

SISTEMAS DE VEDAÇÃO EM ALVENARIA PARA EDIFÍCIOS DE ESTRUTURA METÁLICA: DETALHAMENTO COM BASE NA PREVENÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Masonry Wall Systems for Steel Buildings: Detailing Based in Pathological Problems Prevention

André Araujo¹, José Luiz Rangel Paes², Gustavo de Souza Veríssimo²

RESUMO O desempenho de edifícios quanto à durabilidade está relacionado com a característica dos projetos em prever sistemas, com vistas à condição de exposição ambiental para a qual estarão submetidos. O presente artigo apresenta uma proposta para o projeto de sistemas de vedação em alvenaria para edifícios de estrutura metálica, com o intuito de proporcionar um bom desempenho quanto à durabilidade da estrutura e da vedação. Como subsídio, avaliou-se o desempenho das alvenarias de três edifícios institucionais, recentemente construídos, por meio da história técnica de suas manifestações patológicas. Selecionaram-se edifícios com variações no tipo de vedação, no tipo de ligações alvenaria-estrutura e no tratamento dado às fachadas. Avaliaram-se as informações produzidas em projeto e a eficácia dos detalhes. A partir dessas informações, qualificaram-se as práticas adotadas e identificaram-se, dentro de uma sequência de procedimentos, ações preventivas ao surgimento das manifestações patológicas. Por fim, são apresentados os resultados da utilização dessas ações como norteadoras em um exercício de projeto.

PALAVRAS-CHAVE Patologia de construções, estrutura metálica, vedação em alvenaria.

ABSTRACT The durability performance of multi storey buildings of steel structure is closely associated to the executive project planning in order to provide systems which are exposed to external conditions. The aim of this research was to present a methodological proposal for the design of masonry veneer systems for steel structure of institutional buildings which present high performance regarding durability. In order to execute this proposal, the performance of the veneer system of three institutional buildings was evaluated through building pathologies examination. Buildings which presented variations on the type of connections between masonry and structure, the type of masonry veneer and the type of façades finishes were surveyed. Then, the designed information was confronted with the construction method applied for the masonry veneer details. The confrontation was used to identify procedures to assist the development of a masonry veneer design which aims to prevent pathologies in steel structure. Finally, a building project were developed using the proposed methodology in a practical design exercise.

KEYWORDS Building pathology, steel structure, masonry systems.

¹Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil

²Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil

How to cite this article:

ARAUJO, A.; PAES, J. L. R.; VERÍSSIMO, G. S. Sistemas de vedação em alvenaria para edifícios de estrutura metálica: Detalhamento com base na prevenção de manifestações patológicas. *Gestão de Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 27-45, jul./dez. 2013. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v8i2.80961>

Fonte de financiamento: CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior).

Conflito de interesse: Declaram não haver.

Submetido em: 26 fev., 2013

Aceito em: 22 nov., 2013

INTRODUÇÃO

Já há algum tempo tem havido um esforço, tanto no campo das pesquisas acadêmicas, quanto nos setores da indústria da construção civil, em incorporar aspectos próprios da racionalização industrial à produção de edifícios. No entanto, a utilização de alvenarias de vedação tem sido considerada um entrave nesse contexto, por diversos fatores, incluindo a velocidade de sua execução. Uma vez que o sistema de vedação está diretamente ligado à outros sistemas da edificação, sua execução também está associada à execução e montagem desses outros sistemas. Em alguns casos, é legítimo questionar o uso de alvenarias tradicionais em conjunto com sistemas estruturais de elevado nível de industrialização, tanto no âmbito produtivo, quanto em questões de fabricação e montagem.

Alguns aspectos culturais dão pistas sobre os porquês da opção por sistemas de alvenaria tradicionais, mesmo quando se utilizam estruturas de elevado rigor industrial. No Brasil, encontram-se exemplos de edifícios nos quais se utilizam perfis de aço laminado, de alta tecnologia produtiva, ligados diretamente a paredes de alvenaria de blocos cerâmicos. Certas limitações dessa prática são evidentes e, no centro da discussão, estão as formas de ligação entre os sistemas de vedação e os sistemas estruturais. Beall (1997) menciona a questão ao analisar a associação entre o detalhamento de estruturas e de sistemas de alvenaria. Para a autora, a aproximação entre os procedimentos de detalhamento tem reflexo direto na eficácia das ligações. Além da sinergia entre as informações, a aproximação das práticas conduz também à sinergia entre soluções.

Embora as práticas de detalhamento possam representar ganhos no processo de projeto, sua ausência não representa somente ausência de benefícios. Comumente, o detalhamento representa também uma medida de prevenção de manifestações patológicas nas construções. Após desenvolver alguns critérios para o detalhamento de estruturas de concreto, Souza e Ripper (1998, p. 17) argumentaram sobre essa prática da seguinte maneira:

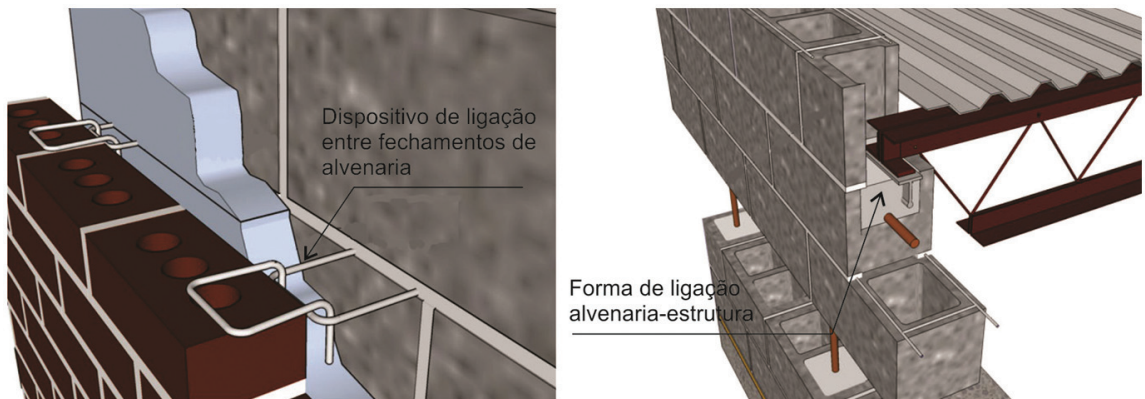
[...] Não será difícil perceber que estes critérios vieram criar uma verdadeira revolução na arte de construir, posto que implicam colocar, em um mesmo plano de importância, atividades tão diversas como cálculo, detalhamento, estabelecimento dos métodos construtivos [...]. Uma atividade antes relegada a segundo plano, e mesmo desconsiderada por calculistas e engenheiros de obra, como a do detalhamento, tem hoje a mesma importância que um novo software para análise estrutural, por exemplo. A razão é simples: ambas as atividades, isoladamente ou em conjunto, podem vir a ser determinantes para o fracasso da construção, entendendo-se como tal, uma queda no desempenho da mesma para abaixo dos níveis mínimos de satisfação, ou a redução da sua vida útil estrutural, ou ainda a necessidade de recurso a um gasto extra para garantir o desempenho da obra dentro de níveis satisfatórios.

A garantia de durabilidade da edificação pode ser considerada como a grande justificativa em se produzir um projeto de sistemas de vedação. No entanto, não há uma concordância clara sobre quando e como essas questões devem ser abordadas no processo de projeto. Nos casos em que as alvenarias estão envolvidas com a temática do design de arquitetura é comum que desde a concepção existam preocupações com os elementos de sua composição. Alguns projetos que buscaram conjugar aspectos da criatividade com a durabilidade são apresentados de maneira esmiuçada por

Laska (1993). Neles, se observam diferentes níveis de detalhamento da solução em diferentes etapas do projeto de arquitetura. Para o autor, a composição criativa de uma alvenaria resulta também do anseio do projetista em não comprometer a estética por uma queda de desempenho do sistema. Mesmo assim, pode-se perceber que os processos de criação e detalhamento não são de todo simultâneos.

Nos países de clima frio, as características das vedações em alvenaria são bastante distintas da maioria dos exemplos brasileiros. Plumridge e Meulenkamp (1993) e Matthys (1993) apresentaram exemplos de sistemas de vedação em alvenaria definidos com base nos fatores de comportamento térmico dos materiais. Em grande parte dos casos apresentados, as ligações foram estabelecidas por meio de experimentações. Dentre outros aspectos positivos, essa prática visa garantir que as propriedades térmicas dos materiais possam ser efetivamente consideradas. De maneira análoga, fatores relacionados ao comportamento estrutural são considerados, de modo a definir diferentes ligações entre estruturas e alvenarias. Na Figura 1 apresentam-se duas situações nas quais as ligações previstas consideraram o comportamento mecânico dos materiais e a geometria dos elementos.

Figura 1. Detalhes de sistemas de vedação em alvenaria. Adaptado de <http://www.masonrysystems.org>



No contexto brasileiro, os trabalhos sobre o processo produtivo dos sistemas de vedação têm focado, sobretudo, os aspectos da gestão do processo de projeto. Peña e Franco (2006) propuseram um método denominado “Projeto para Produção de Vedações Verticais (PPVV)”, no qual foram desenvolvidas diretrizes de projeto com base em estudos de caso sobre as práticas de algumas empresas do mercado brasileiro. Também foi avaliada a possibilidade de inter-relação dessas diretrizes com as etapas dos projetos de arquitetura, engenharia, hidráulico e elétrico. A partir dos resultados, os autores concluíram que o desenvolvimento desse projeto específico em conjunto com as etapas executivas não representa o mesmo ganho, em termos de racionalização, que o desenvolvimento iniciado juntamente as fases iniciais dos outros projetos.

Outras pesquisas nacionais têm identificado, por meio de estudos de caso, importantes discontinuidades entre as informações produzidas pelos profissionais envolvidos no processo de projeto. Nessa linha, Lordsleem Junior e Melhado (2011) destacaram a ausência do emprego de manuais e normas técnicas nos processos de detalhamento das alvenarias. A falta de clareza nas

definições iniciais e nos objetivos de projeto é apontada pelos autores como as principais demandas para a melhoria dos processos. Além dos tratados para a produção dos sistemas de vedação não apresentarem clareza em sua abrangência, existem muitas dúvidas e mal entendidos, principalmente no que diz respeito aos níveis de detalhamento necessários.

Recentemente, as pesquisas da área de *building information modeling* têm procurado avançar nessa questão, que envolve, dentre outras coisas, a compatibilização entre a informação produzida. No entanto, não somente os problemas oriundos da integração da informação impactam a produção dos sistemas de vedação. Após um estudo de caso sobre as dificuldades de implementação do projeto de alvenaria no processo de projeto, Corrêa e Andery (2006) concluíram que existe uma dificuldade latente também na integração entre as soluções, o que autores denominaram de engenharia simultânea. De fato, no contexto dos países desenvolvidos, as soluções em alvenaria contam com vasto um banco de dados, para os diferentes sistemas estruturais, que é o caso, por exemplo, da associação *Masonry Society* nos Estados Unidos. Nesse contexto, a integração da informação tende a apresentar resultados muito mais significativos, pois consolida soluções previamente estudadas e estabelecidas.

No contexto brasileiro, algumas soluções que procuraram integrar alvenaria e estrutura metálica são apresentadas por Coelho (2004), que propõe desenhos técnicos para a produção de sistemas de vedação ligados a elementos estruturais. Nessa publicação, terminologias como “alvenaria desvinculada” são utilizadas com frequência para expressar a necessidade da previsão de dispositivos que permitem pequenas movimentações diferenciais entre os sistemas estrutural e de vedação. Existe, nesse caso, uma clara preocupação com a estabilidade horizontal e a transferência direta de esforços para as alvenarias. Além disso, em vários detalhes observam-se situações nas quais os sistemas de vedação desempenharam a função de elementos de proteção para as estruturas metálicas.

No presente artigo, apresenta-se uma proposta metodológica na qual se identificaram pontos cruciais e especificidades para o projeto de sistemas de vedação em alvenaria em edifícios de estrutura metálica. A partir da investigação de manifestações patológicas por meio de três estudos de caso, definiu-se uma sequência de procedimentos com vistas à orientar o design de novas soluções. Como objetivo, pretendeu-se resguardar essas soluções das situações que contribuem com a perda de durabilidade do sistema de vedação e, conseqüentemente, com a redução da vida útil estrutural. A fim de extrair conclusões sobre ações propostas, discute-se, em um exercício de projeto, em que os pontos levantados contribuíram com a solução obtida e como poderiam contribuir para o design de futuras soluções.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi dividida em três grupos de procedimentos: 1) avaliação de manifestações patológicas; 2) identificação de suas causas e origens; 3) exercício de projeto.

No primeiro grupo de ações teve-se como objetivo avaliar a relação entre as manifestações patológicas identificadas em edifícios selecionados e a solução de alvenaria adotada em cada um deles. Efetuaram-se os seguintes procedimentos:

- Seleção de três edifícios recentemente construídos com as seguintes características comuns: estrutura reticulada com pilares e vigas em perfis de aço soldado de seção I; laje mista com forma de aço incorporada

(*Steel-Deck*); diferentes sistemas de vedação entre si; que apresentaram manifestações patológicas nos sistemas estrutural e/ou de vedação;

- Inspeção geral e vistoria técnica: identificação das manifestações patológicas e produção de diagnósticos com base na metodologia proposta por Lichtenstein (1986) que, em síntese, sugere o levantamento das propriedades dos materiais utilizados, tais como, comportamento térmico, higroscópico e mecânico, etc.; a identificação das ligações alvenaria-estrutura verificando a vinculação entre os dois sistemas; e o registro das manifestações patológicas com exames visuais e medições.

No segundo grupo de ações, a partir de sequências de procedimentos como o PPVV proposto por Peña e Franco (2006), identificaram-se ações no processo de projeto que se relacionam diretamente com o surgimento de manifestações patológicas. Confrontaram-se os procedimentos de detalhamento utilizados nos projetos com os diagnósticos produzidos. Cada detalhe foi estudado separadamente e em conjunto. Com base nesse estudo, organizaram-se as informações em grupos e identificaram-se pontos fundamentais de tomada de decisão conforme sua relação com a durabilidade da edificação. Denominaram-se esses pontos de “ações preventivas” a partir das seguintes classificações:

- Detalhes construtivos que conduziram a soluções favoráveis à durabilidade: práticas positivas;
- Detalhes com funcionalidade atestada, mas que não favorecem a durabilidade: práticas que necessitam de complemento;
- Detalhes construtivos que conduziram a soluções contrárias à durabilidade: práticas negativas.

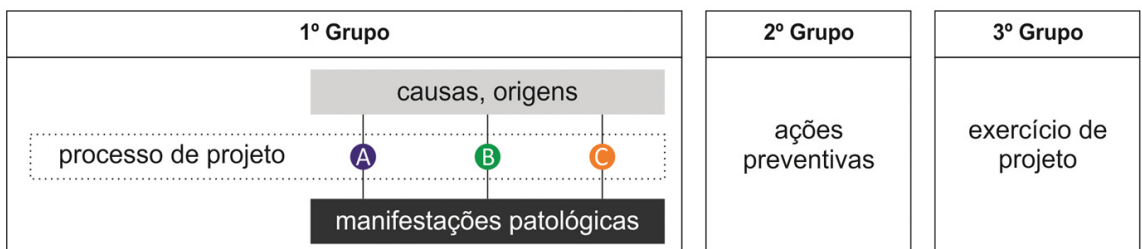
No terceiro grupo de ações efetuou-se um exercício de projeto, a fim de avaliar como as questões levantadas poderiam ser abordadas no processo de projeto de um edifício. Selecionou-se um edifício em estrutura metálica, em etapa inicial de projeto, com características de altura, de área e de função, semelhantes aos edifícios analisados no primeiro grupo de ações.

De maneira esquemática, mostram-se os três grupos de procedimentos utilizados (Figura 2), e seus resultados são discutidos nos itens que se seguem.

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Grande parte dos diagnósticos produzidos esteve relacionada com aspectos de estanqueidade e corrosão. Como consequência da atuação contínua desse processo, verificou-se a redução das seções transversais dos elementos estruturais, a deterioração das paredes, além de danos em outros sistemas como cobertura e pisos. Os detalhes de ligação entre os sistemas de vedação e os elementos estruturais metálicos foram os que mais apresentaram problemas, seguidos de arremates superiores (cume) e impermeabilização (base).

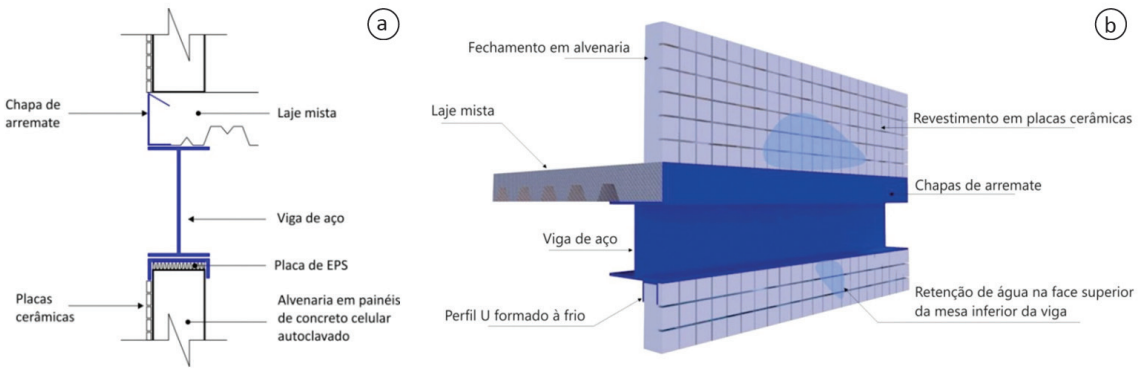
Figura 2. Síntese dos procedimentos de pesquisa utilizados.



EDIFÍCIO A (CONSTRUÇÃO FINALIZADA EM 2004)

Características do edifício: nas fachadas principais os elementos estruturais periféricos – viga de bordo, pilares e contraventamentos – se situam em um plano exterior ao do plano das alvenarias. Nas demais fachadas, vedação se situa no mesmo plano da estrutura, nesse caso, os contraventamentos interceptam a alvenaria. Nas ligações alvenaria-estrutura foram utilizados perfis “U” formados a frio soldados aos perfis estruturais para fins de encaixes das paredes. Por dentro dos perfis “U” foram fixadas placas de EPS, a fim de promover a desvinculação entre os dois sistemas. O sistema de vedação é composto por painéis de concreto celular autoclavado revestidos com placas cerâmicas (Figura 3a, b).

Figura 3. Disposição da estrutura e da alvenaria e alguns pontos de retenção de água verificados; (a) seção transversal; (b) perspectiva.



Com base nas evidências encontradas durante a inspeção geral, na vistoria técnica deu-se ênfase à avaliação das condições de exposição ambiental e à estanqueidade das interfaces. Observou-se que grande parte das manifestações patológicas detectadas foi causada pela entrada de água através das vedações. Identificaram-se as principais zonas de entrada de água por meio dos elementos mais deteriorados. Nas vigas de aço verificaram-se quantidades significativas de água retida na parte externa das mesas inferiores que, por se tratarem de superfícies horizontais, não permitem o seu completo escoamento, sendo eliminada praticamente através da evaporação ao longo do tempo. A penetração de água se deu, principalmente, pela incidência de chuva nas paredes das fachadas, atingindo o interior do edifício através das interfaces entre a alvenaria e a viga.

Figura 4. Manifestações patológicas identificadas na mesma parede; (a) descolamento de peças; (b) fungos em parede interna; (c) corrosão em parede interna.

Placas cerâmicas foram aplicadas sobre os painéis de vedação e sobre os perfis “U”. Em função da diferença de coeficiente de dilatação entre os materiais, foram gerados “estufamentos” e descolamentos do revestimento cerâmico (Figura 4a). Com o “estufamento”, a água ficou retida nos espaços

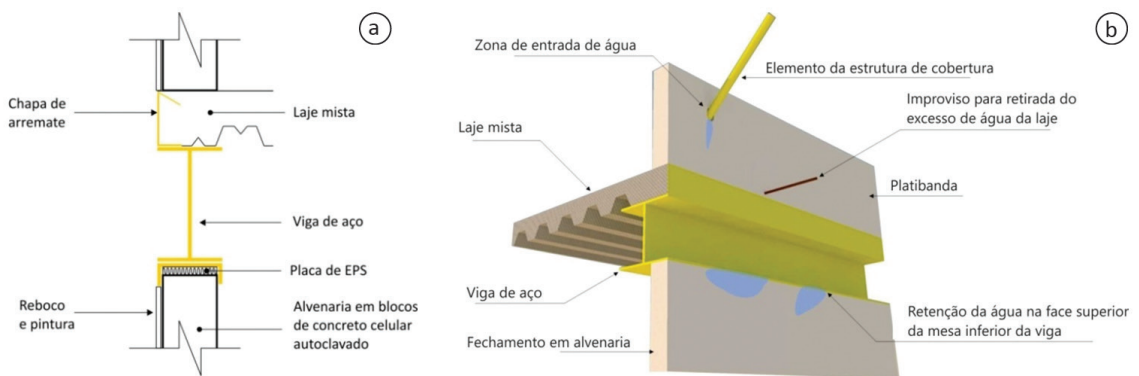


formados entre os painéis e o revestimento, promovendo o descolamento. Em decorrência da ausência de estanqueidade nas fachadas, diversas zonas de corrosão na estrutura foram detectadas. A partir das manchas de corrosão, pôde-se determinar o caminho percorrido pela água desde a sua incidência na fachada até o seu empoçamento. A borda inferior dos arremates da laje e a face superior das mesas inferiores das vigas são as regiões que apresentam maior grau de corrosão, além de concentração de mofo e fungos. A presença de umidade próxima às instalações elétricas tende a comprometer a vida útil deste sistema, além de gerar riscos de curtos circuitos e incêndios (Figura 4b, c).

EDIFÍCIO B (CONSTRUÇÃO FINALIZADA EM 2000)

Características do edifício: nas fachadas os elementos estruturais periféricos – viga de bordo, pilares e contraventamentos – se situam no mesmo plano das alvenarias. Nas ligações estrutura-alvenaria foram utilizados perfis “U” formados a frio soldados aos perfis estruturais para fins de encaixes das paredes. Por dentro dos perfis “U” foram fixadas placas de EPS, a fim de promover a desvinculação entre a estrutura e a vedação. O sistema de vedação é composto por blocos de concreto celular autoclavado externamente e paredes em gesso acartonado internamente. As paredes foram desvinculadas da estrutura com o auxílio de alguns detalhes construtivos que permitem sua movimentação. Nesse edifício, houve o desenvolvimento de um projeto específico para alvenaria (Figura 5).

Figura 5. Disposição da estrutura e da alvenaria e alguns pontos de retenção de água verificados; (a) seção transversal; (b) perspectiva.



Com base nas evidências encontradas durante a inspeção geral, na vistoria técnica observou-se a presença de manchas esbranquiçadas nos pilares metálicos com a tipologia típica de listras verticais. Os pilares estavam completamente secos e muitos deles eram pilares internos, isto é, não pertenciam à fachada. As manchas foram identificadas como sendo proveniente de tintas e massa corrida. Juntamente com a água escorrida por esses elementos, resíduos de revestimentos foram lixiviados das paredes. Isso reforçou a hipótese de que a água pluvial estaria retida em locais com camadas de revestimento para, só então, escorrer a outros locais. Na solução de cobertura foram utilizadas treliças metálicas tubulares para a sustentação do telhado. Alguns dos tubos dessa estrutura vazam a platibanda de alvenaria através de orifícios na mesma. Verificou-se um bom o estado de conservação dos elementos estruturais e as condições gerais das calhas e dos

tubos de queda. Contudo, por meio de cálculos de vazão, foi possível verificar a insuficiência da dimensão dos elementos responsáveis pelo escoamento. Manchas de água e a presença de limo nas laterais das calhas são indícios de retenção de água e dificuldades de escoamento.

A partir de observações em dias chuvosos, identificou-se a entrada de água para a parte interna do telhado por meio desses orifícios, os quais não receberam tratamentos para a sua estanqueidade. A água pluvial retida na superfície da laje leva longos períodos até ser evaporada naturalmente, por se alojar em frestas e pontos de difícil evaporação (Figura 6a). Parte da água retida é infiltrada através da platibanda e atinge as vigas de aço (Figura 6b). Nas vigas, a água ou estaciona nas mesas inferiores dos perfis, ou escorre ao longo da viga até atingir pilares e, posteriormente, as lajes. Em decorrência desse processo, diversas zonas de corrosão nas interfaces entre as vigas e as lajes foram detectadas (Figura 6c). Além dos danos provocados nos elementos suscetíveis a corrosão, algumas divisórias internas de gesso acartonado

Figura 6. Manifestações patológicas identificadas na região da cobertura; (a) fungos na cobertura; (b) indícios de umidade; (c) corrosão nas vigas.

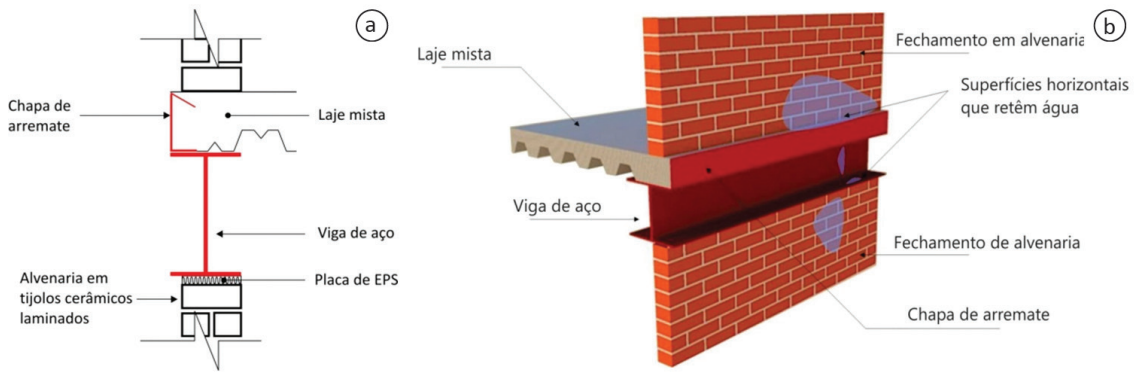


apresentaram fissuras de grande abertura dada a dilatação desses elementos em virtude da higroscopia do gesso. As fissuras abertas por esse processo se tornaram permanentes nos períodos secos.

EDIFÍCIO C (CONSTRUÇÃO FINALIZADA EM 1998)

Características do edifício: nas fachadas principais os elementos estruturais periféricos – viga de bordo, pilares e contraventamentos-se situam em um plano exterior ao do plano das alvenarias. Nas demais fachadas, a vedação se situa no mesmo plano da estrutura, neste caso, os contraventamentos interceptam a alvenaria. Nas ligações estrutura-alvenaria foram utilizadas placas de EPS. O sistema de vedação é composto de alvenaria aparente de tijolos cerâmicos laminados com furos verticais. Com base na avaliação de documentos formalizados da época de construção do edifício, verificou-se a existência *in loco* de um elemento de cobertura adicional no setor dos halls. Anteriormente, o projeto previa a utilização de laje impermeabilizada. Segundo relatos de usuários, a construção desse elemento foi motivada pela percepção de escoamento de água pelos pilares internos (Figura 7).

Com base nas evidências encontradas durante a inspeção geral, na vistoria técnica foi observada a entrada de água através da cobertura, além de retenção da mesma nos arremates das vedações. A água pluvial que incidiu sobre a laje penetrou os ambientes internos através de frestas em juntas de dilatação e se propagou aleatoriamente. A água pluvial que atinge as fachadas também fica retida na superfície externa das vigas e pilares, provocando a concentração de fungos e mofos nos mesmos. Em decorrência da retenção da água e da contínua presença de umidade, foram detectadas diversas zonas



de corrosão na estrutura. Nas fachadas, a laje de cada pavimento avança um pouco além da extremidade da parede. A água pluvial que incide sobre a fachada fica parcialmente retida nessa pequena borda e provoca a sua deterioração.

Observaram-se várias zonas de corrosão nos pilares. A água pluvial ficou retida nas superfícies horizontais desses elementos, dentre elas a base em concreto armado e os enrijecedores soldados às almas dos perfis. Tubos de escoamento de água pluvial foram posicionados próximos às bases dos pilares, o que contribuiu com a presença contínua de umidade nessa região. Ao longo do tempo, proliferaram-se fungos e mofos, que também contribuíram para a retenção da umidade e favorecem a corrosão. Nos acessos, as fachadas estão diretamente expostas às águas de chuva, sem marquises, o que provocou a deterioração das zonas inferiores das esquadrias metálicas. Também foram observados outros pontos de corrosão em elementos externos do edifício, que não possuem dispositivos de proteção contra intempéries. A avaliação, nesse caso, permitiu concluir que as manifestações patológicas se deram quase que exclusivamente pela ausência de detalhes construtivos que garantiriam a durabilidade dos elementos (Figura 8).

Figura 7. Disposição da estrutura e da alvenaria e alguns pontos de retenção de água verificados; (a) seção transversal; (b) perspectiva.

Figura 8. Manifestações patológicas em diversas partes do edifício; (a) infiltrações internas; (b) manta asfáltica danificada; (c) corrosão na base dos pilares.



AÇÕES PREVENTIVAS

Os procedimentos apresentados nesta sessão tiveram como objetivo identificar no processo de projeto algumas ações que contribuem com a prevenção de manifestações patológicas em edifícios de estrutura metálica. Possivelmente, alguns aspectos levantados poderão ter aplicações em projetos com outras características, no entanto é importante mencionar duas direções básicas que nortearam essa proposta: 1) se destinam às paredes planas vinculadas de algum modo à estrutura; 2) não possuem qualquer função

estrutural; 3) tem como foco principal o design que favoreça a proteção de elementos metálicos, contra intempéries, por meio dos sistemas de vedação. Buscou-se complementar os procedimentos já existentes na literatura com a sugestão de ações que impactam a durabilidade dos sistemas estruturais e de vedação. Mesmo assim, algumas características já estão relacionadas com a durabilidade e são entendidas como fundamentais às alvenarias de boa qualidade. Dessa forma, subentende-se os seguintes cuidados de antemão:

- Utilização de blocos certificados e de atestada procedência;
- Execução por mão de obra treinada;
- Racionalização no uso dos componentes com vistas à redução de desperdício;
- Inexecução de soluções sem planejamento;
- Seleção de blocos ou tijolo de mesma “família”, isto é, aos conjuntos com dimensões padronizadas e formatos diferentes, por exemplo, os blocos de canto e os blocos compensadores;

Do mesmo modo que os cuidados, algumas pré-definições são fundamentais e acontecem em um momento preliminar no processo de projeto. A definição de alguns aspectos da alvenaria, tais como: se será aparente ou revestida, se será ou não interrompida pela laje, se obedecerá uma repetição padronizada, são discussões que antecedem o projeto propriamente dito. Dentre elas, é importante atentar para os seguintes aspectos:

- *Definição dos critérios de estabilidade*: observar altura efetiva da alvenaria entre os elementos estruturais superiores e inferiores, o deslocamento máximo admissível para o caso de um bordo livre, e a esbeltez limite para o sistema;
- *Dimensionamento preliminar dos panos de alvenaria*: prever juntas de controle para garantir a integridade do sistema, considerando os critérios de estabilidade estrutural, os componentes, o módulo de elasticidade da alvenaria e a amplitude térmica da região.

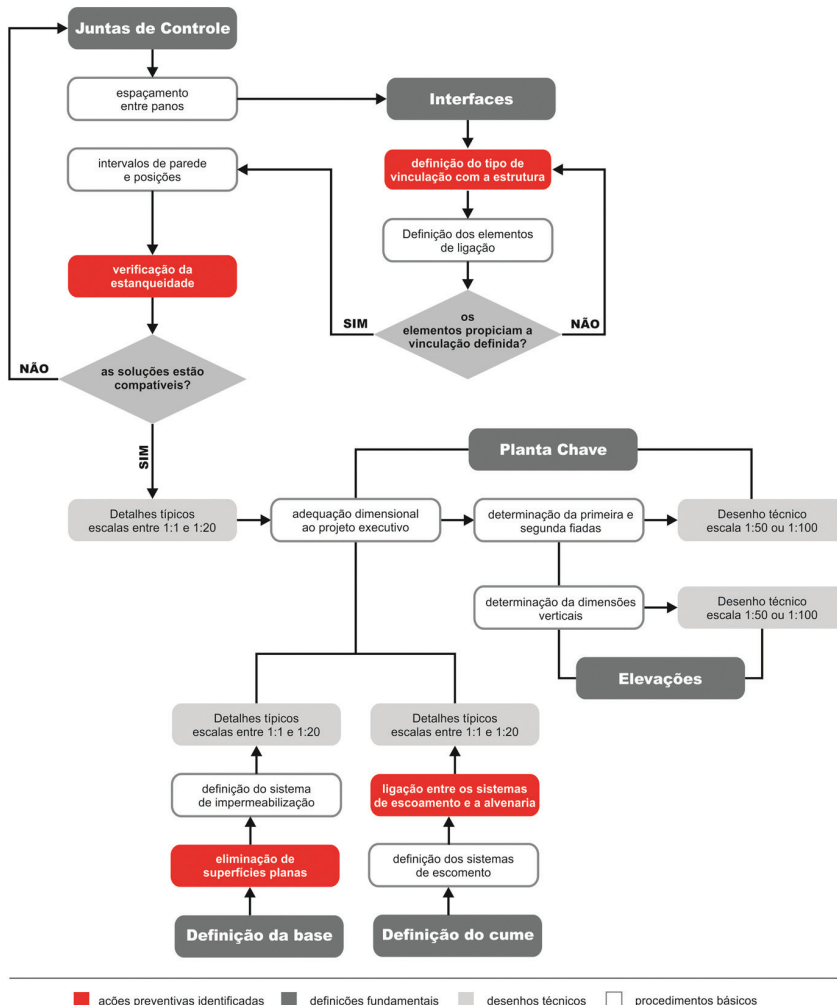
Por fim, a necessidade de compatibilização das informações produzidas nos projetos de alvenaria é também um fator determinante à produtividade e à qualidade das soluções produzidas. Dentre as ações que compreendem a compatibilização, destaca-se a atividade de sobrepor projetos e identificar possíveis interferências. As formas mais comuns dos procedimentos de compatibilização são: a integração de arquivos de diversas extensões em depositórios de compatibilização, ou as plataformas integradas no qual todos os profissionais atuam no mesmo modelo. O resultado de uma compatibilização bem sucedida são sistemas que ocupam espaços bem definidos e que não conflitam entre si. Além disso, os dados compartilhados apresentam consistência e confiabilidade durante todo o ciclo de vida de uma edificação.

Normalmente, um projeto de uma alvenaria de vedação conta com dois documentos base, que são a planta chave e a elevação. A planta chave trata-se de uma projeção cilíndrica ortogonal, em um plano horizontal, das primeiras fiadas de blocos ou tijolos. A partir dessa disposição, efetua-se uma elevação das paredes, que é o mesmo que a sua projeção vertical, no mesmo sistema de projeções. As interseções da alvenaria com as aberturas são definidas nesses procedimentos, quase sempre visando evitar quebras e recortes nos componentes. Os complementos da planta chave e da elevação são os detalhamentos. Basicamente, deve-se detalhar o cume e a base da alvenaria, com vistas às questões de escoamento de água e impermeabilização. Por fim, o procedimento se completa com a definição de juntas de controle e das interfaces alvenaria-estrutura, além de algum detalhe especial.

Em muitos casos, o detalhamento das juntas de controle e das interfaces alvenaria-estrutura não é apresentado em um desenho específico. No caso das juntas de controle, o conhecimento empírico e a tradição arraigados na prática brasileira da construção de alvenarias, fazem com que a sua informação seja deixada de lado no projeto, sendo preterida pela definição *in loco*. De maneira mais ou menos similar, as interfaces alvenaria-estrutura não costumam ser assunto dos projetos, pois, nas estruturas de concreto armado, tradicionalmente subentende-se uma vinculação direta da alvenaria com a estrutura. No caso dos edifícios em estrutura metálica é vital que no projeto de alvenaria de vedação apresentem-se detalhes esmiuçados das juntas e das interfaces. Além disso, a separação desses dois detalhes é fundamental, pois, de fato, os conceitos que balizam a suas soluções podem ter vieses completamente diferentes.

Portanto, há de se definir seis questões fundamentais: planta chave, elevação, cume, base, juntas de controle e interfaces. Embora em muitos casos de projetos de alvenaria, as plantas e elevações sejam produzidas em um primeiro momento, aqui, os detalhes devem ser produzidos primeiro. Isso porque, dependendo da solução adotada, as dimensões totais das paredes vão sofrer alterações significativas, entretanto, os espaçamentos necessários, principalmente para a ligação alvenaria-estrutura, devem ser rigorosamente respeitados. Na Figura 9 apresenta-se um fluxograma no qual

Figura 09. sequência de procedimentos para o projeto de um sistema de vedação em alvenaria.



se relacionam essas seis definições fundamentais. Com base no levantamento de manifestações patológicas, destacaram-se quatro ações nesse processo que impactam fundamentalmente a durabilidade da estrutura e do sistema de vedação.

- *A) Definição do tipo de vinculação com a estrutura*

A definição das juntas de controle se dá, basicamente, com base nos coeficientes de dilatação dos materiais componentes e em características climáticas do local de implantação. Além disso, nos edifícios de estrutura metálica, deve-se promover a desvinculação entre os panos de alvenaria, com o propósito de se permitir movimentações independentes. É desejável a utilização de materiais de preenchimento, como os compostos flexíveis, para fins de acabamento e vedação. Devem-se utilizar no máximo três tipos diferentes de tratamento, a fim de padronizar as soluções e evitar confusões de informação *in loco*. Uma situação conveniente é a utilização dos detalhes típicos, isto é, definir uma junta de controle padrão para várias situações semelhantes. Quanto maior a quantidade de informações, maior a possibilidade de existirem falhas na execução.

As ligações alvenaria-estrutura devem ser definidas em função do grau de vinculação entre os dois sistemas. Em virtude da esbeltez dos perfis metálicos, as ligações desvinculadas são consideradas as mais adequadas. Da mesma forma que para as juntas de controle, os compostos flexíveis são indicados para essas ligações. No entanto, a simples injeção desses compostos não garante uma ligação desvinculada na prática. Além da seleção do material de preenchimento, devem-se verificar a aderência do composto utilizado tanto pela alvenaria quanto pelo elemento estrutural. Da mesma maneira que as juntas de controle utilizam-se no máximo, três detalhes diferentes, embora possam haver adaptações do mesmo detalhe à diferentes situações. É comum a alvenaria estar ligada à alma ou à mesa dos pilares de seção I, dependendo da posição do eixo de maior inércia do pilar.

No documento técnico os detalhes devem aparecer com uma notação específica. Utilizam-se preferencialmente plantas e vistas e, quando necessários, cortes. As escalas adequadas são 1:1; 1:2; 1:5; 1:10 e 1:20. Nos detalhes específicos podem ser utilizadas escalas maiores, sem que se comprometa a sua compreensão. A demarcação dos detalhes típicos é feita nas plantas chave e nas elevações, por meio de um círculo com a posição do detalhe. Utiliza-se uma notação abreviada, seguida de numeração para identificar o detalhe, por exemplo, “DET01”, “DET02” etc. É conveniente que todos os detalhes típicos estejam presentes em todas as pranchas do projeto de alvenaria, se possível, na mesma posição da prancha.

- *B) Verificação da estanqueidade*

Primeiramente, verificam-se as partes do edifício que estão diretamente em contato com o solo, na maioria dos casos, as primeiras fiadas da alvenaria e as portas. A condição de exposição dos elementos da base do edifício são praticamente os efeitos de umidade relacionados à capilaridade, à condensação e por vazamentos no sistema hidráulico. A prevenção desses efeitos é a utilização de materiais impermeabilizantes nas fiadas inferiores. Outras verificações da estanqueidade em detalhes propostos requerem certo rigor e, muitas vezes, um conhecimento heurístico. Algumas soluções são encontradas em catálogos e manuais de empresas do setor siderúrgico, mas mesmo assim, os projetos possuem especificidades que nem sempre são contempladas por esses documentos. Uma das alternativas para se aferir a estanqueidade de um detalhe proposto é a produção de protótipos das definições finais. No processo de projeto, os protótipos podem ser produzidos em escala natural, utilizando-se inclusive os mesmos materiais

da execução final. A partir deles, testes como a exposição ao sol e a água fornecem informações valiosas para a proposição de uma nova solução. Procedimentos desse tipo têm um papel fundamental na medida em que, além do conhecimento construído por meio da experimentação, as soluções sejam catalogadas, seja por documentos de projeto, seja pela consolidação da prática pelo corpo de profissionais.

- *C) Ligação entre os sistemas de escoamento e a alvenaria*

Uma grande parcela dos problemas construtivos relacionados ao sistema de escoamento tem relação direta com falhas no sistema de cobertura. É fundamental a projeção conjunta de elementos de escoamento e os arremates superiores da alvenaria. De maneira geral, nos casos em que a edificação possui uma cobertura aparente, o arremate superior da alvenaria apresenta menor exigência de acabamento. Os cumes que merecem maior atenção são os que aparecem em telhados embutidos, em que a platibanda está exposta a intempéries. A geometria do arremate superior não deve promover o armazenamento ou escoamento de água pluvial. As formas mais adequadas são as que possibilitam caimento, como os elementos de seção triangulares. Quando se opta pela utilização de elementos de aço para os arremates, podem-se utilizar perfis dobrados de forma a permitir tal caimento. Além disso, deve-se prever o tratamento das emendas dos elementos de arremate, de modo a não produzir aberturas entre eles. Os detalhes típicos devem estar presentes junto às elevações.

- *D) Eliminação das superfícies planas*

Dentre as manifestações patológicas que apresentam maior rapidez no aumento dos níveis de corrosão estão relacionadas ao empoçamento de água pluvial. Em uma observação direta, a utilização de perfis I em vigas expostas à intempéries já subentende o empoçamento de água em sua mesa inferior. Por outro lado, isso não impossibilita o seu uso externo, desde que detalhes sejam previstos para essas superfícies. Casos comuns da produção de superfícies planas acontecem também quando a solução prevê as lajes interceptando o plano das alvenarias. As soluções que apresentam o melhor desempenho são as que preveem a laje em um plano interno à alvenaria. Nesse caso, a laje deve ser protegida por detalhes de escoamento previstos para essas regiões. No caso de pilares em contato direto com o solo, projeta-se uma base de concreto com geometria adequada ao escoamento de água, isto é, sem superfícies horizontais. A base de seção transversal trapezoidal está entre as melhores alternativas. A aplicação de materiais impermeabilizantes é necessária, tanto na base de concreto, quanto no pilar. Os detalhes desses elementos devem estar especificados na planta chave e nas elevações.

EXERCÍCIO DE PROJETO

Com base nos procedimentos descritos, desenvolveu-se o projeto de alvenaria para um edifício com as mesmas características dos edifícios apresentados no item 3. De acordo com a proposta básica de projeto, na área a ser construída, cerca de 4.800 m², se distribuíram três pavimentos para a alocação de laboratórios leves e pesados de engenharia, salas de aula e gabinetes de professores, além de outros ambientes de infraestrutura. De maneira conjunta com o projeto arquitetônico concebeu-se um sistema de vedação em alvenaria utilizando-se como princípio a alvenaria externa a estrutura metálica. A intenção projetual foi de utilizar a alvenaria com elemento de proteção da estrutura, a fim de se prevenir a ocorrência de manifestações patológicas ligadas à exposição ambiental de elementos estruturais metálicos.

Em princípio, especificaram-se predefinições para o sistema de vedação:

- Alvenaria predominantemente aparente, revestida em algumas regiões;
- Externa a estrutura metálica;
- Platibanda para embutimento dos telhados;
- Parede cortina, isto é, não interrompida pela laje;
- Tijolo maciço com dimensões de 19,0 cm x 9,0 cm x 5,7 cm.

Dada a especificidade da parede cortina, os critérios de estabilidade foram definidores de grande parte das características desse sistema de vedação. Definiu-se primeiramente a posição das juntas de controle com base em informações sobre os coeficientes de dilatação dos materiais e a incidência solar nas paredes. As dimensões dos panos de parede foram definidas em função das juntas de controle. Foram verificadas tensões de flexão na alvenaria em virtude da pressão de vento. Atestou-se com isso a necessidade de inserção de elementos para a estabilização da parede. Foram inseridos pilaretes e cintas de concreto dentro da alvenaria. Utilizaram-se também treliças planas inseridas dentro de algumas camadas de argamassa em regiões de maior sollicitação das paredes. Avaliou-se a viabilidade em se desenvolver um dispositivo para a ligação entre a alvenaria e a estrutura metálica.

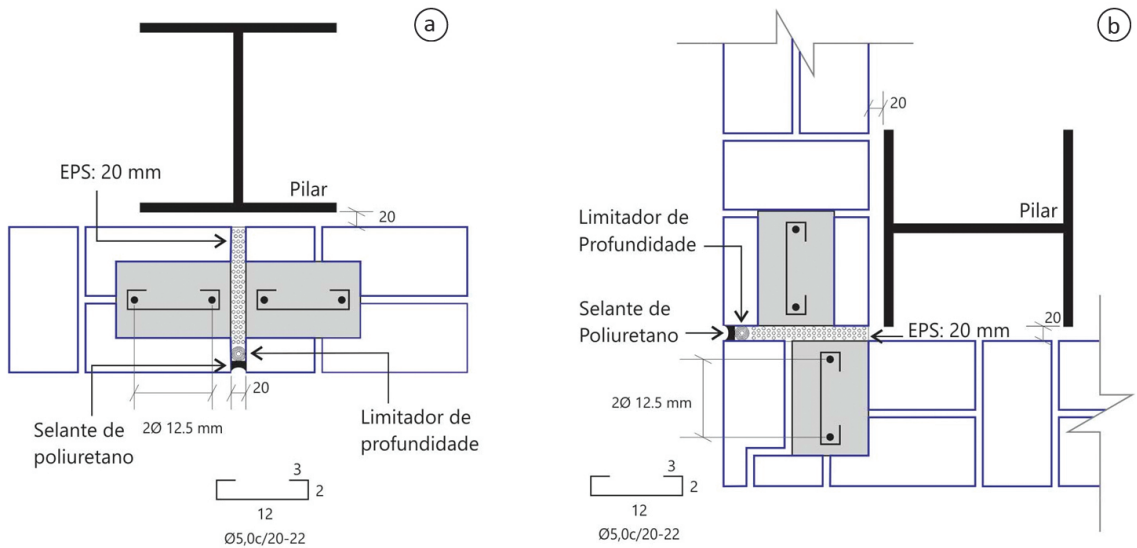
Para efeitos de verificação estrutural, considerou-se que as paredes se apoiam diretamente sobre as cintas de fundação. Ao longo de sua altura, as paredes estão contidas lateralmente com auxílio de dispositivos fixados nos níveis das lajes ou nos níveis das vigas de aço que as faceiam, o que permite limitar a esbeltez das mesmas ($\lambda < 24$). Ao longo de todas as paredes externas foram dispostas juntas de controle, limitando-se o comprimento dos panos. Para verificação da capacidade resistente da alvenaria foram consideradas as ações permanentes contidas no seu plano e as forças horizontais devidas ao vento que atuam no edifício. As ações variáveis atuantes no edifício são transmitidas diretamente à estrutura metálica do mesmo, que é independente da alvenaria. Devido à capacidade resistente à compressão da alvenaria, considerando a utilização de blocos cerâmicos, as paredes apresentam boa resistência aos esforços contidos no seu plano. Para melhorar o desempenho à flexão, oriunda de eventuais excentricidades do carregamento ou da ação do vento, foram introduzidas treliças aramadas para reforço, tipo Murfor, ao longo de sua altura.

Algumas informações foram obtidas de maneira conjunta com os projetos arquitetônico e estrutural. Do projeto de arquitetura, importou-se as dimensões verticais e posição das paredes. Do projeto estrutural, foram importadas as dimensões e posições de pilares, vigas e lajes. Definiram-se as dimensões exatas das paredes, considerando as dimensões dos tijolos, da argamassa e um pré-dimensionamento e posição de juntas de controle. Formando-se panos de alvenaria de aproximadamente 6 metros de comprimento. A partir dessa definição verificou-se a compatibilidade entre as informações produzidas com os demais projetos. Nos casos em que se identificam pequenas incompatibilidades, as informações foram assinaladas no projeto de alvenaria por meio de notações. Somente depois de compatibilizadas todas as informações foram efetuados os desenhos técnicos.

A partir dos estudos preliminares, iniciou-se o detalhamento das juntas de controle. Considerando a necessidade de rigidez da alvenaria, foi definido o sentido de assentamento dos tijolos segundo uma parede dobrada. Isso permitiu com que os pilares de concreto fossem projetados por dentro da alvenaria, ou seja, completamente enclausurados. Estes ficaram definidos como de seção transversal retangular de dimensões 200 x 100 mm e armados por duas barras longitudinais de 12,5 mm de diâmetro. Estabeleceram-se limites mínimos de 20 mm para as juntas de controle, de maneira que estas

tivessem funcionalidade tanto para a alvenaria quanto para os pilaretes. Nos sulcos das juntas de controle optou-se pela utilização de placas de poliuretano expandido (EPS) com a mesma largura de 20 mm. Para o acabamento, utilizou-se um selante de poliuretano, determinado a partir de testes de aderência com o material da alvenaria. Verificou-se a necessidade de utilização de um limitador de profundidade para que o selante de poliuretano se limitasse à face externa da junta de controle e não escorresse para dentro de sua abertura (Figura 10a). Além dos pilaretes, que são elementos verticais, foram inseridas

Figura 10. Detalhes típicos das juntas de controle em um pilar de fachada e em um pilar de quina.



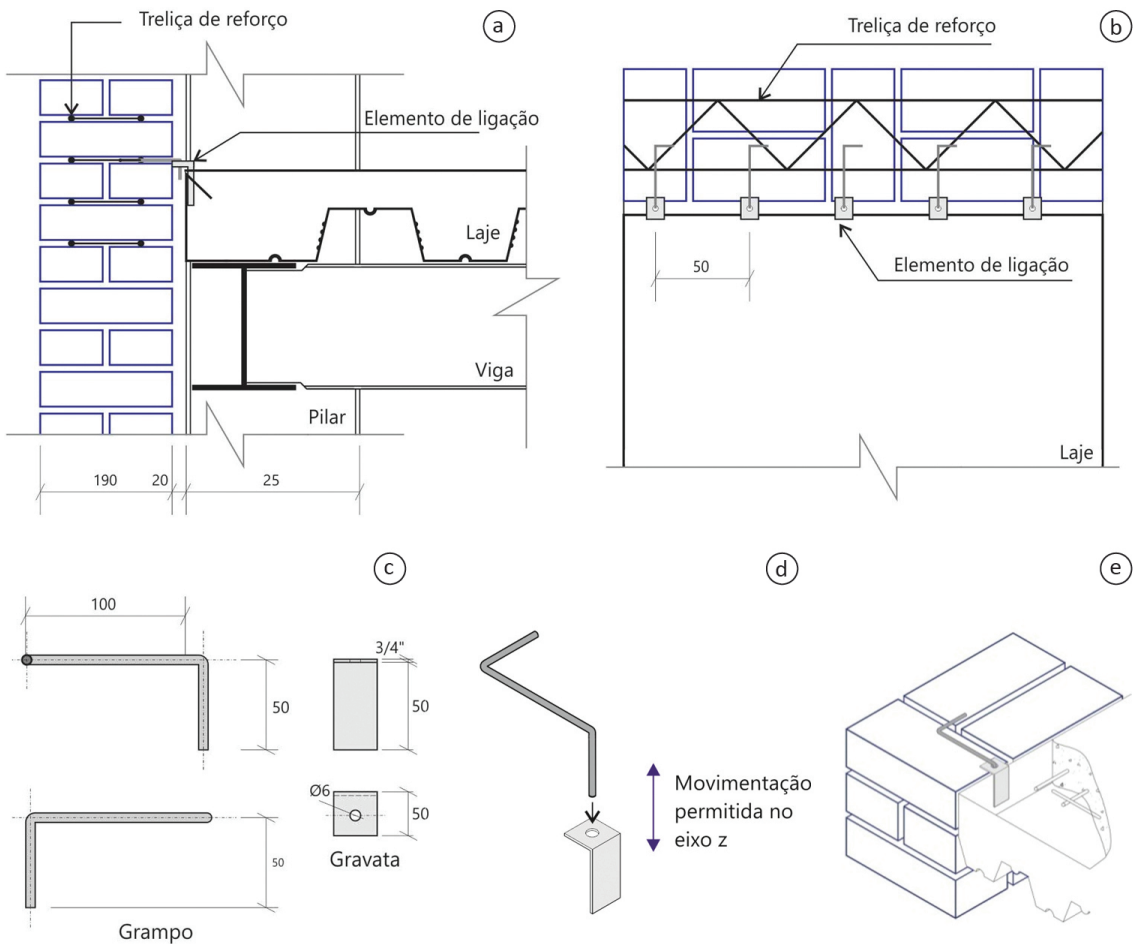
cintas horizontais. Os detalhes dessas foram alocados nas regiões das janelas já que havia a necessidade de vergas. As contravergas foram produzidas utilizando-se uma treliça metálica para reforço da alvenaria nas regiões com concentração de tensões devido às aberturas.

O detalhamento da ligação da alvenaria com a estrutura metálica se deu a partir de duas necessidades levantadas. Em primeiro lugar, sendo a parede cortina um elemento não interrompido pela laje, existia uma necessidade em aumentar a rigidez do sistema de vedação por meio de uma conexão com a estrutura. Em segundo lugar, pretendia-se produzir uma forma de ligação desvinculada, de maneira que esta permitisse o deslocamento independente entre os sistemas e, ao mesmo tempo, não transferisse os esforços ocasionados por deslocamentos da estrutura para a alvenaria. No projeto arquitetônico, previam-se três lajes com faces superiores nas alturas de 3,00 m, 6,80 m e 10,40 m. Em termos estruturais, estas eram lajes mistas do tipo *Steel Deck*[®] de 75 mm de altura efetiva, com a altura total da laje de 120 mm.

A partir dessas características, definiu-se que os dispositivos de ligação entre a alvenaria e a estrutura seriam fixados nas lajes. Desse modo, a parede cortina teve três pontos de apoio nas alturas mencionadas acima, o que diminuiu sua esbelteza. Dentre as opções de fixação na laje, decidiu-se por evitar grandes interferências no procedimento de concretagem. Determinou-se a fixação dos elementos por meio de solda à face interna das chapas de arremate. Na alvenaria, a execução avaliada como menos interferente foi a inserção do dispositivo entre nas camadas de argamassa. Em ambas as opções,

tinham-se ligações rígidas. A solução para promover a desvinculação foi propor um elemento composto por duas peças desvinculadas. Na alvenaria utilizou-se um fio de arame com diâmetro de 5 mm dobrado segundo três eixos ortogonais entre si com dimensões de 50 mm, 100 mm e 50 mm, denominado por grampo. Na laje, utilizou-se uma chapa dobrada em “L” denominado por gravata e, em uma das superfícies, produziu-se um furo com 6 mm de diâmetro para a inserção do grampo. Desse modo, eventuais deformações da laje não foram transmitidas para a alvenaria, tendo em vista a liberdade de movimento no sentido vertical. Ao mesmo tempo, o dispositivo não permitia a liberdade de movimento no plano horizontal, funcionando assim como apoio para a alvenaria. Os dispositivos foram dispostos na laje de 500 em 500 mm. Assim, em um vão de 6000 mm entre as juntas de controle, tinham-se 11 dispositivos. A distância entre a alvenaria e a estrutura foi de 20 mm (Figura 11).

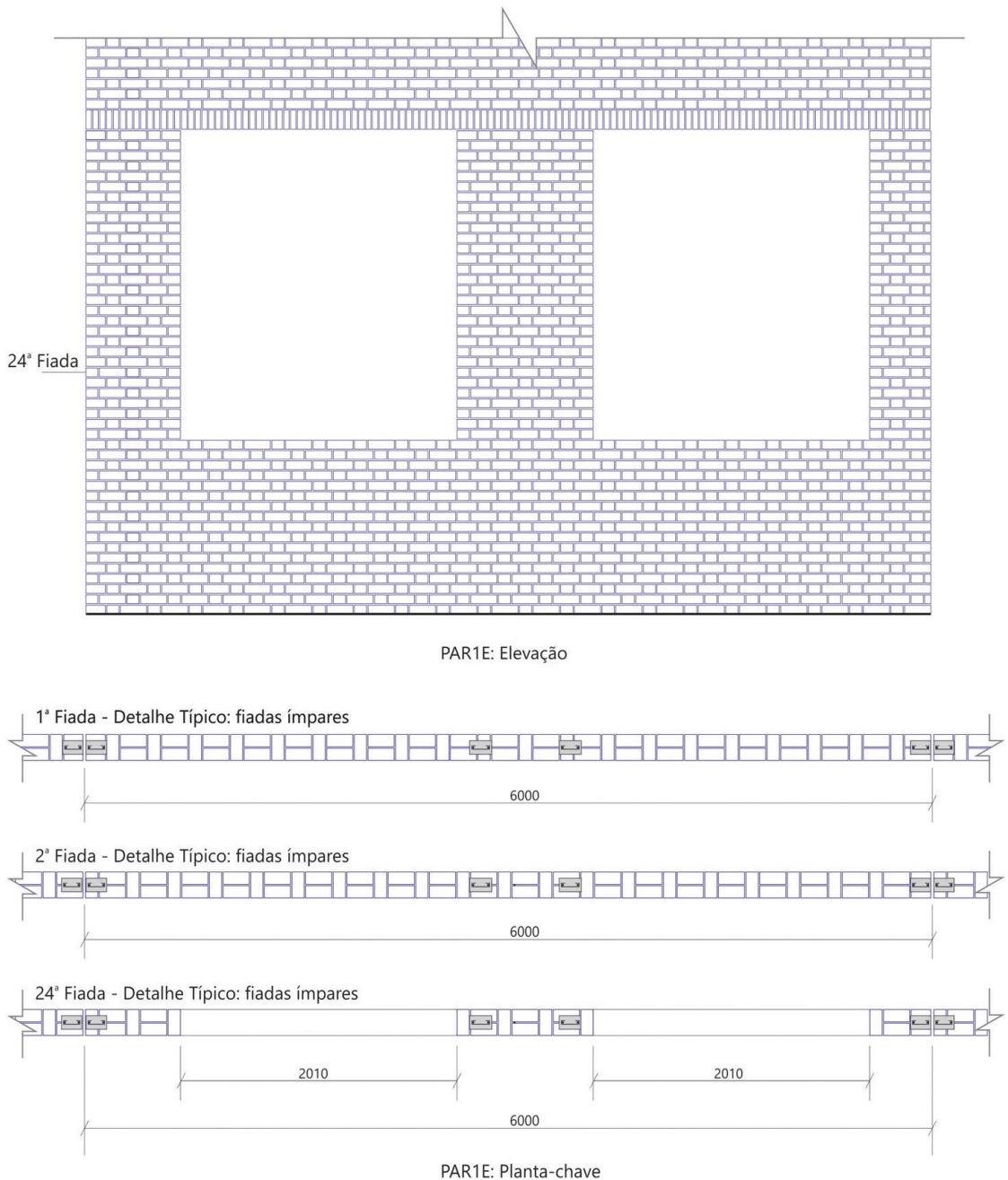
Figura 11. Detalhe típico da ligação entre a alvenaria e a laje.



Detalhadas as juntas de controle e as ligações alvenaria-estrutura, alocaram-se as mesmas ao longo das paredes nas posições necessárias utilizando-se a planta baixa de arquitetura como referência. Ajustaram-se as fiadas nas quinas de paredes, buscando proporcionar a redução máxima de seção de tijolos. Nomeou-se cada intervalo de parede com a nomenclatura

adequada a sua identificação. Elaboraram-se desenhos de fiadas adicionais para os casos em de variação das fiadas ímpares e pares, como na interrupção das fiadas padrão por aberturas. Ajustaram-se as dimensões das aberturas nas fachadas de modo também a minimizar a seção de tijolos. Determinaram-se a altura das paredes tendo em vista que o projeto apresenta diferentes níveis de piso, o que levou a diferentes alturas das paredes. Definiu-se o posicionamento das vergas, contravergas e pilaretes, inseridos na alvenaria. Determinaram-se as regiões de aplicação da treliça plana a ser inserida na argamassa entre as fiadas. Na Figura 12 apresenta-se o trecho da planta chave denominado PAR1E, seguido de sua respectiva elevação.

Figura 12. Detalhes típicos das juntas de controle em um pilar de fachada e em um pilar de quina.



A sistematização de procedimentos conduziu a uma solução fundamentada na avaliação racional de partes específicas que influenciam diretamente a eficiência da alvenaria. Complementarmente, os estudos de caso possibilitaram identificar particularidades dos sistemas estrutural e de vedação e, principalmente, da interação entre eles. A análise dos detalhes permitiu identificar inviabilidades e desenvolver soluções potencialmente eficientes. Considera-se uma restrição dessa proposta metodológica, a relação da alvenaria com outros sistemas além do estrutural. No entanto, a estratégia analítica em focar os temas durabilidade e detalhamento constituíram-se em uma ferramenta crucial entendimento e produção das soluções apresentadas. Os procedimentos aqui propostos podem ser somados a outras considerações dentro do processo de projeto.

CONCLUSÃO

Por toda a análise de manifestações patológicas, acredita-se que uma grande parcela dos problemas relacionados à corrosão nos edifícios de estrutura metálica tem origens no detalhamento de projeto. Em relação às ações que visam a garantia de durabilidade dos edifícios, entende-se que a sua eficácia está diretamente relacionada a uma abordagem mais incisiva pelas normas e diretrizes. Além dos processos, existe também uma demanda por tratados sobre as soluções que garantam a durabilidade da estrutura metálica. Os principais desafios em sistematizar essas soluções é estabelecer as melhores formas de se promover a desvinculação entre alvenaria e estrutura. A ausência de rigor, principalmente nessa parte do detalhamento, pode comprometer as avaliações de desempenho nos edifícios. Isso impacta a opção projetual de arquitetos e engenheiros pelas estruturas metálicas, já que muitas vezes, os problemas são erroneamente atribuídos à estrutura e acabam por contribuir com uma visão equivocada sobre a sua durabilidade. De maneira mais consistente, é correto afirmar que os edifícios de estrutura metálica são efetivamente mais suscetíveis à ausência de detalhamento de projeto em comparação com os edifícios em concreto armado. O que jamais deve ser confundido com uma vulnerabilidade desse sistema estrutural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que, por meio do programa CAPES/REUNI, financiou a presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BEALL, C. **Masonry design and detailing**: for architects, engineers and contractors. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 613 p.
- CORRÊA, C. V.; ANDERY, P. R. P. Dificuldades para a implementação de projetos para a produção de alvenaria: um estudo de caso. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 104-125, nov. 2006.
- COELHO, R. **Interface entre perfis estruturais e laminados e sistemas complementares**. 3. ed. São Paulo: Gerdau-Açominas, 2004. 63 p. (Coletânea do uso do aço, v. 1).
- LORDSLEEM JUNIOR, A. C.; MELHADO, S. B. Análise de escopo do projeto para a produção da alvenaria de vedação. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 3-14, maio 2011.
- PLUMRIDGE, A.; MEULENKAMP, W. **Brickwork**: architecture and design. London: Studio Vista, 1993. 224 p.

LASKA, W. **Masonry and steel:** Detailing Handbook. Chicago: Aberdeen Group, 1993. 218 p.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções.** São Paulo: EdUSP, 1986. (Boletim técnico, n. 06/86).

MATTHYS, J. H. (Org.) **Masonry designers guide boulder.** American Concrete Institute, 1993. PMCid:PMC1421810.

PEÑA, M. D.; FRANCO, L. S. Método para elaboração de projetos para a produção de vedações verticais em alvenaria.

Gestão e Tecnologia de Projetos. São Paulo, v. 1, n. 1, p. 126-153, nov. 2006.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

Correspondência

André Araujo, a.araujo@fec.unicamp.br
José Luiz Rangel Paes, jlrange@ufv.br
Gustavo de Souza Veríssimo, gustavo@ufv.br