das vantagens do método na construção das unidades do BNH (Banco Nacional de Habitação), há mais de 30 anos as diretrizes normativas deixaram de servir como referência no meio técnico, seja por projetistas ou produtores dos insumos, agravando a questão da compatibilidade entre os sistemas no decorrer do tempo.

A melhora do poder aquisitivo da população brasileira de baixa renda nos últimos anos aliada ao alto déficit habitacional do país e programas de incentivo à habitação como o atual *Minha Casa, Minha Vida* do Governo Federal sinaliza uma forte tendência do mercado em se voltar novamente ao desenvolvimento de um sistema construtivo completo que alie economia e rapidez de execução para a construção de habitações econômicas.

Esse cenário sugere uma reflexão sobre o sistema construtivo e seu processo de projeto, identificando pontos críticos e melhorias que possam aproximar o produto encomendado pelo empreendedor ao produto final, fortemente dependente de seu desenvolvimento e aplicação no canteiro.

1.2 Objetivos

A presente pesquisa objetiva analisar aspectos de produtividade e construtibilidade em sistemas de alvenaria estrutural aplicados em Habitações de Interesse Social (HIS), detectando os impactos derivados por deficiências no processo de projeto e em sua implantação, a fim de determinar um fluxo de projeto específico para esse sistema que, baseado em boas práticas, antecipe soluções executivas, minimizando improvisações no canteiro, o que deriva num produto compatível com aquele contratado pelo empreendedor.

Analisando os subsistemas e suas interfaces, pretende-se observar as particularidades demandadas no processo projetivo de um sistema altamente racionalizado, baseado na coordenação modular sob o conceito de equipe multidisciplinar e engenharia simultânea, pontuando técnicas e ferramentas de gestão que integrem as disciplinas desde o início do desenvolvimento do processo de projeto, enfatizando sua integração com o canteiro em busca do “uso ótimo do conhecimento, das técnicas construtivas e da experiência nas áreas de planejamento, engenharia, contratação e operação em campo, para se atingir os objetivos globais do empreendimento”, conforme a definição de construtibilidade adotada pelo *Construction Industry Institute* (CII 1887).

1.3 Metodologia

Esta pesquisa pretende analisar o processo construtivo em alvenaria estrutural utilizando habitações de interesse social como objeto de análise, especificamente as unidades térreas, para que seja possível verificar os pontos aqui analisados nos estudos de caso escolhidos.

Através de um levantamento histórico, contextualiza-se a aplicação do sistema de alvenaria estrutural no Brasil, entendendo suas qualidades e detectando suas deficiências. Para visualizá-la como sistema, esta pesquisa baseia-se em uma revisão bibliográfica com

referência à coordenação modular e aos subsistemas, analisando suas interfaces e pontos críticos (capítulos 2 e 3).

Também na revisão bibliográfica buscam-se informações sobre a gestão do processo de projetos (capítulo 4), e de forma analítica pretende-se traçar paralelos e entender as particularidades que a racionalização solicita para atender à construtibilidade (capítulos 4 e 5).

Um estudo de caso (capítulo 6) confirma as deficiências executivas derivadas de falhas de projeto e, principalmente, de sua interface com o canteiro.

O capítulo 7, ao contrário, ilustra o estudo de caso de um protótipo que explora todas as vantagens pretendidas na adoção do sistema de alvenaria estrutural em habitações térreas, resultado de um processo de projeto que envolveu uma equipe multidisciplinar com foco na construtibilidade, chegando a um resultado muito satisfatório em termos de prazo, custo e qualidade que confirmam a eficiência do sistema derivado de um planejamento comprometido.

Em suma, esta pesquisa utiliza-se de uma revisão bibliográfica nos temas de alvenaria estrutural, racionalização, construtibilidade e processo de projeto, apoiando-se em estudos de caso para estipular um processo de projeto e implantação específicos para o sistema de alvenaria estrutural aplicado em habitações de interesse social térreas.

2. HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS) NO BRASIL

O sistema construtivo em alvenaria predominou como material estrutural até o final do século XIX, porém a falta de estudos e de pesquisas na área não proporcionava racionalização ao processo: as teorias de cálculos eram feitas de forma empírica, forçando um superdimensionamento das estruturas executadas em alvenaria. A partir da formalização de normas e procedimentos do sistema na Europa e América do Norte na década de 50, impulsionados pelo déficit habitacional no período pós-guerra, nota-se um crescimento marcante da utilização da alvenaria estrutural como sistema construtivo em todo mundo.

O Brasil passa a adotar o sistema na década de 60, inicialmente de forma inexpressiva. Com o surgimento do Banco Nacional da Habitação (BNH) em 1964, crescem os investimentos no setor imobiliário de média e baixa renda, sendo estimado que entre 1964 e 1966 tenham sido executados mais de dois milhões de unidades habitacionais em alvenaria estrutural.

Em 1966 foi construído o Conjunto Habitacional 'Central Parque da Lapa', sendo os primeiros edifícios em alvenaria estrutural no Brasil, com quatro pavimentos em alvenaria armada de blocos de concreto de 19 cm de espessura.



Figura 1: Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa – blocos com quatro pavimentos

FONTE: sp.olx.com.br Acesso em 29/01/2016

No mesmo conjunto habitacional, em 1972, foram construídas mais quatro torres, com destaque para seus 12 pavimentos, o que era bem inovador para o país naquele contexto.



Figura 2: Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa – blocos com 12 pavimentos

FONTE: www.comunidadeconstrucao.com.br Acesso em 29/01/2016

Ainda na década de 70, o edifício Muriti (São José dos Campos, SP) atraiu as atenções com seus 16 pavimentos em alvenaria armada com blocos de concreto de 19 cm de espessura. Somente em 1978 foi construído o primeiro edifício em alvenaria estrutural não armada, o Edifício Jardim Prudência em São Paulo, com nove pavimentos erguidos por blocos estruturais sílico-calcáreos de 24 cm.



Figura 3: Edifício Muriti e Edifício Jardim Prudência

FONTE: www.comunidadeconstrucao.com.br Acesso em 29/01/2016

A alvenaria estrutural atingiu o auge no Brasil na década de 80, disseminada pela construção dos conjuntos habitacionais, onde ficou tida como um sistema para baixa renda. Devido ao seu grande potencial de redução de custos, diversas construtoras e produtoras de blocos investiram nessa tecnologia para torná-la mais vantajosa.

A inexperiência por parte dos profissionais dificultou sua aplicação com vantagens e causou várias patologias nesse tipo de edificação, dentre eles projetos estruturais deficientes, materiais inadequados e ausência de controle tecnológico (SABATINNI, 2003). Esse fator somado à extinção do BNH em meados da década de 80 causa uma desaceleração no uso do sistema.

Ainda assim as vantagens econômicas proporcionadas pela alvenaria estrutural em relação ao sistema construtivo convencional incentivaram algumas construtoras a persistirem em sua utilização, buscando soluções para os problemas patológicos observados.

Com um impulso do setor imobiliário em meados dos anos 2000, sobretudo pelos incentivos do programa *Minha Casa, Minha Vida* do Governo Federal, o mercado de habitações de interesse social volta a crescer, estimulando a abertura de novas fábricas de materiais assim como o desenvolvimento de pesquisas com a parceria de empresas do ramo.

No Brasil a alvenaria estrutural é aplicada em Habitações de Interesse Social tanto em residências unifamiliares (com configurações térreas ou assobradadas) como em edifícios multifamiliares com mais de 20 andares. Segundo Ramalho e Corrêa (2003) a maior economia é obtida em edifício com até 15 pavimentos devido às limitações de resistência à compressão dos blocos encontrados no mercado, demandando larga utilização de reforços em graute que encarecem o sistema. De acordo com Humberto Roman (ABCP), com o avanço tecnológico a alvenaria estrutural aliou vantagens como flexibilidade, economia, valor estético e velocidade. O aumento da oferta de blocos estruturais de qualidade, a melhoria dos cálculos, capacidade de execução e controle, empresas investindo em equipamentos e capacitação de mão de obra e o maior número de profissionais habilitados em decorrência de ofertas de cursos ao mercado são alguns avanços.

3. ETAPAS DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

3.1 Coordenação Modular

Ao longo da história verificam-se inúmeros exemplos do uso do módulo como medida reguladora das edificações. Rosso (1976 *apud* BALDAUF; GREVEN, 2007) enumera três interpretações históricas para a utilização do módulo:

- Para os gregos, o módulo evocava o caráter estético da edificação buscando ritmo e simetria. Os diferentes estilos (dórico, jônico e coríntio) geravam proporções próprias, mas sempre utilizavam como unidade o diâmetro da base de suas colunas, que servia de parâmetro para os componentes da obra e para a edificação em sua totalidade.

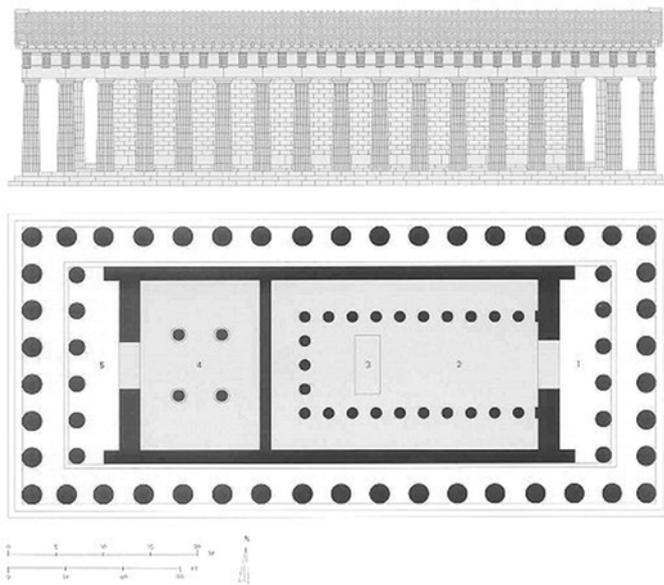


Figura 4: Planta do Parthenon, templo grego dedicado à deusa Atena.

FONTE: www.hav120142.wordpress.com

Acesso em 01/02/2016

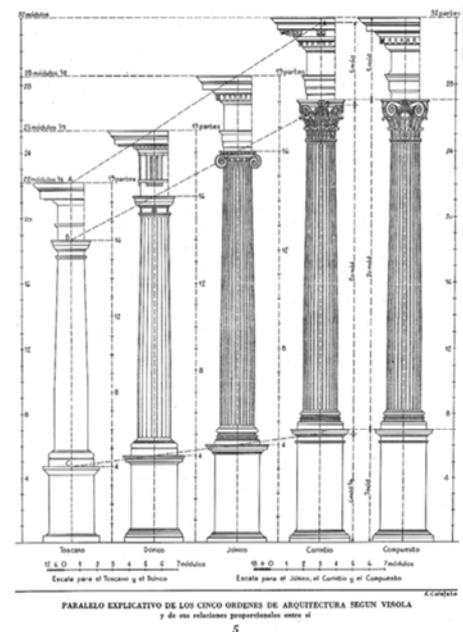


Figura 5: As ordens gregas

FONTE: VIÑOLA, 1948.

- Os romanos já se utilizavam de malhas modulares nos projetos de componentes, edificações e cidades baseados na busca não somente estética, mas também funcional, através de uma série de medidas padronizadas.

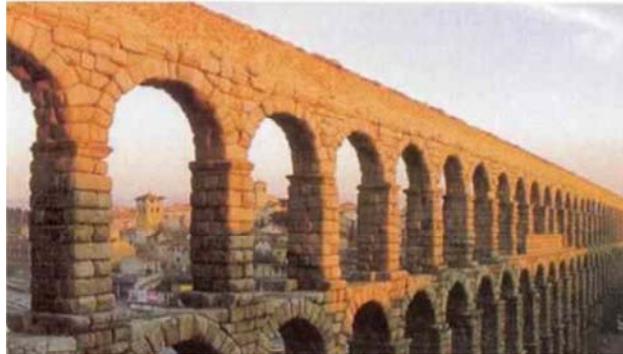


Figura 6: Aqueduto romano

FONTE: www.iesdoctorbalmis.edu.gva.es Acesso em 01/02/2016

Vitrúvio, arquiteto romano que viveu no século I a. C., criou padrões e proporções nos conceitos de utilidade, beleza e solidez que serão revisitadas em toda a história da arquitetura clássica e, mais tarde, da arquitetura renascentista e neoclássica.

- Os japoneses, a partir de meados da idade média, passaram a padronizar o módulo através da malha *Ken*, que mais tarde teria valor fixado e daria origem ao tatame padrão com sua proporção de 1:2, que revestia todo o piso das residências japonesas, inaugurando um sistema projetivo modular que buscava a funcionalidade.

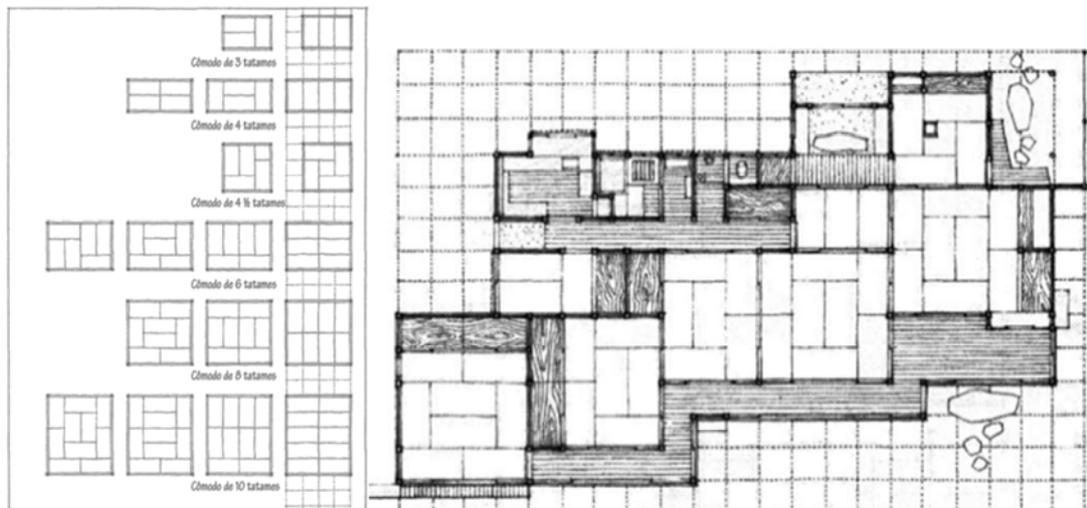


Figura 7: Malha Ken e sua aplicação em residência tradicional japonesa

FONTE: CHING, 2002

Em todos esses casos, no entanto, deve-se frisar a utilização do módulo de forma ainda incipiente, cada qual com suas particularidades, em sistemas que não tinham relação entre si e contavam ainda com limitações produtivas e com a utilização de materiais locais.

Rosa (2006) observa que a modulação aliada à produção industrial com aplicação na construção civil surge nas primeiras décadas do século XIX, quando George Washington Snow desenvolve uma estrutura de madeira denominada Balloon Frame, aplicada na Igreja de Santa Maria (St. Mary's Church), um método que possibilitou construções 40% mais baratas, feitas com 10% da mão de obra e muito mais rapidamente que o sistema de construção utilizado até então. O sistema de Balloon Frame era composto pela padronização de peças de madeira leves (vigamento e painéis) modulados que, através de transporte feito por tração animal, eram distribuídas por toda Chicago. Na metade do século XIX a cidade já apresentava a maior parte de suas edificações construídas com esse sistema.

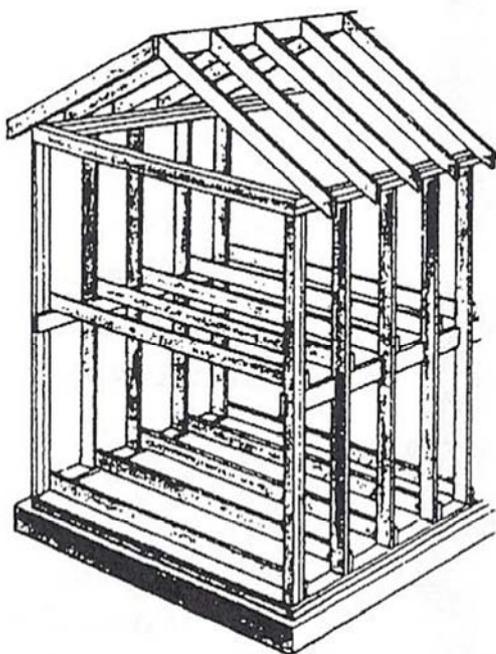


Figura 8: Sistema de Balloon Frame

FONTE: www.pinterest.com

Acesso em 26/01/2016



Figura 9: Construção no sistema de Balloon Frame

FONTE: www.maderayconstruccion.com.ar

Acesso em 26/01/2016

Por volta da segunda metade do século XIX nota-se a produção em larga escala de produtos de construção propiciada pela revolução industrial, sobretudo o ferro e o vidro, que passam a seguir processos produtivos padronizados e podem ser distribuídos via ferrovias, possibilitando maior difusão dos produtos e diminuindo consideravelmente a dependência de materiais locais (BALDAUF; GREVEN, 2007).

Faz-se notar uma grande excitação em torno das possibilidades originadas desse processo, sobretudo no padrão dos edifícios e, mais tarde, na influência do pensamento da construção associada à indústria que se torna irreversível, ao ponto de vários estudiosos se dedicarem ao tema (ROSA, 2006). Le Corbusier, arquiteto e grande entusiasta da conexão entre a indústria e a arquitetura já releva, em sua obra *Por Uma Arquitetura* de 1923, a importância que o módulo adquire na arquitetura que surge com a revolução industrial:

“A planta traz consigo um ritmo primário determinado: a obra se desenvolve em extensão e altura segundo suas prescrições com consequências que se estendem do mais simples ao mais complexo conforme a mesma lei. A unidade da lei é a lei da boa planta: lei simples infinitamente modulável” (p. 32)

Exaltando mais à frente a ordenação modular dos bairros e cidades traçados com geometria baseada na ordenação lógica e no ritmo, dedica um capítulo aos traçados reguladores onde afirma que:

“para medir, (o homem primitivo) tomou seu passo, seu pé, seu cotovelo ou seu dedo. Impondo a ordem com seu pé ou seu braço, criou um módulo que regula toda a obra” concluindo que *“um módulo mede e unifica, um traçado regulador constrói e satisfaz”* (p. 44)

O arquiteto alemão Walter Gropius projeta, em 1927, duas casas montadas com componentes pré-fabricados que se utilizam de conceitos de módulo para a sua técnica projetiva, abraçando definitivamente a tecnologia do processo industrial e dos materiais. A partir de 1930 o industrial Alfred Farwell Bemis dá início ao que denominou ‘método modular cúbico’, propondo que todos os objetos da construção sejam originados de uma

O modutor foi largamente utilizado na reconstrução da Europa após a Segunda Grande Guerra como sistema de medidas de grandes blocos habitacionais. A necessidade de reconstrução da Europa levou também, em vários países, à criação de entidades, governamentais ou não, que tinham o objetivo de tirar o melhor partido possível, no plano econômico, da tipificação modular, utilizando elementos normalizados e padronizados para serem usados no maior número possível de edifícios (ROSA, 2006).

Em 1953 vários países europeus criaram uma agência voltada para a produtividade (AEP) que com base nas experiências de cada região, formulou uma teoria sobre a Coordenação Modular posteriormente aplicada em várias edificações, comprovando e desenvolvendo o que mais tarde seria a ISO sobre Coordenação modular. Essa norma fixou o módulo em 10 cm ou quatro polegadas e definiu tolerâncias e medidas modulares, aplicadas oficialmente a partir de 1958 e com seus fundamentos sendo difundidos em toda a Europa, Canadá e Estados Unidos e, mais tarde, Austrália, ainda que com algumas particularidades de adaptação em algum desses países, conforme verifica-se no quadro abaixo.

| Módulo | País | Ano |
|-----------------|-----------------|------------|
| França | 10 cm | 1942 |
| Estados Unidos | 4 polegadas | 1945 |
| Bélgica | 10 cm | 1948 |
| Finlândia | 10 cm | 1948 |
| Itália | 10 cm | 1949 |
| Polônia | 10 cm | 1949 |
| Brasil | 10 cm | 1950 |
| Bulgária | 10 cm | 1951 |
| Alemanha | 12,5 cm e 10 cm | 1951 |
| Noruega | 10 cm | 1951 |
| Hungria | 10 cm | 1951 |
| Suécia | 10 cm | 1952 |
| Portugal | 10 cm | 1953 |
| União Soviética | 10 cm | 1954 |
| Grécia | 10 cm | 1955 |
| Romênia | 10 cm | 1956 |
| Áustria | 10 cm | 1957 |
| Iugoslávia | 10 cm | 1958 |
| Dinamarca | 10 cm | 1958 |
| Tchecoslováquia | 10 cm | 1960 |
| Bielo-Rússia | 10 cm | 1962 |
| Holanda | 10 cm | 1965 |
| Inglaterra | 4 polegadas | 1966 |

Quadro 1: Publicação das primeiras normas de Coordenação Modular
Baseado em BALDAUF; GREVEN, 2007

Lacerda (2005) ressalta as três funções essenciais do módulo para a AEP:

- ser denominador comum de todas as medidas essenciais;
- ser incremento unitário de toda e qualquer dimensão modular a fim de que a soma ou a diferença de duas dimensões modulares também seja modular;
- ser um fator numérico, expresso em unidades do sistema de medidas adotado ou à razão de uma progressão.

O Brasil iniciou a implantação de um sistema de coordenação modular através da ABNT ainda em 1946, seguindo o exemplo do que vinha ocorrendo na Europa e utilizando os estudos franceses de 1942 para nortear a elaboração da norma nacional. Em 1950 surge a NB 25-R: Modulação das construções, mas com grande dificuldade inicial de penetração no setor produtivo. Lacerda (2005) cita um artigo da revista *Téchne* nº 44 (2000) que afirma que 'um problema para o uso de sistemas industrializados na habitação popular é a falta de certificação dos materiais. As empresas alegam que a culpa é dos órgãos responsáveis que são conservadores e que as leis são defasadas e, ainda, não valoriza as especificações de novos sistemas. Lembra, também, que o grande momento dos sistemas industrializados foi proporcionado pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) no final dos anos 70 e início dos anos 80. Houve aí uma escassez de produtos básicos e foi possível investir em tecnologia, o que foi abandonado com a extinção do BNH em 1986'. O mercado sempre fabricou os materiais seguindo a sua própria lógica, quanto a custo e produção, o que acabava por definir suas dimensões e, a partir destes, seu uso no processo construtivo. Rosa (2006) afirma ser essa a maior dificuldade de implantação do sistema modular: os interesses particulares do mercado e suas imposições.

Mamede (2001) reforça a ideia de que a normalização não garante seu uso. Eickhoff (1997 *apud* MAMEDE, 2001) descreve as causas pelas quais as normas referentes à coordenação dimensional não são seguidas: 'segundo técnicos da ABNT, os fabricantes acreditam que seriam necessários grandes investimentos para adequar a sua produção para as dimensões

normalizadas, os consumidores não têm organização para cobrar sua aplicação e o poder público não define regras que a estimulem’.

3.1.1 Definições

Para a ABNT NBR 15873 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) a coordenação modular é a inter-relação de elementos e componentes construtivos e das edificações que os incorporam, usada para seu projeto, sua fabricação e sua montagem, mediante o emprego do módulo básico ou de um multimódulo, possibilitando:

- maior cooperação entre os agentes da cadeia produtiva da construção civil;
- racionalizar a variedade de medidas de coordenação empregadas na fabricação de componentes construtivos;
- simplificar o processo de marcação no canteiro de obras para posicionamento e instalações de componentes construtivos;
- aumentar a intercambialidade tanto na construção inicial quanto em reformas e melhorias ao longo da vida útil projetada da edificação.

Para Rosso (1976 *apud* LACERDA, 2005) a coordenação modular simplifica a elaboração do projeto pela representação no quadriculado modular de referência, facilita a normalização dos componentes de construção considerando as juntas necessárias e as tolerâncias de fabricação admissíveis, simplifica as operações de execução da obra, facilita o entendimento e a cooperação entre os autores do projeto, os fabricantes dos componentes e os executores do projeto e facilita o intercâmbio dos componentes da construção em nível nacional.

Corrêa e Mamede (2006) definem a coordenação modular como um instrumento destinado a organizar harmonicamente as dimensões dos componentes, produzidos como unidades independentes, com os projetos arquitetônicos, tendo como objetivo

principal a racionalização da construção, do projeto à execução. As vantagens obtidas com a coordenação modular são várias, dentre elas:

- simplificação da elaboração do projeto;
- normalização dos componentes de construção;
- otimização das dimensões com redução do número de formatos dos componentes da construção;
- diminuição de problemas de interface entre componentes e subsistemas;
- padronização dos detalhes e precisão dimensional;
- racionalização e simplificação na execução da obra com a facilidade da montagem;
- redução de quebras dos materiais e, conseqüentemente, das perdas.

Rosa (2006) define a coordenação modular como uma “metodologia que permite estabelecer relações sistêmicas de integração entre componentes e entre estes e o produto final (edifício), visando à aplicação do método industrial ao processo de edificação e proporcionando grandes benefícios no que diz respeito à qualidade, desempenho e racionalização”, ordenando as relações das dimensões entre os vários elementos ou componentes que serão montados no canteiro até a conclusão do edifício.

Salas Serrano (*apud* ROSA, 2006) destaca os principais objetivos da coordenação modular, segundo o grupo *Stichting Architecten Research* da Holanda:

- facilitar a cooperação entre projetistas, fabricantes, distribuidores e promotores;

- permitir o emprego de componentes padronizados na construção de diferentes tipos de edifícios;
- simplificar a preparação de projetos, possibilitando determinar as dimensões de cada componente do edifício e sua posição em relação aos outros componentes e em relação ao edifício como um todo;
- otimizar o número de dimensões padronizadas dos componentes;
- permitir a intercambialidade dos componentes, independentemente do material, forma ou método de fabricação;
- simplificar os trabalhos 'in situ' mediante a racionalização da colocação e união dos componentes, reduzindo ao mínimo os ajustes, retoques e tempo de montagem;
- assegurar uma coordenação dimensional entre instalações, unidades e equipamentos complementares com o resto do edifício'.

Para BARBOZA *et al.* (2011) a coordenação modular passa a ser também uma alternativa na busca pelos índices de qualidade, uma vez que atua diretamente nos componentes de um sistema construtivo, sejam eles mão de obra ou modulação prévia das dimensões ainda em projeto, compatibilizando-os de forma integrada: “a percepção da obra como um conjunto de componentes e sistemas articulados, e não apenas um canteiro de serviços de transformação de materiais básicos, vem simplificar a gestão e possibilitar novas formas de produção, com maior produtividade e qualidade”.

Baldauf e Greven (2005) afirmam que o uso do sistema decimétrico de coordenação Modular “traz redução de custos em várias etapas do processo construtivo devido à otimização do uso da matéria-prima, à agilidade que confere no processo de projeto

ou compra dos componentes, ao aumento da produtividade e à diminuição dos desperdícios e das perdas”.

Por seu maior comprometimento com a interface entre projeto e obra, a coordenação modular possibilita melhor gerenciamento e planejamento da execução, extraindo grandes benefícios do sistema de alvenaria estrutural.

3.2.1 Princípios da coordenação modular

A ABNT NBR 15873 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) define a unidade de medida fundamental pelo módulo básico denominado M e com valor de 100mm (10cm).

Considera também que o elemento ou componente modular deve considerar folgas perimetrais derivadas de:

- suas deformações térmicas, estruturais e por umidade;
- suas tolerâncias de fabricação, marcação e instalação;
- seus processos de instalação, tanto de seus próprios materiais como na interface com outros componentes ou elementos.

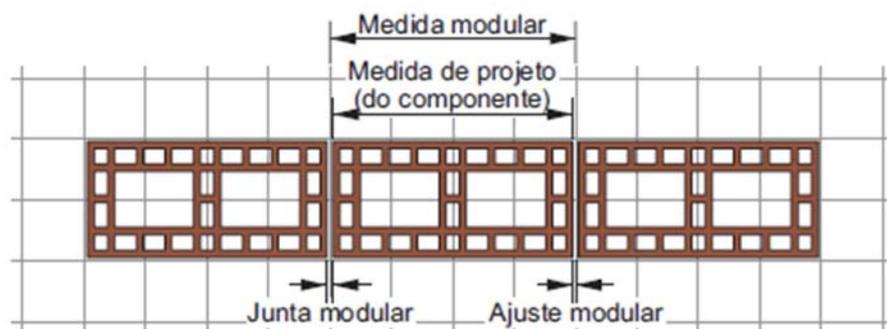


Figura 11: Medida modular, medida nominal, junta modular, ajuste modular.

FONTE: GREVEN; BALDAUF, 2007

A essas folgas a norma denomina ajustes de coordenação, que derivam a razão:

$$M_c = M_n + A_c$$

Sendo:

- M_c : medida de coordenação do elemento ou componente;
- M_n : medida nominal
- A_c : ajuste de coordenação

É prevista pela ABNT NBR 15873 a utilização de elementos e componentes não modulares, desde que complementados por outros componentes ou dispositivos que resultem num conjunto de *componente + complemento modular*. Também se admitem elementos não modulares se estes não interferirem na modulação e no resultado da coordenação modular do edifício como um todo.

O sistema modular de referência é composto por planos paralelos ortogonais distados pelo módulo básico de 100 mm ou por um multimódulo dispostos nas três dimensões, resultando num triedro axonométrico.

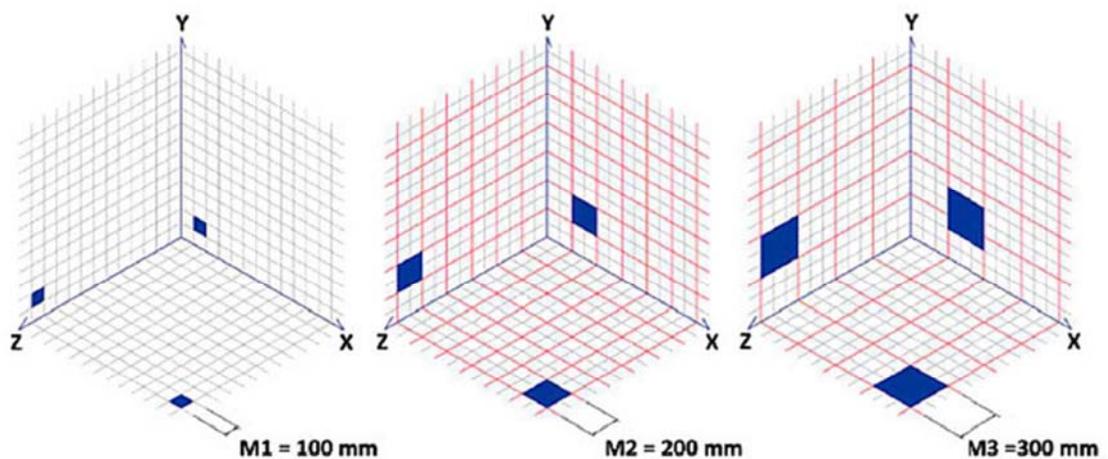


Figura 12: Quadrícula modular no triedro axonométrico

FONTE: TAUIL; NESE, 2010

A fim de atender à coordenação modular, esse sistema deve ser empregado tanto no projeto quanto na fabricação de seus componentes e como guia para instalação na edificação.

A ABNT NBR 15873 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) determina que os sistemas de referência podem ser justapostos, sobrepostos ou combinados entre si com diferentes distâncias multimodulares e/ ou diferentes ângulos, apresentando inclusive espaços de interrupção da malha com medidas não modulares denominados *espaços amodulares*.

A norma ainda prevê a utilização de frações do módulo M:

| | | |
|------------|------------|------------|
| M/2 = 50mm | M/4 = 25mm | M/5 = 20mm |
|------------|------------|------------|

Essa previsão se restringe ao uso de complementação ao módulo M, para composição de submódulos que, somados, resultem em M ou para determinar o deslocamento entre diferentes sistemas de referência. Dessa forma o submódulo não deve ser usado para substituir o módulo, definir a malha modular ou como medida de um componente.

Correa e Mamede (2006) consideram indispensável o uso da coordenação modular como ferramenta projetiva em sistemas construtivos de alvenaria estrutural, pois ela garante a racionalização entre os componentes e a diminuição de perdas, o que resulta em alta produtividade e economia.

Rosso (1976 *apud* LACERDA, 2005) não julga o sistema de referência imprescindível, mas considera que seu uso facilita o posicionamento dos componentes e a correlação de suas medidas, afirmando que na prática pode ser oportuno abandonar o uso das malhas modulares sem abandonar os princípios da Coordenação Modular. Ele ainda defende que o menor submúltiplo permitido deva ser o decímetro, conferindo maior flexibilidade ao sistema.

3.2 Alvenaria

O tijolo é um dos primeiros elementos modulares da história, encontrado em vestígios de construções com mais de dez mil anos como sinal de que o homem deixava a vida nômade para se fixar em sítios que necessitavam abrigá-lo de forma definitiva. Surge então a necessidade de executar abrigos com materiais não perecíveis, onde o tijolo de barro cozido se destaca por ter baixo peso em relação aos blocos de pedra, e de fácil transporte e manuseio, apresentando também a característica portante. As edificações em alvenaria se utilizavam de técnicas baseadas no empirismo que foram aprimoradas ao longo da história, possibilitando sua aplicação em grandes construções, tendo como notáveis exemplos as pirâmides egípcias, templos religiosos como a Catedral de Notre Dame e até mesmo a Muralha da China, que pode ser vista do espaço. Até o final do século XIX a alvenaria predominou como material estrutural, mas a falta de técnicas e procedimentos racionalizados forçava um superdimensionamento do sistema, resultando em paredes de grande espessura e oferecendo algumas restrições construtivas.

A alvenaria é um sistema construtivo que utiliza peças padronizadas em dimensões e peso, ligadas por argamassa, tornando o conjunto monolítico. Economia, segurança, qualidade e rapidez de execução permitem à alvenaria estrutural adequar-se tanto às obras populares como às de padrões mais elevados. Estas peças, industrializadas, podem ser moldadas em cerâmica, concreto ou material sílico-calcáreo.

A alvenaria estrutural é aquela dimensionada por cálculo estrutural para suportar cargas além do seu peso próprio. Sabbatini (2003) a define como sistema construtivo, pois considera que um “processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo”. Esta é a diferença fundamental entre o uso tradicional da alvenaria como estrutura e os denominados Processos Construtivos em Alvenaria Estrutural (Pcae).

Nesse sistema não se admite corte ou quebra de blocos para obtenção de “peças de ajuste”, sendo utilizados apenas blocos inteiros ou peças pré-fabricadas e pré-moldadas previstas no

projeto de produção e fabricadas com métodos controlados (SABBATINI, 2003), o que exige grande precisão e acompanhamento de projeto e execução.

O sistema construtivo com o predomínio de alvenaria estrutural modulada é muito empregado em construções habitacionais populares, devido ao seu baixo custo e facilidade de execução, principalmente se comparado aos sistemas metálicos ou em concreto pré-moldado tradicionais. Contribuem para a redução de custos do sistema:

- Redução do número de especialidades: pela simplicidade da configuração arquitetônica e pelo sistema oferecer características tanto de vedação como estrutural;
- Diminuição de perdas: proporcionada pela utilização de blocos inteiros, projeto e planejamento racionalizados com foco em construtibilidade, além do efeito de aprendizado da equipe de execução pelo caráter repetitivo do projeto que gera, ainda, economia em formas e equipamentos;
- A diminuição do consumo de revestimento: o rígido controle dimensional dos componentes construtivos, além da qualidade necessária à produção do sistema, resultam numa alvenaria mais nivelada e aprumada, com menor necessidade de correções na etapa de revestimento.

Segundo o Manual de Alvenaria com Blocos Cerâmicos, uma parede de alvenaria apresenta grande resistência às cargas paralelas ao seu plano, mas pouca resistência às cargas horizontais que atuam perpendicularmente ao seu plano. Diante desse aspecto, o projeto deve atuar para minimizar as tensões de tração que podem derivar da ação dessas cargas, adotando os seguintes procedimentos em projetos de habitações térreas:

- Troca da forma das paredes;
- Arranjo apropriado (distribuição uniforme) das paredes, buscando uma distribuição homogênea das cargas verticais;

- O arranjo deve ser pensado de maneira que as paredes sejam dispostas sempre em duas direções, para que se estabilizem e se enrijeçam mutuamente, anulando os esforços horizontais;
- Utilização das lajes para aplicação das cargas verticais nas paredes, amarração da estrutura e distribuição das cargas horizontais (a laje deve funcionar como um diafragma rígido).

3.2.1 Componentes e elementos do sistema de alvenaria estrutural

Entende-se por um componente da alvenaria uma entidade básica que compõe o sistema, que no caso da alvenaria estrutural são blocos, argamassa, graute e armadura.

Os elementos são uma parte suficientemente elaborada da estrutura, sendo formados por pelo menos dois dos componentes anteriormente citados, como as paredes, pilares, cintas, vergas, etc.

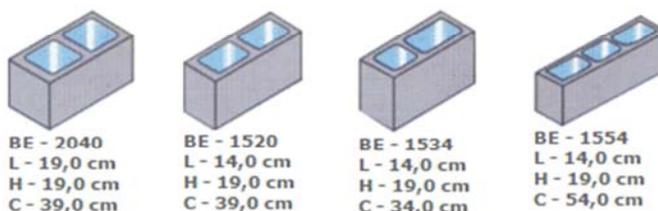
. Blocos: são a unidade básica da alvenaria estrutural, definidos como prismas vazados com furos na vertical, perpendiculares à face de assentamento, que podem ser produzidos em material cerâmico, sílico-calcáreo ou concreto. São classificados de acordo com sua resistência à compressão que, segundo a NBR 6136:2014, deve obedecer aos seguintes limites:

- Bloco Classe A > 8,0 MPa;
- Bloco Classe B entre 4 e 8 MPa;
- Bloco Classe C > 3,0 MPa.

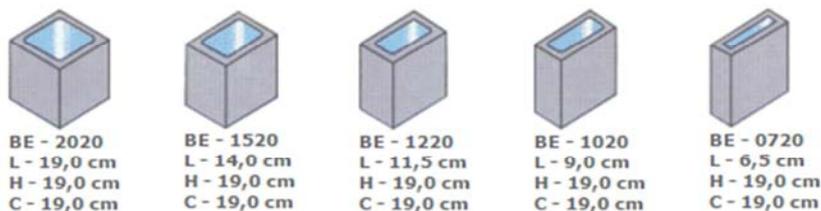
Outras características dos blocos que influenciam o projeto e a execução são:

- Peso e dimensões - influenciam a produtividade;
- Formato - influencia a técnica de execução;
- Precisão dimensional - influencia os revestimentos e demais componentes.

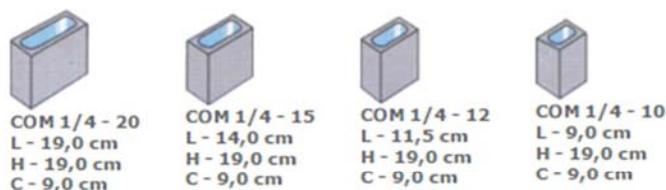
Blocos Inteiros



1/2 Bloco



Blocos Compensadores 1/4



Blocos Compensadores 1/8

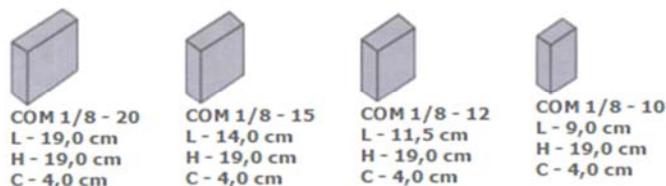


Figura 13: Exemplo de família de blocos modulares
FONTE: www.concremix.com.br Acesso em 02/02/2016

Os blocos determinam a coordenação modular, a passagem de tubulações e locação dos vãos. Como o sistema não admite quebra das unidades, existem famílias desses componentes que variam para cada espessura, possibilitando suas amarrações e ajustes modulares.

. Argamassa: A argamassa de assentamento, normalmente composta de cimento, areia, cal e água, é o componente de união entre os blocos, com função de transmitir e uniformizar as tensões entre as unidades de alvenaria, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e de vento nas edificações. A argamassa utilizada para o assentamento dos blocos pode ser industrializada ou preparada em obra e devem atender aos requisitos estabelecidos na norma NBR 13281.

As propriedades desejáveis das argamassas são trabalhabilidade, capacidade de retenção de água, capacidade de sustentação dos blocos, resistência inicial adequada e capacidade potencial de aderência. As propriedades desejáveis das juntas de argamassa são resistência mecânica adequada, capacidade de absorção de deformações e durabilidade.

No projeto as juntas de argamassa têm a função de ajuste modular, o que na obra se traduz também como absorção de variações dimensionais do prisma para manutenção da coordenação modular durante a execução.

. Armadura: as barras de aço utilizadas nas construções em alvenaria são as mesmas utilizadas nas estruturas de concreto armado mas, neste caso, serão sempre envolvidas por graute para garantir o trabalho conjunto com o restante dos componentes de alvenaria.

Condicionada à função das armaduras, a alvenaria estrutural pode se subdividir em:

- Alvenaria estrutural armada, onde as paredes são constituídas de blocos assentados com argamassa, e suas cavidades são preenchidas com graute e envolve aço suficiente para absorver os esforços calculados. Para Ramalho e

Corrêa (2003) a alvenaria armada parece mais adequada quando se necessita conferir ductilidade à estrutura, aumentar o limite normalizado para a esbeltez de paredes ou quando se necessita de acréscimo muito localizado de resistência. Caso contrário não consideram interessante do ponto de vista da relação custo-benefício se utilizar desse recurso para aumentar a resistência à compressão.

- Alvenaria estrutural não armada, onde as armaduras existem apenas para prevenir de fissuras e outros problemas patológicos, não absorvendo esforços calculados. Sua utilização é mais indicada em edificações residenciais de padrão baixo ou médio com até 12 pavimentos.

- Alvenaria estrutural protendida, onde existe uma armadura ativa de aço contida no elemento resistente, que não costuma ser aplicada em HIS.

Ramalho e Corrêa (2003) acreditam que a alvenaria não armada de blocos vazados de concreto é um dos sistemas mais promissores, tanto pela economia proporcionada como pelo número de fornecedores já existentes.

. Graute: O graute é um concreto fluido, devido à utilização de agregados de pequena dimensão e da relação de água e cimento utilizada, resultando num material mais plástico, ideal para preenchimentos mais uniformes nos vazios dos blocos. Sua função é compor a alvenaria parcialmente armada, permitindo que a armadura trabalhe conjuntamente com a alvenaria, aumentando a resistência à compressão da parede e impedindo a corrosão da armadura (SABBATINI, 2003). Segundo a NBR 10837, o graute deve ter sua resistência característica maior ou igual a duas vezes a resistência característica do bloco, e sua composição é de responsabilidade do projeto estrutural.

3.3 Vãos

Corrêa e Mamede (2006) afirmam que a execução dos vãos causam grandes interferências no processo de execução da alvenaria e no fluxo das tensões. De fato, a falta de planejamento desta etapa pode causar grande impacto na produtividade e costuma gerar perdas significativas de materiais.

A definição precoce da solução e dimensão das esquadrias e demais elementos que necessitem de vãos para suas instalações, além da escolha dos revestimentos de piso e paredes na região das aberturas é desejável para optar pela melhor técnica executiva, o que interfere diretamente na modulação do projeto, evitando retrabalho nas etapas de desenvolvimento posteriores.

Dependendo da quantidade de esquadrias do empreendimento, estas podem ser fabricadas sob medida sem onerar o orçamento, o que possibilita a escolha de maior produtividade pois, nesse caso, a modulação do vão é mandatária e a esquadria, resultante. Nessas situações as esquadrias são compostas por marco e contramarco.

Já as esquadrias padronizadas no mercado são fornecidas sem o contramarco. Nesse cenário o tamanho do componente é mandatário, devendo a modulação adequar-se ao vão de instalação. Raramente o vão necessário para a instalação da esquadria de mercado se adequa à malha modular sem necessitar de soluções especiais para o ajuste do elemento no vão, sendo essa interface uma das mais problemáticas na obra e com grandes potenciais na geração de patologias.

Os vãos são especialmente afetados por tensões, como ilustrado a seguir:

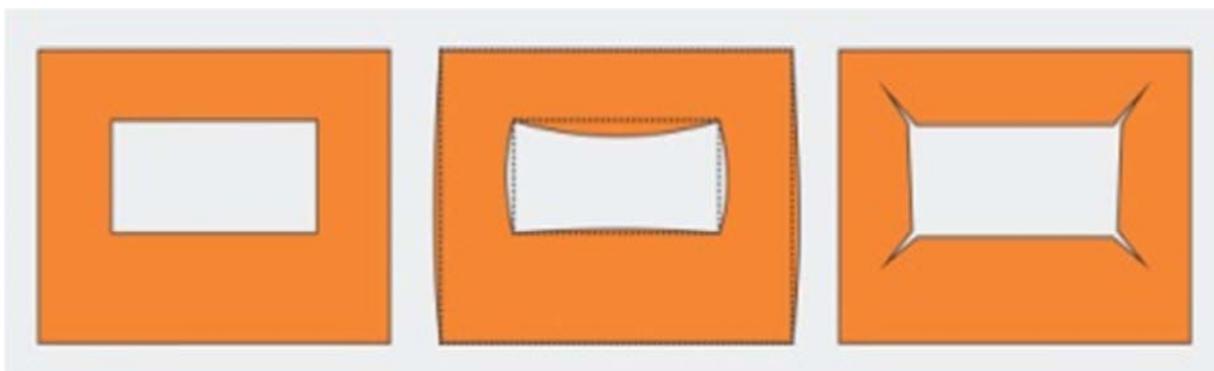


Figura 14: Representação gráfica de tensões e deformações na região dos vãos

FONTE: www.blogdaengenhariacivil.wordpress.com Acesso em 01/02/2016

A imagem central ilustra uma deformação na linha superior do vão, que sofre uma ruptura devido à concentração de cargas, afetando também as laterais do vão e sendo responsável por prejudicar o funcionamento da esquadria. A ilustração à direita representa as fissurações ocasionadas nas quinas, conhecidas como fissuras ou trincas do tipo 'bigode'.



Figura 15: Fissuras tipo 'bigode'

FONTE: www.blogdaengenhariacivil.wordpress.com Acesso em 01/02/2016

Para evitar as patologias características da falta de estruturação dos vãos o projetista adotará reforços que devem ser escolhidos visando à coordenação modular, a produtividade e a construtibilidade. Essa é a função das vergas e contravergas, que absorvem e redistribuem os esforços concentrados ao redor do vão.

- Vergas: elementos estruturais localizados acima dos vãos, com apoios laterais de no mínimo $d/10$ ou 10 cm (o que for maior) onde d é o comprimento do vão (SABBATINI, 2003).

- Contravergas: Elementos estruturais executados em peças reforçadas com aço, moldadas no local ou pré-fabricadas, de modo a distribuir as tensões concentradas nos cantos inferiores dos vãos. Devem ultrapassar a lateral do vão em pelo menos $d/5$ ou 30 cm (o mais rigoroso dos dois, onde “ d ” é o comprimento da janela). Podem ser substituídas por uma cinta contínua, armada, na altura dos parapeitos, por todas as paredes externas.

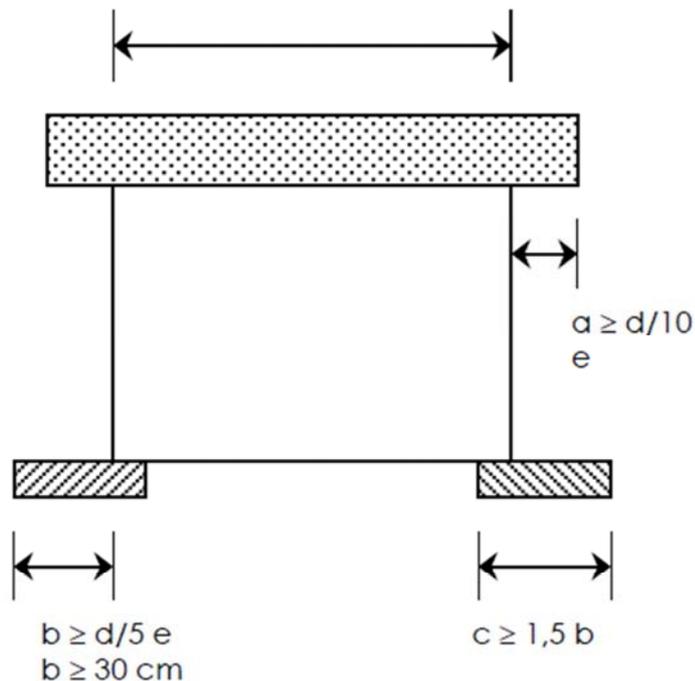


Figura 16: Dimensões mínimas de vergas e contravergas
FONTE: SABBATINI, 2003

Há mais de uma solução para a execução dos reforços de vãos, conforme segue:

- *Execução de vigas moldadas no local, utilizando blocos tipo 'canaleta'*: A modulação inferior e superior do vão utiliza blocos tipo canaleta que transpassam o vão, são armados e grauteados, formando uma viga inferior conforme o esquema abaixo.

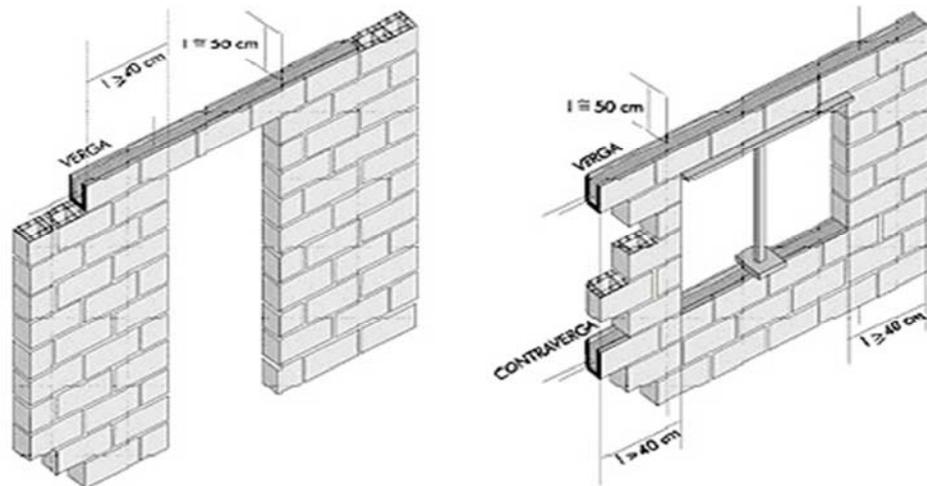


Figura 17: Vergas e contravergas executadas em blocos tipo canaleta

FONTE: www.fkct.com.br Acesso em 01/02/2016

As maiores desvantagens apontadas nesse método são a dificuldade do ajuste modular (devido aos componentes padronizados ao redor do vão) e da perda de produtividade (devido à necessidade de interrupção da execução para armação, grauteamento e, no caso da verga, escoramento das vigas).

- *Fabricação de pré-moldados*: Barboza *et al.* (2011) acredita que a técnica de coordenação modular associada a um esquema simples de pré-fabricação, pode melhorar significativamente a produtividade e a qualidade da execução, citando como vantagens das vergas e contravergas pré-moldadas e leves seu fácil manuseio, a possibilidade de se adequarem ao ajuste modular altimétrico, o respeito à modulação horizontal e, sobretudo, a manutenção do ritmo da construção, contribuindo de maneira significativa com a produtividade e racionalização do sistema. Além disso, as contravergas pré-moldadas não necessitam preencher toda a extensão inferior do vão, pois os esforços nessa linha concentram-se apenas nos cantos, o que promove economia de material. As características mais relevantes da

adoção desse sistema são a resistência e armação da peça, e o planejamento de seu manuseio e instalação, que deve considerar as limitações do pedreiro e de ferramentas do canteiro.



Figura 18: Vergas e contravergas executadas em pré-moldados

FONTE: www.ceramicacity.com.br Acesso em 01/02/2016

- *Contramarco pré-moldado*: O contramarco é definido por Corrêa e Mamede (2006) como “um quadro rígido delgado, que envolve o vão da abertura e a espessura da parede, e juntamente com a janela compõem a esquadria”, com vantagens de produtividade bastante similares às dos pré-moldados lineares citados anteriormente. São de instalação simples e ainda funcionam como gabarito para o assentamento das demais fiadas ao redor do vão, garantindo o prumo. Seu planejamento é um pouco mais exigente do que o dos pré-moldados tradicionais, por exigirem previsão de pingadeiras, saliências e rebaixos que garantam a estanqueidade da esquadria, por isso deve-se dar grande importância ao projeto e execução desses elementos.



Figura 19: Vergas e contravergas executadas em pré-moldados

FONTE: www.trabalhoc2-grupo1.blogspot.com.br Acesso em 01/02/2016

- *Batentes e contramarcos envolvertes*: Os batentes e contramarcos envolvertes são feitos em material metálico, geralmente chapas de aço galvanizado dobradas, que por oferecerem boa resistência dispensam outros tipos de reforços estruturais e, tal qual o contramarco pré-moldado, funcionam como gabaritos para a execução da alvenaria ao redor do vão.

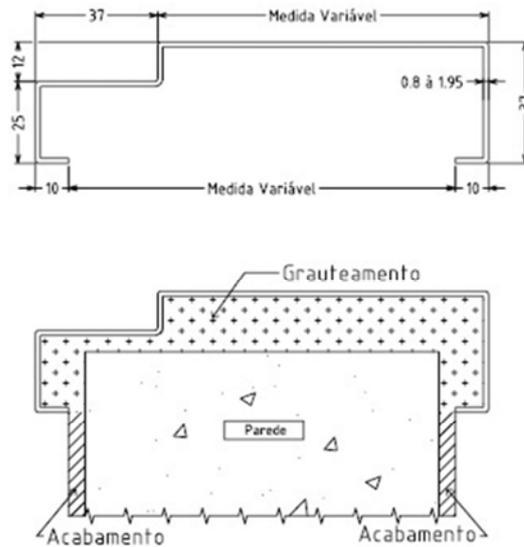


Figura 20: Exemplo de batente metálico envolvente

FONTE: www.icometal.ind.br Acesso em 01/02/2016

Há também a possibilidade de prever as cintas estruturais do conjunto de alvenaria nas fiadas logo acima/ abaixo dos vãos, suprimindo o papel de verga e/ou contraverga dos mesmos, além de vigas moldadas *in loco* utilizando formas tradicionais e de adoção de sistemas mistos, conforme a necessidade do projeto.

Outra questão relevante na definição das esquadrias é o material dos componentes, sobretudo pelas particularidades de instalação de cada material, e do tipo de fixação que cada componente aceita, que em conjunto com a espessura do acabamento do vão define as folgas na largura osso para instalação do conjunto. Na quadro a seguir, Corrêa e Mamede (2006) elencam vantagens e desvantagens dos procedimentos executivos das esquadrias, que devem ser levados em consideração na escolha das esquadrias:

| | | |
|-------------------------|-------------|--|
| Sem contramarco | poliuretano | Vantagens |
| | | - Serviço de colocação da janela é realizado em uma só fase; - Eliminação da etapa de assentamento do contramarco; - Fixação das esquadrias em etapa posterior à execução dos revestimentos. |
| | | Desvantagens |
| | padronizada | Vantagens |
| | | - Colocação da janela em uma só fase; - Eliminação da etapa de assentamento do contramarco; - Industrialização e padronização das esquadrias. |
| | | Desvantagens |
| Contramarco de alumínio | alumínio | Vantagens |
| | | - Fixação em etapa posterior à execução dos revestimentos; - Facilidade de manuseio. |
| | | Desvantagens |
| | pré-moldado | Vantagens |
| | | - Fixação junto com a elevação da alvenaria. Terminalidade do serviço; - Eliminação do preenchimento posterior de ajustes; - Eliminação dos requadros junto aos vãos das janelas; - Facilidade de execução de revestimentos, constituindo-se referências; - Referência para assentamento de fiadas de blocos posteriores à sua fixação; - Apoio para assentamento de blocos canaleta, constituintes das vergas; - Fixação das janelas em etapa posterior à execução dos revestimentos. |
| | | Desvantagens |
| | | - Necessidade de instalação de unidades produtivas para fabricá-los; - Uso de formas metálicas para moldagem das peças; - Controle rigoroso da produção; - Detalhamento do projeto e planejamento antecipado e criterioso do empreendimento. |

Quadro 2: Vantagens e Desvantagens dos procedimentos executivos das esquadrias
 FONTE: Corrêa e Mamede (2006)

Também é atuante na medida do vão osso a existência de contrapiso, sua espessura, bem como a espessura do revestimento de piso, pois a altura de instalação da porta deve considerar o piso acabado, porém este é executado após a alvenaria e deve contar com as folgas adequadas (GRABARZ, 2013).

3.4 Instalações

As instalações do edifício são sistemas críticos pelo possível conflito dos encaminhamentos e a impossibilidade da quebra das paredes estruturais para o embutimento das instalações,

tanto pela estabilidade estrutural do conjunto como para evitar patologias de enchimentos posteriores à execução dos encaminhamentos, que podem gerar patologias. Devido à inter-relação entre os subsistemas, é importante o comprometimento de todos os projetistas desde a fase inicial de estudo preliminar, quando da definição do sistema e do layout dos pontos, e durante todo o desenvolvimento do projeto, na verificação dos conflitos com outras especialidades, o que é essencial no processo de racionalização e construtibilidade.

3.4.1 Elétrica e Sistemas Especiais

Num sistema racionalizado de alvenarias, como é o caso da alvenaria estrutural, os eletrodutos são instalados simultaneamente à execução das fiadas, passando por dentro dos septos dos blocos. A distribuição geral para edificações térreas se faz, normalmente, por sobre a laje de cobertura, devendo haver compatibilização no encaminhamento do eletroduto pelas cintas e pelo respaldo. Particularmente na fase do respaldo, devem ser checadas todas as chegadas dos eletrodutos antes da concretagem da cinta de apoio da laje.

Encaminhamentos horizontais na alvenaria devem ser evitados, exceto na interligação de caixas em furos vizinhos que permitam um eletroduto de ligação que possa passar por um septo cavado na superfície ou base do bloco, junto à argamassa entre as fiadas. Quando encaminhamentos horizontais maiores forem indispensáveis podem ser admitidos desde que previstos em projeto aprovado pelo calculista, além de ter acompanhamento rígido durante a execução para que possíveis fissuras nos revestimentos sejam evitadas. Cortes diagonais não devem ser considerados.

Os quadros de energia e sistemas devem ter solução de instalação também previstos em projeto, a fim de prever reforços no vão onde serão chumbados e viabilizar a passagem de uma grande quantidade de eletrodutos que se conectam a eles.

As caixas de alimentação são, tradicionalmente, chumbadas no bloco estrutural através de um corte realizado com ferramentas para esse fim (tipo 'Makita'). A locação de todos os pontos deve estar prevista no projeto de elevações de alvenaria,

onde são considerados os alinhamentos das caixas entre si, da caixa com a fiada e de sua locação no bloco, evitando o corte dos septos do bloco, além de considerar o espaçamento necessário para o acabamento das mesmas e do distanciamento necessário entre o espelho de acabamento e quinas e/ou guarnições de acabamento das esquadrias. Preferencialmente, o chumbamento das caixas deve ocorrer antes do assentamento dos blocos, evitando cortes na parede já executada, o que deve também ser previsto e planejado em projeto.



Figura 21: Central de chumbamento de caixas para instalações elétricas e sistemas

FONTE: www.comunidadeconstrucao.com.br Acesso em 01/02/2016

No mercado atual são encontradas caixas de instalações redondas, que apresentam fixação por garras ajustáveis às paredes do bloco e cujo corte para seu encaixe à alvenaria é feito por serra copo. Essa tecnologia vem sendo cada vez mais utilizada, por economizar muito tempo na etapa de chumbamento das caixas e evitar patologias causadas pelos enchimentos utilizados nesse método.



Figura 22: Caixa de encaixe para instalação em furo feito por serra copo

FONTE: www.comunidadeconstrucao.com.br Acesso em 01/02/2016

Uma possibilidade pouco usual, mas de aplicação interessante tanto do ponto de vista estético quanto do ponto de vista técnico, é o uso das tubulações aparentes. Do ponto de vista técnico, a execução da elétrica por sobre a alvenaria possibilita grandes ganhos na produtividade, além de oferecer maior facilidade na manutenção. A opção por este sistema, no entanto, é pouco utilizada por seu resultado estético, que não é um consenso entre os usuários finais. Abaixo, um exemplo de aplicação desse conceito em uma residência de alvenaria estrutural com blocos aparentes, projetada especialmente para um usuário de baixa renda:



Figura 23: Residência em alvenaria estrutural aparente com aplicação de sistema de instalações elétricas também aparentes (Vila Matilde – São Paulo/ SP)

FONTE: <http://mapadaobra.com.br> Acesso em: 25/01/2016

3.4.2 Hidráulica e Gás

As instalações de hidráulica e gás são as que apresentam maior incidência de corte nas obras, devido à rigidez das tubulações que dificultam suas manobras dentro dos septos dos blocos. Essa limitação construtiva apresenta algumas soluções que devem ser adotadas para evitar cortes não planejados que afetem a integridade das paredes com função estrutural. A NBR 10837 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) proíbe a condução de fluidos dentro dos septos de alvenarias com função estrutural, por questões de manutenção.

Uma das soluções mais comuns é a adoção de trechos de alvenaria não estruturais previstos em projeto, que recebam os cortes necessários para embutir todos os encaminhamentos, o que é conhecido como 'parede hidráulica'. Nesses trechos os encaminhamentos verticais são previstos pelos septos dos blocos para minimizar patologias posteriores, e devem constar do projeto com essa consideração. A mesma solução pode ser proporcionada com trechos de enchimentos sobrepostos à parede estrutural.

Pré-moldados especiais que associem a modulação aos encaminhamentos também são soluções adequadas, desde que o peso desses elementos e a dificuldade em sua produção não sejam fatores limitadores.



Figura 24: Pré-moldado para instalação hidráulica

FONTE: www.sites.google.com/site/ercedielsonrefconstrucaocivil Acesso em 01/02/2016

A adoção de *shafts* é mais usual em edifícios com múltiplos pavimentos, por permitir a descida de prumadas de forma contínua entre os andares e facilitar o acesso posterior para manutenção. Os shafts podem ser previstos no plano da parede, com uma interrupção da modulação para passagem das tubulações que posteriormente adotarão algum tipo de fechamento, ou por fora do plano da parede, através da previsão de uma saliência que também deverá ser fechada posteriormente. Ainda que não seja a solução mais adotada para edificações térreas, esta pode ser admitida, prevendo sua interface com a laje para comunicação das tubulações com o barrilete, evitando quebras.

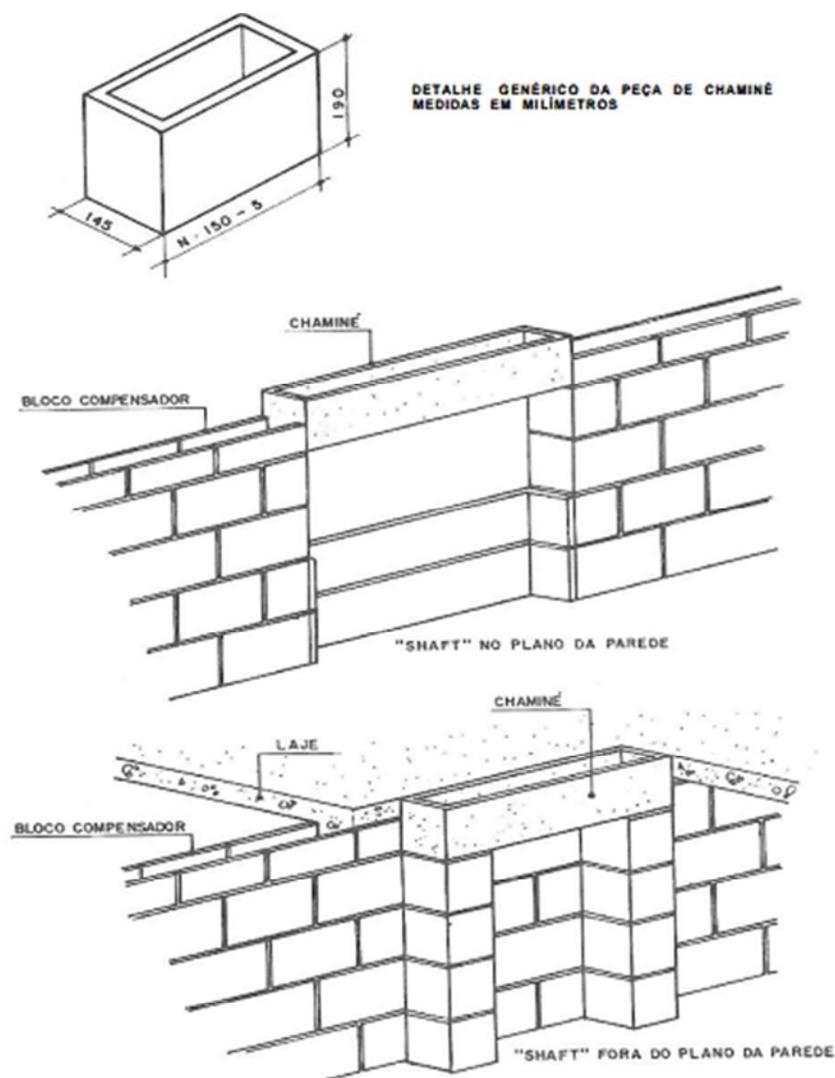


Figura 25: *Shaft* para instalações, com pré-moldado tipo chaminé no nível da laje superior

FONTE: VIOLANI, 1992

Uma solução muito utilizada atualmente é a adoção de carenagens plásticas, que exigem somente a previsão das tubulações por fora da alvenaria, atuando como uma ‘tampa’ que permite fácil remoção na necessidade de visita para revisão ou manutenção.



Figura 26: Carenagem plástica ocultando instalação sob pia

FONTE: www.equipededeobra.pini.com.br Acesso em 01/02/2016

Uma solução pouco utilizada em alvenaria estrutural para HIS é a redução de espessura para embutimento das tubulações, por dois motivos principais:

- Pela limitação estrutural, pois a redução de espessura dos blocos adotados em modelos econômicos, já previstos para serem os mais esbeltos possíveis, não aceita grandes trechos de encaminhamento;
- Pela limitação econômica, por resultar em grande consumo de enchimento no percurso dos encaminhamentos, o que pode, inclusive, ocasionar patologias no revestimento.

Sabbatini (2003) define que não devem ser feitos cortes posteriores de vãos de qualquer natureza com área maior que a área de três blocos ou de comprimento superior a 1,5 vez o comprimento do bloco paredes estruturais, conforme ilustrado abaixo:

| medida | dimensão |
|--------|----------------------|
| a | $\leq 3 \text{ cm}$ |
| b | $\leq t / 3$ |
| d | $\leq C / 5$ |
| h | $\leq H / 3$ |
| s | $\leq t$ |
| m | $\geq 20 \text{ cm}$ |

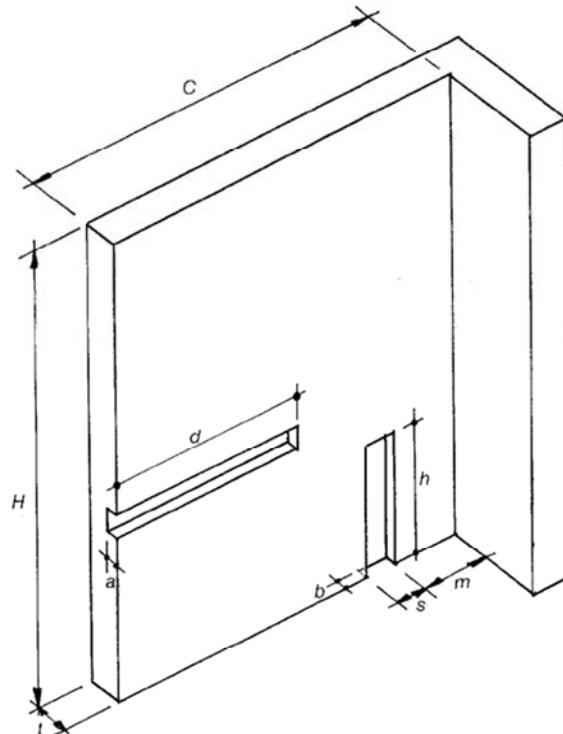


Figura 27: Dimensões máximas dos cortes admitidos em paredes estruturais
 FONTE: SABBATINI, 2003

3.5 Cobertura

Tauil (TAMAKI, 2010) alerta sobre a interface entre as paredes e a laje de cobertura, pois a movimentação desta pode resultar em patologias na alvenaria e nos revestimentos, recomendando que a laje não tenha amarração que configure rigidez à interface, permitindo pequeno deslizamento sobre a alvenaria que não comprometa sua integridade, solução ainda mais eficiente se adotados panos de laje independentes. São desejáveis juntas de movimentação no encontro das paredes com a laje, desde que ofereçam estanqueidade.

A cinta de respaldo é um elemento que merece especial atenção, não só em seu desempenho estrutural, mas na compatibilização com a laje e as instalações que se ligam à cobertura. A cinta é mais frequentemente executada com blocos tipo canaleta ou tipo 'J', sendo também admitidas vigas moldada in loco. Por seu caráter estrutural, deve ser executada antes da laje e atender recomendações de cura antes da execução da laje de cobertura.

Segundo Sabbatini (2003) as lajes podem ser moldadas no local, parcialmente pré-fabricadas ou totalmente pré-fabricadas. Uma solução muito comum em habitações de interesse social térreas é a laje mista, executada com vigotas pré-fabricadas ou painéis treliçados, preenchidos com blocos cerâmicos, de concreto, de concreto celular ou de poliestireno expandido. Esse tipo de laje não oferece grande resistência, o que exige considerações especiais na locação da caixa d'água, caso esta esteja localizada sobre a mesma.

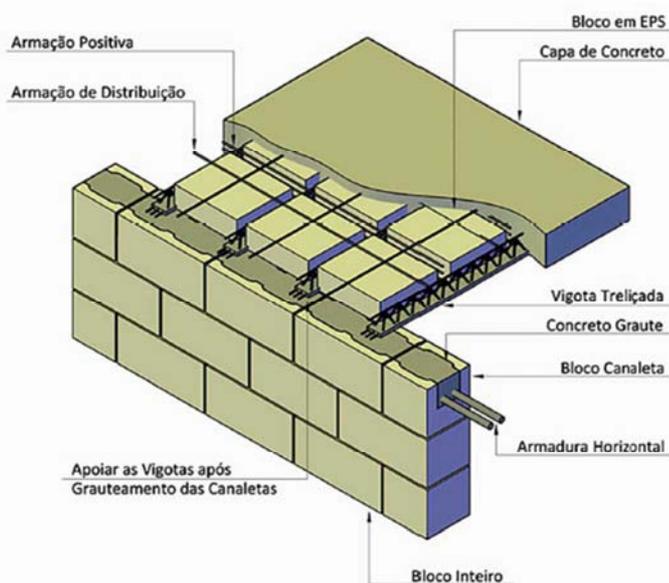


Figura 28: Esquema de fabricação de laje com vigotas treliçadas e caixões perdidos em EPS
FONTE: TAUIL; NESE, 2010

As lajes devem ser escoradas até que o carregamento dos blocos seja efetivado, o que deve ser considerado no planejamento da obra e previsto em projetos de produção, promovendo a construtibilidade.

Sobre a estrutura de telhado, a única observação é sobre a execução dos oitões e a previsão de acesso à laje para possíveis manutenções, sobretudo da caixa d'água.

4. PROCESSO DE PROJETO NO SISTEMA DE ALVENARIA ESTRUTURAL PARA HIS UNIFAMILIAR

4.1 Introdução

A alvenaria estrutural apresenta muitas vantagens em relação aos processos construtivos tradicionais, que podem ser determinantes para a escolha desse sistema construtivo.

| Vantagens | Desvantagens |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Economia no uso de madeira para formas; | <ul style="list-style-type: none">• As paredes portantes não podem ser removidas sem substituição por outro elemento de equivalente função; |
| <ul style="list-style-type: none">• Redução no uso de concreto e ferragens; | <ul style="list-style-type: none">• Impossibilidade de efetuar modificações na disposição arquitetônica original; |
| <ul style="list-style-type: none">• Redução na mão de obra em carpintaria e ferraria; | <ul style="list-style-type: none">• O projeto arquitetônico fica mais restrito; |
| <ul style="list-style-type: none">• Facilidade de treinar mão de obra qualificada; | <ul style="list-style-type: none">• Vãos livres são limitados; |
| <ul style="list-style-type: none">• Projetos são mais fáceis de detalhar | <ul style="list-style-type: none">• Juntas de controle e dilatação a cada 15m. |
| <ul style="list-style-type: none">• Maior rapidez e facilidade de construção; | |
| <ul style="list-style-type: none">• Menor número de equipes ou subcontratados de trabalho; | |
| <ul style="list-style-type: none">• Ótima resistência ao fogo; | |
| <ul style="list-style-type: none">• Ótimas características de isolamento termo acústico; | |
| <ul style="list-style-type: none">• Flexibilidade arquitetônica pelas pequenas dimensões do bloco. | |

Quadro 3: Vantagens e desvantagens da alvenaria estrutural em relação aos processos tradicionais

FONTE: <http://www.ceramicapalmadeouro.com.br/downloads/cavalheiro1.pdf>

Acesso em: 25/01/2016

Esse sistema deve ser compreendido como um processo construtivo racionalizado, projetado, calculado e construído em conformidade com as normas pertinentes, visando funcionalidade com segurança e economia. Para que a alvenaria estrutural cumpra as funções desejadas de desempenho estrutural, conforto termo acústico, vedação e durabilidade, é fundamental um processo bem coordenado que se inicia no desenvolvimento do projeto, refletindo na boa execução.

Melhado *et al.* (2005) afirmam que o projeto “influi diretamente nos resultados econômicos dos empreendimentos e interfere na eficiência de seus processos, como informação de apoio à produção”, sendo esse trabalho inicial no processo construtivo grande responsável pela redução dos custos e falhas do edifício.

Essa visão faz atentar para a amplitude e a responsabilidade do processo de projeto, que vai bastante além da ideia de desenhos de diversas disciplinas como simples instrumentos de execução e pode ser definido como um processo de gestão, que depende de visão estratégica para gerenciar todo o processo da concepção à ocupação do edifício.

Considera-se nesse trabalho o processo desde o fechamento do *briefing* (definições preliminares e consolidação do programa de necessidades) até a implantação do protótipo no canteiro e formalização do *as built*, delimitando a análise aos objetivos dessa pesquisa.

4.2 Equipe

A definição da equipe do projeto conta não só com os especialistas das disciplinas, mas deve ter a participação também do empreendedor e do construtor. Segundo Melhado *et al.* (2005):

- o empreendedor define o programa e os objetivos, identifica as restrições, coordena as diretrizes e os parâmetros de controle;
- os projetistas devem ser capazes de traduzir as premissas indicadas pelo empreendedor em soluções funcionais e tecnológicas, selecionando as melhores

alternativas, demandando o mínimo de recursos e buscando os níveis de desempenho esperados para o produto;

- O construtor deve traduzir o projeto na execução, mantendo o nível de qualidade projetado.

Há também um importante papel designado ao usuário da habitação, que não é agente direto do processo de projeto, mas o subsidia com aspectos de retroalimentação de informações sobre a edificação, atuando como importante observador do produto.

O processo de projeto é, portanto, um processo multidisciplinar, apresentando certa complexidade de gestão que é fortemente dependente da competência de sua equipe, de sua habilidade em trabalhar como conjunto e, sobretudo, de sua coordenação, num processo de evolução contínua visando um conhecimento global e um aprendizado mútuo, agregando maior qualidade ao produto.

4.3 Coordenação e Gestão do Projeto

A necessidade de um processo projetivo multidisciplinar exige um suporte de integração da equipe, centralizados na pessoa do coordenador do projeto.

O coordenador é o responsável pelo planejamento do processo, organizando os objetivos e escopo dos envolvidos, cuidando do fluxo financeiro, etapas e prazos do processo, além do fluxo de informações, da matriz de responsabilidades e da perfeita comunicação e integração entre os projetistas, garantindo a execução do cronograma físico-financeiro do projeto e atingindo os objetivos do produto traçados junto ao empreendedor.

4.4 As etapas de desenvolvimento

As etapas de desenvolvimento do projeto, segundo Melhado *et al.* (2005) definem o escopo do processo e são fundamentais não só para coordenar o processo, mas também para criar mecanismos de avaliação, verificação e controle.

O quadro abaixo sugere a organização das etapas de projeto e seus objetivos:

| | Objetivos | Entradas | Saídas |
|--------------------------|--|--|---|
| Estudo Preliminar | <ul style="list-style-type: none"> - Levantamento dos aspectos legais; - Levantamento de diretrizes técnicas, sobretudo as definidas em normas; - Formalização do layout arquitetônico, utilizando a malha de referência modular, condizente com o programa definido para o produto; - Determinação das tecnologias e soluções que serão adotadas nos subsistemas da edificação e em suas interfaces em conjunto com os demais agentes do processo de projeto. - Aprovação técnica e financeira do projeto por todos os envolvidos. | <ul style="list-style-type: none"> - Briefing; - Levantamento do terreno; - Estudo de massa; - Formação de equipe; - Legislação (código de obras, regras concessionárias e similares); - Normas a serem atendidas. - Seleção tecnológica do método construtivo, que validado em AE deve definir material e família de blocos. | <ul style="list-style-type: none"> - Estudo arquitetônico completo em malha modular, com pré-dimensionamento de vãos, atendendo aos requisitos legais e de normalização; - Estudo de modulação vertical; - Seleção tecnológica para os subsistemas; - Layout de pontos hidráulicos; - Layout de pontos elétricos; - Definição de acabamentos que impactem na altura do piso e espessura dos revestimentos; - Verificação e validação da etapa por todos os envolvidos. |
| Anteprojeto | <ul style="list-style-type: none"> - Elaboração de projeto preliminar para produção das alvenarias, com a compatibilização das demais disciplinas - Lançamento de pontos de reforços estruturais, se necessários (graute, cintas, armações); - Encaminhamentos de tubulações de instalações e compatibilização das interfaces. - Validação dos indicadores de projeto (possíveis nesta fase) | <ul style="list-style-type: none"> - Definições de acabamentos; - Definições de produtos e componentes adotados; - Definição da caixilharia e vãos executivos para sua instalação; - Layout de instalações aprovado; | <ul style="list-style-type: none"> - Aplicação dos princípios de racionalização e construtibilidade; - Solução para pontos de incompatibilidade encontrados; - Projeto preliminar de produção das alvenarias, com apontamento das interferências observadas entre as disciplinas; - Documentos projetuais de todas as disciplinas, verificados e aprovados conforme matriz de responsabilidades. |
| Projeto Executivo | <ul style="list-style-type: none"> - Compatibilização final e conclusão dos projetos detalhados; - Elaboração de detalhes executivos; - Elaboração dos projetos para produção (canteiro, formas, pré-moldados, esquadrias, etc.); - Validação dos indicadores de projeto. - Análise colaborativa da execução na interface projeto x obra. | <ul style="list-style-type: none"> - Análise e comentários de todos os projetistas sobre os documentos da etapa anterior, conforme definição da matriz de responsabilidades; - Escopo claro de fechamento da etapa para todas as disciplinas. | <ul style="list-style-type: none"> - Projetos executivos e de produção concluídos; - Manuais de especificações, técnicas e metodologias executivas para aplicação no canteiro; - Material de treinamento da equipe de canteiro. - Verificação e validação da etapa por todos os envolvidos |
| Implantação | <ul style="list-style-type: none"> - Implantação dos projetos no canteiro em protótipo; - Acompanhamento do uso de projeto pela equipe de execução, acertando pontos de conflito que serão absorvidos para ações corretivas de projeto em aspectos de falha, racionalização e construtibilidade adequadas ao canteiro; - Avaliação de indicadores de projeto; - Retroalimentação do processo de projeto. | <ul style="list-style-type: none"> - Projetos concluídos; - Manuais de implantação do projeto; - Treinamento da equipe de execução pelos projetistas; - Resoluções de implantação do canteiro que compitam aos projetistas. | <ul style="list-style-type: none"> - Análise crítica da implantação do projeto pelos projetistas, com a adoção em projetos das correções observadas durante a execução do protótipo; - Elaboração de <i>As built</i> de todas as disciplinas, formatando o material que irá constar do manual do proprietário e do manual de uso e ocupação (manutenção) da edificação; - Retroalimentação do banco de dados dos envolvidos. |

Quadro 4: Etapas de projetos em alvenaria estrutural em HIS unifamiliar e seus objetivos

Nota-se que no desenvolvimento de um projeto de alvenaria estrutural, por seu caráter altamente racionalizado, definições comumente incorporadas na fase de anteprojeto dentro

do sistema tradicional entram mais cedo no planejamento do projeto, a fim de não prejudicar a coordenação modular com a necessidade de ajustes posteriores.

Sendo a racionalização e a construtibilidade aspectos estruturais deste processo para se atingir os objetivos de produtividade, qualidade e economia do sistema de alvenaria estrutural, os projetos de produção, sobretudo o de alvenaria, tornam-se ferramentas indispensáveis para o planejamento da execução. Como exemplos mais usuais cita-se:

- Projeto de canteiro de obras, com programação e locação de estoque para permitir menor e melhor deslocamento no abastecimento de materiais, centrais de produção, manutenção dos produtos perante as intempéries e manuseio pelos funcionários, facilitando o controle das quantidades.
- Projeto de formas para pré-moldados, que com base nos detalhes elaborados planeja sua produção, transporte e acondicionamento;
- Projeto de produção de alvenarias e detalhe de pré-moldados, contendo planta de primeira fiada, do respaldo, as vistas da paginação de cada elevação, seus detalhes construtivos e as recomendações de execução;
- Projeto de chicotes elétricos, se houver;
- Projetos de kits hidráulicos, se houver.
- Projeto de esquadrias e contramarcos, se houver.
- Projetos de paginação e programação de cortes de revestimentos;

A determinação dos projetos de produção pode ser mais ou menos exigente, dependendo do grau de complexidade da obra e do canteiro.

Deve-se também mencionar a avaliação pós-ocupação feita pela equipe de projetos, colhendo informações do construtor no estágio pós-obra e do usuário após 1 ano de uso, agregando contribuições ao aprendizado e evolução contínuos no processo de projeto.

4.5 A gestão da informação no processo de projeto

O mapeamento do processo permite uma maior clareza do escopo de cada disciplina e o fluxo das informações do desenvolvimento do projeto. No entanto, a deficiência na integração da equipe e a troca de informações se mantêm como grandes responsáveis por erros e indefinições do projeto.

Anumba *et al* (1997 *apud* MELHADO *et al.*, 2005) identificam sete tipos de comunicação envolvendo agentes de projeto:

- Comunicação interdisciplinar, entre as ferramentas de cálculo e apoio ao projeto;
- Comunicação entre cada projetista e suas ferramentas computacionais (interface homem – máquina);
- Comunicação entre os membros da equipe de projeto;
- Comunicação entre cada disciplina e a coordenação;
- Comunicações entre as diferentes etapas de desenvolvimento do projeto;
- Comunicação entre a equipe de projeto e os agentes do empreendimento ou clientes;
- Comunicação interdisciplinar entre ferramentas de apoio ao projeto.

Para evitar perda de informações e ruídos de comunicação as equipes têm se utilizado cada vez mais dos meios eletrônicos, como ferramentas de gerenciamento de arquivos, armazenamento na nuvem, e-mails e demais ferramentas colaborativas que permitam o acompanhamento dos assuntos em pauta, suas soluções e documentação.

Ainda assim, a troca de informações necessita de um interveniente, geralmente o coordenador do processo, que não só acompanha o tratamento da informação, mas verifica e cobra continuamente a interatividade entre os responsáveis e a conclusão dos pontos debatidos. O modelo de informações pode ser centralizado, quando o coordenador recebe diretamente as informações e é responsável por dar andamento, sendo um intermediário que pode acompanhar e controlar toda a comunicação; ou livre, com a equipe trocando mensagens entre si, e o coordenador mobilizado perante situações de tomada de decisões ou solução de impasses (MELHADO *et al.*, 2005). Em ambos os casos, o perfil do coordenador e da equipe são determinantes na escolha da gestão de informação que se deve adotar para maior eficiência.

4.6 Matriz de responsabilidades

Uma ferramenta de grande utilidade no acompanhamento do desenvolvimento do projeto e na comunicação necessária entre as disciplinas é a matriz de responsabilidades, conhecida como matriz RACI, cuja sigla significa:

- R: Responsável por executar uma atividade (o executor);
- A: Autoridade, quem deve responder pela atividade, o dono (apenas uma autoridade pode ser atribuída por atividade);
- C: Consultado, quem deve ser consultado e participar da decisão ou atividade no momento que for executada;
- I: Informado, quem deve receber a informação de que uma atividade foi executada.

Para atribuir as responsabilidades R, A, C e I em diversas tarefas de um processo de projeto, cria-se uma tabela, onde as linhas correspondem às atividades e colunas aos papéis envolvidos. Abaixo, um exemplo de aplicação para projetos de AE em HIS:

| FASE / ENTIDADE OU DISCIPLINA | Cliente | Arquitetura | Estrutura | Elétrica | Hidráulica Demais | Especialidades | Execução |
|--|---------|-------------|-----------|----------|----------------------|----------------|----------|
| Concepção | | | | | | | |
| Definição do terreno | E | C | C | | | | |
| Programa e Escopo | E | E | I | I | I | I | I |
| Levantamento de diretrizes legais | I | R | I | R | R | I | |
| Estudo de Massas | A | R | C | C | C | C | C |
| Arranjo Arquitetônico em CM | A | R | R | I | I | I | I |
| Definição da Tecnologia Construtiva | A | R | R | C | C | C | C |
| Estudo Preliminar (Anteprojeto) | | | | | | | |
| Estudo arquitetônico modulado | A | R | C | C | C | C | I |
| Definição das esquadrias | A | R | | | | I | C |
| Estudo de modulação Vertical | | R | C | I | I | I | I |
| Lançamento de reforços estruturais | | A | R | I | I | I | C |
| Layout de pontos elétricos | A | R | I | A | I | I | C |
| Layout de pontos hidráulicos | A | R | I | I | A | I | C |
| Seleção tecnológica dos subsistemas | A | R | C | R | R | R | A |
| Definição de acabamentos | A | R | C | I | I | C | C |
| Validação de indicadores | A | R | R | | | | I |
| Validação da etapa | A | A | A | A | A | A | A |
| Projeto Executivo | | | | | | | |
| Projetos executivos | A | R | R | R | R | R | C |
| Compatibilização | | R | R | R | R | R | C |
| Manuais de especificações e metodologias | | R | R | R | R | R | R |
| Projeto de produção - alvenaria | | A | A | A | A | R | A |
| Projeto de produção - formas | | A | R | C | C | A | A |
| Projeto de produção - canteiro | | A | A | C | C | A | R |
| Projeto de produção - mapas de revestimentos | A | R | | | | | A |
| Projeto de produção - esquadrias | | A | | | | R | A |
| Metodologia de implantação | | R | R | R | R | R | R |
| Implantação | | | | | | | |
| Acompanhamento de implantação do canteiro | | R | R | R | R | R | R |
| Acompanhamento de implantação do protótipo | | R | R | R | R | R | R |
| Treinamento da equipe de execução | | R | R | R | R | R | R |
| Validação do protótipo | A | R | R | R | R | R | R |
| Validação dos índices de projeto | | R | R | R | R | R | R |
| As built | A | R | R | R | R | R | R |
| Retroalimentação do processo | I | R | R | R | R | R | R |

Quadro 5: Exemplo de matriz de responsabilidade RACI

| | | | | | | | |
|---|-------------|---|--------|---|--------------|---|-------------|
| R | Responsável | A | Aprova | C | É consultado | I | É informado |
|---|-------------|---|--------|---|--------------|---|-------------|

5. ANÁLISE DOS ASPECTOS CRÍTICOS NO PROCESSO DE PROJETO, IMPACTOS NA EXECUÇÃO E SOLUÇÕES DURANTE SEU DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO.

Muitos dos problemas que se apresentam durante a execução da obra são provenientes de pendências ou erros de responsabilidade do projeto, que vão desde deficiências nas informações à falta de planejamento tanto da execução quanto do canteiro.

Para definir o fluxo do desenvolvimento do projeto visando à construtibilidade é necessária a análise dos aspectos críticos comumente encontrados durante o processo, tanto do desenvolvimento do projeto em si, quanto dos da execução impactados pelo projeto. É a que se destina esse capítulo.

5.1 Definição do sistema construtivo e do programa

Fato: Um dos problemas mais frequentes em projetos de alvenaria estrutural é a necessidade de adaptação de um projeto já desenvolvido sem a coordenação modular à malha de referência, em muitos casos devido ao projetista não ter a experiência de projetar com o sistema, em outras situações pela contratação e/ou da aprovação do projeto nos órgãos públicos anteriormente à definição do sistema. Outra situação comum é a alteração do programa, que gera modificações de layout e interrompem o fluxo de projetos, gerando um retrabalho passível de falhas que pode, inclusive, influenciar no desempenho da edificação.

Isso gera consequências durante todo o processo de projeto que poderá apresentar incompatibilidades de difícil solução e problemas de adaptação na obra, impactando de forma negativa na produtividade por necessidade de improvisações que fogem ao sistema racionalizado e, muitas vezes, gerando desperdício de material. Resolver ambas as questões é primordial para a racionalização do sistema.

Proposta: O sistema construtivo é o primeiro item a ser definido num empreendimento que tenha a possibilidade de utilizar a alvenaria estrutural. Um projeto em alvenaria estrutural deve nascer da coordenação modular, relacionando as medidas de projeto com as medidas dos componentes, sendo essencial para a obtenção da racionalização. A definição da equipe

deve ter como premissa, sobretudo, a experiência dos projetistas envolvidos, evitando problemas de especificação ou falta de informações que prejudiquem a execução ou a qualidade do empreendimento. A escolha da família de blocos deve ocorrer ainda na fase de estudo preliminar, pois um sistema construtivo racionalizado não admite quebra de blocos ou outros tipos de ajustes.

5.2 Fluxo de informações

Fato: A deficiência no fluxo de informações em um processo de colaboração projetiva não é exclusividade de projetos em alvenaria estrutural, mas pode ter impactos ainda mais negativos nesse sistema construtivo que apresenta pouca flexibilidade para adaptações posteriores. Questões como falta de coordenação e comunicação entre as especialidades ou alterações de diretrizes durante o desenvolvimento do projeto, sobretudo após a fase de estudo preliminar, não prejudicam apenas o desenvolvimento do projeto mas, certamente, a qualidade da execução.

Proposta: A definição de uma coordenação forte, uma equipe experiente e um fluxo de informações eficiente devem ser premissas para o desenvolvimento de projetos em alvenaria estrutural. Ferramentas colaborativas, como gerenciadores de arquivo, reuniões de fechamento de etapa e controle de decisões e alterações no projeto devem nortear todo o desenvolvimento do projeto e também da execução. Estipular os objetivos das etapas de projeto e as informações esperadas dos projetistas em cada fase minimiza alterações, retrabalhos e imprevistos, favorecendo a confiabilidade das informações, do planejamento e, conseqüentemente, da execução, alcançando a eficiência que se espera do sistema construtivo.

5.3 Compatibilização de vãos e esquadrias

Fato: O mercado de componentes ainda é bastante resistente em trabalhar com medidas modulares que favoreçam a alvenaria estrutural com as devidas folgas de instalação, sendo a etapa de definição dos vãos o maior gargalo da modulação por impactar diretamente na distribuição dos blocos, no encaminhamento das instalações, na previsão de reforços estruturais e estar sob influência de um grande número de itens da construção, como

desníveis e acabamentos de piso (ou previsão para instalação pelo proprietário posteriormente), acabamentos de parede, locação em relação ao layout e dimensão de espaletas, além de apresentar diferentes medidas dependentes do material do batente ou contramarco e de seu modo de fixação. Todas essas variáveis resultam em medidas de vão osso diferentes, o que restringe uma possível troca de fornecedores e traz muitas necessidades de adaptação à modularidade.

Proposta: Quando o volume do empreendimento permitir a fabricação de caixilharia padronizada ao projeto sem custos consideráveis, evita-se boa parte dos problemas de compatibilização dos vãos com a alvenaria. Sendo, porém, necessário buscar caixilharia com padrões de mercado, um estudo minucioso dos vãos é essencial para uma boa produtividade, além de evitar desperdícios de ajustes na obra. Para possibilitar o sucesso na definição dessa interface, são necessárias definições prévias em:

- Existência e altura do contrapiso;
- Altura do revestimento de piso ou do intervalo aceitável para instalação;
- Espessura do acabamento na região dos vãos;
- Folga necessária para instalação do conjunto do componente;
- Reforços necessários para a instalação do conjunto do componente.
- Desníveis e soleiras, no caso das portas;
- Pingadeiras, no caso dos caixilhos.

Com esses requisitos estabelecidos é possível escolher o melhor sistema de estruturação dos vãos. A elaboração de detalhes construtivos para cada uma dessas definições será necessária não só para se determinar os vãos, mas para a instrução da sua correta execução no canteiro.

Muito importante especificar a caixilharia considerando uma eventual troca de fornecedores, de forma que o projeto e a execução não sejam prejudicados pelo fornecimento do componente.

Tanto no caso de caixilhos padronizados de mercado ou fabricados sob encomenda, sempre será vantajoso adotar a menor variação possível de tipologias, facilitando a logística do canteiro.

5.4 Compatibilização com a previsão de reforços estruturais

Fato: O dimensionamento estrutural poderá prever grautes e armações na alvenaria, verticais e horizontais, que não podem sofrer interferência dos demais subsistemas. Não é incomum que no canteiro as instaladoras se deparem com vergas, cintas ou pilaretes sem previsão de passagem das tubulações em projeto, impedindo a execução do encaminhamento, cuja adaptação em obra é bastante difícil e precisa envolver o calculista, gerando soluções adaptadas que, via de regra, ocasionando grande retrabalho e custos adicionais.

Proposta: O lançamento de pontos de graute e definição de fiadas das cintas, junto com o respaldo, devem ser lançados no anteprojeto e considerados pelos projetistas de instalações ponto a ponto, verificados e aprovados formalmente pelo coordenador, pelo projetista de alvenaria, bem como nas vergas e contravergas. Soluções de passagem dos encaminhamentos, quando inevitáveis, devem ser acordados entre o projetista de instalações e o calculista estrutural, com um detalhamento minucioso desses pontos em projeto para sua correta execução em obra.

5.5 Compatibilização das Instalações

Fato: Nota-se frequentemente a prática de rasgar a alvenaria para passagem de eletrodutos elétricos e/ou tubulações hidráulicas. Em muitos casos a execução é assim prevista em projeto, o que é um contrassenso. Essa prática, além de ir contra o conceito de racionalização prejudicando a produtividade e gerando grande desperdício, pode acarretar patologias à alvenaria.

Proposta: O projeto tem por obrigação solucionar o encaminhamento das tubulações desconsiderando totalmente a possibilidade de interferir na integridade da alvenaria. Na prática projetiva ou no mercado há alguns métodos construtivos que possibilitam a manutenção do conceito de racionalização na execução das instalações, que devem ser definidos no início do processo de projeto por necessitar, algumas vezes, de previsões que alteram a alvenaria ou o layout.

5.6 Fabricação, transporte e instalação de pré-moldados

Fato: A previsão de pré-moldados, principalmente os que não necessitam de cálculo (como os kits hidráulicos e outras peças de complementação) não detalham adequadamente as peças, que apresentam problemas durante a execução, prejudicando o andamento da mesma. Outro aspecto muito prejudicial na concepção dos pré-moldados é a desconsideração de sua fabricação no canteiro, estocagem, transporte e manuseio durante a instalação: formas complexas, falta de espaço adequado para produção e estocagem e peso excessivo para sua colocação pelo funcionário são queixas comuns em canteiros de alvenaria estrutural.

Proposta: Atentar para o processo de fabricação do pré-moldado e seu peso é fundamental na programação destas peças. Sempre que possível, a fabricação de um protótipo pode elucidar dúvidas e apontar correções necessárias. A verificação da central de produção, quando no canteiro, também é responsabilidade da interface do projeto com a obra, de modo que formas, estocagem e transporte devem ser validados pela engenharia de execução. Por fim, o protótipo da unidade habitacional deve ter uma análise cuidadosa dos pré-moldados, adotando de forma urgente ações corretivas que se façam necessárias.

5.7 Planejamento de canteiro

Fato: A improvisação de peças no canteiro através de cortes e quebras é sintoma de falta de material próximo, pois o tarefeiro evita parar sua produção. Muitas vezes, a má armazenagem dos componentes causa queda de mini pallets inteiros, quebrando a maioria das peças: nesses casos, a previsão foi feita, mas o material fica inutilizado por ser armazenado de forma inadequada.

Proposta: Projetos de logística de canteiro, com previsão de armazenagem em local plano e transporte facilitado, além da previsão adequada de material para a conclusão dos serviços próximo ao tarefairo, têm se tornado cada vez mais frequentes, sendo uma ferramenta de interface projeto x implantação muito eficaz nesse sentido.

5.8 Deficiência de projetos e utilização

Fato: Detalhes de difícil execução ou de difícil interpretação também podem gerar improvisações no canteiro, que para facilitar a produção decide adaptá-los através de quebra de peças, uso excessivo de massa, alteração da modulação e amarrações. Soluções inéditas também não são sempre bem recebidas, e por sua experiência no sistema o mestre ou tarefairo decidem, por conta própria, alterar o detalhe proposto.

Proposta: Nesse quesito, há duas possibilidades a considerar. A primeira, envolvendo o construtor na aprovação dos detalhes e aplicando um treinamento de leitura de projeto, atentando a equipe de campo sobre boas práticas de construção em alvenaria estrutural e pontuando os detalhes mais complexos, enfatizando a importância de sua execução conforme foram concebidos.

A segunda, analisando os pontos de maior complexidade de execução conjuntamente com a equipe de execução, absorvendo suas opiniões sempre que coerentes com o objetivo proposto: isso não só pode facilitar a execução, mas também gerar uma relação de confiança mútua entre a equipe de projeto e a de execução, que abrem um diálogo importante para implantar melhorias e retroalimentar o processo de projeto.

Testar qualquer inovação antes de adotar o detalhamento do projeto é altamente desejável. Não sendo possível, verificar em protótipo, dando margem para adaptações que não prejudiquem o projeto.

6. ESTUDO DE CASO I

A incorporadora atua no ramo de construção de habitações de interesse social do programa *Minha Casa, Minha Vida* no estado de São Paulo.

O canteiro foi visitado em novembro de 2015. A implantação tem previsão para 1250 unidades de habitações unifamiliares térreas no interior do estado, com metragem aproximada de 45,0 m² e sistema de blocos estruturais cerâmicos da família de 11,5cm.

A execução do sistema de alvenaria estrutural foi dividida por duas construtoras, para cumprimento do cronograma de entrega.

O Construtor do 1º lote seguiu o projeto elaborado pela construtora, utilizando blocos inteiros de 29 cm. Nota-se uma série de problemas de execução nas unidades em questão:



Figura 29: Execução de contraverga em bloco canaleta, com irregularidades
FONTE: acervo pessoal



Figura 30: Execução de verga em bloco canaleta, com escoramento
FONTE: acervo pessoal

No geral, a execução dos vãos são pontos bastantes críticos: o detalhe previsto para a execução das contravergas prevê a instalação posterior de uma pingadeira pré-moldada, o que exigia grauteamento até a altura do friso solicitado na moldagem dos blocos tipo canaleta especialmente para essas situações, que posteriormente seriam quebradas para receber a pingadeira. A fragilidade do friso gerou muitas quebras durante o manuseio dos blocos, que deverão ser corrigidas com massa posteriormente, o que pode ocasionar patologias.



Figura 31: Execução de verga de porta em bloco canaleta e escoamento de graute
FONTE: acervo pessoal

A escolha de execução das vergas em blocos tipo canaleta gerou um problema bastante comum nesse método: o escoamento do graute pelas juntas entre os blocos, criando uma nata entre o escoramento e o bloco que, posteriormente, necessitará de uma etapa de retirada, o que é um retrabalho que impacta na produtividade.

Ainda nesta imagem notam-se problemas de execução das juntas, que apesar de não estarem previstas no projeto de modulação utilizado, não tinham fiscalização durante a execução. Por isso a importância da interface do projeto x canteiro, orientando a equipe sobre a importância de seguir a metodologia proposta.



Figura 32: Rasgos para instalações

FONTE: acervo pessoal

O projeto previa rasgos na alvenaria para passagem de instalações, e no contexto do projeto esses pontos não trariam problemas estruturais, pois a estrutura apresenta pontos de graute e cinta superestimados. Observa-se na figura acima que a equipe de execução, no entanto, considerou um corte vertical que deveria parar à meia altura do piso ao respaldo, o que inutiliza a função do graute desta quina da casa, um dos mais importantes para enrijecimento do conjunto. Abaixo, o rasgo do bloco além do necessário.



Figura 33: Rasgos para instalações

FONTE: acervo pessoal

A figura abaixo ilustra outro ponto onde houve rasgo para instalações hidráulicas, mas com a abertura maior do que a necessária. Situações como essa necessitam de grande quantidade de argamassa para efetuar o enchimento, podendo ocasionar fissuras no revestimento posteriormente, além de onerar os custos. Prever esse tipo de solução no projeto, como recomendam as boas práticas, evitam esses imprevistos e garantem a qualidade necessária para a obtenção das vantagens que o sistema oferece.



Figura 34: Quebra da alvenaria para passagem de eletroduto em etapa posterior à programada

FONTE: acervo pessoal

Nas figuras acima há um erro de execução muito comum: o eletroduto instalado após a execução da alvenaria, necessitando de quebra em intervalos regulares para concluir o encaminhamento. Nestas situações o erro não foi de projeto, e sim um problema de processo de obra, que não realizava checagens estratégicas durante a execução. A previsão de procedimentos de conferência após a execução da 3ª fiada e antes do grauteamento do respaldo na especificação do método construtivo poderia ter evitado este tipo de problemas.

Com a possibilidade de visitar o canteiro com algumas das unidades concluídas na primeira fase, o construtor do 2º lote solicitou algumas alterações para ganhar produtividade e melhorar a qualidade da execução:

- Adoção blocos inteiros de 39cm, o que gerou a necessidade de remodelar o projeto, mas ofertou ganho na produtividade;
- Troca das vergas em bloco canaleta por pré-moldadas, evitando a pausa necessária para grauteamento da fiada no método anterior, ganhando produtividade e evitando o problema de escoamento do graute observado na 1º lote. As contravergas foram mantidas até a análise do protótipo.



Figura 35: Visão geral da execução da fase 2
FONTE: acervo pessoal

As sugestões foram bem recebidas pela incorporadora que notou um ganho de produtividade entre 5 e 10% mas, sobretudo, qualidade. Paredes mais regulares em prumo e planicidade, erguidas conforme o planejamento do projeto revisto, evitando quebras e enchimentos derivados de improvisações, ofertam ganhos na etapa de revestimento tanto no aspecto produtivo quanto no econômico, por consumir menos material para nivelamentos e ajustes. A avaliação da incorporadora é de que a contratação de uma construtora mais comprometida com todo o processo construtivo, intervindo no projeto através de análises sob o aspecto da construtibilidade, adotando melhores soluções tecnológicas e com uma equipe de campo mais especializada rende ganhos consideráveis na gestão do processo e no produto final.

7. ESTUDO DE CASO II

Desde 2006 a FIESP – SINDICERCON (Sindicato da Indústria da Cerâmica para Construção do Estado de São Paulo) disponibiliza um espaço em seu STAND na Feira da Construção de São Paulo (FEICON BATIMAT) para promoção do setor cerâmico através da construção do protótipo de uma habitação unifamiliar de 56m² executada sob os princípios da coordenação modular, utilizando alvenaria cerâmica estrutural, com o objetivo de promover o setor cerâmico, expondo a alta produtividade e mínimo desperdício de material que o sistema pode oferecer se executado visando a produtividade e a construtibilidade.



Figura 36: Casa Cerâmica - 2010

FONTE: www.casaceramica.com.br Acesso: 01/02/2016

Nascida de um sistema de coordenação modular, sempre se apresentou como um sistema bastante eficiente. Nos primeiros anos a execução de toda a alvenaria estrutural, da 1ª fiada ao respaldo, durou apenas 3 dias.

O projeto foi sendo divulgado no meio da construção civil, e o surgimento de novos parceiros gerou melhorias progressivas ao protótipo, que em 2011, com um novo parceiro responsável pela execução e gestão da alvenaria, diminuiu o tempo de execução da alvenaria para notáveis 12 horas.

Para esse ganho, foram revisados os seguintes pontos do projeto original:

- Um pesado investimento de tempo para o estudo da logística, que resultou numa série de projetos de produção possibilitando uma execução contínua, com todas as soluções previamente estudadas para ganho de produtividade dentro de métodos de qualidade testados e comprovados;
- Revisão do projeto de modulação original, melhorando pontos de difícil execução do protótipo;
- Troca de vergas e contravergas executadas em blocos tipo canaleta para pré-moldados leves de concreto, que não necessitavam de pausas na execução da alvenaria modulada;
- Adoção de um sistema de caixas elétricas de encaixe, com furações executadas com serra copo;



Figura 37: Casa Cerâmica - 2015

FONTE: www.casaceramica.com.br Acesso: 01/02/2016

Nos anos seguintes, com o efeito aprendido e correções pontuais observadas nas edições anteriores, a execução da alvenaria foi sendo realizada em tempos cada vez menores e com qualidade superior, tendo sido executada na última versão, da marcação ao respaldo, em apenas 5h e 30m.

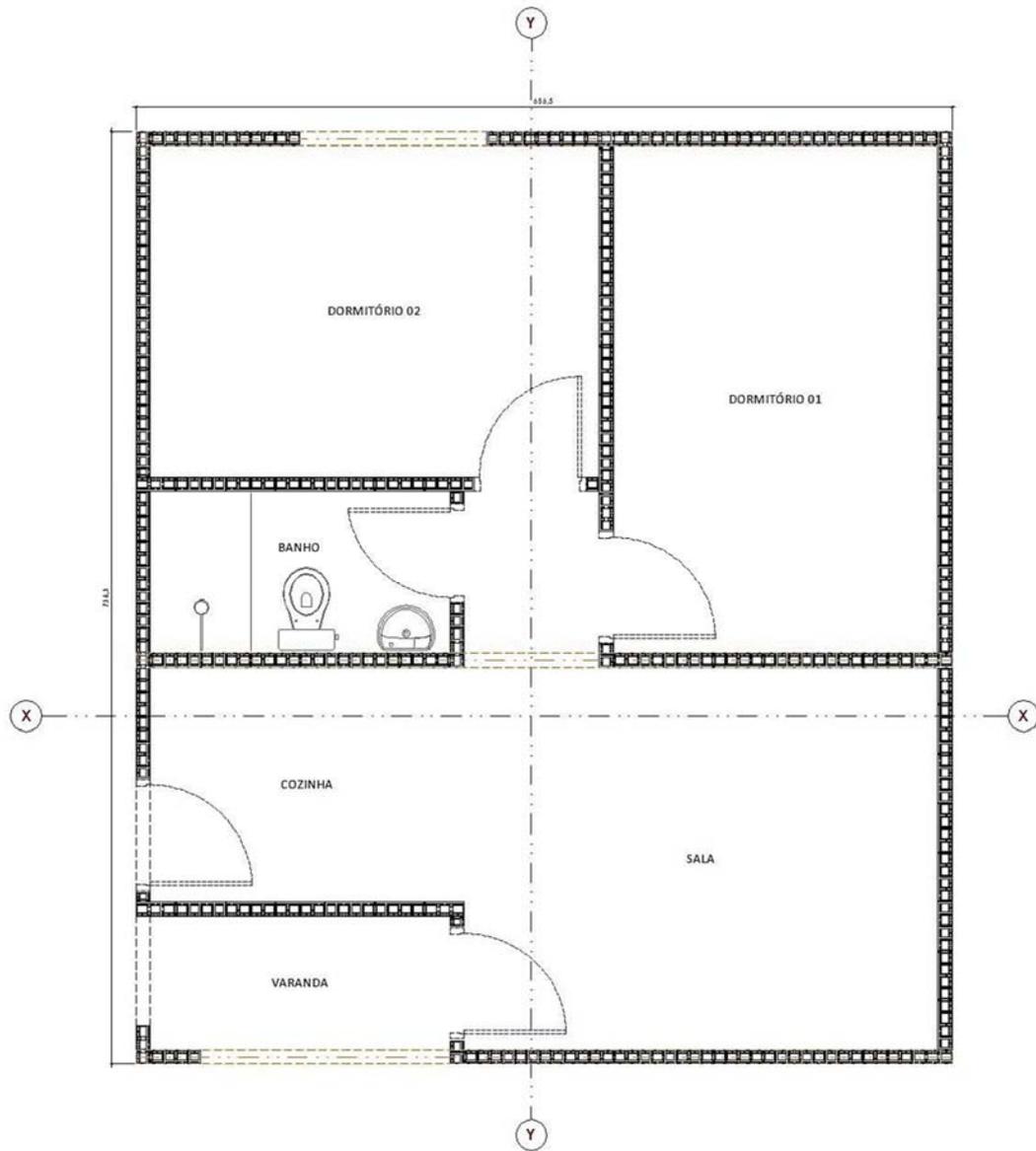


Figura 38: Planta do projeto Casa Cerâmica - 2015
FONTE: www.casaceramica.com.br Acesso: 01/02/2016

O sucesso do protótipo se deve em grande parte ao processo do projeto, com um envolvimento constante entre todos os fornecedores que solucionaram, juntos, cada detalhe da execução e, claro, à equipe de campo bem treinada, seguindo rigorosas metodologias de execução, utilizando com atenção um projeto bem resolvido, sem a necessidade de improvisações.

8. CONCLUSÃO

A construção civil no Brasil ainda é bastante pautada pela cultura da adaptação, proveniente de sistemas artesanais de baixa qualidade, baixa produtividade e muito desperdício de materiais. Apesar do grande número de artifícios tecnológicos disponíveis no mercado e estimativas muito animadoras de ganhos de produtividade e pouco desperdício de material baseadas em pesquisas e aplicações já comprovadas, constata-se na maioria dos canteiros uma lacuna entre o produto desejado e o executado, refletindo em cronogramas não cumpridos, orçamentos estourados e qualidade do produto inferior à esperada, notadas pelos usuários finais nas manutenções necessárias ainda dentro do prazo de garantia das construtoras.

O mercado de habitações populares, detentor de grande crescimento nos últimos anos, surge como uma oportunidade de evolução do setor. Os grandes canteiros de residências unifamiliares executadas em alvenaria estrutural, sobretudo as térreas, possibilita aplicação de uma tecnologia consolidada no país, oferecendo profissionais de planejamento e produção de excelência, além de materiais de grande qualidade. É um cenário favorável à análise dos pontos de maior dificuldade encontrados na adoção de boas práticas que garantam um projeto satisfatório, cada vez mais próximo do produto final.

Adotando esse contexto como objeto de pesquisa, foram levantadas todas as etapas relevantes, do projeto à execução, que pudessem influenciar de forma positiva no produto requerido pelo empreendedor.

Nota-se que um projeto coordenado modularmente traz muitas vantagens como ferramenta projetiva, auxiliando na integração e compatibilização das disciplinas, resultando numa drástica redução de imprevistos e adaptações na obra, que se refletem no aumento de produtividade aliado pouco desperdício de materiais.

Tão ou mais importante que a ferramenta da coordenação modular é o envolvimento da equipe, que deve ter profundo conhecimento não só em sua disciplina, mas entender das interfaces e do processo executivo de forma global, o que é indispensável dentro de um processo de um projeto destinado a grandes canteiros com muita repetição.

A análise do processo de projeto voltado à alvenaria estrutural aplicada em habitações de interesse social unifamiliares térreas mostra diversas particularidades que devem ser consideradas para esse sistema em relação aos processos tradicionais, destacando-se tomadas de decisão antecipadas para favorecer a racionalização e a necessidade de uma forte integração da equipe de projeto com o canteiro, num processo de evolução contínua do projeto.

O primeiro estudo de caso esclarece que um projeto, ainda que compatibilizado por uma equipe experiente no sistema, sempre se depara com erros de execução recorrentes se não houver uma forte integração com as equipes de campo e com a adoção de medidas corretivas desde o início de sua implantação. A entrada da construtora do 2º lote exemplifica bem como uma análise técnica minuciosa por uma equipe experiente e comprometida com todo o processo pode colaborar de forma significativa com a evolução da metodologia, acrescentando novos conhecimentos a todos os envolvidos, inclusive aos que dominam a técnica construtiva.

O segundo estudo de caso ilustra como um processo de projeto bem coordenado, com grande integração da equipe que tenha, por sua vez, um objetivo comum de buscar as melhores práticas aliando tecnologia ao conceito de construtibilidade é capaz de atingir resultados notáveis em um sistema já tão explorado no setor, expondo seus potenciais.

Para tanto, uma equipe multidisciplinar, experiente e comprometida, que envolva o empreendedor e o construtor desde a etapa inicial do projeto torna-se premissa no processo de desenvolvimento, que deverá observar as particularidades do sistema para conduzi-lo às soluções mais adequadas com foco na construtibilidade. Ou seja: uma mudança de postura projetiva, com um forte envolvimento de todas as especialidades, visando sempre à integração do projetado à realidade, factível, num esforço constante para melhorar a organização, a logística, a limpeza, a facilidade de execução, de leitura de projeto pelo executor, o detalhamento de todos os pormenores e sendo um suporte indispensável durante a execução.

9. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873**: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010. 9 p.

_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais. Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann; GREVEN, Hélio Adão. **Introdução à Coordenação Modular da Construção no Brasil: uma abordagem atualizada**. Porto Alegre: ANTAC, 2007. 72p (Coleção Habitare, 9). ISBN 978-85-89478-23-6

BARBOZA, Aline da Silva Ramos *et al.* - **A técnica da coordenação modular como ferramenta diretiva de projeto**. Porto Alegre: Revista Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 97-109, abr/jun 2011.

BARBOZA, Aline da Silva Ramos *et al.* - **Alternativas para Habitação de interesse social empregando os princípios da Coordenação Modular com vistas à construção sustentável**. Recife: V Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (ELECS), Outubro 2009.

CORBUSIER, Le – **Por uma arquitetura**. 7ª edição. São Paulo: Perspectiva, 2014. 248p.

CORRÊA, Márcio Roberto Silva; MAMEDE, Fabiana Cristina – **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 8, n. 33, p. 1-27, 2006. 27p.

CAVALHEIRO, Odilon Pancaro – **História da Alvenaria: tão antiga e tão atual**. Disponível em: <<http://www.ceramicapalmadeouro.com.br/downloads/cavalheiro1.pdf>>. Acesso em: 25/01/2016

FRANCO, Luiz Sérgio; OHASHI, Eduardo Augusto M. – **Fluxo de Informação no Processo de Projeto em Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Boletim Técnico – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001. 22p.

GRABARZ, Regina Candeloro – **Contribuição para o Emprego de Portas Modulares em Projetos de Alvenaria Estrutural**. São Carlos: Tese (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, 2012. 285p.

LACERDA, Pedro Amar Ribeiro – **Estudo comparativo entre um orçamento convencional de construção e um orçamento com a utilização de Coordenação Modular: Aplicação em alguns serviços de uma residência unifamiliar de classe média baixa**. Porto Alegre: Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia UFRGS, 2005. 87p.

MAMEDE, Fabiana Cristina – **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural**. São Carlos: Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia USP São Carlos, 2001. 187p.

MELHADO, Silvio Burratino *et al.* - **Coordenação de projetos de edificações**. 1ª ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005. 115p.

SABBATINI, Fernando Henrique – **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo: Tese (Doutorado) – Escola Politécnica Universidade de São Paulo, 1989. 321p.

RAMALHO, Márcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. – **Projeto de edifícios de Alvenaria Estrutural**. 1ª ed. São Paulo: Editora Pini, 2008. 183p.

ROSA, Wilhelm – **Arquitetura Industrializada: a evolução de um sonho à modularidade**. São Paulo: Tese (Mestrado) – FAU-USP, 2006. 90p.

ROSSO, Teodoro - **Teoria e Prática da Coordenação Modular**. 1ª ed. São Paulo: FAUUSP, 1976. 223p.

_____ - **Racionalização na Construção**. 1ª ed. São Paulo: FAUUSP, 1980. 300p.

SABBATINI, Fernando Henrique – **Alvenaria Estrutural: Materiais, execução da estrutura e controle tecnológico**. 3ª revisão. Brasília: Cartilha - CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2003. 37p.

TAMAKI, Luciana – **Construção Fácil: Autor desmistifica a alvenaria estrutural, fala dos avanços nos projetos para a classe média e rebate as críticas sobre desempenho e patologias.** São Paulo: Técnica nº 158, Maio/ 2010. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/158/artigo287747-2.aspx>> Acesso em 21/01/2016

TÉCNICO MÍDIA - **Como medir o nível de qualidade do seu empreendimento com base na construtibilidade do seu projeto.** Disponível em: <http://pmkb.com.br/artigo/> Acesso em: 21/01/2016

TAUIL, Carlos Alberto; NESE Flávio José Martins – **Alvenaria Estrutural.** 1ª ed. São Paulo: Editora Pini, 2010. 169p.

VIOLANI, Marco Antônio Falsi - **As instalações prediais no processo construtivo de alvenaria estrutural.** Londrina: Semina - Ciências Exatas e Tecnológicas nº4, v. 13 1992. p. 242-255.

ZECHMEISTER, Dóris - **Estudo para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil através do uso da coordenação modular.** Porto Alegre: Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia UFRGS, 2005.160p.