

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

JOSÉ VICTOR DE CARVALHO LISBOA

PATOLOGIAS NAS CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL

**JOÃO PESSOA
2019**

JOSÉ VICTOR DE CARVALHO LISBOA

PATOLOGIAS NAS CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação
em Engenharia Civil da Universidade
Federal da Paraíba, como parte do
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Germano
Toscano de Moura**

JOÃO PESSOA

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L769p Lisboa, Jose Victor de Carvalho.
Patologias nas construções em alvenaria estrutural /
Jose Victor de Carvalho Lisboa. - João Pessoa, 2019.
71 f. : il.

Orientação: Paulo Germano Toscano Moura.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Alvenaria. 2. Estrutural. 3. Patologia. 4.
Intervenção. I. Moura, Paulo Germano Toscano. II.
Título.

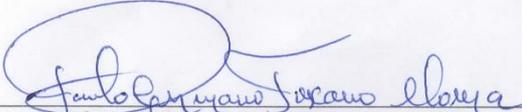
UFPB/BC

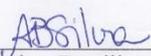
FOLHA DE APROVAÇÃO

JOSÉ VICTOR DE CARVALHO LISBOA

PATOLOGIAS EM CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Trabalho de Conclusão de Curso em 10/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

| | |
|--|-----------------|
|  Prof. Dr. Paulo Germano Toscano Moura Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB | <u>Aprovado</u> |
|  Prof. Dr. Enildo Germano Tales Ferreira Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB | <u>APROVADO</u> |
|  Prof. Dr. Ubiratan Henrique de Oliveira Pimentel Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB | <u>APROVADO</u> |


Prof.^a Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre escutar minhas preces, me dar forças para realizar meus objetivos e me amar incondicionalmente.

Aos meus pais, por todo amor, ajuda e incentivo, por sempre acreditar no meu potencial.

À minha irmã, por sempre confiar no meu sucesso, me auxiliar e servir de exemplo de estudo e vida acadêmica.

Aos meus amigos, pelos momentos de apoio e descontração.

Ao meu orientador, professor Dr. Paulo Germano Toscano Moura, pelo tempo dedicado, vasto conhecimento compartilhado e disposição exemplar para sempre me ajudar no que fosse preciso.

“A vitória é sempre possível para a
pessoa que se recusa a parar de lutar.”

Napoleon Hill

RESUMO

A alvenaria é utilizada desde os primórdios da humanidade para a construção de edificações, mas era construída com base em conhecimento empírico. Com a evolução tecnológica e o avanço das pesquisas científicas, o sistema construtivo em alvenaria estrutural se desenvolveu bastante, alcançando um nível de racionalização e otimização que o torna uma alternativa bastante viável em relação aos sistemas estruturais convencionais, principalmente pela economia. Entretanto, patologias construtivas que acometem ao sistema continuam a aparecer, por motivos que vão desde a concepção deficiente do projeto a falhas na execução do processo executivo. O trabalho faz uma descrição do sistema construtivo, apresentando os principais aspectos relativos ao seu processo de construção, além de mostrar as principais manifestações patológicas que surgem na alvenaria, discutindo suas origens e causas, bem como as técnicas de intervenção estrutural que podem ser empregadas para reabilitar as estruturas danificadas.

Palavras-Chaves: Alvenaria; Estrutural; Patologia; Intervenção.

ABSTRACT

Masonry has been used since the earliest days of mankind for the construction of buildings, but was built on empirical knowledge. With the technological evolution and the advance of scientific research, the structural masonry system has developed a lot, reaching a level of rationalization and optimization that makes it a very viable alternative in relation to conventional structural systems, mainly by the economy. However, constructive pathologies that affect the system continue to appear, for reasons ranging from the poor conception of the project to failures in the execution of the executive process. The work describes the construction system, presenting the main aspects related to its construction process, besides showing the main pathological manifestations that arise in the masonry, discussing its origins and causes, as well as the structural intervention techniques that can be used to rehabilitate damaged structures.

Palavras-Chaves: Masonry; Structural; Patology; Intervention.

LISTA DE SIGLAS

a.C: Antes de Cristo;

d.C: Depois de Cristo;

GPa: Gigapascal;

m: Metros;

mm: Milímetros;

MPa: Megapascal;

NBR: Norma brasileira registrada;

PRF: Polímeros reforçados com fibras.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Pirâmides de Gisé, Basílica de Santa Sofia e Coliseu | 16 |
| Figura 2 - Edifício Monadnock em Chicago | 17 |
| Figura 3 - Edifícios em alvenaria estrutural utilizados para os estudos | 18 |
| Figura 4 - Condomínio Central Parque da Lapa (a) e Edifícios de 12 pavimentos no Condomínio Central Parque da Lapa (b) Edifício Muriti (c) Edifício Jardim Prudência (d) Edifício Solar das Alcântaras (e) | 19 |
| Figura 5 - Unidades estruturais..... | 20 |
| Figura 6 - Tipos de bloco cerâmico..... | 21 |
| Figura 7 - Tipos de blocos de concreto..... | 21 |
| Figura 8 - Argamassa de assentamento | 22 |
| Figura 9 - Grauteamento da alvenaria | 23 |
| Figura 10 - Disposições da armadura na alvenaria | 24 |
| Figura 11 - Dimensões da unidade..... | 25 |
| Figura 12 - Famílias 29 e 39 dos blocos de concreto | 26 |
| Figura 13 - exemplo de amarração em parede (a) tipo "L" (b) tipo "T" | 26 |
| Figura 14 - Retirada do excesso de argamassa em bloco de alvenaria com colher de pedreiro | 30 |
| Figura 15 - Aplicação de argamassa com palheta..... | 30 |
| Figura 16 – Aplicação de argamassa com bisnaga | 30 |
| Figura 17 - Esticador de linha | 31 |
| Figura 18 - Fio traçador de linhas | 31 |
| Figura 19 - Caixote para argamassa | 32 |
| Figura 20 – Régua de prumo e de nível..... | 32 |

| | |
|---|----|
| Figura 21 - Esquadro | 33 |
| Figura 22 - Escantilhão metálico..... | 33 |
| Figura 23 – Nível alemão..... | 34 |
| Figura 24 – Nível a laser..... | 34 |
| Figura 25 - Andaime metálico | 35 |
| Figura 26 – Pavimento preparado | 35 |
| Figura 27 - Uso do projeto executivo | 36 |
| Figura 28 - Verificação do esquadro da obra..... | 36 |
| Figura 29 - Marcação das paredes da 1ª fiada, vãos de portas e <i>shafts</i> utilizando a linha traçante..... | 37 |
| Figura 30 - Instalação dos escantilhões..... | 37 |
| Figura 31 - Transferência de nível | 38 |
| Figura 32 - Instalação dos gabaritos das portas | 38 |
| Figura 33 - Preparação dos blocos para fixação das caixas elétricas | 38 |
| Figura 34 - Aplicação da argamassa de assentamento | 39 |
| Figura 35 - Execução do assentamento dos blocos | 39 |
| Figura 36 – Elevação da alvenaria utilizando amarração tipo “castelinho” nos cantos..... | 40 |
| Figura 37 - Sequência esquemática de execução da alvenaria estrutural..... | 40 |
| Figura 38 - Preenchimento das juntas de forma inadequada | 42 |
| Figura 39 - Falta de prumo | 42 |
| Figura 40 - Rasgos indevidos para passagem de instalações..... | 43 |
| Figura 41 - Fissuras verticais em parede de alvenaria | 45 |
| Figura 42 - Sobrecargas verticais concentradas..... | 45 |
| Figura 43 - Fissuras devido a concentração de tensões no contorno do vão . | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 44 - Fissura ocasionada pela deformação excessiva em laje..... | 46 |
| Figura 45 - Fissuras causadas por retração de lajes | 47 |
| Figura 46 - Fissuras mapeadas | 48 |
| Figura 47 - (a) movimentações em laje de cobertura devidas à variação de temperatura (b) Fissuras que surgem na parede 1 (c) Fissuras que surgem na parede 2 | 49 |
| Figura 48 - Fissuras inclinadas provocadas pela expansão térmica da laje de cobertura | 49 |
| Figura 49 - Fissuras verticais produzidas pela dilatação térmica da laje de cobertura | 50 |
| Figura 50 - Fissuras causadas por movimentação higroscópica | 50 |
| Figura 51 - Fissura horizontal causada por movimentação higroscópica | 51 |
| Figura 52 - Fissuras oriundas de recalques nas fundações..... | 51 |
| Figura 53 - Fissuras causadas por carregamentos desbalanceados..... | 52 |
| Figura 54 - Fissuras horizontais provocadas pela expansão da argamassa de assentamento..... | 53 |
| Figura 55 - Fissuras causadas por ataque de sulfatos | 53 |
| Figura 56 - Manchas de umidade abaixo do peitoril | 54 |
| Figura 57 - Mancha de umidade proveniente do solo..... | 55 |
| Figura 58 - Eflorescência em parede de alvenaria estrutural..... | 56 |
| Figura 59 - Incorporação de escoras em parede de alvenaria..... | 59 |
| Figura 60 - Incorporação de cantoneiras de aço intertravadas em paredes de alvenaria..... | 60 |
| Figura 61 - Aplicação de argamassa armada sobre parede de alvenaria com fissura..... | 60 |
| Figura 62 - Aplicação de concreto projetado | 61 |

| | |
|---|----|
| Figura 63 - Protensão em parede | 62 |
| Figura 64 - Diferentes produtos de PRF para aplicação em recuperação e reforço estrutural | 63 |
| Figura 65 - (a) barra inseridas próximas à superfície; (b) laminados dispostos em treliça; e (c) tecido do PRF colado | 65 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Economia no uso de alvenaria estrutural em função do número de pavimentos, comparado ao uso de estrutura de concreto armado..... | 12 |
| Tabela 2 - Propriedades das argamassas | 23 |
| Tabela 3 - Variáveis de controle geométrico na produção da alvenaria | 41 |
| Tabela 4 - Propriedade das resinas termofixas | 58 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 2. OBJETIVOS..... | 15 |
| 2.1. OBJETIVOS GERAIS..... | 15 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| 3. ALVENARIA ESTRUTURAL..... | 16 |
| 3.1. BREVE HISTÓRICO | 16 |
| 3.2. COMPONENTES DA ALVENARIA..... | 19 |
| 3.2.1. Unidade | 19 |
| 3.2.2 Argamassa | 22 |
| 3.2.3. Graute..... | 23 |
| 3.2.4 Armaduras..... | 24 |
| 3.3. COORDENAÇÃO MODULAR | 25 |
| 3.4 COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS..... | 27 |
| 3.5 ASPECTOS SOBRE A EXECUÇÃO DE OBRAS | 29 |
| 3.5.1. Equipamentos para execução da alvenaria | 29 |
| 3.6.2. Metodologia de execução..... | 35 |
| 3.6.2.1 Serviços preliminares | 35 |
| 3.6.2.2 Marcação e elevação da Alvenaria | 36 |
| 3.6.3 Falhas Construtivas | 42 |
| 4. PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO EM ALVENARIA ESTRUTURAL..... | 44 |
| 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS..... | 44 |
| 4.2 PATOLOGIAS FREQUENTES EM ALVENARIA ESTRUTURAL..... | 44 |
| 4.2.1 Fissuras devido ao carregamento excessivo de compressão | 44 |
| 4.2.2 Fissuras causadas por retração | 47 |
| 4.2.3 Fissuras causadas por variação de temperatura | 48 |
| 4.2.4 Fissuras causadas por movimentação higroscópica | 50 |
| 4.2.4 Fissuras causadas por recalque de fundação..... | 51 |
| 4.2.5 Fissuras em virtude de carregamento desbalanceado..... | 52 |
| 4.2.6 Fissuras causadas por reações químicas..... | 52 |
| 4.2.6 Outras manifestações patológicas | 54 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA INTERVENÇÕES EM ELEMENTOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL..... | 56 |
| 4.3.1 Considerações iniciais..... | 56 |
| 4.3.2 Injeção de resinas poliméricas expansivas ou graute | 57 |
| 4.3.3 Grauteamento | 58 |
| 3.3.4 Adição de elementos em aço | 58 |
| 4.3.5 Argamassa armada | 60 |
| 4.3.6 Concreto projetado | 61 |
| 4.3.7 Protensão..... | 61 |
| 4.3.8 Polímeros reforçados com fibras (PRF)..... | 62 |
| 5. CONCLUSÃO | 66 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 68 |

1. INTRODUÇÃO

Alvenaria estrutural, segundo CAMACHO (2006), é um processo construtivo no qual os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, os quais são projetados, dimensionados e executados de forma racional. Alvenaria é definida como um conjunto de peças justapostas coladas em sua interface, por uma argamassa apropriada, formando um elemento vertical coeso (TAUIL E NESSE, 2010).

O sistema construtivo de alvenaria estrutural vem evoluindo ao longo dos anos, devido ao aperfeiçoamento de normas técnicas e a realização de pesquisas acerca da eficiência construtiva e das vantagens e desvantagens quando comparado a outros sistemas construtivos, como o de concreto armado (MICHELON, 2016). A vantagem econômica é uma característica basilar desse processo construtivo. WENDLER (2005 apud MOHAMAD, 2015) realizou um estudo o qual comparou os custos relativos aproximados de uma obra em alvenaria comparada com as de concreto armado. O autor concluiu que as obras em alvenaria estrutural apresentam uma economia em função do número de pavimentos da edificação, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Economia no uso de alvenaria estrutural em função do número de pavimentos, comparado ao uso de estrutura de concreto armado

| Característica da obra | Economia (%) |
|---|---------------------|
| Quatro pavimentos | 25-30 |
| Sete pavimentos sem pilotis, com alvenaria não armada | 20-25 |
| Sete pavimentos sem pilotis, com alvenaria armada | 15-20 |
| Sete pavimentos com pilotis | 12-20 |
| Doze pavimentos sem pilotis | 10-15 |
| Doze pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado | 8-12 |
| Dezoito pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado | 4-6 |

Fonte: WENDLER (2005) apud MOHAMAD (2015)

Em virtude dos vários programas de apoio à construção de habitações populares existentes ao longo dos últimos 10 anos, o número de edificações em alvenaria estrutural se multiplicou. Todavia, o número de construções desse tipo que apresentam patologias cresceu proporcionalmente, devido a motivos que vão desde a falhas na concepção do projeto, uso inadequado e ao emprego de metodologias construtivas deficientes.

SOUZA E RIPPER (1998) define a patologia das estruturas como o campo da engenharia das construções o qual estuda as origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência as falhas e dos sistemas de degradação das estruturas. CÁNOVAS (1988 apud MOHAMAD 2015) destaca que a patologia da construção está conectada ao seu nível de qualidade e que a vida útil da obra dependerá principalmente dos cuidados e da fiscalização durante a construção e do emprego de atividades de manutenção.

Desde os primórdios da humanidade, existem registros de manifestações patológicas em construções. Sobre esse fato, Mohamad comenta:

Em 1800 a.C, na Mesopotâmia, o código de Hamurabi, o mais antigo conjunto de leis escritas da humanidade, estabelecia regras para punir os responsáveis por defeitos em construções: “se uma casa mal construída causar a morte de um filho do dono da casa, então, o filho do construtor será condenado à morte”. Após a Segunda Guerra Mundial ocorreram as primeiras tentativas de classificação sistemática dos danos e do uso do termo patologia para tratar desse assunto na engenharia. Entretanto, a consolidação do tema ocorreu somente a partir da década de 1970, com a realização de conferência e da publicação de artigos científicos. Atualmente, o tema patologia está consolidado, seja no sentido de evitar erros em novas estruturas ou, até mesmo, de manutenção das estruturas existentes (MOHAMAD, 2015, p 189).

Apesar da constante evolução da tecnologia e da qualidade dos processos de elaboração de projetos e de execução de estruturas, os casos patológicos não diminuíram na mesma proporção, como declara CÁNOVAS (1988 apud MOHAMAD, 2015). Desta forma, é indispensável o conhecimento das origens dos problemas patológicos para que se possa proceder os reparos devidos e garantir que a estrutura não volte a se deteriorar (SOUZA E RIPPER, 1998).

MOHAMAD (2015) afirma que a rotina de abordagem de uma estrutura que possui sintomas patológicos se divide em quatro etapas: Sintomatologia, anamnese, diagnóstico e terapêutica. Na primeira, o autor declara que é realizado um exame visual da patologia, analisando a gravidade do dano e a possibilidade de colapso, adotando-se medidas emergenciais se necessário. A segunda consiste em um estudo abrangente dos dados históricos da estrutura. Ademais, se necessário, realizam-se exames complementares como ensaios destrutivos ou não destrutivos, recálculos da estrutura, exames químicos, entre outros. A terceira etapa é o diagnóstico da estrutura, com a identificação das causas da patologia. A quarta

etapa constitui-se na definição dos procedimentos a serem adotados na recuperação da estrutura, levando-se em consideração a relação custo-benefício de cada técnica.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

Apresentar as principais manifestações patológicas e técnicas de reabilitação das construções relacionadas ao sistema construtivo de alvenaria estrutural

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever o sistema construtivo em alvenaria estrutural, apresentando sua evolução histórica, componentes e aspectos acerca da fase de projetos e do processo construtivo.
- Apresentar e descrever as patologias que acometem construções em alvenaria estrutural, citando as origens, causas e configurações.
- Expor e descrever as técnicas de intervenção estrutural empregadas para realizar reparos ou reforço estrutural nas edificações em alvenaria estrutural.

3. ALVENARIA ESTRUTURAL

3.1. BREVE HISTÓRICO

A alvenaria é utilizada desde os primórdios da humanidade a fim de construir edificações. Até o século XX, as construções eram executadas com base em conhecimento empírico, resultando em estruturas com dimensões robustas comparadas as atuais (SAMPAIO, 2010). Exemplos clássicos de construções históricas feitas de alvenaria são as Pirâmides de Gisé, o Coliseu em Roma e a Basílica de Santa Sofia, em Istambul (Figura 1).

Figura 1 - Pirâmides de Gisé, Basílica de Santa Sofia e Coliseu



Fonte: Freitas (2007) apud SILVA (2013)

Em meados de 1889/1991, um caso interessante de obra executada com alvenaria foi o prédio Monadnock (Figura 2), o qual foi construído em meados de 1889/1991. A edificação era dotada de 16 pavimentos e 65 metros de altura, com paredes de espessura que medem 1,80 m no pavimento térreo (SÁNCHEZ, 2013). RAMALHO e CORRÊA (2003) afirma que se este edifício fosse dimensionado

conforme as técnicas e procedimentos de cálculo atuais, as paredes do térreo teriam apenas 30 cm de espessura, com os mesmos materiais.

Figura 2 - Edifício Monadnock em Chicago



Fonte: HOLABIRD E ROCHE (1983) apud SILVA (2013)

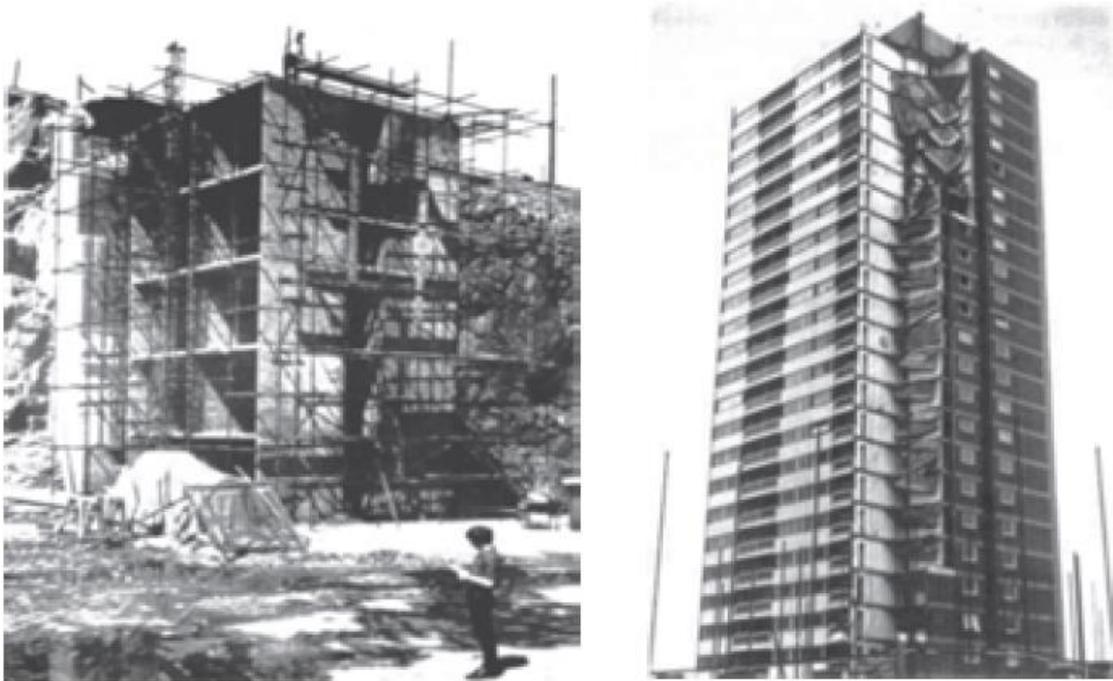
Este sistema construtivo, na forma como era executado antigamente, era lento e de alto custo, por conta da dificuldade de racionalização do processo executivo e limitações de organização espacial. Como consequência desses fatores, e da descoberta do emprego aço e concreto para construção de estruturas, a alvenaria estrutural foi um método construtivo mais frequentemente utilizado apenas entre a Antiguidade e o período da Revolução Industrial (SÁNCHEZ, 2013).

Na década de 1950, foram realizados na Suíça, pelo professor Paul Heller, estudos fundamentais para o início da utilização de conhecimento científico para projetar edificações em alvenaria estrutural, principalmente na avaliação da solicitação à compressão em elementos de parede. Nestes estudos, foram testadas mais de 1600 paredes de tijolos, cujo dados experimentais serviram como base para construção de um edifício de 18 pavimentos, com paredes dotadas de espessuras que variaram entre 30 e 38 cm (SÁNCHEZ, 2013).

Nas décadas de 1960 e 1970, os estudos e investigações experimentais acerca de construções em alvenaria estrutural (Figura 3) foram intensificados, principalmente em relação aos efeitos de carga lateral nos painéis de alvenaria, do efeito de explosão de gás e de impactos acidentais de veículos sobre elementos estruturais. Os resultados de tais estudos trouxeram um avanço importantíssimo no

conhecimento e desenvolvimento de estruturas em alvenaria, pois serviram como uma base comparativa para elaboração de novos projetos, para avaliações de precauções estruturais contra danos acidentais e para resposta da construção em situações de perda instantânea de um elemento estrutural (SÁNCHEZ, 2013).

Figura 3 - Edifícios em alvenaria estrutural utilizados para os estudos



Fonte: HENDRY (1981) apud MOHAMAD (2015)

No Brasil, a alvenaria estrutural surgiu como técnica construtiva apenas no final da década de 1960, visto que anteriormente as construções com blocos de alvenaria eram executadas apenas com bases empíricas (SÁNCHEZ, 2013).

Segundo MOHAMAD (2015), os primeiros edifícios em alvenaria estrutural surgiram em São Paulo, no ano de 1966, com a construção do conjunto habitacional Central Park Lapa. Essa obra foi executada com blocos de concreto e tinham apenas quatro pavimentos e paredes com 19 cm de espessura (Figura 4.a). Edifícios maiores surgiram na década de 1970, como por exemplo no conjunto habitacional supracitado, quando foram construídos mais quatro prédios de 12 pavimentos cada, em alvenaria armada (Figura 4.b). Na mesma década, foi concluído o edifício “Muriti”, em São José dos Campos/SP (Figura 4.c), com 16 pavimentos em alvenaria armada de blocos de concreto.

No ano de 1977 foi construído o primeiro edifício em alvenaria não armada no Brasil. O edifício “Jardim Prudência” (Figura 4.d) é dotado de nove pavimentos, em

blocos de concreto silicocalcário, e paredes com 24 cm de espessura (MOHAMAD, 2015).

A maior edificação do Brasil construída em alvenaria estrutural armada é o edifício “Solar das Alcântaras”, localizado em São Paulo/SP (figura 4.e). As paredes desse edifício são compostas por blocos de concreto com 14 cm de espessura, do primeiro ao último andar (MOHAMAD, 2015). RICHTER (2007) afirma que atualmente, no Brasil, o processo construtivo de alvenaria estrutural está consolidado como uma alternativa eficiente para execução de edificações residenciais e industriais.

Figura 4 - Condomínio Central Parque da Lapa (a) e Edifícios de 12 pavimentos no Condomínio Central Parque da Lapa (b) Edifício Muriti (c) Edifício Jardim Prudência (d) Edifício Solar das Alcântaras (e)



Fonte: ABCI (1990) apud (MOHAMAD (2015)

Acerca da situação atual da alvenaria estrutural como processo construtivo, Mohamad declara:

Atualmente, na construção civil, a evolução do conhecimento técnico-científico sobre o comportamento global das construções e do elemento parede proporcionou um progresso efetivo na fabricação dos materiais, do comportamento da interação entre os componentes e equipamentos para sua execução, surgindo unidades que tornam a alvenaria estrutural eficiente em termos de rapidez de produção e capacidade de suporte a cargas. (MOHAMAD, 2015, p. 21)

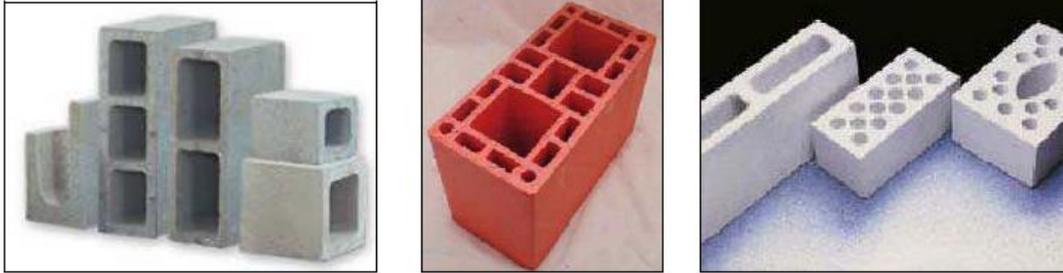
3.2. COMPONENTES DA ALVENARIA

3.2.1. UNIDADE

As unidades (Figura 5) são os componentes básicos da alvenaria estrutural e as principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura. Em relação ao material constituinte, elas podem ser classificadas em: unidades de concreto, unidades cerâmicas e unidades sílico-calcáreas. (RAMALHO

E CORRÊA, 2003). No Brasil, as unidades de concreto são as mais utilizadas, seguidas pelas cerâmicas e sílico-calcáreas. (SAMPAIO, 2010).

Figura 5 - Unidades estruturais.



Unidade de Concreto

Unidade Cerâmica

Unidade Sílico-calcárea

Fonte: FREITAS (2008) apud SAMPAIO (2010)

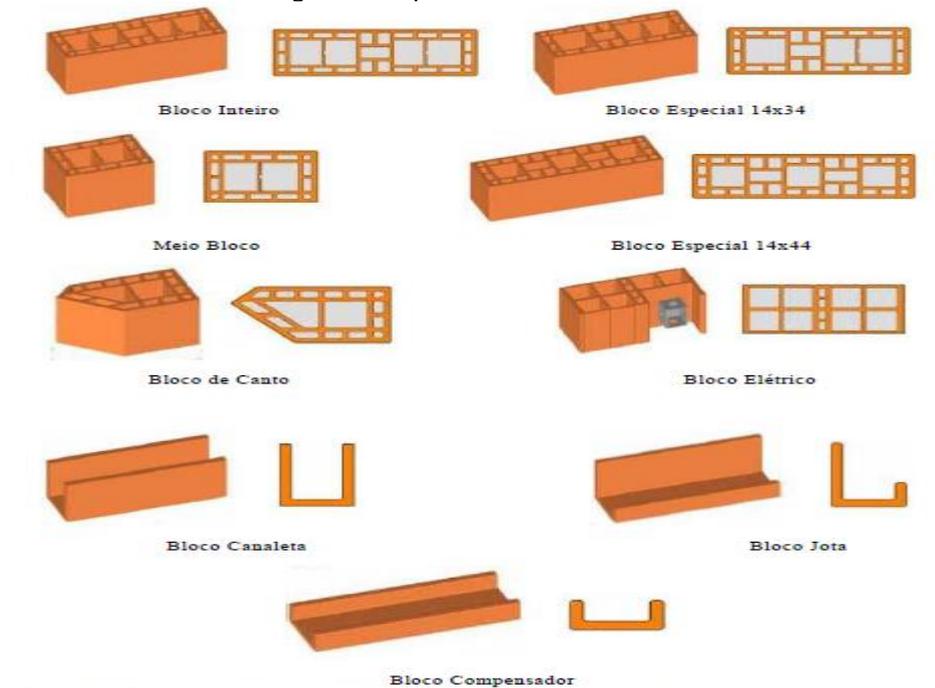
Quanto à forma das unidades, elas podem ser maciças ou vazadas. São consideradas maciças aquelas que possuem um índice de vazios de até 25% da área total. Se o índice de vazios ultrapassar esse limite, a unidade é classificada como vazada (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

Os vazios das unidades podem ser utilizados para passagem de tubulação elétrica e para execução de cintas de amarração e vergas. Além disso, podem ser usados juntamente com o preenchimento com graute para a fixação da armadura na estrutura ou para incrementar a resistência à compressão da alvenaria (SAMPAIO 2010).

De acordo com CAMACHO (2006), as principais propriedades que as unidades devem ter são:

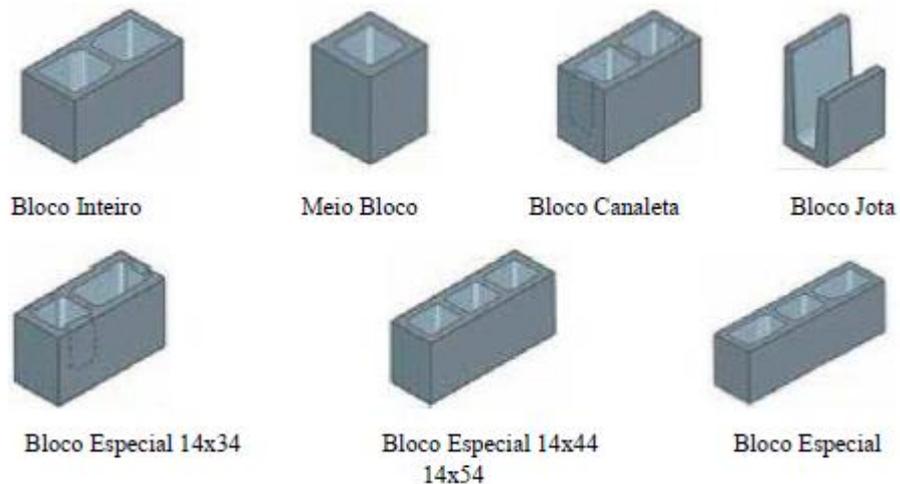
- Resistência à compressão
- Estabilidade dimensional
- Vedação
- Absorção adequada
- Trabalhabilidade
- Modulação

Figura 6 - Tipos de bloco cerâmico.



Fonte: CAMACHO (2006) apud SAMPAIO (2010)

Figura 7 - Tipos de blocos de concreto



Fonte: CAMACHO (2006) apud SAMPAIO (2010)

As figuras 6 e 7 mostram os diferentes modelos de blocos existentes para diferentes aplicações na execução da alvenaria estrutural, tais como:

- Bloco jota: possui uma das laterais mais altas e tem a finalidade de regularizar as lajes nas paredes externas (SAMPAIO, 2010).
- Bloco canaleta: componentes de alvenaria, vazados ou não, criados para racionalizar a execução de vergas, contravergas e cintas (NBR 6136, 2016).

- Bloco compensador: componente de alvenaria destinado para ajuste de modulação (NBR 6136, 2016).

As normas que estabelecem os requisitos mínimos relativos às unidades de concreto, cerâmica e silicocalcário são, respectivamente: NBR 6136 (2016), NBR 15270-1 (2017) e NBR 14974-1 (2003).

A NBR 6136 (2016) estabelece que a resistência característica mínima à compressão axial para blocos de concreto e cerâmicos com função estrutural deve ser de 3,0 MPa para edificações de até cinco pavimentos, sendo que em edificações maiores devem ser usados blocos com no mínimo 4,0 MPa de resistência. A NBR 15270-1 (2017) determina que a resistência característica mínima para blocos cerâmicos com função estrutural deve ser de 3,0 MPa. Já a NBR 14974-1 (2003) define que a resistência mínima dos blocos sílico-calcáreos deve ser de 4,5 MPa. O método de ensaio para cálculo da resistência característica mínima à compressão axial é realizado por meio do que está descrito na NBR 12118 (2013) para blocos de concreto, NBR 15270-2 (2017) para blocos cerâmicos e NBR 14974-1 (2003) para blocos sílico-calcáreos.

3.2.2 ARGAMASSA

A argamassa (Figura 8) é composta de agregado miúdo, cimento, cal e água. Em alguns casos, pode conter aditivos em sua composição, visando a melhoria de determinadas propriedades. É utilizada na ligação entre os blocos, tendo como funções básicas solidarizar as unidades, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e vento nas edificações (SAMPAIO, 2010). MOHAMAD (2015) afirma que a argamassa também tem a função de compensar as irregularidades causadas pelas variações dimensionais das unidades.

Figura 8 - Argamassa de assentamento



Fonte: FREITAS (2007) apud SILVA (2013)

Segundo MOHAMAD (2015), um estudo realizado por KHOO e HENDRY (1973) com a finalidade de avaliar o comportamento triaxial da argamassa e explicar os mecanismos de ruptura das alvenarias à compressão, estabeleceu requisitos básicos referentes às propriedades que as argamassas devem ter, tanto no estado fresco quanto endurecido, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades das argamassas

| Estado Fresco | Estado endurecido |
|----------------------|--|
| Consistência | Resistência à compressão |
| Retenção de água | Aderência superficial |
| Coesão da mistura | Durabilidade |
| Exsudação | Capacidade de acomodar deformações (resiliência) |

Fonte: KHOO e HENDRY (1973) apud MOHAMAD (2015)

A NBR 15812-1 (2010) e NBR 15961-1 (2011) indicam as argamassas destinadas ao assentamento de blocos cerâmicos e de concreto, respectivamente. Para a resistência à compressão, deve ser atendido o valor mínimo de 1,5 Mpa e o máximo limitado a 70% da resistência do bloco.

3.2.3. GRAUTE

Segundo MOHAMAD (2015), o graute (Figura 9) é um concreto ou argamassa com fluidez suficiente para preencher os vazios dos blocos completamente e sem separação dos componentes. Tem como finalidade aumentar a capacidade de resistência à compressão da parede e de solidificar as ferragens com a alvenaria, preenchendo as cavidades em que se encontram. Ademais, podem ser empregados como material de enchimento em reforços estruturais e em zonas de concentração de tensões.

Figura 9 - Grauteamento da alvenaria



Fonte: RIVERS (2008) apud SILVA (2013)

CAMACHO (2006) afirma que o graute é composto de uma mistura de cimento, água, agregado miúdo e agregados graúdos de pequena dimensão (até 9,5 mm). Em certos casos pode ser adicionada cal na mistura, visando diminuir a rigidez do produto final (MOHAMAD, 2015).

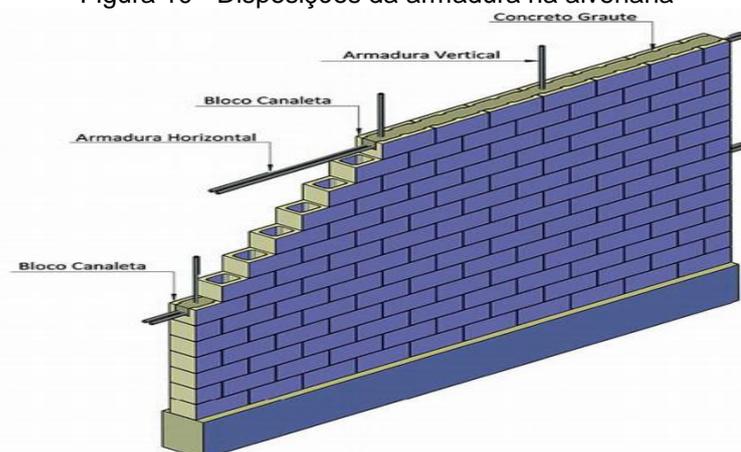
MOHAMAD (2015) afirma que a influência do graute na resistência da alvenaria deve ser avaliada em laboratório, nas condições de sua utilização, conforme preconizam a NBR 15812-1 (2010) e a NBR 15961-1 (2011). Segundo o autor, a verificação da resistência a compressão deve ser feita mediante o ensaio de compressão de prismas, conforme método descrito nas normas a NBR 15812-2 (2010) e a NBR 15961-2 (2011).

3.2.4 ARMADURAS

As armaduras utilizadas nas construções em alvenaria são as mesmas utilizadas nas estruturas de concreto armado, sendo que neste caso serão sempre envolvidas por graute, para garantir o trabalho conjunto com o restante dos componentes da alvenaria. (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

A armadura pode ser empregada para aumentar a capacidade de resistência da alvenaria aos esforços de tração ou compressão ou apenas de forma construtiva. Devido à baixa resistência a tração da alvenaria, ela é muito útil em situações nas quais são desenvolvidos esforços significantes deste tipo na estrutura (SAMPAIO, 2010). Elas são utilizadas verticalmente nos blocos, ou horizontalmente nas vergas, contra-vergas e canaletas (Figura 10). As suas disposições devem estar rigorosamente especificadas no projeto estrutural (SILVA, 2013).

Figura 10 - Disposições da armadura na alvenaria



Fonte: TAUIL E NESSE (2010)

3.3. COORDENAÇÃO MODULAR

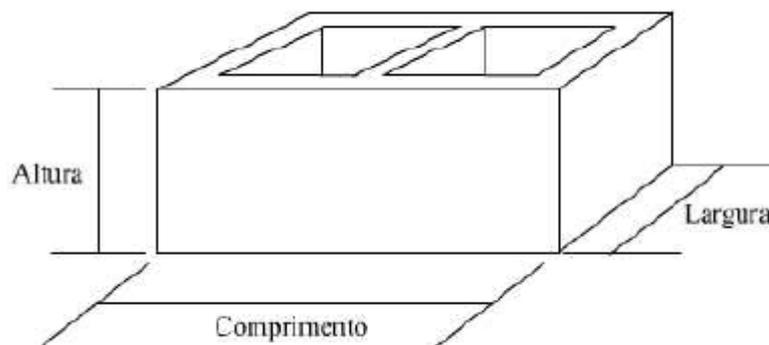
ROMAN et al. (1999) definem coordenação modular como a técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares da unidade por meio de um reticulado especial de referência.

CAMACHO (2006) afirma que a coordenação modular consiste no ajuste de todas as dimensões da obra, horizontais e verticais, como múltiplo da dimensão básica da unidade, cujo objetivo principal é evitar cortes e desperdícios na fase de execução.

A modulação é a base do sistema de coordenação dimensional utilizado nas edificações de alvenaria estrutural. A coordenação modular só pode ser lograda se os blocos forem padronizados e se os projetos arquitetônicos, estruturais e de instalações forem compatibilizados. (ROMAN et al. 1999).

A modulação deve ocorrer tanto na vertical quanto na horizontal. O módulo de referência tem como base a unidade a ser utilizada na construção, onde o comprimento e a largura definem o módulo horizontal e a altura define módulo vertical, como mostra a Figura 11 (SAMPAIO, 2010).

Figura 11 - Dimensões da unidade

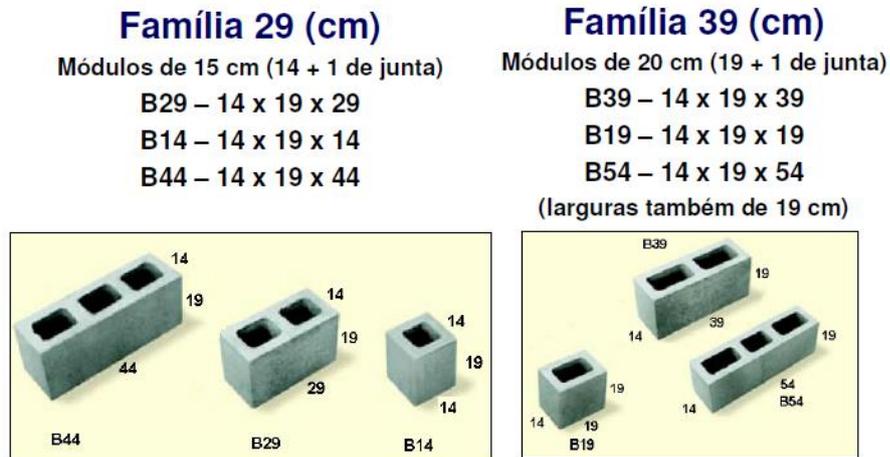


Fonte: SAMPAIO (2010)

A grande dificuldade de um projetista, segundo MOHAMAD (2015), é adequar a modulação ao projeto arquitetônico, pois na alvenaria estrutural existem diversas famílias de blocos em quais as modulações dependem das dimensões dessas unidades. O mesmo autor afirma que tanto a planta baixa quanto os cortes devem ser baseados na família de blocos que será utilizada na construção. Portanto, é

importante que o arquiteto defina essa família como ponto de partida para o projeto. Na figura 12 é mostrada as principais famílias de blocos de concreto utilizadas em obras de alvenaria estrutura.

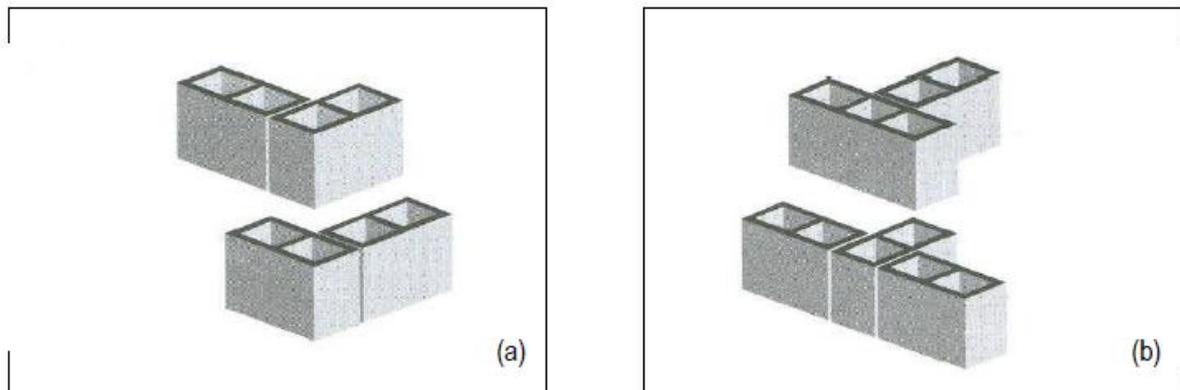
Figura 12 - Famílias 29 e 39 dos blocos de concreto



Fonte: FREITAS (2013)

Segundo ROMAN et al. (1999), a modulação ideal é aquela em que o módulo é igual a espessura da parede, não sendo necessária a criação de blocos especiais para os ajustes das amarrações entre paredes estruturais. Exemplos de amarrações utilizadas em obras de alvenaria estrutural são ilustradas na Figura 13.

Figura 13 - exemplo de amarração em parede (a) tipo "L" (b) tipo "T"



Fonte: adaptado de RAMALHO e CORRÊA (2003) apud RICHTER (2007)

Concernente ao emprego de diferentes peças de alvenaria na obra, Mohamad declara:

Ressalva-se que, quanto maior a variedade das peças utilizadas na alvenaria, maior será a dificuldade de execução e, conseqüentemente, menor o grau de construtibilidade do edifício, o que afeta diretamente a produtividade da obra. O emprego de muitas peças especiais traz impactos sobre o custo da edificação. (MOHAMAD, 2015, p. 52-53)

MOHAMAD (2015) aponta algumas diretrizes que um projeto em alvenaria estrutural deve seguir para favorecer a construtibilidade e racionalização do processo produtivo:

- Utilizar o menor número possível de componentes especiais ao longo da parede, respeitando o seu uso em amarrações ou compensações dimensionais;
- Empregar os blocos especiais como “jota” e “canaleta” para o apoio das lajes, formando uma cinta de amarração;
- Utilizar um único tipo de bloco no pavimento, em termos de material, dimensões e resistência;
- Utilizar componentes disponíveis no mercado, com tamanhos e configurações geométricas padrões;
- Detalhar os elementos estruturais com especial atenção ao desempenho global do sistema construtivo (acústico e segurança ao fogo), analisando os encontros entre os elementos estruturais;
- Reunir nos detalhamentos vários elementos do projeto, como primeira e segunda fiada, vergas, contravergas, elevações e apoio de laje.

A escolha do tipo de bloco e a modulação são majoritariamente responsáveis pela racionalização obtida nas obras em alvenaria estrutural. Considerando a coordenação modular nas direções vertical e horizontal, o projetista deve detalhar as alvenarias, gerando plantas de primeira e segunda fiadas, bem como uma elevação de cada parede. Nas elevações, devem estar presentes detalhes como a posição de cada bloco, a existência de pontos elétricos e hidráulicos, vergas, contravergas pontos de graute e armaduras. Desta forma, a construtibilidade do edifício aumentará e a necessidade de improvisos no canteiro de obras será evitado (MOHAMAD, 2015).

3.4 COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS

De acordo com SEBRAE (1995), compatibilização define-se como uma atividade de gerenciar e integrar projetos correlatos, visando o perfeito ajuste entre eles e os conduzindo para a obtenção dos padrões de controle de qualidade total de determinada obra.

GRAZIANO (2003) afirma que a compatibilidade é definida como atributo do projeto, cujos componentes dos sistemas, ocupam espaços que não conflitam entre si e, além disso, os dados compartilhados tenham consistência e confiabilidade até o final do processo de projeto e obra.

A coordenação de projetos é um aspecto fundamental para o sistema construtivo em alvenaria estrutural. Na alvenaria estrutural, muito mais que em qualquer outro sistema construtivo, é de suma importância que o projeto arquitetônico esteja compatibilizado com os demais projetos. Isso evidencia-se pelo fato de não ser admissível improvisos como rasgos e remoção de paredes estruturais, visto que feito isso comprometerá a segurança da edificação (MACHADO, 2014 apud SILVA, 2013).

Um estudo realizado por MELO (2006), relativo à necessidades e dificuldades do projeto arquitetônico em alvenaria estrutural, concluiu que a elaboração adequada de projetos por meio da criação de equipes multidisciplinares e da integração entre os projetistas conduz a minimização da incidência de problemas na fase de projeto, assim como nas fases subsequentes.

A coordenação de projetos deve ser exercida por um arquiteto ou engenheiro, avaliando os diversos projetos, identificando as respectivas interferências e suas inconsistências. Após a verificação dos projetos, o coordenador deve solicitar as alterações, de modo que o projeto final permita uma construção sem erros e necessidades de improvisações no canteiro de obra. Desta forma, através do processo de coordenação, é possível elevar a qualidade do projeto global e, conseqüentemente, melhorar as condições para execução da construção. Grande parte das medidas de racionalização e, praticamente, todas as medidas de controle de qualidade dependem da clara especificação na sua fase de concepção (MOHAMAD, 2015).

Segundo MOHAMAD (2015), os principais objetivos da coordenação de projetos e do agente responsável pela coordenação são:

- Promover a integração entre os participantes do projeto, garantindo a comunicação e a troca de informações entre os integrantes as diversas etapas do empreendimento;

- Controlar as etapas de desenvolvimento do projeto, de tal forma que seja executado conforme as especificações e os requisitos previamente definidos (custos, prazos e especificações técnicas);
- Coordenar o processo de modo que solucione as interferências entre as partes do projeto elaboradas pelos distintos projetistas;
- Garantir a coerência entre o produto projetado e o modo de produção, com especial atenção para a tecnologia do processo construtivo utilizado.

3.5 ASPECTOS SOBRE A EXECUÇÃO DE OBRAS

A construção de edificações em alvenaria estrutural deve ser feita em obediência a técnicas específicas e métodos construtivos para se obter estruturas confiáveis, seguras e com a durabilidade esperada (SABBATINI, 2003).

A capacitação de equipes de produção e a utilização de mão de obra especializada na execução de obras em alvenaria estrutural é fundamental para que se alcance a racionalização do sistema, melhoria da qualidade, produtividade e redução de desperdícios no canteiro de obras (MOHAMAD, 2015).

3.5.1. EQUIPAMENTOS PARA EXECUÇÃO DA ALVENARIA

Segundo MOHAMAD (2015) o uso de equipamentos apropriados aumenta a produtividade e proporciona menores riscos de erro durante as etapas de execução. Desta forma, a utilização de ferramentas adequadas pode impactar positivamente no desempenho da equipe de trabalho, aumentando a produtividade durante a execução e melhorando a qualidade do produto final.

As principais ferramentas utilizadas na execução de obras em alvenaria estrutural são:

- Colher de pedreiro: Utilizada no espalhamento da argamassa para o assentamento da primeira fiada (Figura 14), para aplicar argamassa de assentamento nas paredes transversais e nos septos dos blocos e para a retirada do excesso de argamassa da parede após o assentamento dos blocos (SILVA 2013).

Figura 14 - Retirada do excesso de argamassa em bloco de alvenaria com colher de pedreiro (



Fonte: RIVERS (2012) apud SILVA (2013)

- Palheta: Usada para a aplicação do cordão de argamassa de assentamento nas paredes longitudinais dos blocos (Figura 15), por meio do movimento vertical e horizontal ao mesmo tempo (SILVA, 2013).

Figura 15 - Aplicação de argamassa com palheta



Fonte: EQUIPAOBRA (2013) apud SILVA (2013)

- Bisnaga: Alternativa para colocação de argamassa de assentamento sobre as paredes dos blocos (Figura 16). MOHAMAD (2015) sugere o uso para aplicação de argamassa nas juntas verticais dos blocos.

Figura 16 – Aplicação de argamassa com bisnaga



Fonte: PRISMA (2012) apud SILVA (2013)

- Esticador de linha: Mantêm a linha de náilon esticada entre dois blocos estratégicos (Figura 17), consolidando o alinhamento e o nível dos demais blocos que serão assentados (MOHAMAD, 2015).

Figura 17 - Esticador de linha



Fonte: ROMAN et al (2002) apud SILVA (2013)

- Fio traçador de linhas: Barbante/fio de algodão que é impregnado com pó colorido, destinado à marcação de paredes (Figura 18).

Figura 18 - Fio traçador de linhas



Fonte: SCANMETAL (2013) apud SILVA (2013)

- Caixote para argamassa e suporte: É utilizada para transporte e manuseio da argamassa durante a realização dos trabalhos (Figura 19). Deve ser composta de material não permeável para que não aconteça perda de água da argamassa por absorção (SILVA, 2013). Deve ser ajustada na altura da cintura do pedreiro (ROMAN et al, 2002 apud SILVA 2013).

Figura 19 - Caixote para argamassa



Fonte: SCANMETAL (2013) apud SILVA (2013)

- Régua prumo-nível: MOHAMAD (2015) afirma que é utilizada para verificar o prumo e o nível da alvenaria durante o assentamento dos blocos e para verificar a planicidade da parede (Figura 20).

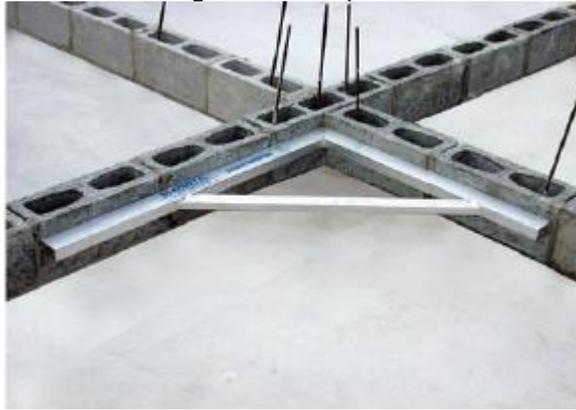
Figura 20 – Régua de prumo e de nível



Fonte: EQUIPAOBRA (2013) apud SILVA (2013)

- Esquadro: MOHAMAD (2015) afirma que é usado para verificação e determinação da perpendicularidade entre paredes na etapa de marcação e durante a execução da primeira fiada (Figura 21).

Figura 21 - Esquadro



Fonte: SCANMETAL (2013) apud SILVA (2013)

- Escantilhão: Segundo (MOHAMAD, 2015), é utilizado para o assentamento das unidades, após a marcação das linhas que definem as direções das paredes, sendo posicionado no encontro entre elas, na primeira fiada, servindo de referência, depois de nivelada, às unidades das fiadas posteriores. O escantilhão (Figura 22) tem a finalidade de garantir o nivelamento perfeito das fiadas. É fixado sobre a laje, com auxílio de parafusos e buchas.

Figura 22 - Escantilhão metálico



Fonte: SCANMETAL (2013) apud SILVA (2013)

- Nível alemão: Composto de uma mangueira de nível, na qual é acoplado, em uma das extremidades, um recipiente com água (Figura 23). A outra extremidade possui uma haste de alumínio. O recipiente é apoiado sobre um tripé metálico, no qual a haste de alumínio possui um cursor graduado em escala métrica ± 25 cm (MOHAMAD, 2015). É utilizado para conferir o nivelamento de diversos pontos da obra.

Figura 23 – Nível alemão



Fonte: ROMAN et al (2002) apud SILVA (2013)

- Nível a laser: É um equipamento autonivelante (Figura 24) o qual possibilita a conferência de níveis, esquadros, prumos com maior precisão (MOHAMAD, 2015).

Figura 24 – Nível a laser



Fonte: (BOSCH (2013) apud SILVA (2013).

- Andaime metálico: É composto de cavaletes de apoio e de base de sustentação (Figura 25). Possui comprimento e altura variável. Garante agilidade de montagem, facilidade de transporte e segurança do profissional durante a elevação das paredes (SILVA, 2013). É responsável por significativo aumento de produtividade (MOHAMAD, 2015).

Figura 25 - Andaime metálico



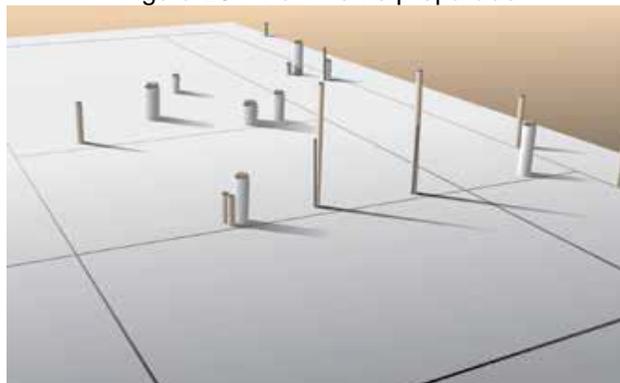
Fonte: EQUIPAOBRA (2013) apud SILVA (2013)

3.6.2. METODOLOGIA DE EXECUÇÃO

3.6.2.1 *Serviços preliminares*

É necessário primeiramente deixar o pavimento em condições de iniciar o serviço, vide Figura 26 (MOHAMAD, 2015). Segundo PAULUZZI (2013), é necessário fazer a limpeza do pavimento onde a alvenaria será executada, devido a por exemplo a presença de materiais que possam prejudicar a aderência da argamassa entre o bloco e o pavimento.

Figura 26 – Pavimento preparado



Fonte: ABCP (2010)

O projeto de execução deve ser previamente estudado pelo líder da equipe que vai executar o serviço, como mostra Figura 27 (MOHAMAD, 2015).

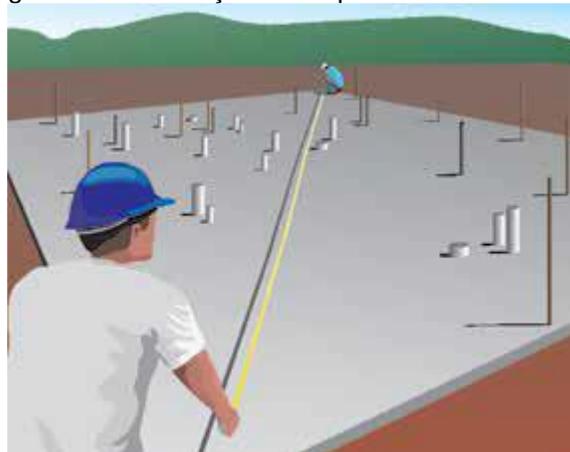
Figura 27 - Uso do projeto executivo



Fonte: ABCP (2010)

O esquadro da obra deve ser verificado (Figura 28). Sendo retangular, é utilizado o critério da igualdade entre as diagonais. Quando a diferença entre as diagonais for menor que 5 mm, o esquadro da laje será aceito (MOHAMAD, 2015).

Figura 28 - Verificação do esquadro da obra



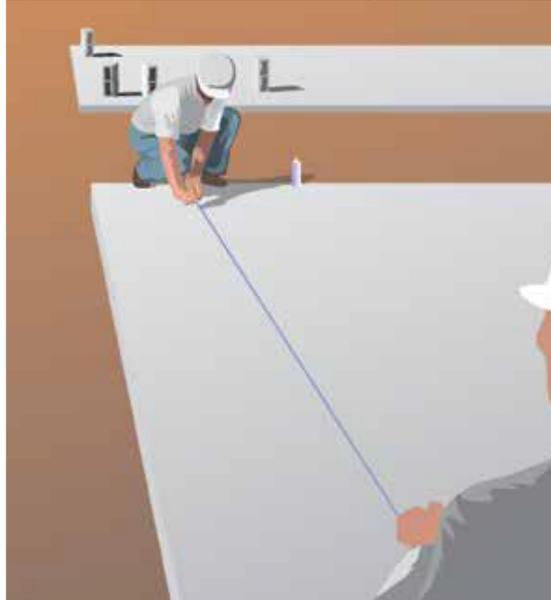
Fonte: ABCP (2010)

3.6.2.2 Marcação e elevação da Alvenaria

Deve-se marcar a direção das paredes, vãos de portas e *shafts* com a utilização da linha traçante e fazer a instalação dos escantilhões. Após isso, deve ocorrer a transferência de nível e instalação dos gabaritos das portas nos vãos já marcados no pavimento. Depois destes passos amarra-se a linha no escantilhão por meio do esticador de linha, para então preparar os blocos para fixação das caixas

elétricas conforme o projeto. Posteriormente, se umedece a superfície com o auxílio de uma brocha, na direção da parede para assentar os blocos da primeira fiada. Logo depois, espalha-se a argamassa de assentamento e finalmente assentam-se os blocos da primeira fiada (SILVA, 2013). A sequência de Figuras 29 a 35 ilustra a metodologia supracitada.

Figura 29 - Marcação das paredes da 1ª fiada, vãos de portas e *shafts* utilizando a linha traçante



Fonte: ABCP (2010)

Figura 30 - Instalação dos escantilhões



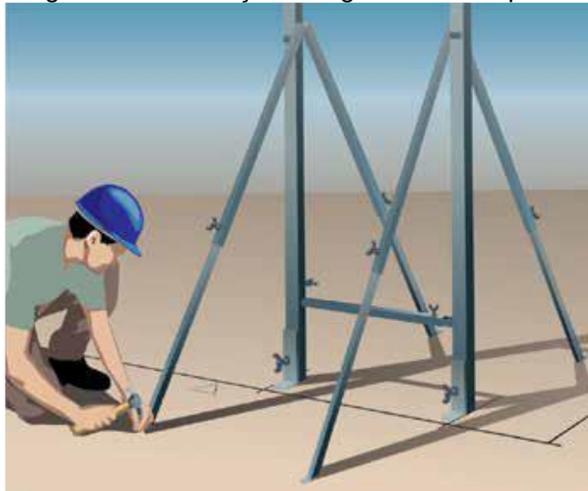
Fonte: ABCP (2010)

Figura 31 - Transferência de nível



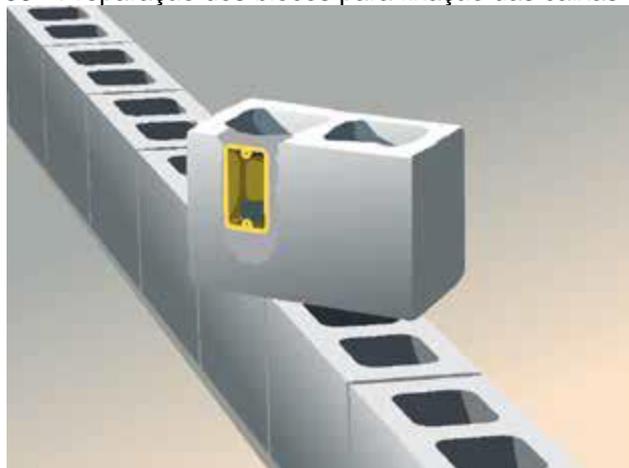
Fonte: ABCP (2010)

Figura 32 - Instalação dos gabaritos das portas



Fonte: ABCP (2010)

Figura 33 - Preparação dos blocos para fixação das caixas elétricas



Fonte: ABCP (2010)

Figura 34 - Aplicação da argamassa de assentamento



Fonte: ABCP (2010)

Figura 35 - Execução do assentamento dos blocos



Fonte: ABCP (2010)

Salienta-se que caso a aplicação das caixas elétricas seja feita depois da alvenaria elevada, o posicionamento destas deverá ser garantido marcando-se, por exemplo com giz de cera, seus respectivos locais no momento da elevação da alvenaria (MOHAMAD, 2015)

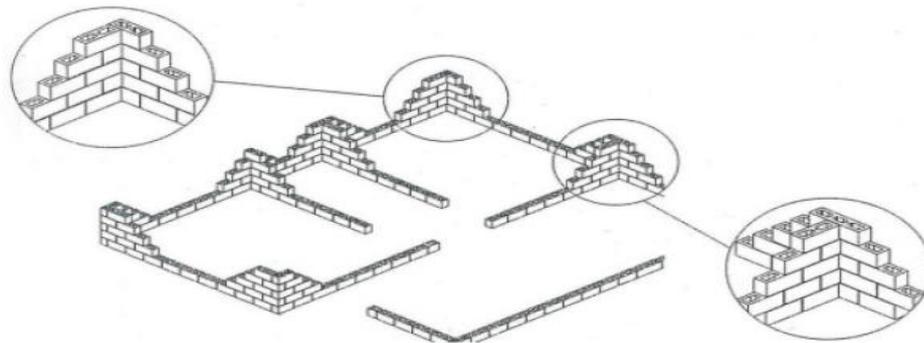
RICHTER (2007) afirma que é necessário ter em mãos o projeto de execução da primeira fiada durante a execução desta. Ademais, SABBATINI (2003) declara que o assentamento da primeira fiada deve ser realizado após 16 horas do término da concretagem da laje e sobre bases niveladas.

Após a marcação, é executada a elevação das demais fiadas. Sobre a sequência de execução, Richter declara:

Após a marcação, inicia-se a elevação da alvenaria pelas amarrações de cantos e encontros de paredes para posterior preenchimento dos vãos. A concretagem de contra-vergas e preenchimento dos grautes devem ser realizados juntamente com o levante da alvenaria. Por último, repete-se a sequência de elevação da etapa anterior, mas da altura do peitoril das janelas até a altura do fechamento e finaliza-se com a concretagem da cinta de respaldo. Após a concretagem da cinta, inicia-se a montagem e concretagem das lajes. (RICHTER, p. 56, 2007)

Na elevação dos cantos, é interessante que se tenha a amarração do tipo “castelinho” (Figura 36), pois favorece a execução dessa etapa (RICHTER, 2007). O mesmo autor comenta que, contudo, em algumas situações específicas não é possível executar a elevação da alvenaria com o levante de “castelinhos” dos cantos. Nesse caso, deve-se prever em projeto uma solução para essa situação, como junta a prumo com amarração através de grampos, por exemplo (SABBATINI, 2003).

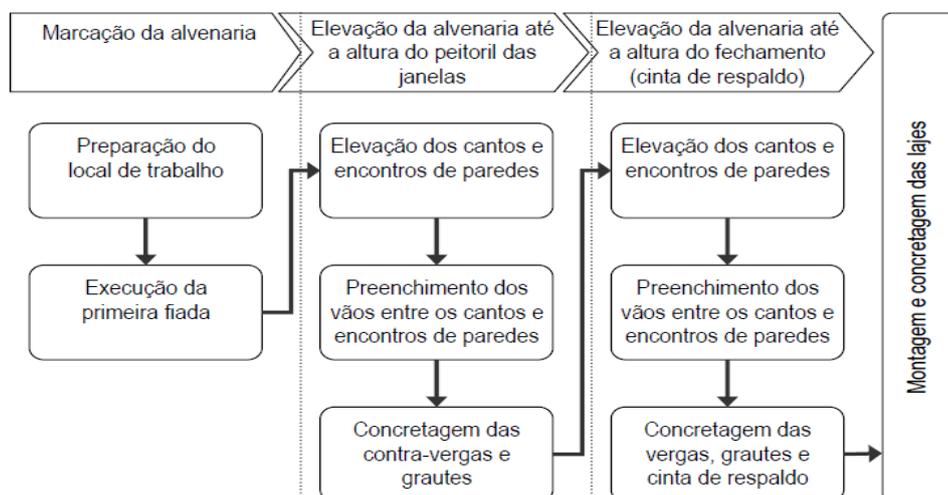
Figura 36 – Elevação da alvenaria utilizando amarração tipo “castelinho” nos cantos



Fonte: PRUDÊNCIO et al. (2002) apud SILVA (2013)

A Figura 37 ilustra a sequência de execução da alvenaria esquematizada.

Figura 37 - Sequência esquemática de execução da alvenaria estrutural



Fonte: RICHTER (2007)

SABBATINI (2003) apresenta algumas recomendações durante a execução da obra em alvenaria estrutural:

- a) O assentamento não deve ser realizado debaixo de chuva. No caso de interrupção dos serviços devido à chuva, a alvenaria recém-executada deve ser protegida;
- b) As unidades não devem ser molhadas durante a etapa de assentamento;
- c) As alvenarias devem ser executadas com blocos inteiros. Não se deve cortar ou quebrar blocos para obtenção de ajuste durante a elevação da alvenaria;
- d) As instalações devem ser todas em dutos embutidos nas paredes de alvenaria, nos vazados dos blocos. Pode-se fazer cortes de paredes para embutimento de pequenos trechos de tubulação, desde que previsto em projeto;
- e) As colunas das instalações elétricas e hidráulicas, por exemplo, não podem estar embutidas nas paredes de alvenaria estrutural, devendo ser, preferencialmente, embutidas em *shafts* verticais, especificadamente projetados para esta finalidade.

Em relação ao controle de produção da alvenaria, MOHAMAD (2015) comenta que existem requisitos mínimos e condições que devem ser verificadas e obedecidas na execução e controle de obras em alvenaria estrutural, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis de controle geométrico na produção da alvenaria

| Fator | | Tolerância |
|----------------------------|-----------------------------|---|
| Junta horizontal | Espessura | ± 3 mm |
| | Nível | 2 mm/m 10 mm no máximo |
| Junta vertical | Espessura | ± 3 mm |
| | Alinhamento vertical | 2 mm/m 10 mm no máximo |
| Alinhamento da parede | Vertical (desaprumo) | ± 2 mm/m ± 10 mm no máximo por piso ± 25 mm na altura total do edifício |
| | Horizontal (desalinhamento) | ± 2 mm/m ± 10 mm no máximo |
| Nível superior das paredes | Nivelamento da fiada de | ± 10 mm |

Fonte: MOHAMAD (2015)

3.6.3 FALHAS CONSTRUTIVAS

A desconsideração de alguns princípios e a negligência de certas regras básicas para a execução e controle de obras em alvenaria estrutural, certamente debilitam a confiabilidade do sistema construtivo (MOHAMAD,2015).

Uma falha muito comum na execução da alvenaria é a variação e o preenchimento irregular das juntas de argamassas na alvenaria (Figura 38). De acordo com Ramos et al (2002) apud SILVA (2013), o não preenchimento das juntas verticais afeta negativamente a resistência à flexão e ao cisalhamento da parede, afetando também a deformabilidade das paredes, principalmente em prédios acima de cinco pavimentos. Já o preenchimento inadequado das juntas horizontais tem como consequência a diminuição da resistência à compressão da alvenaria.

Figura 38 - Preenchimento das juntas de forma inadequada



Fonte: POZZOBON (2003) apud SILVA (2013)

O desaprumo das paredes de alvenaria (Figura 39) é um erro de execução que produz excentricidades as quais reduzem a resistência à compressão da parede, além de provocar um aumento na espessura do revestimento proporcional ao valor da excentricidade (MOHAMAD, 2015)

Figura 39 - Falta de prumo



Fonte: SOUZA (2011) apud SILVA (2013)

Uma prática inaceitável na alvenaria estrutural é a quebra de blocos estruturais para a passagem das instalações hidráulicas ou qualquer outra que trabalhe embutida (Figura 40), decorrente da falta de compatibilidade entre a estrutura e os projetos complementares, gera uma diminuição da capacidade resistente da alvenaria à compressão. Para mitigar problemas como esse, devem ser previstas paredes de vedação ou *shafts* para a passagem das instalações hidráulicas sobre pressão (MOHAMAD, 2015).

Figura 40 - Rasgos indevidos para passagem de instalações



Fonte: MACHADO (2016) apud SILVA (2013)

4. PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

CHAGAS (2005 apud MOHAMAD 2015) afirma que a principal fragilidade da alvenaria é observada quando ela é submetida à esforços de cisalhamento e flexão, em virtude da sua baixa resistência à tração. Segundo MOHAMAD (2015), a baixa resistência tração é uma característica comum dos sistemas estruturais compostos de alvenaria. O autor comenta que a alvenaria possui baixa ductilidade e conseqüentemente um modo de ruptura frágil. Outra característica acerca do comportamento mecânico da alvenaria é a baixa resistência a tração existente nas interfaces entre a argamassa e os blocos. Desta forma, o mecanismo de ruptura da alvenaria inclui a ruptura por tração dos blocos e juntas, ruptura por cisalhamento das juntas e ruptura por compressão do conjunto (MOHAMAD, 2015).

MOHAMAD (2015) enumera os principais fatores que contribuem para o surgimento de patologias em edificações em alvenaria estrutural: (i) aplicação de carregamento excessivo na estrutura; (ii) ação do vento ou forças adicionais decorrentes de eventos sísmicos; (iii) recalques diferenciais de fundações, (iv) equívocos na concepção estrutural; (v) eventos não previstos, como impactos e explosões, além da natural degradação dos materiais constituintes.

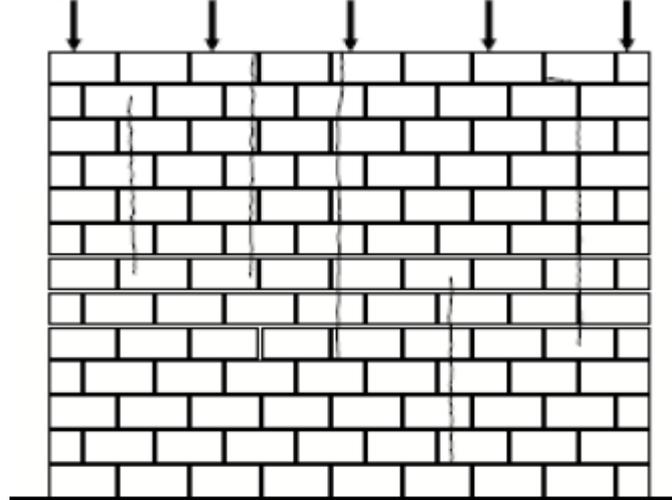
Segundo BAUER (2006), as fissuras ocupam o primeiro lugar na sintomatologia em alvenarias estruturais de blocos vazados de concreto. Elas podem ocorrer nas juntas de assentamento ou seccionar componentes da alvenaria. Todavia, problemas patológicos como eflorescências, manchas de umidade, flechas excessivas, corrosão de armadura, entre outros, podem acontecer (MOHAMAD, 2015).

4.2 PATOLOGIAS FREQUENTES EM ALVENARIA ESTRUTURAL

4.2.1 FISSURAS DEVIDO AO CARREGAMENTO EXCESSIVO DE COMPRESSÃO

Fissuras em virtude de carregamento excessivo à compressão são geralmente verticais (Figura 41). Ao ser comprimida, a argamassa deforma mais que os blocos, transmitindo esforços laterais de tração, os quais são responsáveis pelas fissuras verticais, que podem até seccionar os componentes da alvenaria no caso em que a resistência à tração dos blocos for igual ou inferior à da argamassa (MOHAMAD, 2015).

Figura 41 - Fissuras verticais em parede de alvenaria

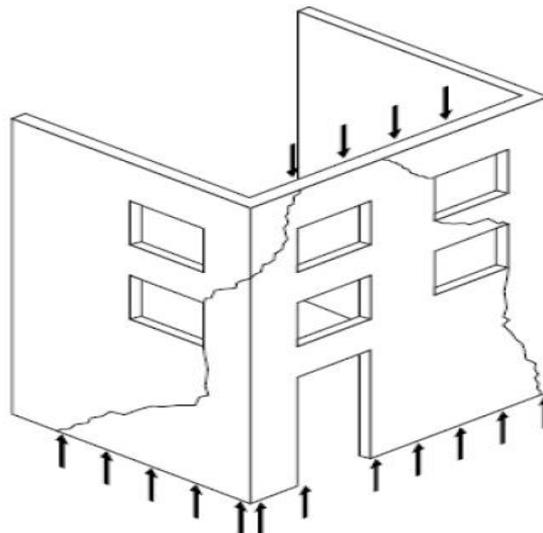


Fonte: Bauer (2006)

Geralmente, as fissuras em alvenarias carregadas axialmente começam a surgir antes de serem atingidas as cargas-limite de ruptura (SAMPAIO, 2010).

A presença de sobrecargas verticais concentradas sem elementos que permitam a redistribuição dessas cargas, como através de coxins e outros elementos, ocasionam uma concentração de tensões nos contornos das aberturas, que por sua vez causam fissuras inclinadas (Figura 42) desde o ponto de aplicação da carga (MOHAMAD, 2015).

Figura 42 - Sobrecargas verticais concentradas

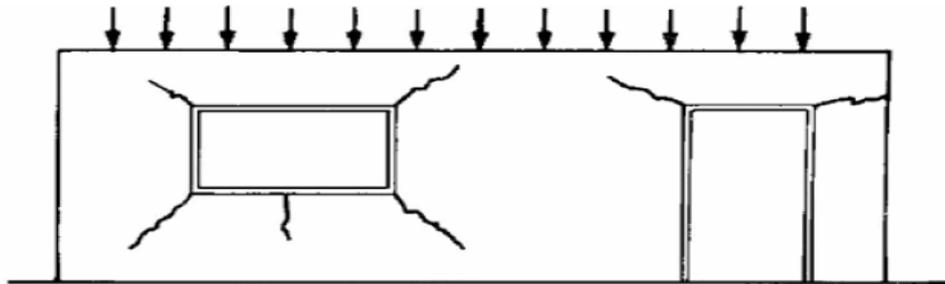


Fonte: Bauer (2006)

Ocorre considerável concentração de tensões nos contornos dos vãos em paredes nas quais contém aberturas de portas e janela. Por causa disso, é comum o

surgimento de fissuras a partir dos vértices das aberturas e sob o peitoril das janelas, como mostra a Figura 43 (SAMPAIO, 2010). MOHAMAD (2015) afirma que a redistribuição de cargas próximas às aberturas é função das vergas e das contravergas.

Figura 43 - Fissuras devido a concentração de tensões no contorno do vão

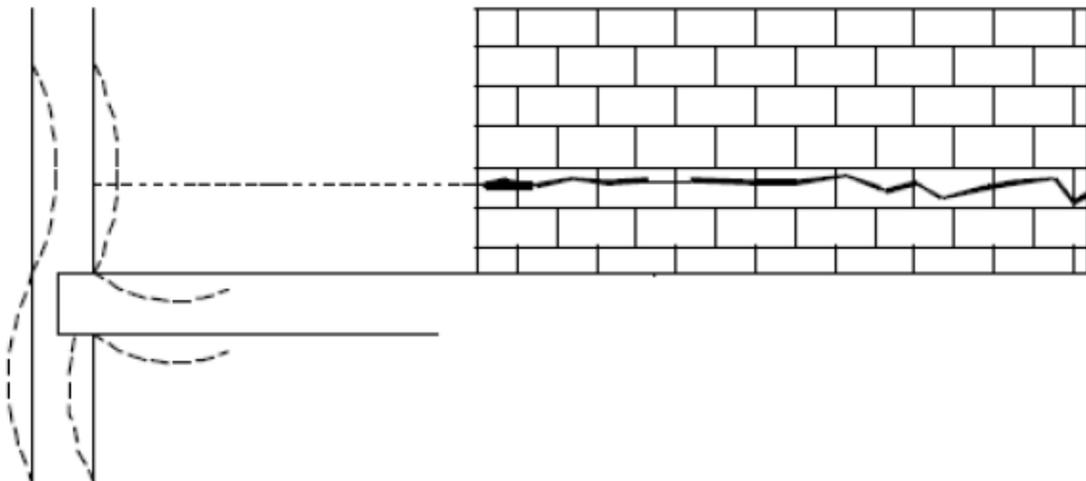


Fonte: Bauer (2006)

Mesmo não ocorrendo frequentemente, solicitações advindas de cargas uniformemente distribuídas podem causar fissuras horizontais nas alvenarias. Isso é ocasionado pelo esmagamento da argamassa das juntas de assentamento ou solicitações de flexo-compressão (SAMPAIO, 2010).

Conforme ilustra Figura 44, devido ao surgimento de esforços de flexão lateral provenientes de uma excessiva deformação de lajes ancoradas em paredes, fissuras nas proximidades da base da laje podem surgir (SAMPAIO, 2010).

Figura 44 - Fissura ocasionada pela deformação excessiva em laje



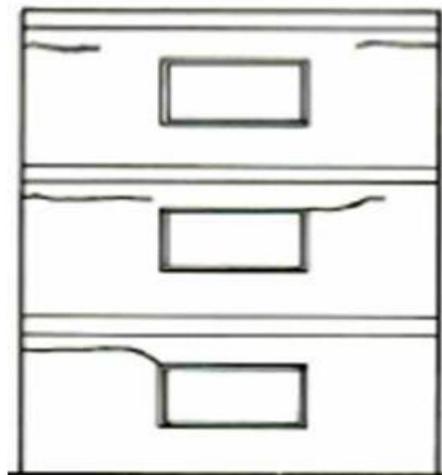
Fonte: OLIVEIRA (2001) apud SAMPAIO (2010)

4.2.2 FISSURAS CAUSADAS POR RETRAÇÃO

Fissuras também podem ser ocasionadas por retração. Segundo SCARTEZINI (2002) apud RICHTER (2007) a retração é um fenômeno físico onde os materiais com base cimentícia, inicialmente em estado plástico, tem uma redução de seu volume causado pelas condições de umidade do sistema e a evolução da matriz do cimento.

Essa retração pode causar fissuração devido à rotação nas fiadas de blocos próximos a laje, causada pelo encurtamento desta. Por esse motivo, a configuração mais comum de fissuras causadas por retração por secagem de lajes é horizontal (Figura 45), localizadas logo abaixo da laje ou em cantos superiores dos caixilhos (SAMPAIO, 2010).

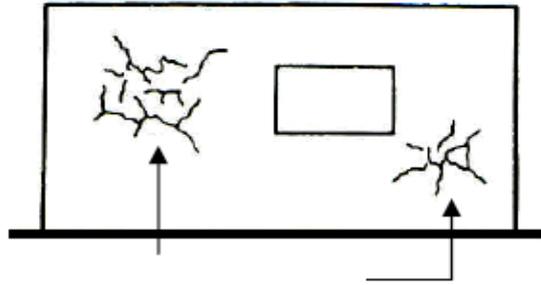
Figura 45 - Fissuras causadas por retração de lajes



Fonte: BAUER (2006)

Outro tipo de configuração são as fissuras mapeadas (Figura 46), as quais são ocasionadas pela retração da argamassa de revestimento. Segundo THOMAZ (2000) apud RICHTER (2007), a retração das argamassas aumenta principalmente devido ao consumo do aglomerante, a porcentagem de finos existentes na mistura e ao teor de água de amassamento. Ademais, em segundo plano, diversos outros fatores podem ser elencados: aderência com a base, número de camadas aplicadas, espessura das camadas, tempo decorrido entre a aplicação de uma e outra camada, rápida perda de água durante o endurecimento por ação intensiva de ventilação ou insolação (THOMAZ, 2000 apud RICHTER, 2007).

Figura 46 - Fissuras mapeadas



Fonte: THOMAZ (2000) apud RICHTER (2007)

4.2.3 FISSURAS CAUSADAS POR VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

Os movimentos de contração e dilatação que acontecem nas edificações devido a variações de temperatura, geram tensões que poderão resultar em fissuras, caso tais movimentos sejam restringidos pelos vínculos entre os elementos e componentes de uma construção (THOMAZ, 1988 apud RICHTER, 2007).

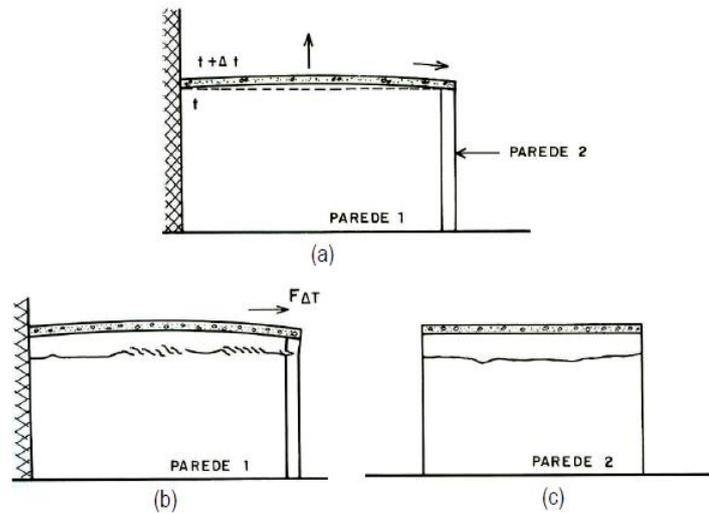
As movimentações térmicas estão relacionadas tanto com as propriedades físicas dos materiais quanto com o gradiente de temperatura. Desta forma, tais movimentações podem ocorrer de forma variada entre materiais distintos de um mesmo componente, entre componentes distintos e entre regiões distintas de um mesmo material (SAMPAIO, 2010).

Segundo VALLE (2008) apud SILVA (2013), essas movimentações podem ocorrer em casos como:

- Na junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, susceptíveis às mesmas variações de temperatura, como a argamassa de assentamento e componentes da alvenaria;
- Na exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais (por exemplo, cobertura em relação as paredes da edificação);
- Gradiente de temperatura ao longo de um mesmo componente (por exemplo, gradiente entre a face exposta e a face protegida de uma laje de cobertura);

A Figura 47 mostra fissuras horizontais ocasionadas por movimentações térmicas em uma laje de cobertura submetida a uma variação de temperatura. Segundo MOHAMAD (2015) essas fissuras podem ocorrer em virtude da falta de isolamento térmico e de impermeabilização.

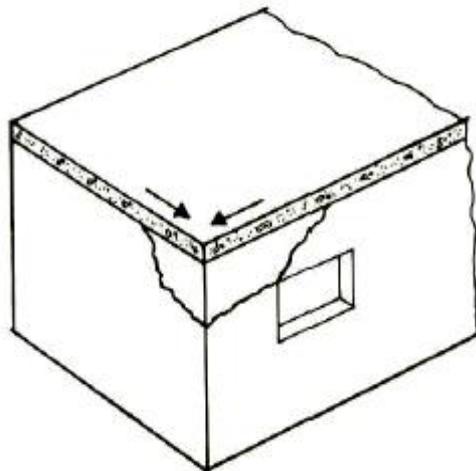
Figura 47 - (a) movimentações em laje de cobertura devidas à variação de temperatura (b) Fissuras que surgem na parede 1 (c) Fissuras que surgem na parede 2



Fonte: THOMAZ (2000) apud RICHTER (2007)

Em lajes de cobertura sobre paredes muito longas, compostas de aberturas de vãos de portas ou janelas, as fissuras (Figura 48) possuem direção horizontal ao longo das paredes externas maiores, inclinando-se aproximadamente à 45° nas paredes transversais em direção à laje de teto (SAMPAIO, 2010).

Figura 48 - Fissuras inclinadas provocadas pela expansão térmica da laje de cobertura

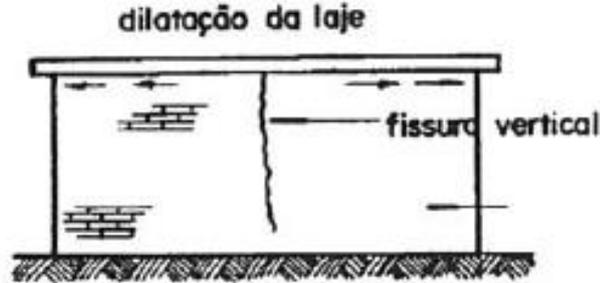


Fonte: THOMAZ (2000) apud RICHTER (2007)

Além das configurações de fissuras supracitadas, DUARTE (1998) comenta acerca da possibilidade da dilatação térmica da laje produzir tensões horizontais de tração na alvenaria, fissurando verticalmente a parede (Figura 49). O mesmo autor destaca que como as tensões de tração são maiores no topo da parede, a fissura

possui maior abertura na ligação com a laje, reduzindo de tamanho de abertura à medida que desce pela parede.

Figura 49 - Fissuras verticais produzidas pela dilatação térmica da laje de cobertura

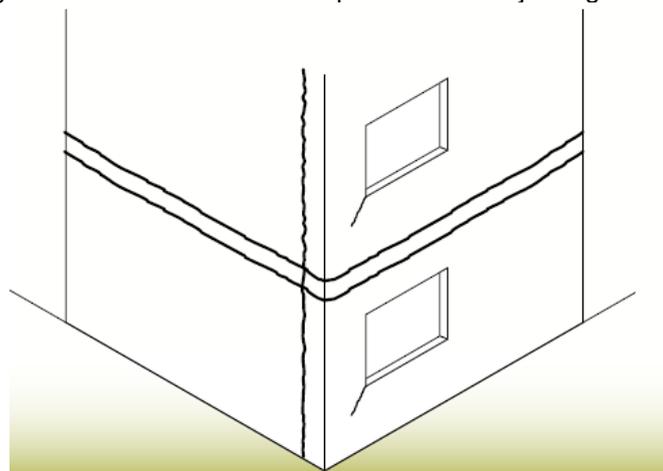


Fonte: DUARTE (1998)

4.2.4 FISSURAS CAUSADAS POR MOVIMENTAÇÃO HIGROSCÓPICA

Em função do teor de umidade, os materiais porosos constituintes dos blocos podem sofrer variações volumétricas (THOMAZ E HELENE, 2000). Segundo SAMPAIO (2010), essa variação volumétrica causa deformação excessiva em lajes ancoradas nas paredes, produzindo esforços de flexão os quais ocasionam fissuras (Figura 50). A expansão de alvenaria por movimentação higroscópica tem mais probabilidade de ocorrer nas regiões da obra mais sujeitas à ação da umidade como, por exemplo, cantos desabrigados, platibandas e base das paredes (BAUER, 2006)

Figura 50 - Fissuras causadas por movimentação higroscópica

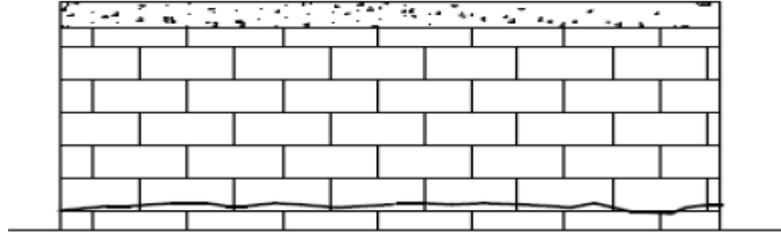


Fonte: BAUER (2006)

THOMAZ (1989) apud MICHELON (2016) afirma que as fissuras por movimentações higroscópicas podem ser facilmente confundidas com as causadas por variação de temperatura. O mesmo autor também declara que as configurações

das fissuras ocasionadas por esse fenômeno não têm padrão definido, podendo ser verticais, diagonais ou horizontais (Figura 51).

Figura 51 - Fissura horizontal causada por movimentação higroscópica



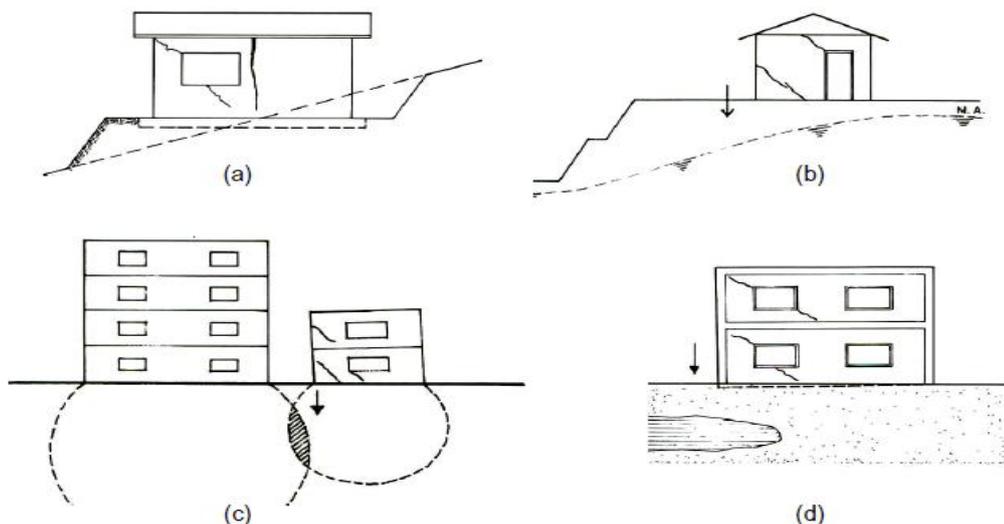
Fonte: THOMAZ (2001) apud SAMPAIO (2010)

4.2.4 FISSURAS CAUSADAS POR RECALQUE DE FUNDAÇÃO

As fissuras causadas por recalques nas fundações são de maneira geral inclinadas e tendem a se localizar próximas do primeiro pavimento; entretanto, em casos mais graves podem ser encontradas também em pavimentos superiores (MOHAMAD, 2015).

THOMAZ (2001) apud SAMPAIO (2010) afirma que os fatores que provocam recalques nas fundações, e conseqüentemente fissuras nas edificações, são: fundações assentadas sobre seções de corte e aterro (Figura 52 - a), rebaixamento do lençol freático em função de corte na lateral inclinada do terreno (Figura 52 - b), interferência de fundações vizinhas no bulbo de pressões (Figura 52 - c) e falta de homogeneidade do solo (Figura 52 - d).

Figura 52 - Fissuras oriundas de recalques nas fundações

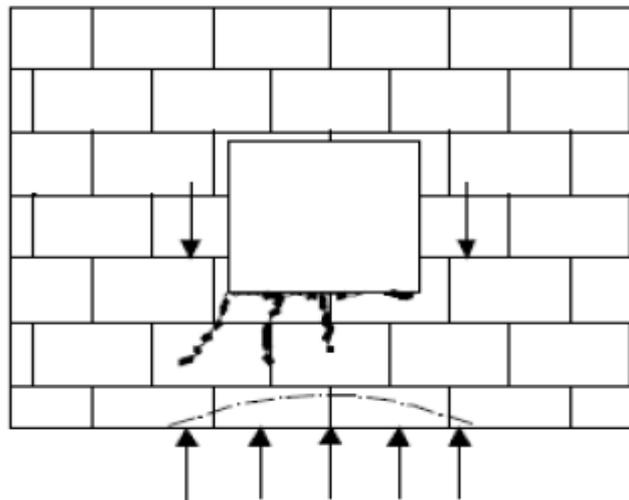


Fonte: THOMAZ (2000) apud RICHTER (2007)

4.2.5 FISSURAS EM VIRTUDE DE CARREGAMENTO DESBALANCEADO

Segundo SAMPAIO (2010) carregamentos desbalanceados ocorrem em virtude da existência de sapatas corridas ou vigas de fundação muito flexíveis. A autora afirma que esse tipo de carregamento pode causar fissuras (Figura 53) principalmente ao redor de peitoris de janelas, devido à sobrecarga concentrada nessas regiões de abertura. A configuração da fissuração é geralmente vertical.

Figura 53 - Fissuras causadas por carregamentos desbalanceados



Fonte: THOMAZ (2001) apud SAMPAIO (2010)

4.2.6 FISSURAS CAUSADAS POR REAÇÕES QUÍMICAS

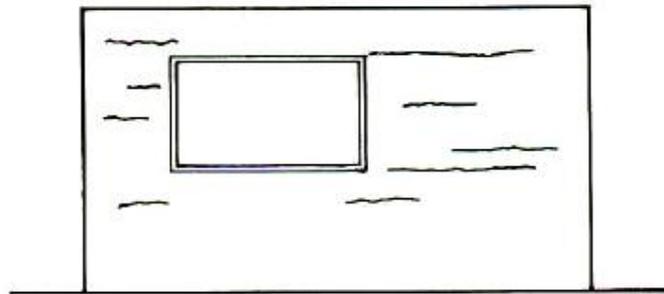
THOMAZ (2000) apud RICHTER (2007) declara que os materiais de construção são susceptíveis a deterioração pela ação de substâncias químicas. Desta forma, os materiais de construção devem estar estáveis quimicamente ao longo do tempo, especialmente quando em contato com a água (DUARTE, 1998).

Entretanto, DUARTE (1998) comenta que os materiais contêm com frequência excesso de sais solúveis ou reativos devido à falta de qualidade no processo de fabricação. Esses sais, quando em presença de umidade, podem sofrer reações expansivas no processo de cristalização com o aumento de volume provocando fissuração nas paredes (DUARTE, 1998).

A expansão de argamassas mistas de cal após sua aplicação pode causar fissuras horizontais (Figura 54), principalmente nas fachadas com incidência de umidade por infiltração de chuvas. Esse processo pode ocorrer durante a hidratação

da cal virgem, principalmente da cal dolomítica, quando a reação de hidratação não se processa totalmente, vindo a ocorrer de forma muito lenta na parede após a aplicação de argamassa. A hidratação do óxido de magnésio pode ocorrer concomitantemente a carbonatação da cal, causando um aumento de volume na direção vertical ao longo de uma junta horizontal de argamassa de assentamento. Portanto, a configuração a fissuração resultante é na direção horizontal, onde há maior quantidade de argamassa (DUARTE, 1998).

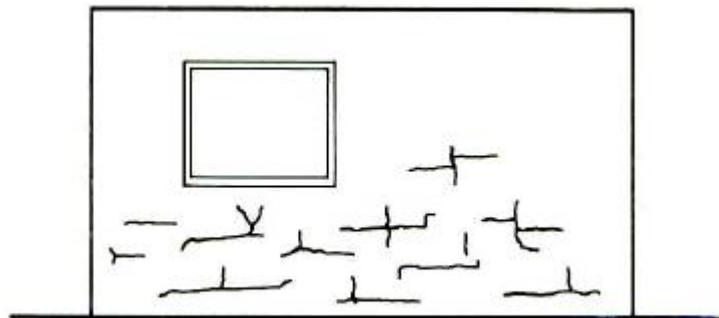
Figura 54 - Fissuras horizontais provocadas pela expansão da argamassa de assentamento



Fonte: THOMAZ (2000) apud RICHTER (2007)

Dentre os sais solúveis, os sulfatos são os que mais reagem com o C_3A (aluminato tricálcico) do cimento Portland contido na argamassa, provocando um aumento de volume predominante na argamassa de assentamento horizontal (DUARTE, 1998). Esse aumento de volume ocasiona inicialmente uma expansão geral da alvenaria, sendo que em casos mais graves poderá acontecer uma desintegração progressiva das juntas de argamassa e o aparecimento de fissuras, como mostra a Figura 55 (THOMAZ, 2000 apud RICHTER, 2007).

Figura 55 - Fissuras causadas por ataque de sulfatos



Fonte: THOMAZ (2000) apud RICHTER (2007)

THOMAZ (2000 apud RICHTER (2007) destaca que as fissuras por ataque de sulfatos possuem configuração semelhante àquelas que ocorrem por retração da argamassa, embora, divirjam em três aspectos fundamentais: apresentam aberturas mais pronunciadas; acompanham aproximadamente as juntas de assentamento horizontais e verticais; e geralmente aparecem acompanhadas de eflorescências.

4.2.6 OUTRAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Outro tipo de manifestação patológica muito comum é a presença de eflorescências e infiltração de água nos componentes de alvenaria ou nas juntas de assentamento. Geralmente, as infiltrações causam manchas de umidade (Figura 56), corrosão desenvolvimento de fungos, algas e até eflorescências; estão relacionadas a fatores como: defeitos ou não execução de detalhes construtivos como pingadeiras e peitoris, geometria das fachadas que permita que o fluxo se dirija a pontos vulneráveis, falta de isolamento térmico e impermeabilização nas lajes, inclinação inadequada nas superfícies horizontais (MOHAMAD, 2015).

Figura 56 - Manchas de umidade abaixo do peitoril



Fonte: ANTUNES (2011)

A infiltração de água proveniente do solo é outro tipo de patologia prejudicial à edificação, principalmente pelo fato de que ela traz consigo, geralmente, uma série

de inconvenientes naturais que podem ser: lixiviação, eflorescências, bolor e outros (ANTUNES, 2011). Segundo THOMAZ (1990) apud ANTUNES (2011), todos os solos contêm um teor natural de umidade, que, em função do seu tipo e do nível do lençol freático, poderá ascender por capilaridade até a base das paredes, problema que é mais substancial nas edificações assentadas sobre solos argilosos (Figura 57).

Figura 57 - Mancha de umidade proveniente do solo



Fonte: ANTUNES (2011)

Acerca de eflorescências em paredes de alvenaria, Bauer declara:

“Eflorescência é decorrente de depósitos salinos, principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalinos-terrosos (cálcio e magnésio) na superfície de alvenarias, provenientes da migração de sais solúveis nos materiais e componentes da alvenaria. Elas podem alterar a aparência da superfície sobre a qual se depositam e em determinados casos seus sais constituintes podem ser agressivos, causando desagregação profunda, como no caso dos compostos expansivos. Para a ocorrência da eflorescência devem existir, concomitantemente, três condições: existência de teor de sais solúveis nos materiais ou componentes, presença de água e pressão hidrostática necessária para que a solução migre para a superfície. Portanto, para evitar esse fenômeno, deve-se eliminar uma das três condições.” (BAUER, 2006, p. 35)

A figura 58 ilustra o aparecimento de eflorescências em edificações.

Figura 58 - Eflorescência em parede de alvenaria estrutural



Fonte: CORRÊA (2010)

4.3 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA INTERVENÇÕES EM ELEMENTOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

4.3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As técnicas comumente aplicadas nas intervenções em elementos de alvenaria estrutural utilizam materiais convencionais como o aço e concreto, em que novos pilares e vigas são adicionados à estrutura. Todavia, técnicas como grauteamento, colagem de chapas metálicas, aplicação de argamassa armada ou protensão externa também podem ser empregadas. (MOHAMAD, 2015).

MOHAMAD (2015) afirma que é importante salientar que uma intervenção em elemento de alvenaria estrutural pode ocorrer tanto para restaurar a capacidade de carga original quanto para aumentá-la. Segundo o autor, quando o intuito é restaurar a capacidade de carga estrutural, chamamos de reparo. Caso a intervenção vise o incremento da capacidade de carga da estrutura, trata-se de um reforço estrutural.

Em relação aos cuidados no emprego de intervenções nas construções em alvenaria estrutural, Mohamad ressalta:

As intervenções realizadas para reparar estruturas devem ser executadas com muito cuidado, visto que quando as estruturas apresentam manifestações patológicas, há a possibilidade de que ocorram redistribuições de esforços para as partes sãs da estrutura, causando problemas muito mais graves do que os detectados inicialmente. No caso da alvenaria estrutural, funciona ao mesmo tempo como elemento de vedação e elementos estrutural, com função de absorver e suportar cargas, o que a torna muito sensível às redistribuições de esforços ocasionadas por eventuais patologias. No caso das intervenções que visam à execução de reforços estruturais há de se considerar que estas podem originar um novo sistema estrutural, diferente do que foi concebido originalmente, fazendo

com que a estrutura existente suporte novas solicitações de projeto. Essas operações, [...] devem ser concebidas com muito cuidado, uma vez que podem exigir, além do reforço de elementos estruturais danificados, ou que necessitem aumento em sua capacidade de carga, operações de reforço nas fundações. (MOHAMAD, p. 191, 2015)

MOHAMAD (2015) afirma que os reforços em elementos de alvenaria estrutural são executados comumente em casos de existência de manifestações patológicas, mudanças de utilização, necessidade de suportar cargas adicionais paralelas ou perpendiculares às paredes, devido a erros de projeto, ou da necessidade de suportar cargas sísmicas, de vento ou impacto.

4.3.2 INJEÇÃO DE RESINAS POLIMÉRICAS EXPANSIVAS OU GRAUTE

Método de reforço que visa dar maior rigidez ao elemento estrutural o qual está sofrendo esforços de tração excessivos, injetando nele um material que ajudará na recomposição da estrutura. Esse material pode ser uma resina polimérica ou graute que atuará protegendo o sistema construtivo. Podem ser aplicados diretamente nas fissuras, devolvendo a rigidez e permitindo certa deformabilidade. Além disso, a selagem das fissuras, através do emprego desse método, funciona como barreira eficiente contra agressões externas à edificação (MICHELON, 2016).

Segundo RANGEL (2013), as resinas poliméricas são classificadas em três tipos:

- a) Resinas termofixas: quando se solidificam não se refundem, necessitam de um catalisador e geralmente apresentam características superiores às das resinas termoplásticas. Exemplos: poliéster insaturada, éster-vinilica, epóxi, fenólica e poliamida.
- b) Resinas termoplásticas: podem ser reaproveitadas diversas vezes por aquecimento e resfriamento. Exemplos: polipropileno, poliestireno, cloreto de polivinil (PVC), acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), poliamida (nylon), policarbonato.
- c) Elastômeros: possuem alta elasticidade e deformação permanente baixa. Exemplos: silicone, Neoprene e borracha natural.

As mais utilizadas na Engenharia Civil, conforme comenta RANGEL (2013), são as termofixas. Na tabela 4 é apresentada as principais propriedades das resinas desse grupo.

Tabela 4 – Propriedade das resinas termofixas

| Matriz | Massa específica, ρ (g/cm³) | Modulo de elasticidade, E (Gpa) | Resistência à tração σ (Mpa) | Deformação máxima, ϵ (%) |
|---------------|---|--|---|---|
| Poliéster | 1,2 | 4 | 65 | 2,5 |
| Epóxi | 1,2 | 3 | 90 | 8 |
| Vinílica | 1,12 | 3,5 | 82 | 6 |
| Fenólica | 1,24 | 2,5 | 40 | 1,8 |
| Poliuterano | vários | 2,9 | 71 | 5,9 |

Fonte: RANGEL (2013)

Observamos que a resina epóxi possui uma resistência à tração e deformação máxima maior que as outras resinas termofixas. Segundo MICHELON (2016), é a resina expansiva mais empregada no reforço de estruturas.

A operação de injeção consiste, basicamente, na emissão de graute ou resina epóxi em furos previamente executados e convenientemente distribuídos, para preencher fissuras ou, eventualmente, vazios no interior da alvenaria. As injeções podem ser executadas sob pressão, por gravidade ou por vácuo (MOHAMAD, 2015).

4.3.3 GRAUTEAMENTO

Segundo MOHAMAD (2015), é a técnica mais aplicada no reforço de estruturas de alvenaria estrutural quando se deseja aumentar a resistência à compressão, à flexão ou ao cisalhamento das paredes. O grauteamento consiste em preencher furos verticais dos blocos vazados, ao longo de toda altura da parede, com graute e barras de aço. A armadura deve ser devidamente ancorada, pois o conjunto bloco, graute e armadura funcionará como uma espécie de pequeno pilar inserido na parede. A presença desses pilaretes incrementa a rigidez da parede de alvenaria, o que deve ser considerado ao se optar por essa técnica de reforço. Uma desvantagem dessa técnica é a dificuldade de execução em estruturas já construídas (MOHAMAD, 2015).

3.3.4 ADIÇÃO DE ELEMENTOS EM AÇO

Existe a possibilidade de reforçar a alvenaria adicionando elementos estruturais em aço nas direções vertical, horizontal ou diagonal, objetivando aumentar a resistência e a rigidez das paredes (MOHAMAD, 2015).

A incorporação de escoras metálicas, visando aumentar a rigidez da parede e funcionando como um quadro treliçado (Figura 59), é um exemplo de reforço estrutural com adição de elementos de aço (MOHAMAD, 2015).

Figura 59 - Incorporação de escoras em parede de alvenaria

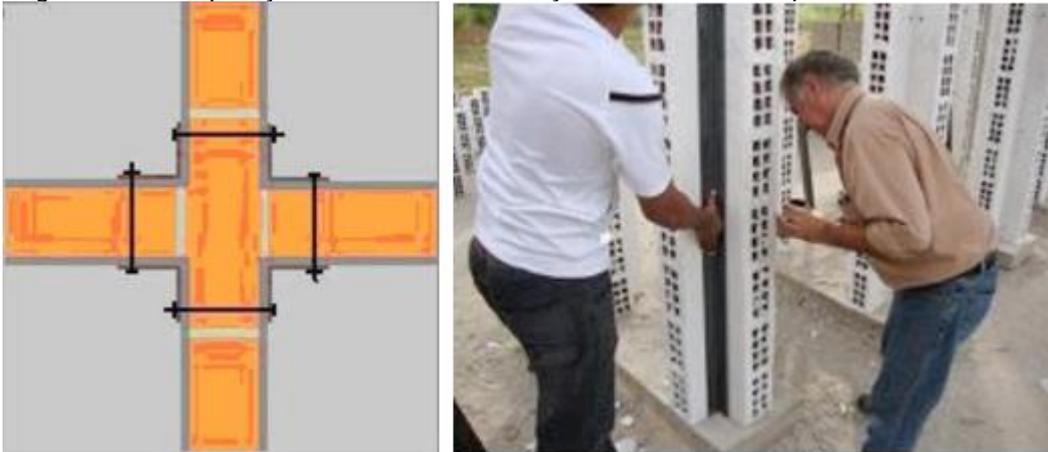


Fonte: TAGHDI et al., 2000

Estruturas de aço como colunas e vigas também podem ser projetadas para trabalhar de forma totalmente independente da estrutura original. Elas são construídas internamente ou externamente ao edifício e ancoradas nas paredes existentes (MOHAMAD, 2015).

Um exemplo é a incorporação de cantoneiras de aço intertravadas com parafusos nos cantos e encontros de paredes de alvenaria, conforme PIRES SOBRINHO et al. (2010). Segundo o autor, em caso de colapso de uma parede, esse tipo de reforço permite a transferência das cargas para a estrutura metálica constituída pelas cantoneiras. O resultado é uma estrutura dúctil, a qual não permite o colapso progressivo da parede.

Figura 60 - Incorporação de cantoneiras de aço intertravadas em paredes de alvenaria

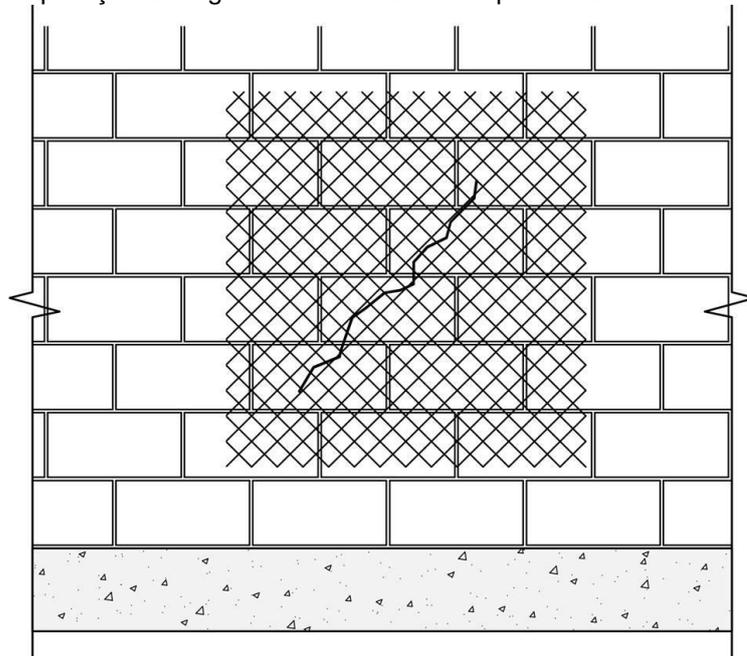


Fonte: PIRES SOBRINHO ET AL. (2010)

4.3.5 ARGAMASSA ARMADA

Segundo MOHAMAD (2015), a técnica consiste em adicionar a superfície da parede de alvenaria uma tela metálica galvanizada recoberta com argamassa, como mostra a Figura 61. Ela pode ser empregada tanto para execução de pequenos reparos, como na reabilitação de paredes de alvenaria com aparecimento de fissuras, quanto para execução de reforços estruturais (MOHAMAD, 2015).

Figura 61 - Aplicação de argamassa armada sobre parede de alvenaria com fissura



Fonte: THOMAZ (1989) apud MICHELON (2016)

Os benefícios da adição de argamassa armada em toda a extensão da parede de alvenaria são o aumento de resistência aos esforços de cisalhamento, aplicados no próprio plano da parede, e aos esforços de flexo-compressão, provocados por excentricidades na aplicação do carregamento (MOHAMAD, 2015).

CHAGAS (2005) apud MOHAMAD (2015) comenta que a resistência à compressão também pode ser aumentada, devido a redução da relação entre a altura e a espessura da parede.

4.3.6 CONCRETO PROJETADO

É uma técnica bastante utilizada no reforço de parede de alvenaria (Figura 62), com o objetivo de aumentar a resistência perante a esforços aplicados tanto no próprio plano quanto fora do plano da parede (MOHAMAD, 2015).

Figura 62 - Aplicação de concreto projetado



Fonte: Eigawady (2004) apud MICHELON (2016)

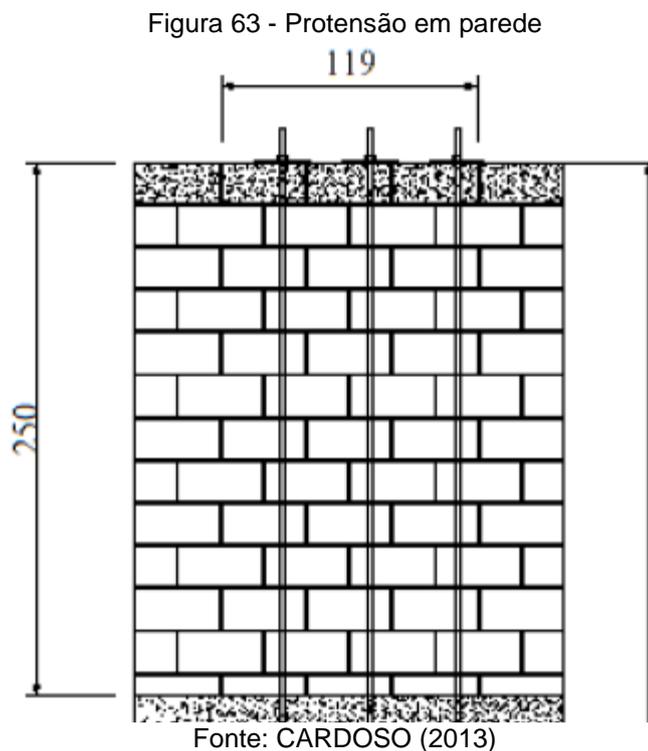
CÁNOVAS (1988 apud MOHAMAD, 2015) destaca vantagens da utilização dessa técnica para reforço de elementos estruturais: Economia, rapidez na execução, adequado comportamento à corrosão e ao fogo e a possibilidade de execução em estruturas já construídas ou em construção. Todavia, MOHAMAD (2015) aponta algumas desvantagens, como por exemplo o aumento demasiado das seções reforçadas e a exigência de um certo tempo para que o elemento estrutural seja submetido novamente a aplicação de carga.

4.3.7 PROTENSÃO

CARDOSO (2013) afirma que o emprego da protensão permite a aplicação de uma tensão de compressão inicial (pré-compressão) na parede de alvenaria, visando diminuir ou zerar as tensões de tração que aparecerão quando ela estiver

em uso. A autora conclui que a protensão proporciona um aumento na resistência à esforços laterais, mesmo em edificações mais esbeltas.

MOHAMAD (2015) comenta acerca da possibilidade de reforçar as paredes de alvenaria com elementos de aço protendidos (Figura 63), os quais são inseridos nos furos verticais da alvenaria e ancorado nas extremidades. O autor declara que há um incremento na capacidade resistente à flexão do elemento estrutural reforçado.



4.3.8 POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRAS (PRF)

Segundo MOHAMAD (2015), os PRF são, em essência, materiais compósitos. ASKELAND E PHULÉ (2006 apud MOHAMAD, 2015) explicam que um material compósito é produzido pela combinação de dois ou mais materiais, visando obter um novo material que tenha propriedades superiores às dos materiais constituintes. Os materiais constituintes básicos dos PRF são as fibras de alto desempenho, sendo as de carbono, aramida e vidro as mais comuns e matriz polimérica, sendo as resinas termofixas de base epóxi as mais empregadas. (MOHAMAD, 2015).

As principais vantagens dessa técnica de reforço são a alta resistência aliada a baixa densidade, boa durabilidade em vários tipos de ambiente, facilidade e velocidade de instalação, flexibilidade de formas e neutralidade eletromagnética (MOHAMAD, 2015). Entretanto, o autor afirma que o alto custo dos PRF, comparado aos materiais convencionais da mesma finalidade, é a principal desvantagem para a utilização da técnica de reforço. Desta forma, o autor conclui que o emprego desses materiais só se justifica plenamente em situações nas quais suas propriedades podem trazer benefícios não obtidos com materiais convencionais.

A figura 64 mostra algumas formas de produtos comerciais de PRF.

Figura 64 - Diferentes produtos de PRF para aplicação em recuperação e reforço estrutural



Fonte: BISBY e FITZWILLIAM (2003) apud MENEGHETTI (2007)

Para a aplicação desses compósitos, existem dois métodos tradicionais: O método de aplicação do PRF colado e o método de aplicação de faixas laminadas ou barras de PRF inseridas em entalhes executados na alvenaria.

O primeiro método é empregado baseado nas seguintes etapas:

- Limpeza, preparação e recuperação do substrato para que o sistema possa ser aderido com segurança.
- Imprimação da superfície sobre a qual será aplicado o reforço, com uma formulação de viscosidade mais baixa, quimicamente compatível, denominada primer, para consolidar o substrato e estabelecer uma ponte de aderência com a formulação adesiva que formará a matriz do compósito.
- Regularização e correção das imperfeições superficiais do substrato, com uma camada de resina tixotrópica, denominadas de putty, de modo a estabelecer um plano adequadamente nivelado para aplicação do reforço.
- Colagem do reforço.

(MOHAMAD, p. 210, 2015)

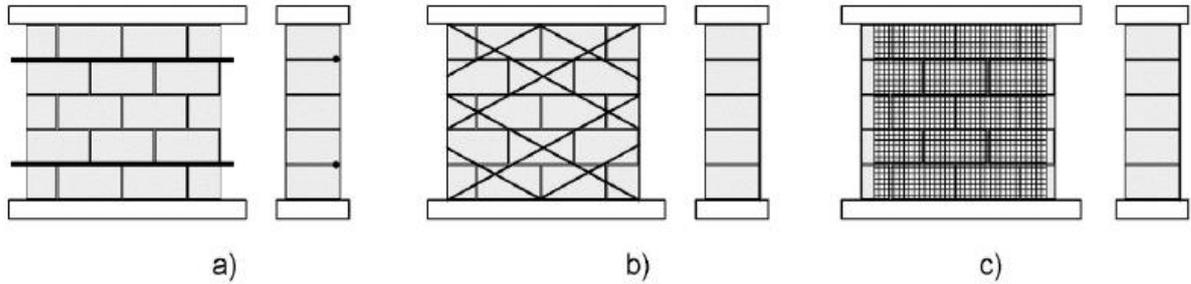
O segundo método é executado baseado nos seguintes passos:

- Execução dos entalhes, com máquina de corte via seca.
- Limpeza dos entalhes com aplicação de jato de ar, visando deixar a superfície isenta de pó.
- Limpeza das barras ou laminados de CRFP com acetona ou produto indicado pelo fabricante, de forma que fiquem isentos de gordura e pó.
- Mistura dos componentes da resina.
- Aplicação da resina ao longo dos entalhes. No caso de utilização de laminados, a resina deve ser aplicada, também, em ambas as faces dos laminados, em camada uniforme de espessura de aproximadamente 1 mm.
- Posicionamento do PRF no entalhe, atentando para eventual formação de vazios e retirando possíveis excessos de resina.

(MOHAMAD, p. 215, 2015)

A figura 65 ilustra três modos de aplicação de reforço estrutural com PRF, conforme métodos supracitados.

Figura 65 - (a) barra inseridas próximas à superfície; (b) laminados dispostos em treliça; e (c) tecido do PRF colado



Fonte: STRATFORD et al. (2004) apud MOHAMAD (2015)

5. CONCLUSÃO

As construções em alvenaria são realizadas desde os primórdios da humanidade de forma empírica, porém desde o século XX vem evoluindo tecnologicamente e se tornando uma forte alternativa perante as construções em concreto armado, principalmente sua vantagem econômica, especialmente em edificações de baixa ou média altura. A alvenaria é caracterizada por possuir uma boa resistência à compressão, porém baixa resistência à tração e cisalhamento como ponto negativo. Desta forma, o projetista estrutural deve atentar a esse fato, confeccionando projetos que garantam a segurança estrutural devida. A elaboração de projetos deve ser compatibilizada desde a sua concepção, de forma que os projetos arquitetônicos, estruturais e de instalações sejam harmônicos e coordenados. O processo produtivo deve seguir a literatura especializada e as normas existentes, para que a racionalização seja efetivamente garantida, trazendo a eficiência e otimização para as tarefas construtivas, características fundamentais para o sucesso desse sistema. O uso de mão de obra qualificada e ferramentas adequadas é muito importante, visto que impacta diretamente na qualidade da edificação a ser construída.

A patologia das construções é um campo da engenharia que se preocupa em estudar as origens, causas e consequências das falhas e deteriorações de estruturas. As patologias nas construções em alvenaria estrutural podem ocorrer por diversos motivos, mas principalmente por má elaboração dos projetos, falhas e falta de controle na execução da obra, escolha errada dos materiais e a não realização de manutenções preventivas. A manifestação patológica mais comum em elementos de alvenaria são as fissuras, as quais podem ocorrer por diversos motivos e possuir diferentes configurações. Entre as causas mais comuns, podemos citar as fissuras causadas por carregamento excessivo, retração, movimentação térmica, movimentações higroscópicas, recalque diferencial, carregamentos desbalanceados e reações químicas. As configurações das fissuras geralmente encontradas em alvenaria estrutural são as fissuras verticais, horizontais e inclinadas. Outros tipos de patologias surgem nas estruturas em alvenaria, como infiltrações, eflorescências, manchas de umidade, flechas excessivas e corrosão de armadura.

Para a reabilitação de elementos de alvenaria deteriorados, empregam-se técnicas de intervenção ou reforço estrutural. Entre as técnicas convencionais,

podemos citar a injeção de resina polimérica expansiva ou graute, grauteamento, adição de elementos em aço, argamassa armada, concreto projetado e protensão. Uma técnica relativamente nova para a recuperação estrutural de edificações que apresentam patologias é o emprego de materiais compósitos como os polímeros reforçados com fibras (PRF), os quais possui baixa massa específica, e dessa maneira não aumentam significativamente o peso próprio da estrutura, boa durabilidade e alta resistência à tração. Em contrapartida, possuem um custo elevado, portanto cabe ao engenheiro responsável analisar a melhor opção técnica a ser utilizada levando em consideração sempre a relação custo x benefício, bem como a segurança estrutural. As intervenções realizadas para reparar construções em alvenaria estrutural devem ser cuidadosamente executadas, pois como o elemento de alvenaria desempenha função estrutural, absorvendo e suportando cargas, é muito sensível a qualquer redistribuição de esforços ocasionadas por patologias ou reforço estrutural.

A partir do desenvolvimento da pesquisa, faz-se algumas recomendações para trabalhos futuros:

- a) Estudos sobre a relação entre o surgimento das patologias em empreendimentos de pequeno e grande porte;
- b) Estudo sobre a identificação de patologias em uma determinada edificação em alvenaria estrutural, propondo as técnicas de reparo ou reforço estrutural mais adequadas para o caso;
- c) Levantamento quantitativo de patologias em construções de habitação de interesse social construídas em alvenaria estrutural, identificando as causas e possível relação entre a fiscalização e controle de produção de obras e surgimento de patologias;
- d) Estudo comparativo entre construções em estrutura de concreto armado e alvenaria estrutural em relação às manifestações patológicas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). **Metodologia de execução - passo a passo para construir alvenarias de blocos vazados de concreto, 2010.** São Paulo.

ANTUNES, E. G. P. **Análise de manifestações patológicas em edifícios de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos em empreendimentos de interesse social de Santa Catarina, 2011.** 263 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14974 (2003) – **Bloco Silício-Calcário para Alvenaria.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15812-1 (2010) - **Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos Parte 1: Projeto.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15812-2 (2010) - **Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos Parte 2: Execução e controle de obras.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961-1 (2011) - **Alvenaria estrutural – Blocos de concreto Parte 1: Projeto.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961-2 (2011) - **Alvenaria estrutural – Blocos de concreto Parte 2: Execução e controle de obras.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12118 (2013) – **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136 (2016) – **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1 (2017) – **Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 1: Requisitos.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-2 (2017) – **Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 2: Métodos de ensaios.**

BAUER, R. J. F. **Patologias em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.** 2006. Revista Prisma: Caderno Técnico Alvenaria Estrutural, São Paulo, v. 5, p. 33–38.

CAMACHO, J.S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural,** 2006. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. Ilha Solteira, São Paulo.

CARDOSO, R. **Alvenaria estrutural protendida: princípios e aplicação.** 2013. 77 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CORRÊA, E. S. **Patologias decorrentes de alvenaria estrutural.** 2010. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

DUARTE, R.B. **Fissuras em alvenaria: causas principais medidas preventivas e técnicas de recuperação,**1998. Boletim técnico nº25 - Porto Alegre.

FREITAS, J.A. **Alvenaria estrutural,** 2013. Notas de aula - Universidade Federal do Paraná.

GRAZIANO, F.P. **Compatibilização de Projetos,** 2003. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT, São Paulo

MELO C.M. **Projeto arquitetônico: necessidade e dificuldades do arquiteto frente às particularidades do processo construtivo de alvenaria estrutural,** 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina

MENEGHETTI, L.C. **Análise do comportamento à fadiga de vigas de concreto armado reforçadas com PRF de vidro, carbono e aramida.** 2007. Dissertação (Mestrado) – Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

MICHELON, D. **Alvenaria estrutural: Recuperação e reforço de edificação residencial.** 2016. 76 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MOHAMAD, G. (coord.) **Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho**. São Paulo: Edgard Blücher, 2015.

PAULUZZI. **Alvenaria estrutural**. Disponível em:

<http://www.pauluzzi.com.br/alvenaria.php>. Acesso em 17/04/2019.

PIRES SOBRINHO, C. W. A.; OLIVEIRA, R.A.; SILVA, F.A.N; MONTEIRO. C. Q. **Comportamento compressivo de reforço para paredes de edifícios construídos em alvenaria resistente empregando cantoneiras de aço**. In: VI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGÍA Y RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS, Córdoba, 2010.

RAMALHO, M.A. CORRÊA, M.R.S. **Projeto de Edifício Alvenaria Estrutural**, em 2003. 1ª Ed. Editora: PINI. São Paulo.

RANGEL, G. W. A. **Avaliação do desempenho estrutural de painéis de alvenaria de blocos de concreto reforçados com PRFC**. 2013. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade**. 2007. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ROMAN, H.R. MUTTI, C.N. ARAÚJO, H.N. **Construindo em alvenaria estrutural**, 1999. 1ª Ed. Editora da UFSC, Florianópolis.

SABBATINI, F.H. **Alvenaria Estrutural - Materiais, execução da estrutura e controle tecnológico: Requisitos e critérios mínimos a serem atendidos para solicitação de financiamento de edifícios em alvenaria estrutural junto à Caixa Econômica Federal, 2003** - Caixa econômica Federal. Diretoria de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano.

SAMPAIO, M. B. **Fissuras em edifícios residenciais em alvenaria estrutural**. 2010. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

SÁNCHEZ, E. (coord.) **Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2013.

SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Pequenas e Micro Empresas). **Diretrizes Gerais para Compatibilização de Projetos, 1995**. Curitiba.

SILVA, L. B. **Patologias em alvenaria estrutural: Causas e diagnóstico. 2013**. 76 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

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

TAGHDI, M.; BRUNEAU, M.; SAATCIOGLU, M. Seismic retrofitting of low-rise masonry and concrete walls using steel strips. **Journal of Structural Engineering 2000**. p. 1017-1025, 2000.

TAUIL, C.A.; NESE, F.J.M. **Alvenaria Estrutural. 2010**. 1ª Ed. Editora: PINI. São Paulo.

THOMAZ, E; HELENE P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios, 2000**. Boletim técnico-Universidade de São Paulo.