

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MATEUS NAKAMOTO

**PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS: ANÁLISE E SOLUÇÕES DE FISSURAS EM
CONSTRUÇÕES DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Ilha Solteira - SP

2025

MATEUS NAKAMOTO

**PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS: ANÁLISE E SOLUÇÕES DE FISSURAS EM
CONSTRUÇÕES DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
do Campus de Ilha Solteira – UNESP,
como parte dos requisitos para obtenção
do grau de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Jorge Luis Akasaki

Ilha Solteira - SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

N163p Nakamoto, Mateus.
Patologia das estruturas: análise e soluções de fissuras em construções de alvenaria estrutural / Mateus Nakamoto. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
74 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025

Orientador: Jorge Luis Akasaki
Inclui bibliografia

1. Alvenaria estrutural. 2. Patologia. 3. Fissuras.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: **MATEUS NAKAMOTO**

Titulo: **PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS: ANÁLISE E SOLUÇÕES DE FISSURAS EM CONSTRUÇÕES DE ALVENARIA ESTRUTURAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JORGE LUIS AKASAKI**
Data: 18/06/2025 11:43:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO BORTOLETTO**
Data: 18/06/2025 12:31:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Bortoletto
(Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO GAROZI DA SILVA**
Data: 18/06/2025 11:37:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Garozi da Silva
(Examinador)

Ilha Solteira
18/06/2025

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo suporte, carinho, educação e incentivo a formação e desenvolvimento intelectual que me afastam do obscurantismo atual.

Aos meus amigos por todo apoio e pelos momentos vividos que facilitaram a vida acadêmica durante toda a graduação.

A UNESP, todos os docentes, especialmente ao orientador Professor Doutor Jorge Luis Akasaki, servidores e funcionários que permitem e promovem um ensino público de qualidade.

RESUMO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo antigo, utilizado desde o começo das primeiras construções, como os nuragues. A função estrutural é exercida pelas paredes, constituídas pela união das unidades (blocos) e argamassa. Até surgirem as normalizações e estudos mais aprofundados, por volta da década de 1950, este sistema era construído de forma mais empírica, considerado alvenaria resistente. Atualmente é muito utilizado, principalmente no Brasil para as edificações de pequeno e médio padrão, influenciadas por programas de auxílio governamental, como Minha Casa Minha Vida, por ser um sistema racionalizado e industrializado, reduzindo os custos e tempo de construção, mas mantendo um padrão de qualidade. O presente trabalho apresenta uma análise sobre a patologia em construções de alvenaria estrutural, com foco no estudo das fissuras que representam a manifestação patológica mais recorrente neste sistema construtivo. O objetivo central consiste em compreender os fatores que originam tais fissuras, a fim de apresentar soluções para sua prevenção em novos projetos e para o tratamento adequado em obras existentes. A metodologia empregada baseou-se em uma revisão da literatura, fundamentada em livros, teses e nas normas técnicas brasileiras pertinentes. A pesquisa histórica demonstrou a evolução da alvenaria desde um método construtivo empírico até um sistema racionalizado e moderno, enquanto o estudo da patologia estabeleceu a importância de um processo criterioso de diagnóstico, prognóstico e terapia para as manifestações patológicas das construções. A análise das causas identificou que a principal vulnerabilidade da alvenaria é sua baixa resistência à tração e ao cisalhamento, sendo as fissuras geradas principalmente por movimentações térmicas e higroscópicas, sobrecargas, recalques de fundação e retração dos materiais. Como principal abordagem para garantir a durabilidade, destacou-se a prevenção, materializada pela introdução de juntas de dilatação, uso de armaduras, controle da umidade e rigor na especificação e execução dos serviços. Para as fissuras já manifestadas, demonstrou-se que a terapia eficaz depende de um diagnóstico preciso da causa, sendo apresentadas soluções como a aplicação de bandagens de dessolidarização, a criação de juntas deformáveis e reforços como a costura interna com graute e o atirantamento. Conclui-se que a chave para o bom desempenho das estruturas de alvenaria reside na compatibilização entre projeto, materiais e execução, com um planejamento que antecipe as movimentações e tensões que a edificação estará sujeita ao longo de sua vida útil.

Palavras-chave: Alvenaria Estrutural; Patologia; Fissuras.

ABSTRACT

Structural masonry is an ancient construction system, used since the beginning of the first constructions, such as the nuraghes. The structural function is performed by the walls, which are composed of units (blocks) and mortar. Until the emergence of standardizations and more in-depth studies around the 1950s, this system was built in a more empirical manner, being considered resistant masonry. Currently, it is widely used, especially in Brazil for small and medium-standard buildings, influenced by government aid programs like "Minha Casa Minha Vida," as it is a rationalized and industrialized system that reduces construction costs and time while maintaining a standard of quality. This paper presents an analysis of pathology in structural masonry constructions, with a focus on the study of cracks, which represent the most recurrent pathological manifestation in this construction system. The central objective is to understand the factors that cause such cracks in order to present solutions for their prevention in new projects and for proper treatment in existing structures. The methodology employed was based on a literature review, grounded in books, theses, and relevant Brazilian technical standards. The historical research demonstrated the evolution of masonry from an empirical construction method to a rationalized and modern system, while the study of pathology established the importance of a meticulous process of diagnosis, prognosis, and therapy for the pathological manifestations in constructions. The analysis of the causes identified that masonry's main vulnerability is its low resistance to tension and shear, with cracks being generated mainly by thermal and hygroscopic movements, overloads, foundation settlement, and material shrinkage. As the main approach to ensure durability, prevention was highlighted, materialized by the introduction of expansion joints, the use of reinforcement, moisture control, and rigor in the specification and execution of services. For cracks that have already manifested, it was shown that effective therapy depends on a precise diagnosis of the cause, with solutions presented such as the application of debonding bandages, the creation of deformable joints, and reinforcements like internal grout stitching and tying. It is concluded that the key to the good performance of masonry structures lies in the compatibility between design, materials, and execution, with a planning process that anticipates the movements and stresses the building will be subjected to throughout its service life.

Keywords: Structural Masonry; Pathology; Cracks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Microfissura em revestimento em argamassa.....	14
Figura 1.2 – Fissura em abertura	15
Figura 1.3 – Trincas, rachaduras e junta em vedação vertical	15
Figura 1.4 – Diferenças na classificação de alvenaria estrutural.....	16
Figura 2.1 – Nurague Santa Sabina - Itália	18
Figura 2.2 – Demonstração do uso de grampos em blocos de mármore	19
Figura 2.3 – Ksar de Ait Ben Haddou, Marrocos	20
Figura 2.4 – Tipos de paredes romanas.....	21
Figura 2.5 – Parte de uma parede <i>opus latericium</i>	21
Figura 2.6 – Cunha destacada no aqueduto de Ségovia	22
Figura 2.7 – Aqueduto romano em Segóvia, Espanha.....	23
Figura 2.8 – Pórtico formado por arcobotante e contraforte	24
Figura 2.9 – Edifício Monadnock Building atualmente.....	25
Figura 2.10 – Diferença de espessura pavimento superior e inferior do Monadnock	25
Figura 2.11 – Colapso progressivo no edifício Ronan Point (Londres)	27
Figura 2.12 – Hotel Excalibur, Las Vegas	28
Figura 2.13 – Igreja Cristo Obrero em Atlântida, Uruguai	29
Figura 2.14 – Momento fletor no pórtico da Igreja de Cristo Obrero	29
Figura 2.15 – Construções em alvenaria estrutural no Brasil.....	31
Figura 2.16 – Organograma da patologia da construção	33
Figura 4.1 – Orientação das fissuras em alvenarias	37
Figura 4.2 – Fissuras verticais: tipos e causas prováveis	38
Figura 4.3 – Fissuras horizontais: tipos e causas prováveis	39
Figura 4.4 - Fissuras diagonais: tipos e causas prováveis	40
Figura 4.5 – Fissura diagonal (escalonada)	41
Figura 4.6 – Fissuras causadas por aquecimento da laje de cobertura	43
Figura 4.7 – Fissuras verticais e amarração indireta em alvenaria autoportante	44
Figura 4.8 – Fissuras horizontal e escalonada causadas por dilatação da laje.....	45
Figura 4.9 – Processos higroscópicos.....	47
Figura 4.10 – Fissuras por destacamento entre componentes da alvenaria	48
Figura 4.11 – Fissuras por má execução da impermeabilização.....	49
Figura 4.12 – Fissuras verticais por sobrecarga vertical	50
Figura 4.13 – Fissuras horizontais por sobrecarga ou flexocompressão	50

Figura 4.14 – Ruptura e/ ou fissuração causadas por carregamento concentrado ...	51
Figura 4.15 – Fissuras geradas por sobrecargas em aberturas	52
Figura 4.16 – Fissuras teóricas por sobrecarga vertical.....	52
Figura 4.17 – Fissuras reais por sobrecarga vertical.....	53
Figura 4.18 – Fundações contínuas solicitadas por carregamentos desbalanceados: o trecho mais carregado apresenta maior recalque, surgindo fissuras de cisalhamento no painel.....	54
Figura 4.19 - Fundações contínuas solicitadas por carregamentos desbalanceados: sob as aberturas surgem trincas de flexão	54
Figura 4.20 – Recalque diferencial por consolidações distintas do aterro carregado	55
Figura 4.21 – Fundação assentada sobre corte e aterro, fissuras por cisalhamento	55
Figura 4.22 – Recalque por rebaixamento do lenço freático devido ao corte do terreno ao lado	56
Figura 4.23 – Fissura por retração da laje de cobertura.....	57
Figura 4.24 – Fissura por retração da laje de cobertura.....	57
Figura 4.25 – Recuperação de fissura por bandagem de dessolidarização	60
Figura 4.26 – Recuperação de fissuras por costura interna.....	61
Figura 4.27 – Reforço com a introdução de pilar de concreto armado.....	62
Figura 4.28 – Reforço com tirante	62
Figura 4.29 – Contraventamento metálico em alvenaria	63
Figura 4.30 – Concreto projetado.....	64
Figura 4.31 – Alvenaria estrutural com protensão.....	65
Figura 4.32 – PRFC e PRFV colados em parede de alvenaria	66
Figura 4.33 – Aplicação de barras de PRF a uma parede	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Propriedades higrotérmicas dos materiais.....	43
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das aberturas.....	14
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ELS	Estado-Limite de Serviço
ELU	Estado-Limite Último

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	DEFINIÇÕES.....	13
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	JUSTIFICATIVA	17
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	ALVENARIA ESTRUTURAL	18
2.1.1	Histórico mundial	18
2.1.2	Alvenaria estrutural na América do Sul.....	28
2.2	PATOLOGIA.....	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4	ANÁLISE E SOLUÇÕES DAS FISSURAS EM ALVENARIA	
	ESTRUTURAL	36
4.1	CLASSIFICAÇÃO DAS FISSURAS EM RELAÇÃO A DIREÇÃO.....	37
4.1.1	Fissuras verticais	37
4.1.2	Fissuras horizontais.....	38
4.1.3	Fissuras diagonais	39
4.2	CLASSIFICAÇÃO DAS FISSURAS EM RELAÇÃO AS CAUSAS.....	41
4.2.1	Fissuras causadas por movimentações térmicas	41
4.2.2	Fissuras causadas por movimentações higroscópicas	45
4.2.3	Fissuras causadas por sobrecargas em alvenarias	49
4.2.4	Fissuras causadas por recalques de fundação	53
4.2.5	Fissuras causadas pela retração	56
4.3	PREVENÇÃO	58
4.4	SOLUÇÕES PARA AS FISSURAS	59
5	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS.....	70
	GLOSSÁRIO	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 DEFINIÇÕES

A alvenaria estrutural é utilizada desde a Antiguidade e atualmente é amplamente empregada nos diversos empreendimentos, principalmente nas grandes construtoras devido à redução de prazo e custos, gerados pela redução de tempo da mão de obra e também por necessitar de menos materiais como fôrmas e concreto armado. Isto significa que este método apresenta racionalização e industrialização, pois os materiais empregados apresentam maior facilidade de quantificação e de controle tecnológico, diminuindo os desperdícios.

De acordo com Mohamad e Rizzatti (2013) a alvenaria estrutural (AE) é um sistema construtivo formado pela união do bloco (“unidade básica modular”) e argamassa que se associam e formam as paredes, estas responsáveis por suportar todas as ações incidentes. Também denominada de alvenaria autoportante, o que demonstra a importância estrutural das paredes para a edificação. Isto a difere da alvenaria convencional, uma vez que a resistência às cargas e carregamentos ocorre através dos elementos estruturais pilares e vigas (concreto armado) e cuja alvenaria tem função apenas de vedação, enquanto a AE apresenta dupla função: estrutural e vedação.

Segundo Bauer (2006, p. 35), “as fissuras ocupam o primeiro lugar na sintomatologia em alvenarias estruturais de blocos vazados de concreto”. Na maioria dos casos essa é uma manifestação patológica que prejudica mais “a estética, o conforto do usuário e a estanqueidade da construção” (Holanda, 2002, p.5), ou seja, atingiu o estado-limite de serviço (ELS) da edificação e deve receber tratamento adequado.

Ainda de acordo com Holanda (2002), as fissuras costumam ocorrer neste sistema construtivo, porque os materiais utilizados na fabricação das unidades básicas (blocos, tijolos) e argamassas são materiais frágeis e apresentam baixa resistência à tração. Sucessivamente, as paredes apresentam tais características, e considerando que a área de interação entre as unidades e argamassa é passível de separação, pois também apresenta baixa resistência à tração, ocorrem as fissuras.

As fissuras são manifestações patológicas, isto é, são características observáveis e indicam um problema ou defeito na construção (Bolina; Helene; Tukitian, 2019). Segundo Garcez e Meneghetti (2024), “as manifestações patológicas

em estruturas são fenômenos tão antigos quanto as próprias obras, sendo registradas desde os primórdios da humanidade.”

O que caracteriza a fissura é a espessura e profundidade da sua abertura. De acordo com Bolina, Helene e Tutikian (2019) as aberturas podem ser divididas em microfissuras, fissuras, trincas, rachaduras e fendas ou juntas. As microfissuras e fissuras apresentam forma estreita e comprida, geralmente são mais superficiais. Já as trincas, rachaduras e fendas são mais profundas e localizadas. O Quadro 1 apresenta essa diferenciação. Para melhor compreensão, a Figura 1.1 ilustra microfissuras em um revestimento, a Figura 1.2 as fissuras provenientes de uma abertura e a Figura 1.3 trincas, rachaduras e junta em um sistema de vedação.

Quadro 1 – Classificação das aberturas

Tipo de abertura	Dimensões	Limites da NBR 6118 (ABNT, 2023) (elementos de concreto)
Microfissura	Inferior a 0,2 mm	Sem problemas (concreto simples)
Fissura	0,2 mm a 0,4 mm	Verificar classe de agressividade ambiental (concreto armado)
Trinca	0,5 mm a 1,4 mm	Acima dos limites
Rachadura	1,5 mm a 5,0 mm	
Junta	Superior a 5,1 mm	

Fonte: Adaptado de Bolina; Tutikian; Helene (2019).

Figura 1.1 – Microfissura em revestimento em argamassa



Fonte: Adaptado de Bolina; Tutikian; Helene (2019).

Figura 1.2 – Fissura em abertura



Fonte: Bolina; Tutikian; Helene (2019).

Figura 1.3 – Trincas, rachaduras e junta em vedação vertical



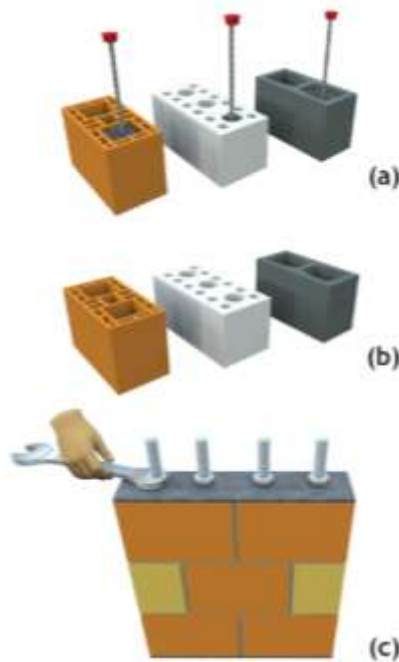
Fonte: Bolina; Tutikian; Helene (2019).

É importante definir a patologia e sua diferença de uma manifestação patológica. A patologia das construções é uma ciência que estuda as origens, processos, características, causas e as possíveis soluções das irregularidades da construção e “[...] como evitar que qualquer componente de uma edificação deixe de atender aos requisitos mínimos para os quais foi projetado” (Caporrino, 2018). Isto significa atender os limites exigidos por normas, no caso do Brasil das Normas Brasileiras (NBR's) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Assim, enquanto a patologia é uma área de estudo como a matemática, a manifestação patológica é um sintoma de que há algum problema na estrutura.

Uma definição que também é muito importante refere-se à classificação da alvenaria estrutural. Segundo Mohamad, Machado e Jantsch (2017), ela pode ser dividida em alvenaria armada, na qual se utiliza armaduras passivas nos elementos

estruturais a fim de resistir aos esforços solicitantes (essas armaduras são dispostas nos vãos dos blocos que serão posteriormente grauteados); alvenaria não armada, onde as armaduras não são consideradas para resistir aos esforços; e alvenaria protendida, em que se utilizam armaduras ativas (recebem tensão antes da estrutura ser carregada, ao contrário das armaduras passivas). A Figura 1.4 ilustra a diferença entre esses tipos de alvenaria, sendo (a) a alvenaria armada, (b) alvenaria não armada e (c) alvenaria protendida.

Figura 1.4 – Diferenças na classificação de alvenaria estrutural



Fonte: Mohamad; Machado; Jantsch (2017).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desta dissertação é compreender os fatores que originam as fissuras em alvenaria estrutural a fim de evitá-las em projetos mais recentes ou tratá-las em obras já construídas e cuja manifestação patológica foi externada.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os principais objetivos específicos para este trabalho são:

- Compreender a importância das fissuras em alvenaria estrutural;
- Identificar as principais causas dessa manifestação patológica;
- Investigar as principais técnicas para recuperá-las.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com a demanda elevada da alvenaria estrutural nas construções, especialmente no Brasil, aliada ao fato das fissuras serem o principal fator patológico, justifica-se o estudo dessa enfermidade para melhor conhecimento e investigação das causas e soluções deste problema.

Para Caporrino (2018) as trincas são de grande importância entre as manifestações, pois podem indicar um aviso de possível colapso da estrutura e afetar seu desempenho, além de causar preocupação nas pessoas. Como as trincas são uma evolução das fissuras, é essencial se aprofundar nestas aberturas.

É fundamental analisar essa manifestação patológica no sentido amplo da patologia, estudar as origens, mecanismos, manifestações e evolução dos processos para se obter uma solução mais adequada e assertiva, porque um procedimento corretivo incorreto pode não solucionar o problema e ainda expandi-lo, além de ocultar os problemas ainda existentes, o que levaria a uma intervenção mais dispendiosa (Bolina; Helene; Tukitian, 2019).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Na seção 1 encontra-se a Introdução, onde são apresentadas as definições, objetivos, justificativa e descrição das seções apresentadas neste estudo.

A seção 2 apresenta a revisão bibliográfica da alvenaria estrutural e da patologia de estruturas.

A seção 3 detalha os materiais e métodos empregados para realização deste trabalho.

A seção 4 expõe as principais origens, causas e soluções para a ocorrência das fissuras em obras de alvenaria estrutural.

A seção 5 demonstra a conclusão do estudo, apresentando os principais pontos gerados nesta pesquisa e especialmente as soluções para o referido problema das fissuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL

2.1.1 Histórico mundial

Acompanhando a evolução humana, as construções foram se tornando cada vez mais racionalizadas, com projetos e normalizações que preveem maior exatidão no uso de materiais, mão de obra e equipamentos. No início os materiais utilizados eram menos processados e apresentavam maiores dimensões, como no caso das grandes pirâmides do Egito. Segundo Mohamad e Rizzatti (2013), as “[...] unidades formadas por blocos de pedra ou cerâmicos intertravados com ou sem um material ligante” foram responsáveis pelas principais edificações que são marcos da civilização, como as já citadas pirâmides, o Farol de Alexandria e a Catedral de Notre Dame.

No Período Neolítico a humanidade começou a se assentar e deixar o nomadismo para viver em locais mais fixos. Para isso era necessário a construção de moradias. Um bom exemplo desse período são os nuragues, construções em alvenaria sem um componente ligante, apenas formado pelo empilhamento de pedras, que funcionam apenas pela compressão entre as unidades. A Figura 2.1 ilustra esse tipo de edificação.

Figura 2.1 – Nurague Santa Sabina - Itália



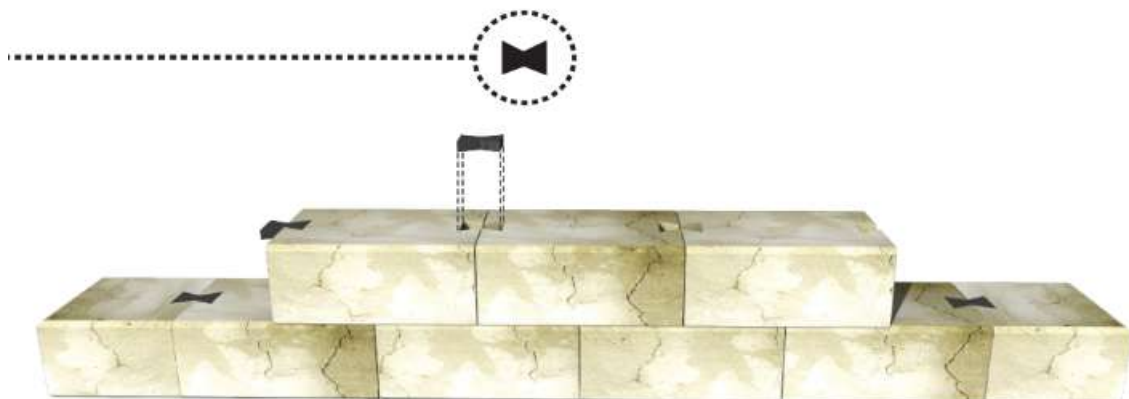
Fonte: Período [...] (20--).

Segundo Mohamad *et al.* (2024), nas construções antigas de alvenaria em pedra já havia uma preocupação com a modulação dessas unidades irregulares que eram encaixadas de forma a promover a amarração entre as diversas fiadas. O peso próprio das pedras era responsável por garantir a estabilidade às ações horizontais e verticais, mesmo quando não havia material ligante entre elas (Mohamad *et al.*, 2024).

Diversos materiais foram utilizados no decorrer da história dos homens. Mohamad e Rizzatti (2013) descrevem que as sociedades mesopotâmicas e egípcias tinham predileção por utilizar materiais encontrados às margens de rios. No caso da Mesopotâmia foram empregados tijolos secos ao sol, localizados em construções entre os rios Tigres e Eufrates. Já a sociedade egípcia adotava as rochas calcárias encontradas no Vale do Rio Nilo. Aliás, as três grandes pirâmides de Quéfren, Quéops e Miquerinos utilizaram cerca de 2,3 milhões de blocos de pedra calcária branca aderidos com argamassa de gesso calcinado (Mohamad; Machado; Jantsch, 2017).

Nas construções gregas, o principal material adotado era o mármore polido com intertravamento entre as unidades, empregado na construção de prédios públicos e templos. Também eram utilizados grampos ou tarugos de ferro para garantir a estabilidade estrutural, conforme cita e Jantsch (2017). De acordo com Adam (2005), esses tarugos eram responsáveis por evitar possíveis movimentações gerados por abalos sísmicos ou pelas fundações. A Figura 2.2 apresenta o detalhe desses blocos com os tarugos de ferro.

Figura 2.2 – Demonstração do uso de grampos em blocos de mármore



Fonte: Mohamad; Machado; Jantsch (2017).

Segundo Mohamad, Machado e Jantsch (2017), em algumas regiões não havia abundância de pedras, o que culminou na produção dos tijolos secos ao sol ou

também conhecidos por adobe. Existiam duas desvantagens para essas unidades: o tempo de secagem e sua aplicação era afetada por ciclos de umidade. Em conjunto com o adobe eram utilizadas argamassas de argila como alternativa primária de revestimento, com função de preencher fissuras e homogeneizar as unidades. Com a adoção de tijolos cozidos em fornos a durabilidade é expandida. A vila fortificada ou *ksar* (árabe) de Ait Ben Haddou no Marrocos ilustrada na Figura 2.3 demonstra as edificações feitas com adobe.

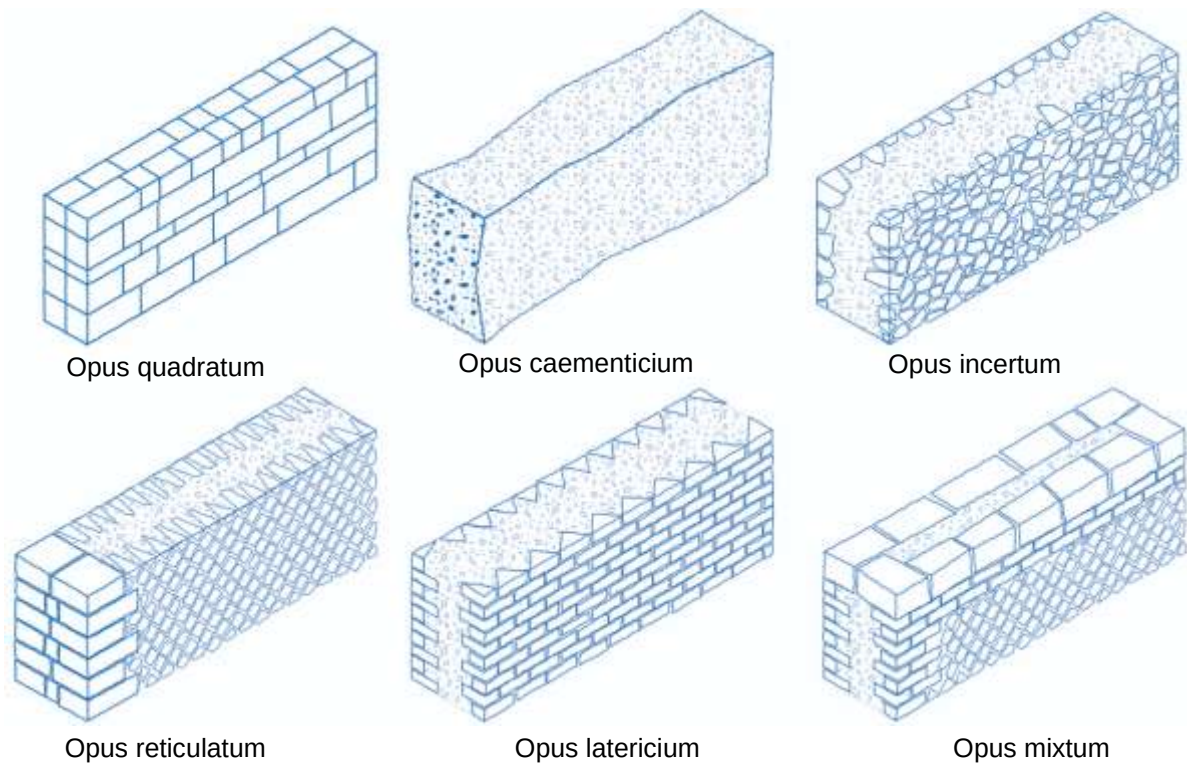
Figura 2.3 – Ksar de Ait Ben Haddou, Marrocos



Fonte: Ksar [...] (20--).

Uma grande revolução foi a invenção do *opus caementicium* ou concreto romano, feito com pequenos fragmentos de calcário, cascalhos, resto de materiais cerâmicos e cinza pozzolânica (proveniente da região de Pozzuoli na Itália), além da água. Sendo que a *pozzolana* era responsável pela grande resistência desse concreto romano principalmente a ação da água (Mohamad; Machado; Jantsch, 2017). Como cita Santos (2008) os romanos não gostavam da aparência superficial rústica desse concreto, dessa maneira desenvolveram outras técnicas como o *opus latericium*, composto por paredes revestidas de tijolos e núcleo de *opus caementicium* (Souza, 2020). A Figura 2.4 apresenta os tipos de paredes utilizadas pelos romanos e a Figura 2.5 mostra um exemplo real de *opus latericium*.

Figura 2.4 – Tipos de paredes romanas



Fonte: Souza (2020).

Figura 2.5 – Parte de uma parede *opus latericium*

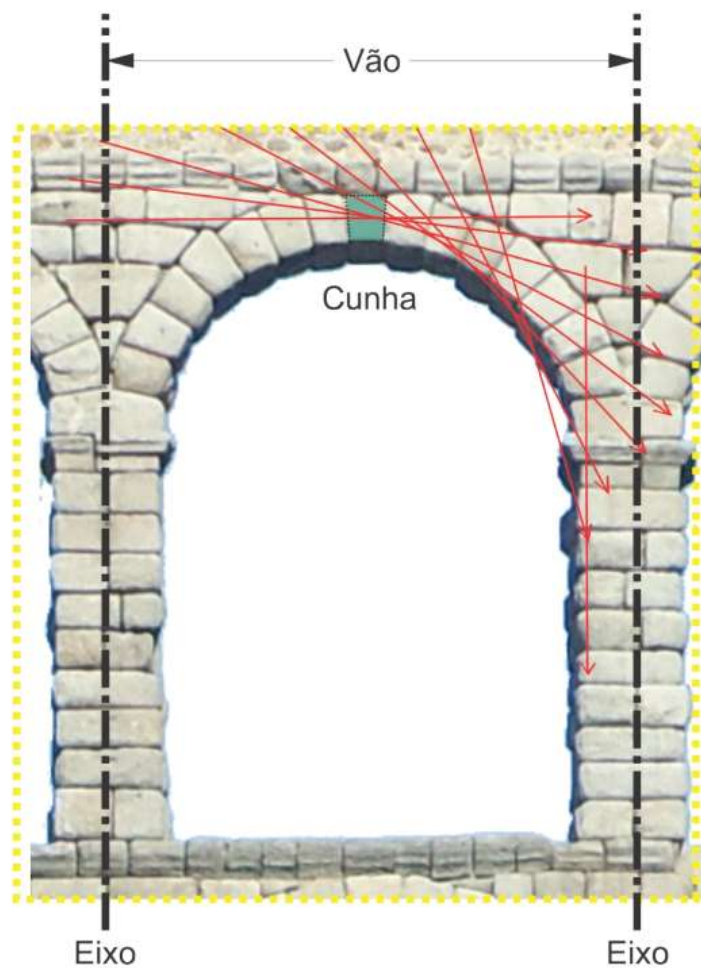


Fonte: Mesquita (2014).

A descoberta e utilização dos arcos permitiu maior liberdade construtiva e permitiu vencer maiores vãos. Ainda aproveitando-se das forças de compressão entre os blocos e considerando que não há tensões de tração significativas, a adoção dessa forma estrutural permitiu construir grandes obras como pontes, os aquedutos romanos

e o Coliseu (Ramalho; Corrêa, 2003). O elemento que permite a geração apenas de esforços de compressão é a cunha, sendo que a monoliticidade do arco é garantida pelo intertravamento e simetria das unidades (Mohamad; Machado; Jantsch, 2017). As Figuras 2.6 e 2.7 demonstram a cunha no arco e o aqueduto romano em Segóvia na Espanha, respectivamente.

Figura 2.6 – Cunha destacada no aqueduto de Ségovia



Fonte: Mohamad; Machado; Jantsch (2017).

Figura 2.7 – Aqueduto romano em Segóvia, Espanha

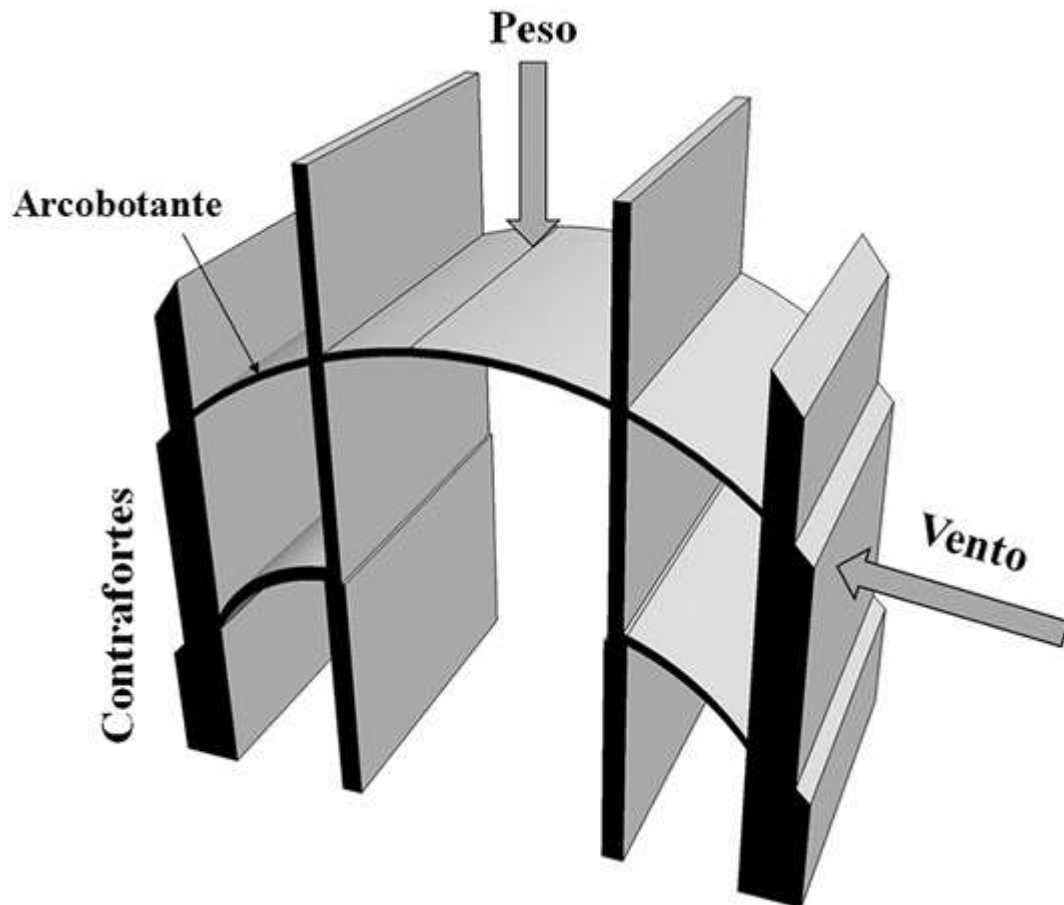


Fonte: Aqueduto [...] (20--).

Segundo Mohamad, Machado e Jantsch (2017) a união de arcos sucessivos gera as abóbadas que servem de cobertura para espaços entre colunas ou muros. Foram muito utilizadas durante o período românico, inicialmente com abóbada de berço, passando para abóbada de aresta até a abóbada de ogiva. Posteriormente foram adotadas nos períodos gótico e renascentista, gerando edificações que são marcos da humanidade.

Na arquitetura do período, a concepção estrutural visava manter os elementos funcionando essencialmente à compressão. Para isso, os esforços horizontais decorrentes da incidência do vento eram absorvidos pela combinação de espessos contrafortes externos e arcobotantes que formavam um pórtico resistente às tensões de tração (Mohamad *et al.*, 2024). Mohamad, Machado e Jantsch (2017) ainda citam que as paredes internas são responsáveis por suportar o peso próprio da cobertura. A Figura 2.8 ilustra esse esquema.

Figura 2.8 – Pórtico formado por arcobotante e contraforte



Fonte: Mohamad *et al.* (2024).

Segundo Mohamad, Machado e Jantsch (2017) o tijolo, produzido no norte da Itália, se tornou o principal material construtivo e estrutural a ser empregado em meados do século XII em diversos países europeus. Isso se deve a experiência adquirida nos séculos anteriores, principalmente com as diversas técnicas desenvolvidas no passado.

Avançando no tempo, o edifício Monadnock Building construído entre 1899 e 1891 em Chicago, nos Estados Unidos, com 16 pavimentos e 65 m de altura foi um grande exemplo e a primeira obra moderna que se conhece a adotar a alvenaria estrutural como sistema construtivo. Como os critérios ainda eram empíricos na época, foi necessário adotar paredes externas com grandes espessuras, sendo no térreo a maior medida com 1,8 m de espessura, mas diminuía nos pavimentos superiores (Mohamad *et al.*, 2024). Para Mohamad, Machado e Jantsch (2017, p. 23), “as grandes espessuras das paredes externas eram necessárias para suportar o peso próprio dos andares superiores e aumentar a rigidez à flexão por causa do vento”.

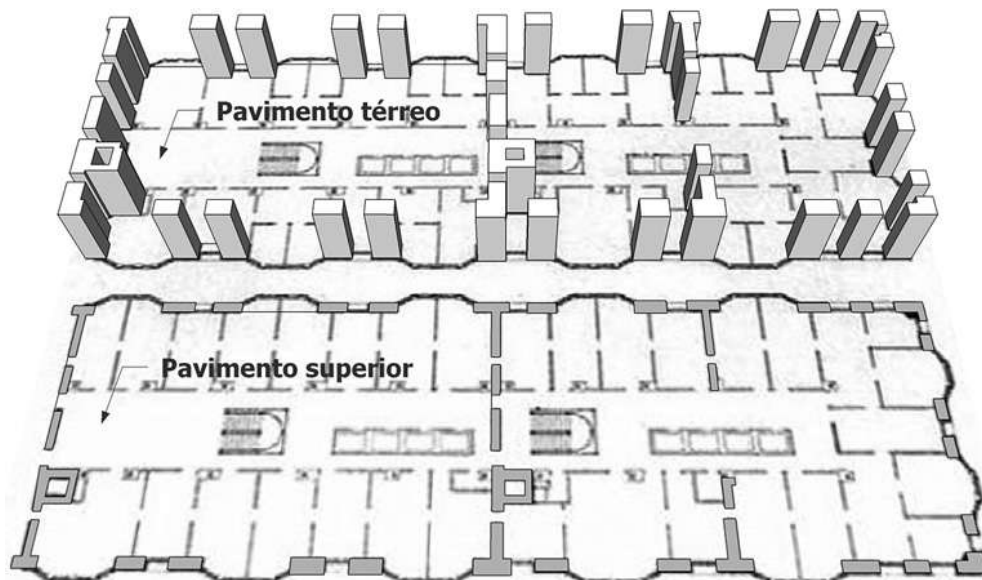
Eles também citam que "esse tipo de construção era caracterizado pela dificuldade de racionalização do processo executivo e pelas limitações de organização espacial, tornando o sistema lento em termos de produção e de custo elevado". A Figura 2.9 apresenta o citado edifício nos tempos atuais e a Figura 2.10 mostra a diferença na planta do pavimento térreo e pavimento superior.

Figura 2.9 – Edifício Monadnock Building atualmente



Fonte: Patowary (2019).

Figura 2.10 – Diferença de espessura pavimento superior e inferior do Monadnock



Fonte: Mohamad *et al.* (2024).

No início do século XX, com a adoção do concreto armado e aço estrutural, permitiam a construção de estruturas esbeltas e altas, a alvenaria estrutural ficou destinada às construções de pequeno porte (Bastos, 1993).

Segundo Mohamad *et al* (2024) a denominada “moderna alvenaria estrutural” se iniciou com os estudos do professor suíço Paul Haller no começo da década de 1950. Ele realizou mais de 1600 testes em parede de tijolos maciços durante sua carreira, inicialmente devido à escassez de concreto e aço ocasionados pela Segunda Guerra Mundial. Essas experiências foram basilares para o projeto de um prédio de 18 pavimentos, com paredes variando entre 30 a 38 cm de espessura. Isso foi uma revolução para a época. Com isso a alvenaria estrutural expandiu sua difusão, uma vez que os resultados obtidos possibilitaram a criação de bases teóricas e critérios de projeto, em complemento a melhoria na fabricação de materiais e componentes necessários para o sistema construtivo.

Foi nessa década de 1950 que as normas começaram a ser criadas, com critérios básicos para projetar paredes sujeitas à compressão. Mas, elas apresentavam “[...] procedimentos analíticos e teóricos rudimentares, quando comparados às normalizações de aço e concreto” (Mohamad; Rizzatti, 2013). O problema consistia na característica frágil do material à compressão, minimizados posteriormente pela teoria de colunas. A limitação ocorria pela “dificuldade em determinar as condições de excentricidade da parede, considerando as extremidades dos elementos por meio da interação parede-laje.” Esse aspecto é essencial para analisar o impacto do vento e sísmico na edificação. A partir dessas bases teóricas e empíricas criou-se métodos analíticos para melhor entendimento do comportamento da alvenaria perante a compressão, tração e cisalhamento.

Em 1951 Haller projetou e construiu na Basileia, Suíça, um edifício com 13 pavimentos em alvenaria não armada, com paredes internas de 15 cm de espessura e externas de 37,5 cm (Bastos, 1993).

Na década de 1960 foram feitas pesquisas com testes em escala real de edifícios com 5 pavimentos em tijolos maciços, desenvolvidos na Universidade de Edimburgo, Escócia, chefiados pelos professores A. W. Hendry e B. P. Sinha com objetivo de avaliar os efeitos de explosão de gás e acidentes que poderiam remover repentinamente um elemento estrutural. Isso foi motivado por algumas construções na época apresentarem colapsos progressivos causados por esses fatores, como o ocorrido no edifício Ronan Point (Londres, Inglaterra) em 1968 ocasionado por uma

explosão de botijão de gás no 18º andar (Mohamad *et al.*, 2024), ilustrada pela Figura 2.11.

Figura 2.11 – Colapso progressivo no edifício Ronan Point (Londres)



Fonte: Santos (2012).

Em 1966 foi construído o primeiro edifício com mais de 8 pavimentos de alvenaria estrutural em zona sísmica em Denver nos Estados Unidos.

O primeiro congresso internacional sobre esse sistema construtivo ocorreu em Austin, capital do Texas (EUA) em 1967. Após essa conferência, a alvenaria estrutural começou a ser reconhecida como um sistema racional e preciso (Bastos, 1993).

Inaugurado em 1990 o Hotel Excalibur (Las Vegas) é a edificação em alvenaria estrutural mais alta do mundo até os dias atuais com 28 pavimentos. Esse Hotel é um complexo de quatro torres, construído em alvenaria armada de blocos de concreto, cuja base apresenta em torno de 28 MPa de resistência à compressão (Ramalho; Corrêa, 2003). A Figura 2.12 mostra o Hotel. Construções muito altas em alvenaria estrutural não são tão comuns, porque quanto maior a altura, maiores os custos

globais com mão de obra, materiais e equipamentos, como as gruas, então a viabilidade econômica é reduzida e outras alternativas passam a ser mais viáveis.

Figura 2.12 – Hotel Excalibur, Las Vegas



Fonte: Lorenzi (20--).

2.1.2 Alvenaria estrutural na América do Sul

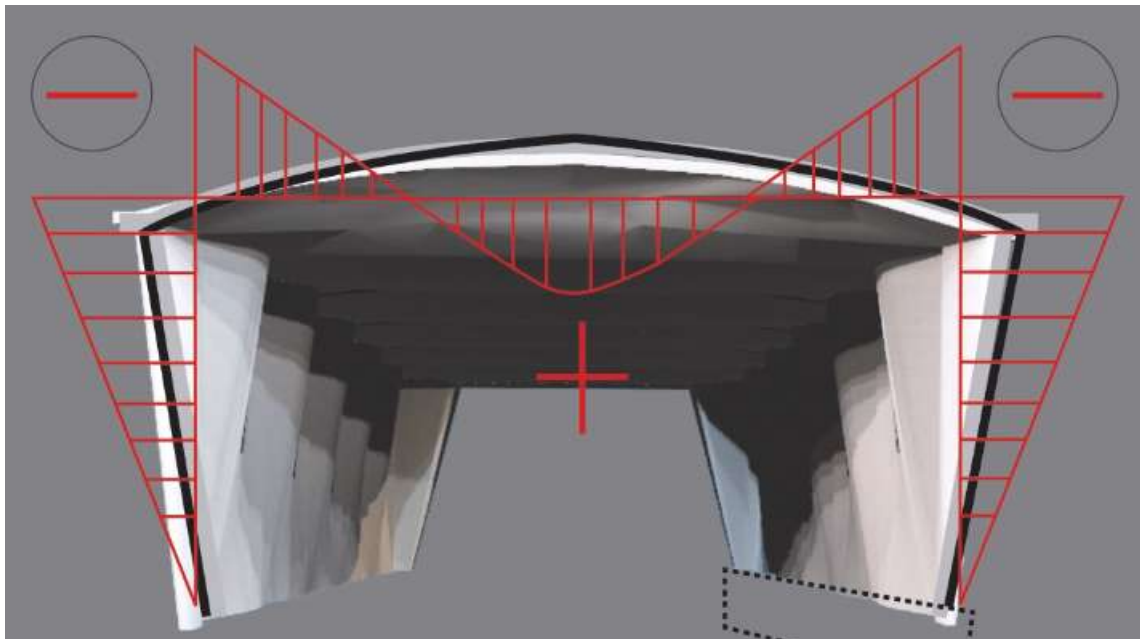
Um grande expoente do uso da alvenaria estrutural na América do Sul foi o engenheiro uruguaio Eladio Dieste. Construída entre 1958 e 1960 em Atlântida, Uruguai, a inovadora obra da Igreja Cristo Obrero, projetada e supervisionada por Dieste, utilizou cascas em alvenaria estrutural de cerâmica armada, formadas por “[...] tijolos cerâmicos, juntas de argamassa armada entre as lajotas cerâmicas e uma camada superior de argamassa armada.” (Mohamad *et al.*, 2024). Este modelo baseia-se na forma de catenária, o que permite vencer grandes vãos com espessuras pequenas. A forma estrutural das paredes e cobertura forma um pórtico, no qual o encontro entre as paredes e a casca (cobertura) gera um engastamento, causado pela maior área de apoio da parte superior ondulada da parede, o que diminui o momento fletor do vão da área transversal entre as paredes, exatamente onde ocorre o pórtico. A Figura 2.13 apresenta a Igreja e a Figura 2.14 mostra o momento fletor na seção transversal desta.

Figura 2.13 – Igreja Cristo Obrero em Atlântida, Uruguai



Fonte: Igreja [...] (2021).

Figura 2.14 – Momento fletor no pórtico da Igreja de Cristo Obrero



Fonte: Mohamad; Machado; Jantsch (2017).

No Brasil a alvenaria tem início com as técnicas construtivas oriundas principalmente de Portugal. A alvenaria de pedra foi empregada neste primeiro momento para defesa dos territórios coloniais, empregada em fortes e quartéis

(Mohamad; Machado; Jantsch, 2017). Como não havia normalizações e estudos mais aprofundados, as paredes eram feitas com grandes espessuras.

Na década de 1960 foi quando efetivamente este sistema construtivo foi realmente adotado, pois durante todo o período anterior pode-se considerar que era alvenaria resistente, isto é, baseado largamente em conhecimentos empíricos, sem apoio de normas, não havendo padronizações e controle de qualidade requeridos (Mohamad *et al.*, 2024). Os grandes propulsores nesse início de adoção do sistema foram o Banco Nacional de Habitação, para construção de habitações populares, e a criação de normas técnicas, como o Manual técnico de alvenaria produzido pela Associação Brasileira de Construção Industrializada (ABCI) em 1990 (Mohamad; Machado; Jantsch, 2017).

Segundo Mohamad *et al.* (2024) a ordem cronológica da AE brasileira é o que se apresenta a seguir.

Em 1966 foi construído o conjunto habitacional Central Park Lapa em São Paulo (SP), inaugurando o uso do bloco de concreto em alvenaria estrutural armada no país. Apresentava paredes com 19 cm de espessura e 4 pavimentos. Neste conjunto ainda foram construídas mais quatro torres de 12 pavimentos cada em alvenaria armada em 1972.

Em 1970 houve a construção do Edifício Muriti, em São José dos Campos (SP), com 16 pavimentos também com alvenaria armada de blocos de concreto.

O edifício precursor em alvenaria não armada no Brasil foi o Jardim Prudência, construído em 1977 na cidade de São Paulo com blocos sílico-calcários. Apresentava 9 pavimentos com paredes de 24 cm de espessura.

Nesta mesma cidade, na década de 90, foi erguido o Edifício Solar dos Alcântaras com 21 pavimentos (a maior edificação de AE armada a época no país) em bloco de concreto com 14 cm de espessura do primeiro ao último pavimento.

A Figura 2.15 ilustra essas construções que foram marcos para a AE no Brasil.

Figura 2.15 – Construções em alvenaria estrutural no Brasil



Fonte: Adaptado de Mohamad; Machado; Jantsch (2017).

No início dos estudos e pesquisas, mesmo com normas técnicas a espessura das paredes era definida por regras empíricas. Para a ABCI (1990), em edifícios a espessura mínima de parede de tijolos maciços deveria ser de 30 cm para construções de um pavimento e adicionar 10 cm por pavimento excedente. Isso é impensável nos dias atuais, pois com as normalizações e estudos recentes, é possível construir edifícios com 9, 10 pavimentos com a mesma espessura do bloco do térreo ao último pavimento, sem laje de transição, apenas alterando a resistência dos blocos conforme sobe o andar. É claro que há outras alterações necessárias, como quantidade de septos e blocos grauteados, espessura das armações, mas em relação as dimensões do bloco, não há alteração.

Atualmente no Brasil este método construtivo é muito utilizado principalmente em empreendimentos residenciais de baixo e médio padrão, financiados por programas de incentivo governamentais como Minha Casa Minha Vida, justamente por apresentar redução no tempo de execução e nos custos. Essa viabilidade técnica

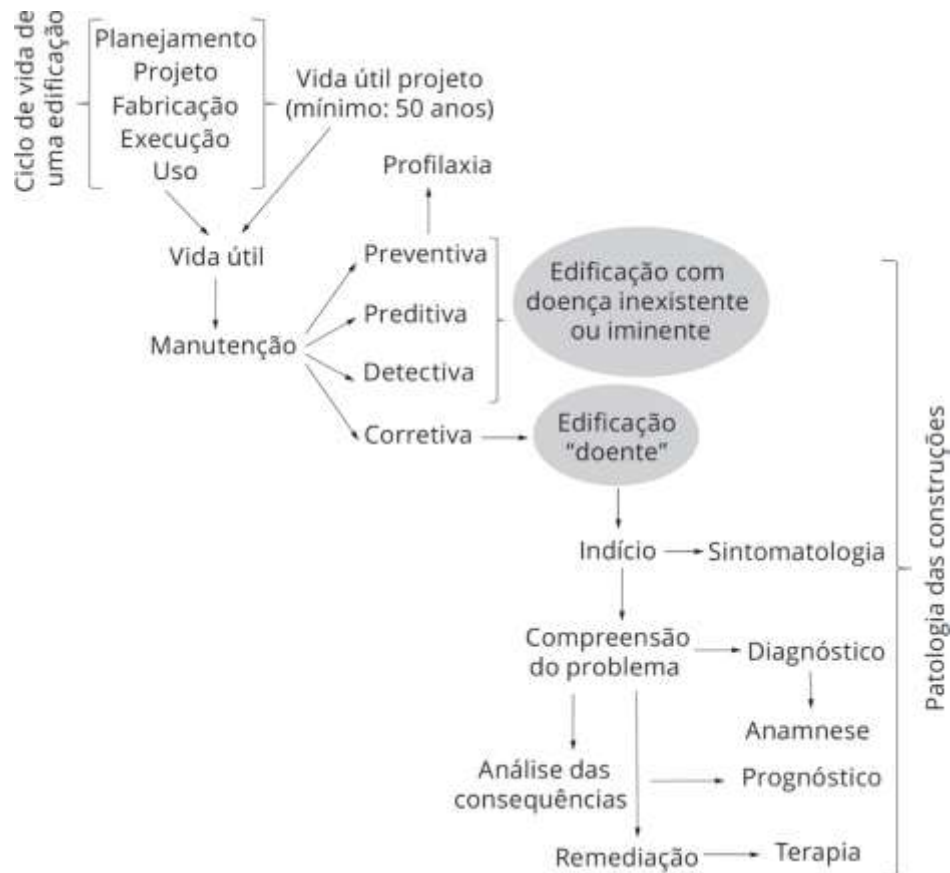
é ampliada quando os ambientes internos são mais padronizados, simétricos e quando há conjunto de edifícios similares que permitem replicar os mesmos materiais, mão de obra e equipamentos.

2.2 PATOLOGIA

A patologia é uma ciência tradicionalmente associada a área médica, porém a algumas décadas passou a ser utilizada e estudada para a área das estruturas, construções. O termo é proveniente do grego *pathos*, sofrimento ou doença, e *logia*, ciência ou estudo, ou seja, é um estudo das doenças. Por essa semelhança, alguns termos utilizados são idênticos aos utilizados na medicina.

Após a visualização ou constatação de uma manifestação patológica são realizados os seguintes passos na patologia das construções: análise e estudo dos sintomas, da maneira que os defeitos se comportam (sintomatologia); identificar o problema, suas origens e explicar os sintomas (diagnóstico); obter documentos, como projetos e laudos, levantamento do histórico da edificação e pode até recorrer a entrevistas com moradores e vizinhos (anamnese); investigar as consequências se o tratamento adequado não for realizado, se a evolução da manifestação será prejudicial ou não à edificação (prognóstico); e por fim, promover a solução ideal para resolver o problema (terapia). Também se faz necessário promover medidas preventivas para evitar a repetição dessa manifestação patológica (profilaxia). A Figura 2.16 apresenta um organograma para facilitar a visualização do processo como um todo.

Figura 2.16 – Organograma da patologia da construção



Fonte: Bolina; Tutikian; Helene (2019).

Importante citar que na terapia há algumas formas de tratamento mais aceitas. Elas possuem nomes parecidos, por isso é comum a confusão entre os termos, mas apresentam diferenças significativas. Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2019), os tratamentos são:

- Reabilitação: retornar ao desempenho inicial da estrutura;
- Recuperação: conjunto de métodos e procedimentos voltados para a correção de anomalias presentes em uma construção, ainda é dividida em reparo, reforço e restauro;
- Reparo: fazer a peça ou elemento retornar à condição original;
- Reforço: utilizado para aumentar a capacidade estrutural de um sistema, por exemplo para receber maior carga;
- Restauro: é análogo ao reparo, porém destinada a obras com valor histórico;

- Reforma: visa promover nova forma e uso para a edificação, sem levar em conta o fator histórico da obra. Todo reparo, reforço ou restauro é considerado reforma;
- Reconstrução: reconstruir o todo ou parte de uma edificação destruída ou em iminente etapa de destruição. Deve retornar ao padrão original da obra;
- Retrofit: é a revitalização de edifício antigo, mantendo os materiais e sistemas que ainda apresentam bom desempenho e substituindo os que já não atendem aos critérios mínimos ou estão obsoletos.

As formas mais comuns de aplicação são o reparo e reforço para a grande maioria dos casos e construções.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo tem caráter primordialmente teórico, assim a base utilizada provém da bibliografia como livros, dissertações e teses. As normas também são imprescindíveis para todo projeto e execução de construção civil, pois apresentam os requisitos necessários para garantir conforto e segurança para o usuário, garantindo que a edificação apresente resistência e esteja dimensionada considerando todas ações e cargas prováveis de acontecerem. Desta forma as normas são essenciais para a realização deste trabalho.

As principais normas para referência foram:

- a) NBR 16868-1: 2021 – Alvenaria estrutural – Parte 1: Projeto (a 1ª edição foi lançada em 2020, porém houve uma correção em 2021);
- b) NBR 16868-2: 2020 – Alvenaria estrutural – Parte 2: Execução e controle de obras;
- c) NBR 14974-2: 2023 - Bloco sílico-calcário para alvenaria - Parte 2: Procedimentos para execução de alvenaria;
- d) NBR 6118: 2023 – Projeto de estruturas de concreto (para as lajes de concreto armado).

As normas de bloco de concreto e cerâmico para alvenaria estrutural já estão inclusas nas NBR 16868.

4 ANÁLISE E SOLUÇÕES DAS FISSURAS EM ALVENARIA ESTRUTURAL

As alvenarias estruturais, independentemente do material a serem constituídas, apresentam boa resistência à compressão, mas o mesmo não pode ser dito em relação as tensões de tração, flexão e cisalhamento. Por isso, a maioria das manifestações de fissuras são causadas pelas solicitações de tração e cisalhamento (Caporrino, 2018).

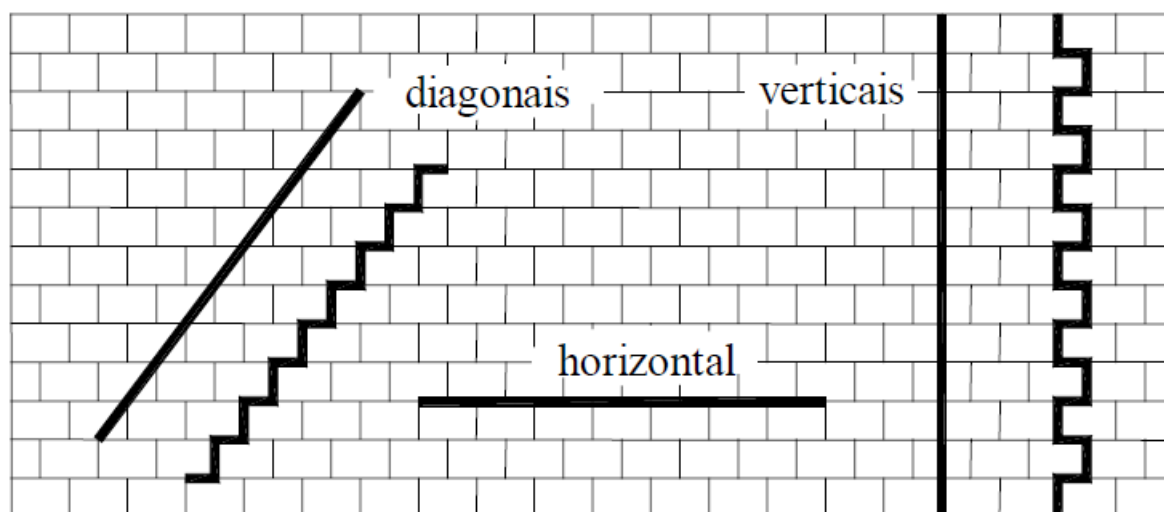
Para Garcez e Meneghetti (2024),

Alguns fatores podem contribuir significativamente para o aparecimento de patologias em estruturas de alvenaria estrutural: (i) aplicação de carregamento excessivo na estrutura, em virtude de mudanças na utilização ou alterações no projeto arquitetônico original do edifício; (ii) ação do vento ou forças adicionais em decorrência de eventos sísmicos; (iii) recalques diferenciais de fundação; (iv) equívocos na concepção estrutural; (v) eventos não previstos, como impactos e explosões, além da degradação natural dos materiais constituintes.

A origem das fissurações pode ser proveniente de qualquer etapa da obra: um projeto que não considerou todas as ações e tipos de usos que a edificação será submetida, falta de fiscalização ou simples armazenagem/ transporte incorreto que pode gerar fissuras ou quebras dos blocos e ainda a utilização destes durante o período de obra, até a etapa pós entrega de obra onde as manutenções preventivas são negligenciadas. Isso demandará uma manutenção corretiva que será muito mais difícil de ser analisada e corretamente solucionada, além de apresentar um custo superior ao que seria dispendido se fosse percebido e resolvido nas etapas de projeto ou execução da obra.

Um método comum de classificação das fissuras é através de suas orientações. Estas podem ser horizontais, verticais ou diagonais, conforme apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Orientação das fissuras em alvenarias



Fonte: Holanda (2002).

Bauer (2006) fez um resumo dos principais tipos e causas prováveis das fissuras conforme sua orientação. Como ele se mantém atual, pode-se utilizá-lo até como uma referência da área.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DAS FISSURAS EM RELAÇÃO A DIREÇÃO

4.1.1 Fissuras verticais

As fissuras verticais ocorrem no geral devido ao carregamento excessivo de compressão. Quando comprimida a argamassa apresenta maior deformação que os blocos, gerando esforços laterais de tração, resultando nas fissuras verticais. Estas também podem ocorrer nos blocos quando a resistência à tração deles for igual ou inferior ao da argamassa. As cargas distribuídas e movimentações higroscópicas (umidade) também geram esse tipo de fissura (Garcez; Meneghetti, 2024). A Figura 4.2 ilustra esses casos.

A NBR 16868-1 (2021) até recomenda que a resistência a compressão da argamassa seja no máximo 1,5 vez da resistência do bloco para evitar a possibilidade de fissuração. Segundo Parsekian e Medeiros (2021), isso é citado para evitar a utilização de argamassa muito forte para edifícios mais baixos.

Figura 4.2 – Fissuras verticais: tipos e causas prováveis

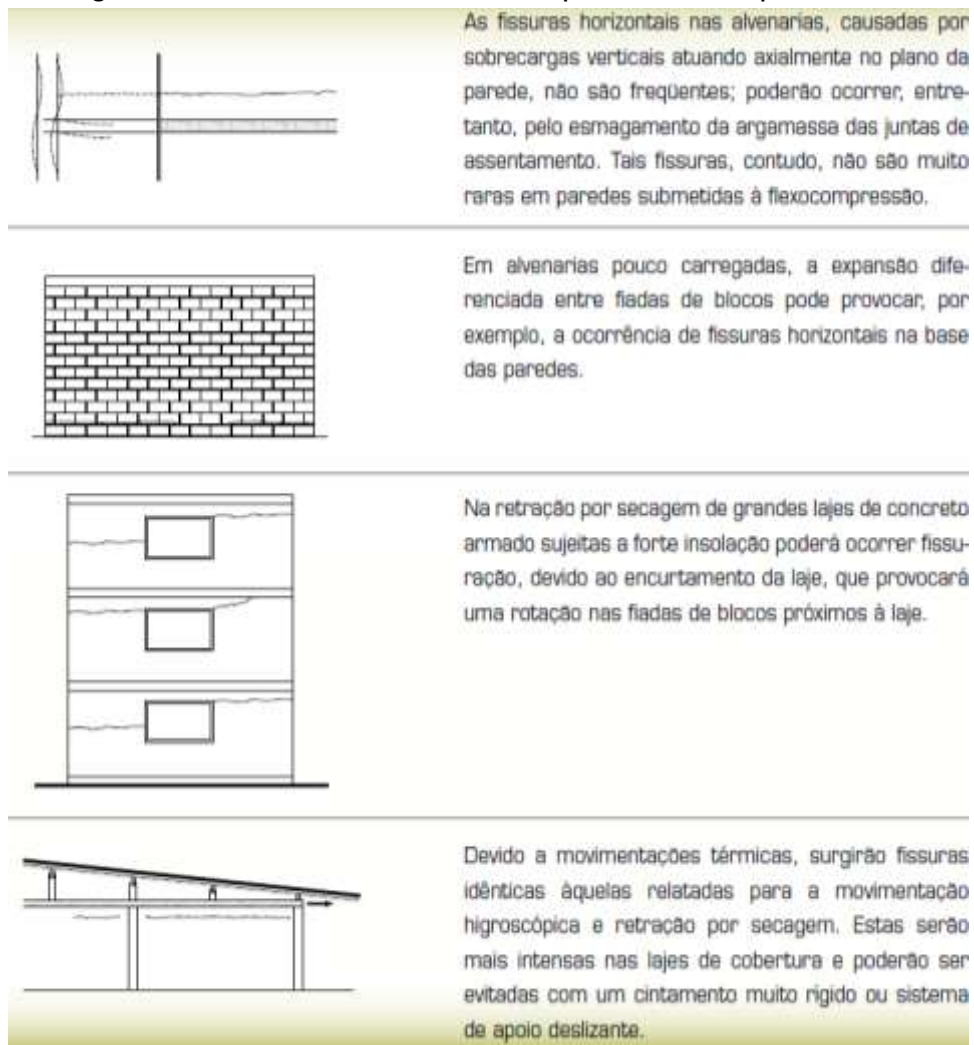
	Resistência à tração do bloco vazado de concreto é superior à resistência à tração da argamassa.
	Resistência à tração do bloco vazado de concreto é igual ou inferior à resistência à tração da argamassa.
	Sob ação de cargas uniformemente distribuídas, em função principalmente da deformação transversal da argamassa de assentamento e da eventual fissuração de blocos ou tijolos por flexão local, as paredes em trechos contínuos apresentam fissuras tipicamente verticais.
	Sendo constituídas de materiais porosos, as alvenarias terão seu comportamento influenciado pelas movimentações higroscópicas desses materiais. A expansão das alvenarias por higroscopicidade ocorrerá com maior intensidade nas regiões da obra mais sujeitas à ação da umidade como, por exemplo, cantos desabrigados, platibandas, base das paredes etc.

Fonte: Bauer (2006).

4.1.2 Fissuras horizontais

Segundo Garcez e Meneghetti (2024), esse tipo de fissura é sujeito a surgir quando há sobrecargas verticais na direção axial da parede, pela diferença na expansão entre as fiadas de blocos, por retração causada pela secagem em grandes lajes ou devido a movimentações térmicas na última laje (cobertura), principalmente quando não há isolamento térmico e impermeabilização. A Figura 4.3 apresenta essas causas.

Figura 4.3 – Fissuras horizontais: tipos e causas prováveis

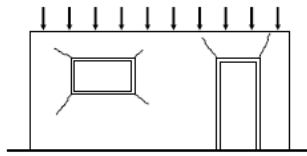


Fonte: Bauer (2006).

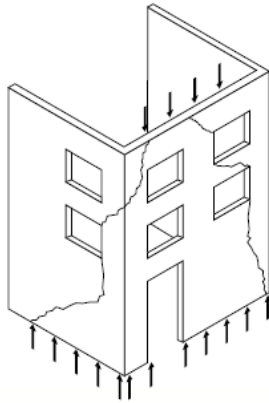
4.1.3 Fissuras diagonais

Para Garcez e Meneghetti (2024), as fissuras inclinadas podem acontecer pela concentração de tensões ao redor das aberturas (a função de suportar é das vergas e contravergas), por carregamentos verticais concentrados em estrutura sem elementos, como coxins, que possibilitem a redistribuição das cargas ou devido a recalques na fundação. As fissuras causadas por estes geralmente se encontram próximas ao primeiro pavimento, mas também podem ocorrer nos andares mais altos. A Figura 4.4 demonstra essas tipologias.

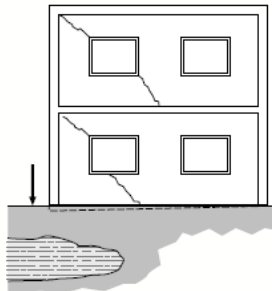
Figura 4.4 - Fissuras diagonais: tipos e causas prováveis



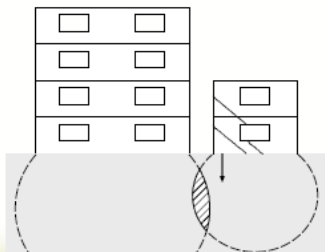
Em trechos com a presença de aberturas, haverá considerável concentração de tensões no contorno dos vãos. No caso da inexistência ou subdimensionamento de vergas e contravergas, as fissuras se desenvolverão a partir dos vértices das aberturas.



Devido a cargas verticais concentradas, sempre que não houver uma correta distribuição dos esforços através de coxins ou outros elementos, poderão ocorrer esmagamentos localizados e formação de fissuras a partir do ponto de transmissão da carga.



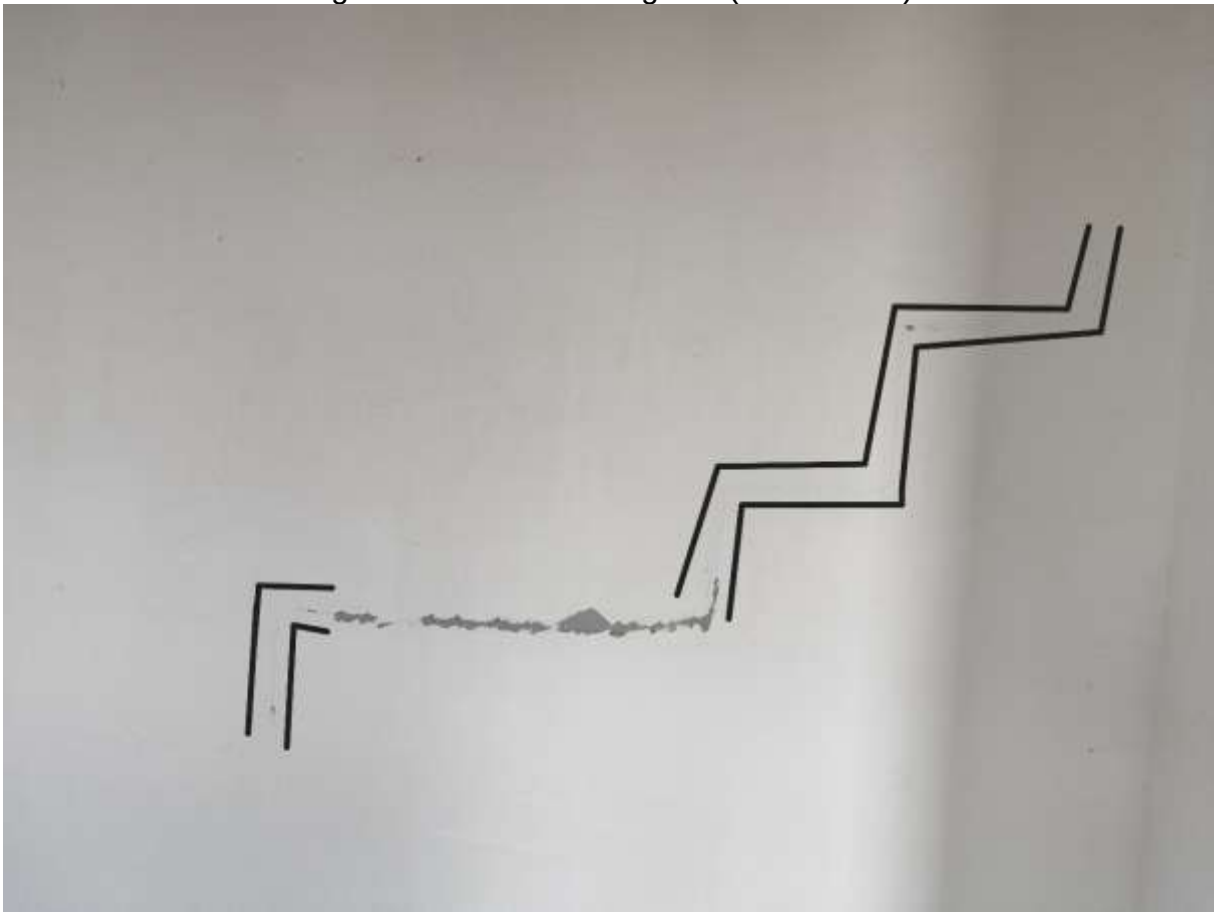
Recalques diferenciados, provenientes por exemplo de falhas de projeto, rebaixamento do lençol, falta de homogeneidade do solo ao longo da construção, compactação diferenciada de aterros e influência de fundações vizinhas provocarão fissuras inclinadas em direção ao ponto onde ocorreu o maior recalque.



Fonte: Bauer (2006).

A Figura 4.5 mostra um exemplo real de fissura diagonal, popularmente conhecida como “escadinha” ou escalonada. Foi feito um destaque para facilitar a visualização dessa fissura. Uma possível explicação para essa manifestação seria relacionada ao recalque da fundação, pois por ser uma obra nova em construção, a fundação ainda estaria se assentando no solo, o que geraria essa fissuração no último pavimento. Como não é uma abertura e considerando que foram utilizadas vergas, contravergas e cintas na 5ª fiada e respaldo, a explicação estaria mais próxima do recalque. Porém, para uma resposta e tratamento definitivo seria necessária uma avaliação completa desse caso.

Figura 4.5 – Fissura diagonal (escalonada)



Fonte: Autoria própria (2025).

4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS FISSURAS EM RELAÇÃO AS CAUSAS

As causas de alguns tipos de fissuras já foram citadas no tópico anterior, pois é um assunto inter-relacionado com a direção delas. Porém, neste tópico será dado mais ênfase nas origens e mecanismos de propagação da manifestação patológica em estudo.

4.2.1 Fissuras causadas por movimentações térmicas

Segundo Thomaz (2020), as variações de temperatura sazonais e diárias a que os componentes de uma construção estão submetidos geram variação dimensional nos elementos, caracterizada pela dilatação e contração. A restrição a esses movimentos, imposta pelos diversos vínculos estruturais, é responsável pelo surgimento de tensões que podem levar ao surgimento de fissuras.

Os movimentos de origem térmico em um material é diretamente dependente de suas propriedades físicas e da intensidade da amplitude térmica ao qual é submetido. Consequentemente, a intensidade das tensões geradas depende da

magnitude dessa movimentação, do grau de restrição à movimentação imposto pelos vínculos estruturais e do comportamento elástico do material (Thomaz, 2020).

Thomaz (2020) ainda cita que as fissuras de origem térmica podem aparecer por diferenças de deslocamento entre componentes de um elemento, entre elementos e entre diferentes zonas de um material. Os principais deslocamentos diferenciais ocorrem em função da união de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, como caso entre argamassa de assentamento e os blocos; elementos submetidos a diversos esforços térmicos, por exemplo a laje de cobertura e as paredes estão expostos a diferentes intensidades e ângulos de incidência solar; componente com temperaturas distintas em diferentes pontos, como ocorre entre um lado exposto e um protegido da mesma laje de cobertura.

A Tabela 4.1 apresenta as propriedades higroscópicas e térmicas de alguns materiais. É possível notar que os coeficientes de dilatação térmica entre concreto (laje) e bloco, e entre argamassa e bloco são diferentes, embora em alguns casos os intervalos se assemelham. Os tijolos de barro cozido apresentam a maior diferença dos demais.

Outras considerações importantes, principalmente para as alvenarias, é que pode-se considerar os deslocamentos térmicos dos materiais são similares em qualquer direção e a principal fonte de calor incidente sobre os componentes é proveniente do Sol (para a maioria das edificações, com exceção pontuais como usinas térmicas).

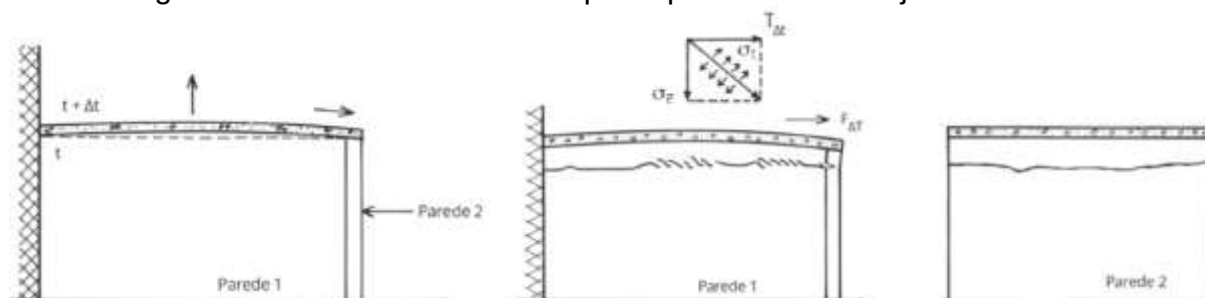
A Figura 4.6 apresenta um exemplo das movimentações térmicas incidentes sobre a laje de cobertura sujeita ao aumento de temperatura e as reações geradas nas paredes aos quais ela está apoiada. A figura à esquerda demonstra esse processo; a figura central mostra a fissuração na parede 1 (paralela à maior dimensão da laje – comprimento) cuja direção é perpendicular às resultantes da tração (σ_t), indicando a direção do deslocamento térmico da esquerda para direita; e a figura mais à direita apresenta a fissura que ocorre na parede 2 (paralela à menor dimensão da laje – largura) e geralmente ocorre com um traçado definido, pois é causado pelas tensões de tração na face interna da parede.

Tabela 4.1 – Propriedades higrotérmicas dos materiais

Material	Coeficiente de dilatação térmica linear ($^{\circ}\text{C}^{-1} \times 10^{-6}$)	Movimentação devida à umidade (%) - Reversível	Movimentação devida à umidade (%) - Irreversível expansão (+) contração (-)	Módulo de deformação (kN/mm^2)
Rochas naturais				
Granito	8-10			20-60
Calcário	3-4	0,01		10-80
Arenito	7-12	0,07		3-80
Compostos à base de gesso				
Gesso-estupe	16-18			1,5-4
Placas de gesso	18-21			16
Compostos à base de cimento				
Argamassa	10-13	0,02-0,06	0,04-0,10(-)	20-35
Concreto (brita)	10-13	0,03-0,10	0,03-0,08(-)	15-36
Tijolos ou blocos vazados				
Concreto	6-12	0,02-0,04	0,02-0,06(-)	10-25
Sílico-calcário	8-14	0,01-0,05	0,01-0,04(-)	14-18
Barro cozido	5-8	0,02	0,02-0,07(+)	4-26
Vidros				
Plano	9-11			70
Alveolado	8,5			5-8
Metais				
Aço	14			210
Aço inoxidável	19			210
Alumínio	25			70
Cobre	18			110
Plásticos				
PVC	50 a 150			2,5 a 3,5
Polipropileno	150			1,1

Fonte: Adaptado de BRE (1979).

Figura 4.6 – Fissuras causadas por aquecimento da laje de cobertura



Fonte: Adaptado de Thomaz (2020).

Embora a NBR 16868-1 (2021) não proíba a amarração indireta das paredes, também conhecida por junta a prumo, não é recomendado seu uso para alvenaria estrutural, conforme citam Parsekian e Medeiros (2021). Isso, porque mesmo com os ganchos solicitados pela norma, este tipo de amarração não gera a mesma rigidez e engastamento que seria obtido pela amarração direta entre os blocos. Isso torna comum o surgimento de fissuras verticais exatamente onde há a junta a prumo causadas por movimentações térmicas. A Figura 4.7 ilustra as fissuras verticais causadas por este processo na imagem a esquerda e à direita, um exemplo de junta a prumo em alvenaria estrutural.

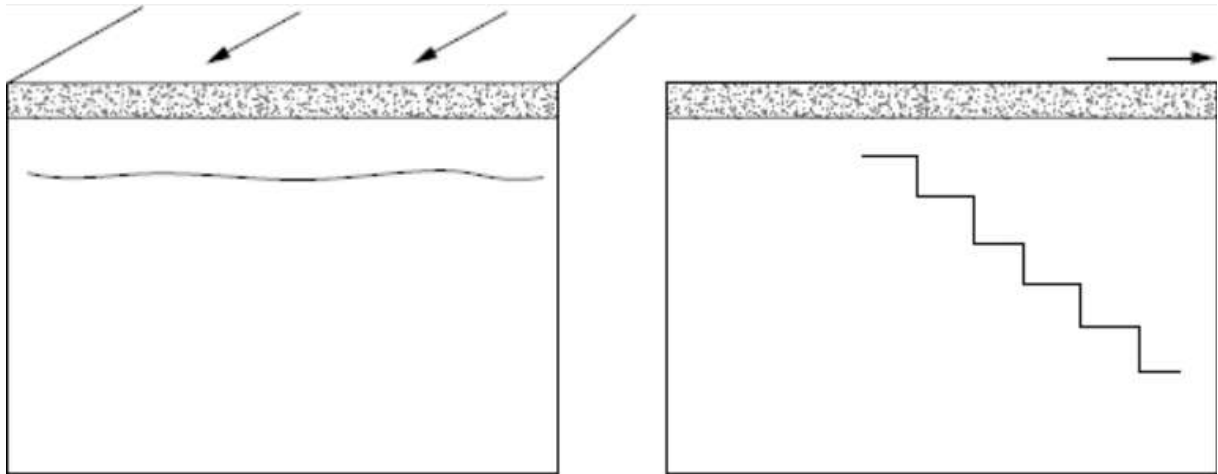
Figura 4.7 – Fissuras verticais e amarração indireta em alvenaria autoportante



Fonte: Thomaz (2020).

Segundo Côrrea e Ramalho (2012), como os blocos costumam ser mais resistentes do que as argamassas de assentamento, é comum que as fissuras se propaguem principalmente nas juntas. Isso pode gerar fissuras horizontais em uma ou duas fiadas abaixo da laje que dilatou ou fissuras em escada em paredes direcionadas na dimensão longitudinal da laje (sofre maior dilatação). Estas ocorrem na maioria dos casos nas paredes do último pavimento, mas também podem ocorrer em pavimentos intermediários em decorrência da dilatação da laje mais próxima superior. A Figura 4.8 ilustra as duas tipologias da manifestação patológica.

Figura 4.8 – Fissuras horizontal e escalonada causadas por dilatação da laje



Fonte: Thomaz (2020).

4.2.2 Fissuras causadas por movimentações higroscópicas

A higroscopia tem efeito bastante similar ao gerado por variações de temperatura. A dilatação dos materiais e aumento da umidade provocam expansão, enquanto a contração térmica e redução da umidade provocam encurtamento dos elementos e componentes. Em situações que existam vínculos que impedem ou restringem os movimentos, podem surgir fissurações nos componentes e elementos da alvenaria autoportante (Thomaz, 2020).

Thomaz (2020) cita que a umidade pode entrar em contato com os materiais de diversas formas (origem):

- Umidade decorrente da produção dos componentes: o processo de fabricação de componentes à base de ligantes hidráulicos frequentemente emprega uma quantidade de água superior a necessária para a hidratação. A subsequente evaporação desta água livre, em excesso, resulta em uma contração do material;
- Umidade procedente da execução da obra: é comum e correto umedecer os componentes, como os blocos ou até a laje que receberá a primeira fiada de blocos para evitar que a água presente na argamassa de assentamento seja retirada de forma muito rápida, prejudicando a aderência entre os componentes ou até a hidratação do cimento. Porém, como essa quantidade de água normalmente não é dosada, ocorrem dois fatores. O primeiro é que a umidade adicionada pode ser superior a umidade higroscópica de equilíbrio, fazendo com que ocorra expansão

nos blocos, por exemplo. O segundo é o excesso dessa água, resultando no mesmo processo do item anterior, evaporação e consequente contração;

- Umidade presente no ar ou decorrente de fenômenos meteorológicos: a chuva ou até a neve em locais que ocorre, pode sobrecarregar de umidade os componentes direcionados à parte externa da edificação. Esses fenômenos também podem afetar o transporte de material à obra ou durante armazenamento, se este não tiver proteção. A umidade do ar também pode ser absorvida pelos materiais e componentes, seja sob forma de vapor ou por fase líquida (condensação do vapor em partes mais frias da construção). Este é um aspecto fundamental especialmente para áreas litorâneas que costumam ter maior umidade relativa;
- Umidade do solo: a água incorporada no solo pode subir à base da edificação por capilaridade, desde que o nível do lençol freático e os diâmetros dos poros dos materiais permitam. Se não houver impermeabilização ou esta for mal executada entre o solo e o alicerce, a umidade terá contato direto aos componentes e elementos, causando danos e se tornando um problema difícil de reparar após a construção estar concluída.

A Figura 4.9 ilustra e resume bem alguns desses processos.

Segundo Thomaz (2020), a quantidade de água absorvida por um material depende da porosidade e capilaridade. Para ele o fator mais importante relacionado a variação no teor de umidade é a capilaridade. Durante a secagem de materiais porosos, a capilaridade origina as forças de sucção, causadoras da condução da água à superfície do material, onde futuramente sofrerá evaporação.

Figura 4.9 – Processos higroscópicos



Fonte: Bertolini (2010).

Segundo Thomaz (2020), como as forças de sucção são inversamente proporcionais às dimensões dos poros, quando dois materiais diferentes entram em contato, o material com menores poros deveria, supostamente, absorver a água do material de maior poro. No entanto, como os materiais não são 100% homogêneos, particularmente os componentes e elementos, como os blocos, o que determina o sentido de percolação é a diferença do teor de umidade entre os materiais.

As flutuações no teor de umidade de um material induzem variações dimensionais de duas naturezas distintas: irreversíveis e reversíveis. As movimentações de caráter irreversível manifestam-se, em geral, na fase inicial pós-fabricação e decorrem dos processos de perda ou ganho de água até que o material atinja a umidade higroscópica de equilíbrio. Já as movimentações reversíveis acontecem por alterações no teor de umidade do material, ocorrendo dentro de um intervalo limitado, mesmo sob condições extremas de saturação ou secagem completa. Na Tabela 4.1 há os valores para essas movimentações de alguns materiais (Thomaz, 2020).

Bertolini (2010) por sua vez dá mais ênfase na porosidade dos materiais. Ele cita que as paredes são elementos complexos em função dos diferentes componentes e materiais que a compõem. A deterioração daquelas pode ser proveniente de quaisquer materiais que as constituem. Estes materiais apresentam uma microestrutura porosa, por onde a água pode penetrar.

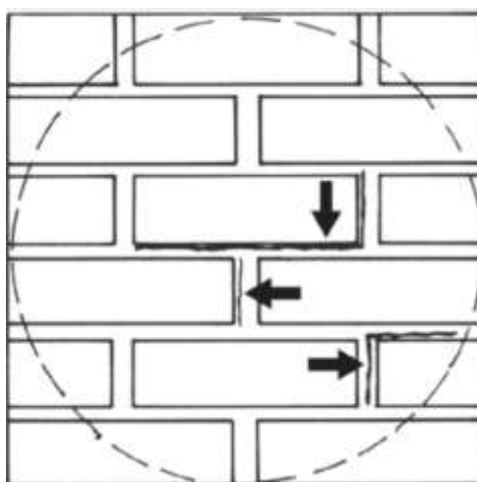
A caracterização da rede porosa de um material envolve a análise de diversas grandezas fundamentais. Dentre as mais relevantes, destacam-se: volume porcentual

dos poros, que corresponde à fração do volume total ocupada por vazios; a distribuição dimensional, que descreve a repartição dos poros segundo suas dimensões; o grau de interconexão, que indica a existência de ligações entre os poros, viabilizando a formação de um percurso contínuo; a tortuosidade, que define a complexidade e o comprimento real do caminho através da rede porosa; e a abertura, que se refere à probabilidade de um poro estar conectado à superfície, permitindo a interação com substâncias do ambiente. Esses parâmetros desempenham um papel essencial nos mecanismos de penetração da água e na consequente degradação do material (Bertolini, 2010).

Para Thomaz (2020), nas amarrações indiretas de paredes estruturais, independentemente do material do bloco ou tijolo, acontecerão movimentações higroscópicas que irão propender a destacar entre as paredes na junta aprumada. De forma similar ao efeito térmico, surgirão fissuras verticais idênticas a da Figura 4.6. Ele ainda diz que esse destacamento causará infiltração de umidade dentro do edifício.

As movimentações irreversíveis e reversíveis podem gerar destacamento entre o bloco/ tijolo e argamassa de assentamento. Entre as causas desse destacamento, os principais são: “aderência entre argamassa e componentes de alvenaria, tipo de junta adotada, módulo de deformação dos materiais em contato, propriedades higroscópicas desses materiais e intensidade de variação da umidade” (Thomaz, 2020). A Figura 4.10 demonstra essas fissuras.

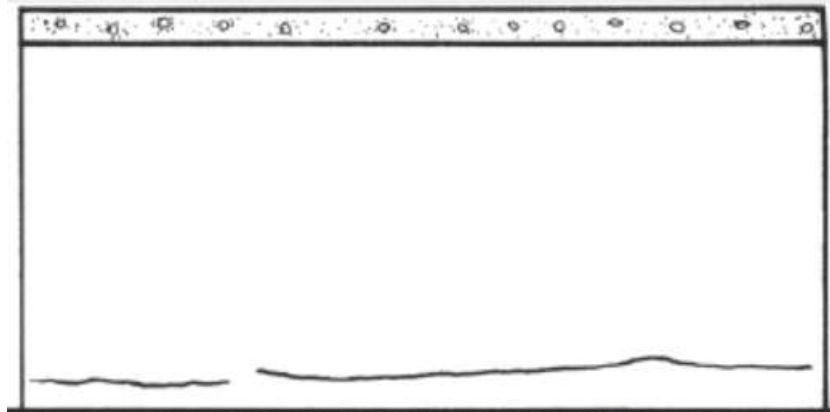
Figura 4.10 – Fissuras por destacamento entre componentes da alvenaria



Fonte: Thomaz (2020).

Para Thomaz (2020), se a impermeabilização dos alicerces não for bem realizada, podem surgir fissuras horizontais na base da parede. Isso ocorre, pois os componentes mais próximos do solo absorvem a umidade deste e como há movimentação diferencial entre essa base e as fiadas superiores (recebem insolação direta e por isso tendem a perder água por evaporação) surgem as fissuras. Essa expansão diferencial entre fiadas tem mais efeito para alvenarias com pequenos carregamentos, como em edificações térreas (Caporrino, 2018). Um auxílio para o diagnóstico dessa fissuração é que em muitos casos deste tipo há também a presença de outra manifestação patológica: as eflorescências (depósitos de sais carreados pela água). A Figura 4.11 apresenta essa tipologia.

Figura 4.11 – Fissuras por má execução da impermeabilização



Fonte: Thomaz (2020).

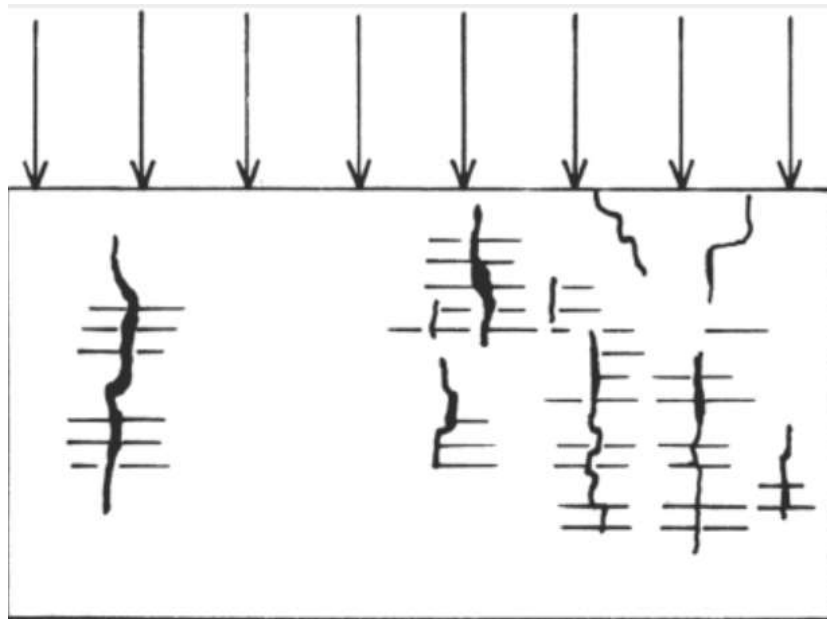
Para Bertolini (2010) as fissurações podem ser causadas por fenômenos de cristalização dos sais dissolvidos em água, especialmente para cristais em forma de coluna que podem aumentar as fissuras; por ciclos de gelo-degelo que produzem efeitos similares a cristalização, gerando fissurações e até a desagregação das argamassas e blocos. Isso ocorre, pois o gelo tem maior volume que a água líquida e expande. Os sulfatos também podem provocar essa manifestação patológica quando entram em contato com componentes de cimentos, gerando produtos expansivos.

4.2.3 Fissuras causadas por sobrecargas em alvenarias

Segundo (Instituto Eduardo Torroja, 1971), dois tipos de fissuras podem ocorrer em alvenarias contínuas (sem vãos) solicitadas por sobrecargas uniformemente distribuídas:

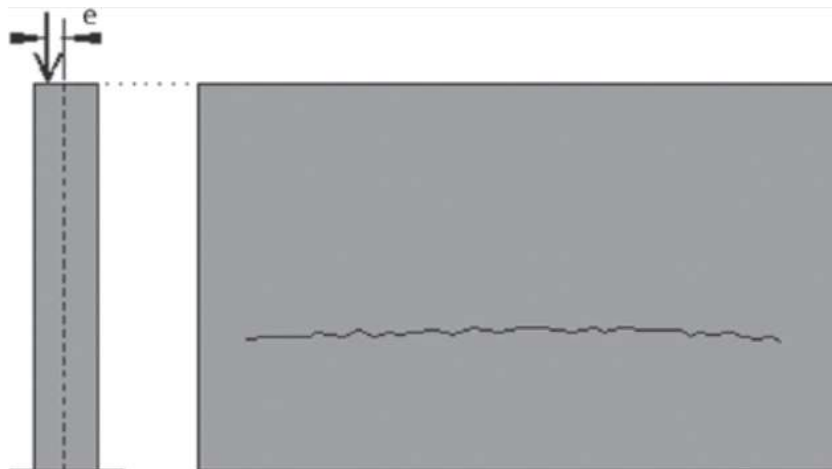
- Fissuras verticais, mais comuns, decorrentes da deformação transversal da argamassa submetida a tensões de compressão ou flexão local dos componentes de alvenaria, conforme ilustrado pela Figura 4.12;
- Fissuras horizontais, causadas pela ruptura por compressão dos componentes ou da argamassa de assentamento, ou por solicitações de flexocompressão da parede, demonstrado pela Figura 4.13.

Figura 4.12 – Fissuras verticais por sobrecarga vertical



Fonte: Thomaz (2020).

Figura 4.13 – Fissuras horizontais por sobrecarga ou flexocompressão

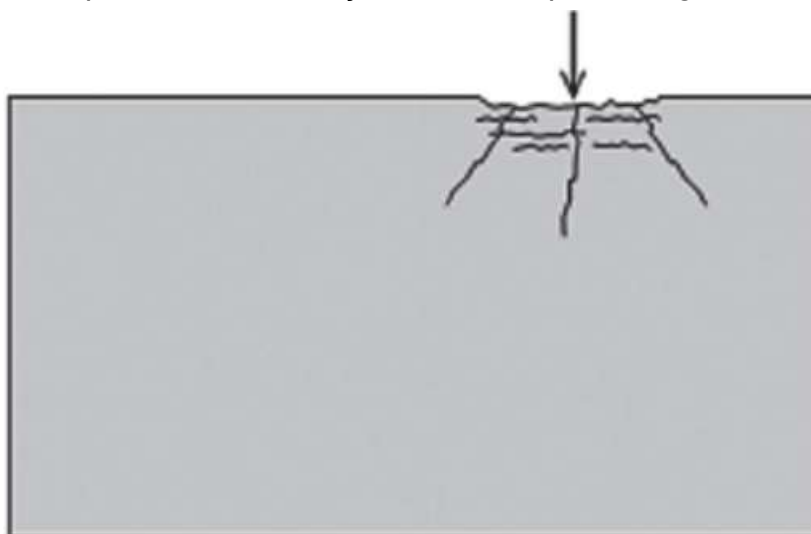


Fonte: Thomaz (2020).

Durante a execução da obra podem acontecer fissuras em forma de escada ou diagonais quando as “[...] tensões introduzidas pelo peso próprio da laje sendo concretada logo acima, situação em que o cimbramento da laje não impediu totalmente a transmissão de esforços para as paredes recém-construídas” (Thomaz, 2020). Porém, essa manifestação é rara e acontece por falha no projeto ou na disposição dos cimbramentos. A ocorrência de fissuras também pode ser atribuída a sobrecargas geradas por carregamentos não previstos no projeto original, uma circunstância comum durante a execução de reformas na edificação.

Sobrecargas concentradas podem levar a ruptura dos componentes da alvenaria na região em que elas foram aplicadas e/ ou surgimento de fissuras inclinadas a partir do local de aplicação. A predominância de uma ou outra manifestação patológica dependerá da resistência à compressão dos componentes (Thomaz, 2020). A Figura 4.14 representa este caso.

Figura 4.14 – Ruptura e/ ou fissuração causadas por carregamento concentrado

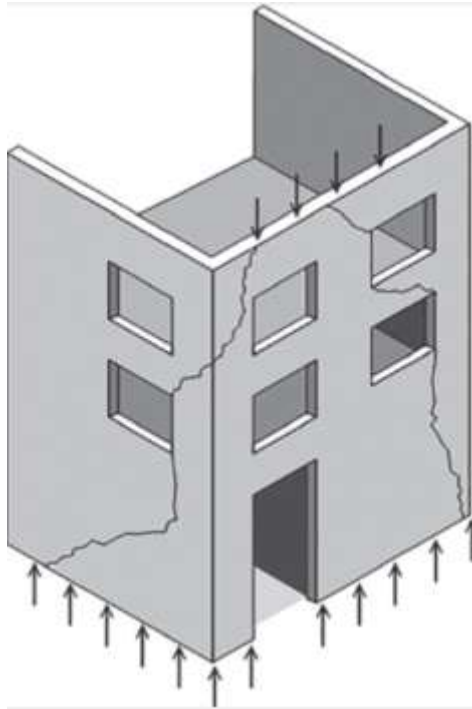


Fonte: Thomaz (2020).

Em panos de alvenaria que contêm aberturas para portas e janelas, a seção transversal é enfraquecida em comparação a uma parede cega, o que leva à manifestação preferencial de fissuras a partir dos cantos dessas aberturas e na região sob os peitoris (Figura 4.15). Do ponto de vista teórico, para uma alvenaria assentada sobre um suporte rígido (indeformável), a configuração do fissuramento é determinada pela trajetória das isostáticas de compressão, resultando no padrão ilustrado na Figura 4.16.

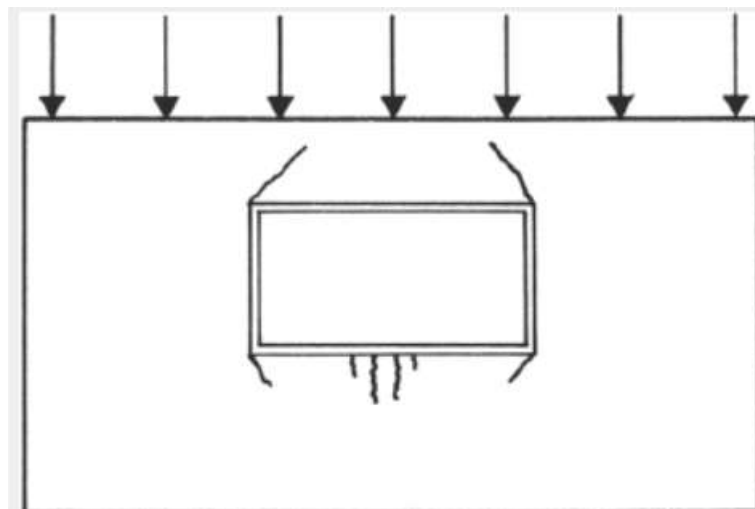
No entanto, as fissuras podem se apresentar de diversas maneiras dependendo das dimensões das aberturas, quantidade destas, posição da abertura no painel, rigidez de vergas e contravergas, dentre outros. Mas, considerando que a alvenaria sofre maior deformação e a eventual deformação do suporte nos locais mais carregados da parede (fora das aberturas) geram as fissuras reais, conforme a Figura 4.17.

Figura 4.15 – Fissuras geradas por sobrecargas em aberturas



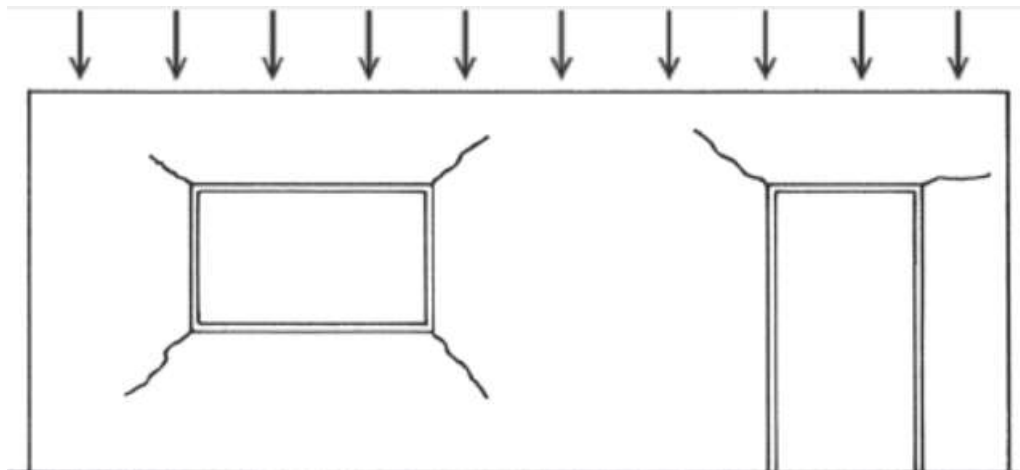
Fonte: Thomaz (2020).

Figura 4.16 – Fissuras teóricas por sobrecarga vertical



Fonte: Thomaz (2020).

Figura 4.17 – Fissuras reais por sobrecarga vertical



Fonte: Thomaz (2020).

4.2.4 Fissuras causadas por recalques de fundação

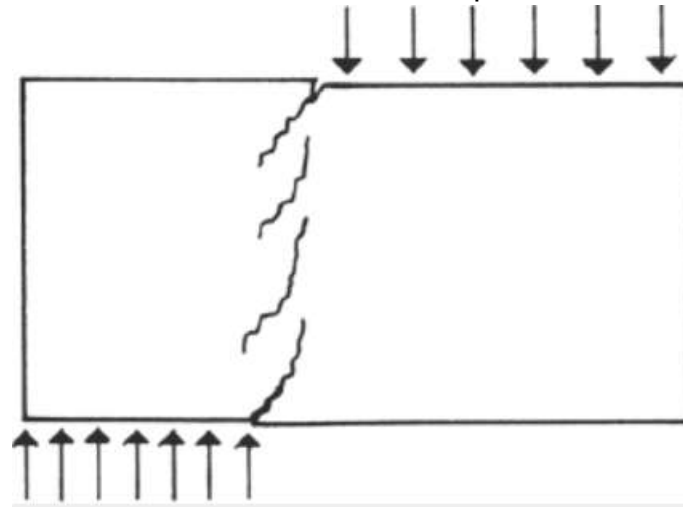
Segundo Holanda (2002, p. 184),

Os edifícios de alvenaria estrutural são mais suscetíveis a apresentar fissuras devido a recalques que edifícios com estrutura de concreto armado ou aço. Nestes casos, as estruturas de vedação, mais sensíveis quanto ao recalque, são colocadas depois de ocorrida uma certa acomodação. Ao contrário, quando o sistema construtivo é a alvenaria estrutural, a construção das paredes é simultânea à ocorrência dos recalques iniciais.

A fissuração por recalque diferencial caracteriza-se por uma trajetória inclinada, orientada para o ponto de maior recalque. Embora possa se assemelhar às fissuras por flexão, distingue-se por apresentar, em geral, aberturas maiores, variação nítida dessa abertura em casos severos, e pela presença de esmagamentos localizados (escamações) que evidenciam a atuação de tensões de cisalhamento (Thomaz, 2020).

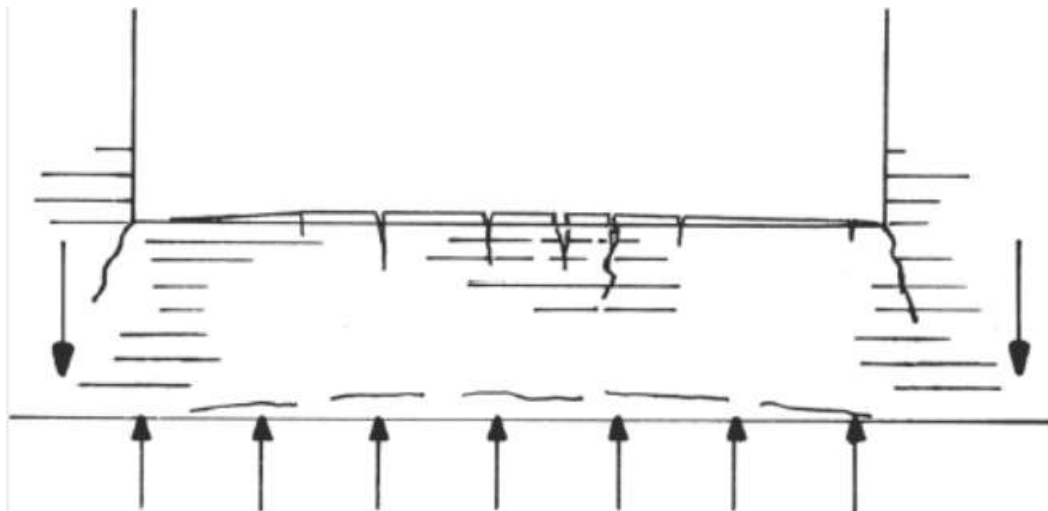
Os recalques diferenciais podem ser originados de carregamentos desbalanceados e as fissuras ocorrerão conforme as Figuras 4.18 e 4.19. Na Figura 4.18 o local mais carregado (parte superior da alvenaria) recalca mais, o que gera fissuras por cisalhamento na parede. Já na Figura 4.19, nos locais em que há abertura as fissuras surgem devido à flexão das fundações.

Figura 4.18 – Fundações contínuas solicitadas por carregamentos desbalanceados: o trecho mais carregado apresenta maior recalque, surgindo fissuras de cisalhamento no painel



Fonte: Thomaz (2020).

Figura 4.19 - Fundações contínuas solicitadas por carregamentos desbalanceados: sob as aberturas surgem trincas de flexão

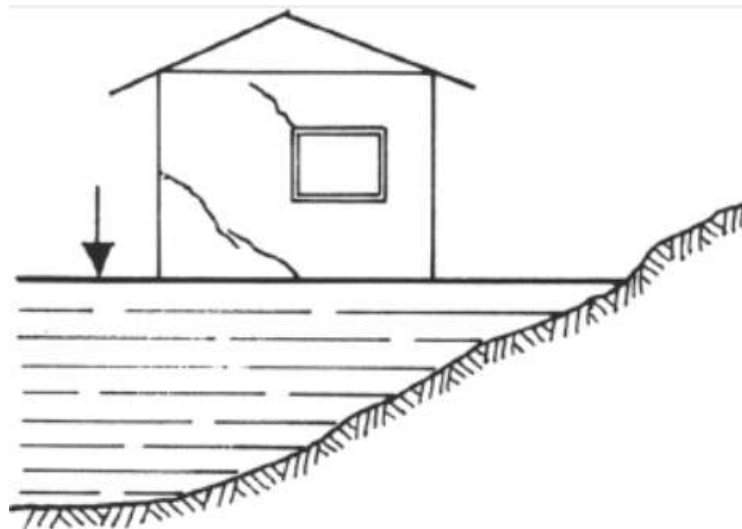


Fonte: Thomaz (2020).

Para construções submetidas a carregamentos uniformes há diversos fatores que podem levar a recalques e consequentemente a fissurações. As Figuras 4.20, 4.21 e 4.22 apresentam esses casos. Na Figura 4.20 o aterro possui diferença de profundidade em relação ao substrato rígido, por isso o local que apresenta maior profundidade desse aterro tende a recalcar mais que a outra extremidade com menor volume de aterro sob a edificação. A Figura 4.21 apresenta uma construção sobre solo entre um corte e um aterro, ocasionando tensões de cisalhamento entre eles. Na

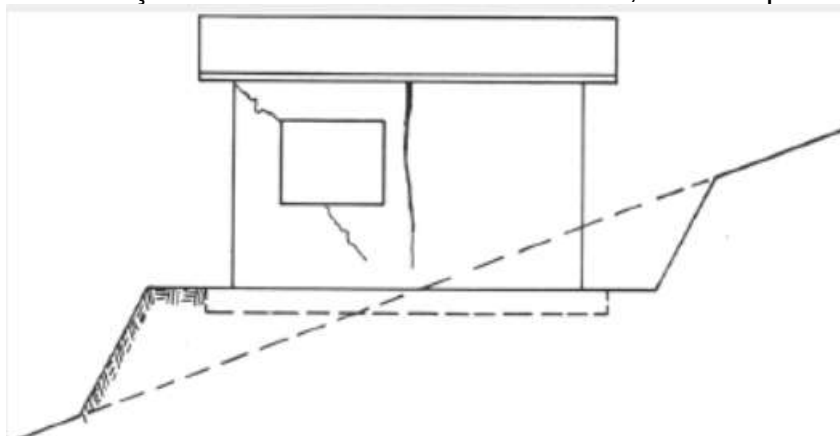
Figura 4.22 foi rebaixado o lençol freático para a realização de um corte de um terreno ao lado da edificação. Isso tende a gerar um recalque diferencial, pois o solo irá rebaixar no sentido desse solo saturado. A vegetação de médio a grande porte também pode levar a recalque, por exemplo pela retirada de água do solo pelas raízes, conforme Figura 4.22.

Figura 4.20 – Recalque diferencial por consolidações distintas do aterro carregado



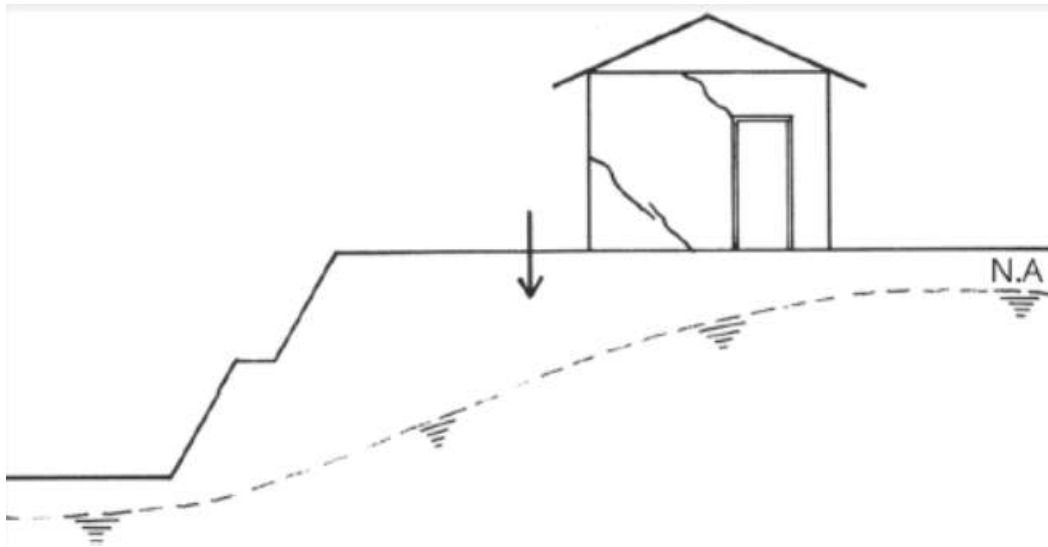
Fonte: Thomaz (2020).

Figura 4.21 – Fundação assentada sobre corte e aterro, fissuras por cisalhamento



Fonte: Thomaz (2020).

Figura 4.22 – Recalque por rebaixamento do lenço freático devido ao corte do terreno ao lado



Fonte: Thomaz (2020).

4.2.5 Fissuras causadas pela retração

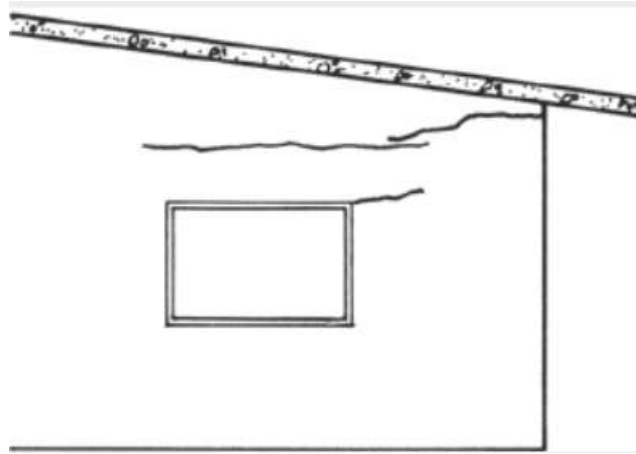
Essas fissuras são decorrentes não das alvenarias e sim das lajes maciças de concreto armado (muito utilizadas em alvenaria estrutural, principalmente para construções mais populares pelo menor custo e maior simplicidade de execução) que influenciam nas alvenarias.

Para garantir a trabalhabilidade, os concretos e argamassas normalmente são produzidos com água excedente, o que aumenta a retração. Esta pode ocorrer por três formas distintas nos produtos de base cimentícia:

- retração química: a reação química entre o cimento e a água ocorre com redução de volume; devido às grandes forças coesivas, a água combinada quimicamente ao cimento sofre importante contração em relação ao seu volume original;
- retração de secagem: a quantidade excedente de água empregada na preparação do concreto ou argamassa continua livre no interior da massa, evaporando-se posteriormente; essa evaporação gera forças capilares equivalentes a uma compressão isotrópica da massa, de fora para dentro, produzindo a redução do seu volume;
- retração por carbonatação: a cal hidratada liberada nas reações de hidratação do cimento reage com o gás carbônico presente no ar, formando carbonato de cálcio + água livre; com a evaporação da água livre, ocorre a chamada retração por carbonatação.

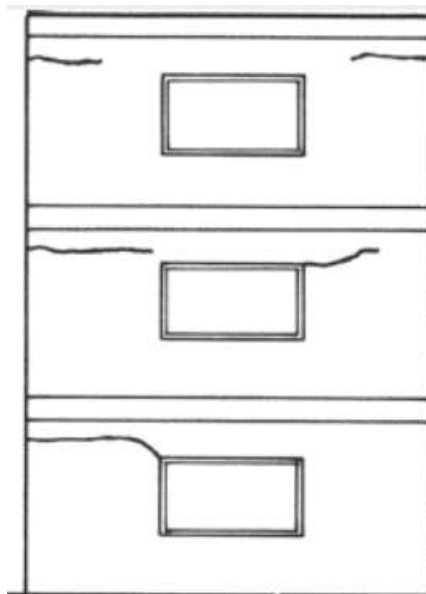
As fissuras mais comuns são devido a retração de secagem da laje de cobertura que fissa as alvenarias solidárias a ela (Figura 4.23). Para Caporrino (2018), essa retração “sobretudo quando de grandes vãos e sujeitas a forte insolação, pode causar fissuração nas alvenarias. O encurtamento da laje provoca a rotação das fiadas próximas a ela”. E as fissuras horizontais por retração da laje podem ocorrer em pavimentos intermediários de edifícios. Neste caso as fissuras podem surgir abaixo da laje ou nos cantos superiores de portas ou janelas (Figura 4.24).

Figura 4.23 – Fissura por retração da laje de cobertura



Fonte: Thomaz (2020).

Figura 4.24 – Fissura por retração da laje de cobertura



Fonte: Thomaz (2020).

4.3 PREVENÇÃO

Algumas medidas preventivas podem ser tomadas para evitar o aparecimento de fissuras, desde a fase de projeto, execução de obra até as manutenções posteriores a entrega desta.

Segundo Thomaz (2020),

As alvenarias, portantes ou não, apresentam em geral bom comportamento às solicitações de compressão axial, o mesmo não ocorrendo com os outros tipos de esforços (tração, tração na flexão e cisalhamento); portanto, sempre que possível, as cargas excêntricas deverão ser evitadas, as concentradas deverão ser distribuídas por meio de coxins, e as concentrações de tensões nas aberturas deverão ser absorvidas por vergas, contravergas, cintas de amarração e outros recursos.

Um dos maiores agentes de degradação é a água, cuja presença pode causar movimentações higroscópicas, eflorescências e expansão por sulfatos. Um destaque particular é a Expansão por Umidade (EPU) em blocos cerâmicos, um fenômeno significativo que pode causar desarranjos nas paredes e cujos limites variam consideravelmente entre as normas internacionais. Para mitigar esses problemas, são essenciais medidas como impermeabilização de fundações, detalhes arquitetônicos para afastar a água da chuva e o uso de revestimentos protetores.

Devido à sua sensibilidade a distorções, as alvenarias exigem fundações e estruturas de apoio com elevada rigidez, respeitando rigorosamente os limites de flecha normativos. Além dos movimentos da estrutura, a própria alvenaria sofre movimentações intrínsecas (higrotérmicas, retração ou expansão dos componentes). Para aliviar as tensões geradas por esses fenômenos e evitar fissuras, a principal estratégia é a introdução de juntas de dilatação. A norma NBR 16868-1 recomenda que essas juntas tenham espaçamento máximo de 24 m da edificação em planta.

Para compensar a baixa resistência da alvenaria à tração e ao cisalhamento, o uso de armaduras é uma solução eficaz que melhora substancialmente o comportamento contra a fissuração. Os reforços podem ser implementados de várias formas: através de cintas de concreto, grauteamento vertical nos furos dos blocos, armaduras horizontais dispostas nas juntas de assentamento ou com telas eletrossoldadas no revestimento para reforçar áreas enfraquecidas, como ao redor de vãos e passagens de tubulações. Todas as especificações técnicas estabelecem taxas mínimas de armadura e exigem um cobrimento adequado para prevenir a corrosão.

A qualidade final da alvenaria depende diretamente do controle dos materiais e da mão de obra. Blocos com variação dimensional ou mal curados podem gerar tensões e fissuras. A interação entre bloco e argamassa é fundamental, sendo controlada pelo poder de sucção do bloco: se for muito baixo, a aderência é fraca; se for muito alto, rouba a água de hidratação da argamassa. Recomenda-se o uso de argamassas mistas (cimento e cal), que oferecem maior capacidade de acomodação de deformações. Finalmente, a qualidade da execução — incluindo nível, prumo, preenchimento completo das juntas (especialmente em fachadas) e o frisamento para melhorar a estanqueidade — é imprescindível para o bom desempenho e durabilidade do sistema.

4.4 SOLUÇÕES PARA AS FISSURAS

A decisão de reparar um componente fissurado deve ser precedida por um diagnóstico conclusivo que avalie o impacto da fissura na segurança e no comportamento geral do edifício. Antes de intervir, é crucial verificar se não há comprometimento do contraventamento, dos apoios estruturais ou das instalações. Superada a análise de segurança, devem ser considerados os impactos funcionais (estanqueidade, durabilidade), a atividade do movimento e a viabilidade da intervenção. Em última análise, um reparo definitivo eficaz é aquele que se baseia nas causas do problema, aplicando estratégias de recuperação que mimetizam as ações preventivas, a fim de suprimir ou mitigar os fatores que originaram a patologia.

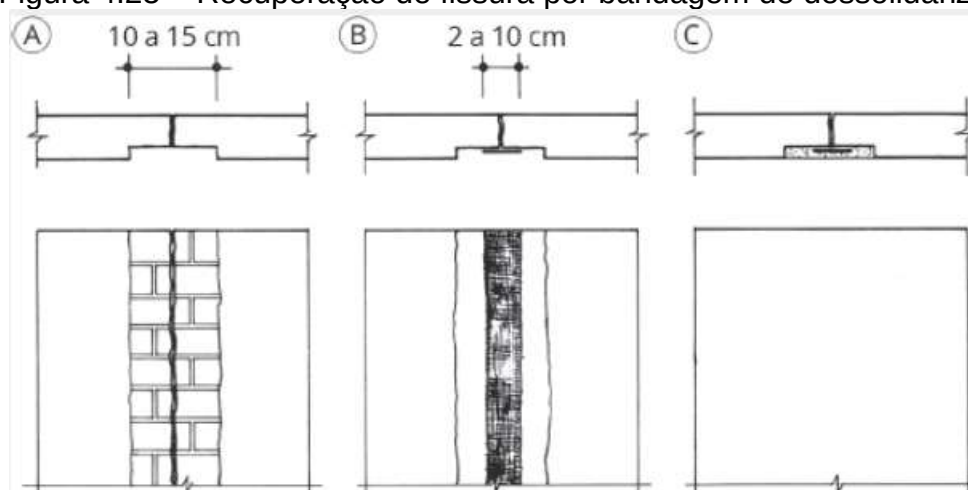
A necessidade de reforços estruturais ocorre por alterações no uso da edificação, aumento das cargas atuantes, correção de erros de projeto, tratamento de manifestações patológicas ou para atender a solicitações de vento e sismo (Garcez; Meneghetti, 2024).

Thomaz (2020) descreve algumas técnicas para recuperação. Para fissuras que, após serem causadas por uma movimentação inicial expressiva, passaram a exibir variações de abertura decorrentes apenas de ciclos higrotérmicos, recomenda-se a aplicação de uma bandagem com a finalidade de promover a dessolidarização entre a argamassa de revestimento e o substrato na região da fissura.

A técnica da bandagem ou argamassa armada baseia-se no princípio de distribuir a deformação da fissura ao longo de uma faixa mais larga do revestimento, que é intencionalmente descolada da base estrutural. Ela possui dupla aplicabilidade, podendo ser empregada tanto em reparos pontuais de fissuras de origem térmica

quanto em reforços estruturais O procedimento envolve a remoção de uma faixa do revestimento existente entre 15 a 20 cm, a aplicação da bandagem (tela de aço galvanizado) sobre a fissura e a posterior recomposição do sistema com chapisco e uma argamassa de baixo módulo de elasticidade. A eficácia do reparo é diretamente proporcional à qualidade da dessolidarização e à largura da bandagem, pois esses fatores reduzem as tensões no revestimento pela variação da abertura da fissura e, conseqüentemente, minimizam o risco de reaparecimento da fissura na superfície. Este método aumenta a resistência ao cisalhamento no plano e à flexo-compressão. A Figura 4.25 apresenta essa técnica.

Figura 4.25 – Recuperação de fissura por bandagem de dessolidarização



Fonte: Thomaz (2020).

O reparo de fissuras em alvenaria estrutural requer soluções específicas para cada causa. Para fissuras decorrentes da movimentação térmica de lajes de cobertura, além da melhoria da isolamento térmica, pode-se remover a última junta de assentamento e introduzir no lugar dela um material deformável, como neoprene. Para isso é necessário o escoramento da laje. Na impossibilidade de escorar, uma alternativa é a remoção parcial da junta e seu preenchimento com selante flexível.

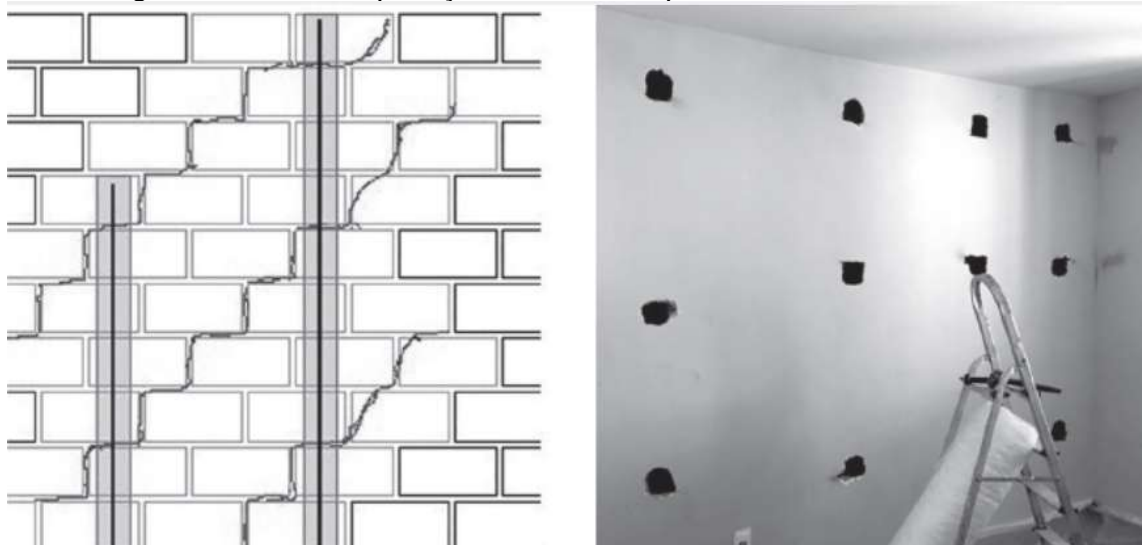
Para fissuras originadas por concentração de tensões, a recuperação eficaz pressupõe a redistribuição das cargas. Em pontos de cargas concentradas de vigas, por exemplo, deve-se escorar estes elementos e executar um coxim de distribuição. Em região de aberturas de portas e janelas é necessário ampliar o comprimento de apoio das vergas, seja pela inserção de chapas de aço ou pela sobreposição de uma nova verga mais longa. Lembrando que a NBR 8545 prevê o comprimento mínimo do

vão mais 20 cm para cada lado e no mínimo 10 cm de altura para as vergas e contravergas.

Adicionalmente, uma técnica geral para a recuperação de alvenaria de paredes de blocos vazados é a costura interna ou grauteamento. O procedimento consiste na execução de furos perpendiculares à parede, nos quais são inseridas armaduras nos vazios verticais dos blocos e, em seguida, preenchidos com graute, conforme Figura 4.26. Com isso, cria-se uma série de micropilares no interior da parede, o que eleva a rigidez do painel. Esta é uma das técnicas mais difundidas para o incremento da capacidade resistente da alvenaria à compressão, à flexão e ao cisalhamento. Sua principal desvantagem é a complexidade de execução em edificações já existentes.

É fundamental verificar todos os projetos antes de realizar os furos para não mexer em nenhum ponto estrutural ou de instalação elétrica, por exemplo.

Figura 4.26 – Recuperação de fissuras por costura interna



Fonte: Thomaz (2020).

Para casos mais críticos (reforço estrutural), pode-se optar pela introdução de um novo sistema estrutural, como a inserção de vigas e pilares de concreto armado, exigindo o escoramento prévio da obra, conforme Figura 4.27. Em situações de fissuramento severo, como o decorrente de recalques de fundação, um método eficaz é o atirantamento. Este sistema utiliza tirantes de aço que transferem os esforços para a alvenaria por meio de placas de aço, as quais devem ser protegidas contra corrosão. A eficiência do atirantamento pode ser otimizada pelo aquecimento do tirante antes

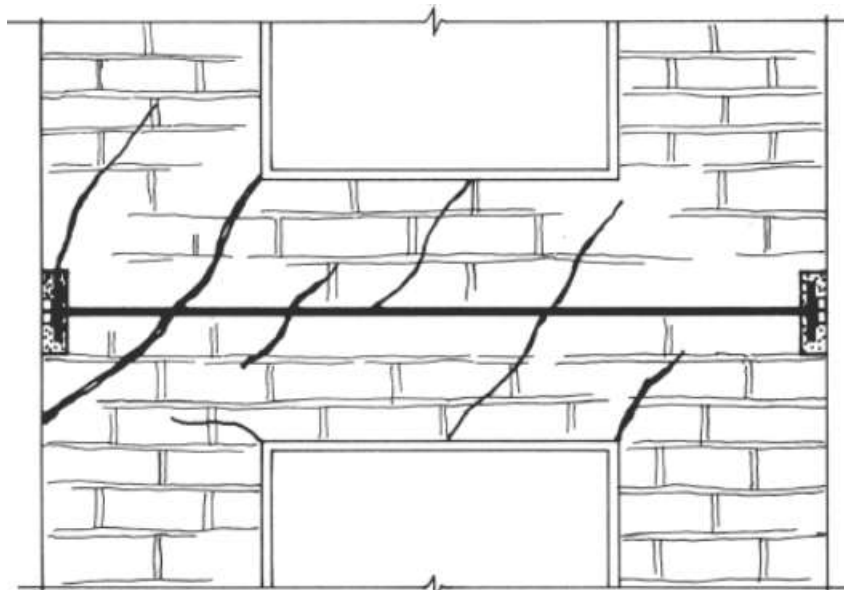
do aperto final das porcas e sua subsequente contração por resfriamento induz uma compressão na alvenaria. A Figura 4.28 mostra esse tirante.

Figura 4.27 – Reforço com a introdução de pilar de concreto armado



Fonte: Thomaz (2020).

Figura 4.28 – Reforço com tirante



Fonte: Thomaz (2020).

Segundo Garcez e Meneghetti (2024), as metodologias convencionais para intervenção em alvenaria estrutural baseiam-se no uso de materiais tradicionais, como aço e concreto, para adicionar novos elementos (vigas e pilares), ou em técnicas como grauteamento e colagem de chapas metálicas, como citado anteriormente. Embora eficazes para restaurar a capacidade de carga, essas abordagens apresentam desvantagens significativas, como o tempo de execução, o acréscimo de carga

permanente na estrutura, que pode exigir reforço nas fundações, a redução da área útil e o impacto estético negativo.

As técnicas mais convencionais estão descritas a seguir, de acordo com Garcez e Meneghetti (2024).

A injeção de resina epóxi ou graute tem como objetivo restaurar a monoliticidade, a rigidez e a resistência originais de paredes fissuradas. O procedimento consiste na introdução de resina epóxi expansiva ou graute de alta fluidez no interior de fissuras e vazios, por meio de furos previamente executados na alvenaria. A injeção pode ser realizada por gravidade, sob pressão ou a vácuo, dependendo das características da patologia e do material empregado. A diferença deste para o grauteamento, é que neste último insere-se além do graute, as armaduras. Por isso o procedimento é parecido com o apresentado na Figura 4.25, com exceção das armaduras.

O reforço com elementos metálicos visa aumentar a resistência e a rigidez das paredes pela adição de perfis ou barras de aço, seja na direção vertical ou horizontal. Esses elementos podem ser projetados para atuar de forma solidária à estrutura existente ou como um sistema de reforço independente (exoesqueleto), construído interna ou externamente e ancorado na alvenaria. Uma aplicação específica é a incorporação de contraventamentos metálicos que funcionam como um quadro treliçado para enrijecer a parede. A Figura 4.29 apresenta este sistema.

Figura 4.29 – Contraventamento metálico em alvenaria



Fonte: Garcez; Meneghetti (2024).

O concreto projetado é frequentemente utilizado em reforços, sendo eficaz para suprir deficiências de resistência a esforços contidos no plano da parede ou perpendiculares a ele. Utiliza equipamentos de projeção e compressor de ar para jatear o concreto. As vantagens são a economia, a rapidez executiva e o bom desempenho frente à corrosão e ao fogo. Em contrapartida, suas desvantagens incluem o aumento significativo da seção transversal do elemento e o tempo de cura necessário antes da retomada da carga. A capacidade à flexão e ao cisalhamento pode ser ampliada com a inserção de armaduras na camada de concreto. A Figura 4.30 ilustra esta técnica.

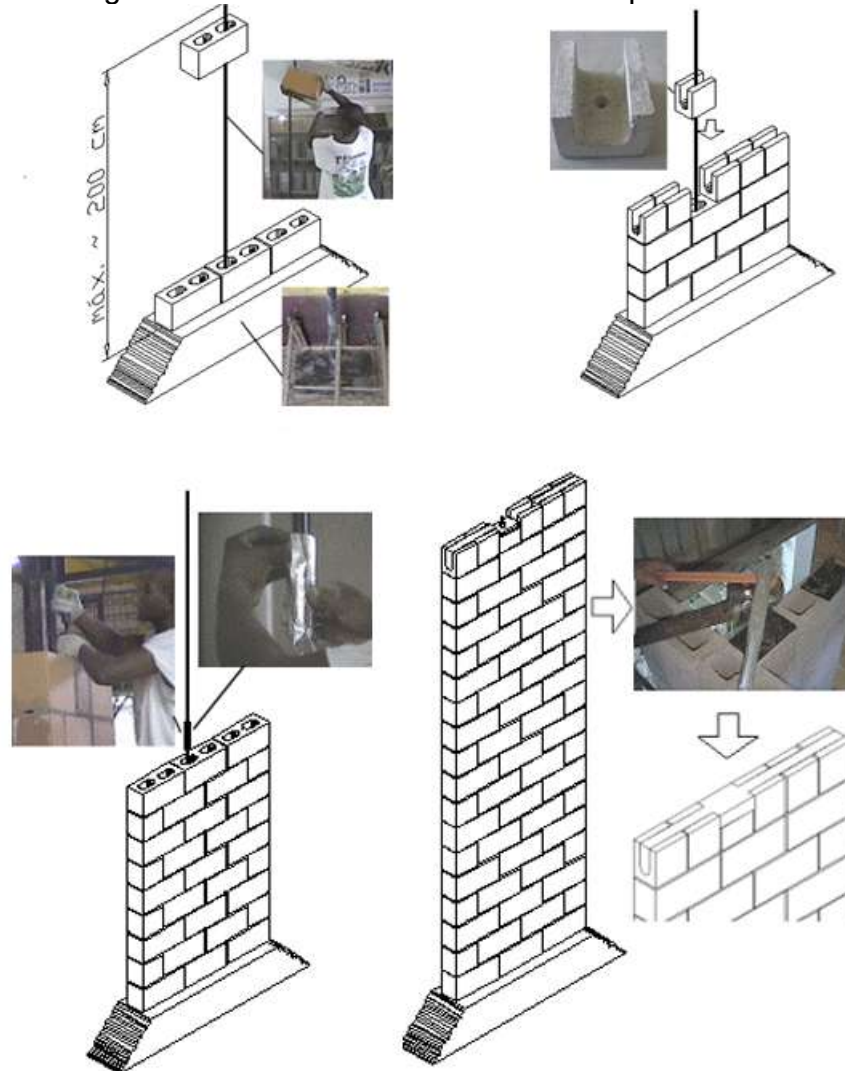
Figura 4.30 – Concreto projetado



Fonte: Magalhães (2024).

O reforço por protensão consiste na introdução de um estado de pré-compressão na alvenaria para neutralizar tensões de tração, incrementando sua capacidade resistente, principalmente à flexão. A técnica utiliza elementos de aço de alta resistência (barras ou cordoalhas) inseridos nos vazios dos blocos e ancorados nas extremidades. Geralmente, emprega-se a protensão não aderente, e o tensionamento é realizado por torquímetros (para barras) ou macacos hidráulicos (para cordoalhas). A Figura 4.31 exemplifica esse método, mesmo que nela mostre um procedimento de execução de alvenaria estrutural com protensão, o reforço seria semelhante, com a única diferença que a alvenaria já estaria executada e só seria necessário fazer furos para inserir a armadura ativa e tensioná-la.

Figura 4.31 – Alvenaria estrutural com protensão



Fonte: Parsekian; Franco (2002).

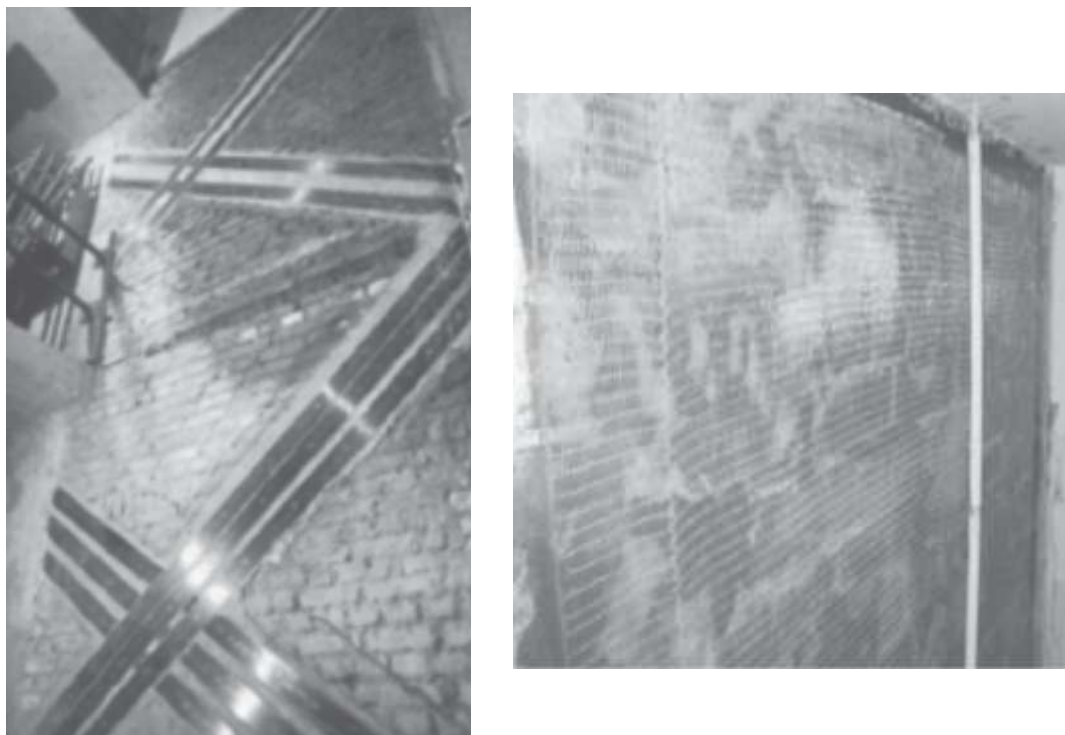
Em contraste com os métodos convencionais, os compósitos de Polímeros Reforçados com Fibras (PRF) surgem como uma alternativa contemporânea e eficaz. Sua versatilidade permite aplicações diversas, como mantas ou lâminas aderidas externamente, barras inseridas em sulcos na alvenaria (técnica NSMR – *New Surface Mounted Reinforcement*), elementos protendidos ou como sistemas de confinamento para peças comprimidas.

Os PRF são materiais compósitos resultantes da combinação de dois ou mais constituintes para obter propriedades superiores às de seus materiais originais. Os mais comuns são compostos por fibras de carbono (PRFC), aramida (PRFA) e vidro (PRFV). Representam um dos desenvolvimentos mais notáveis na área de recuperação estrutural nas últimas décadas.

Em comparação com materiais convencionais, os PRF oferecem vantagens como elevada relação resistência/peso, excelente durabilidade em diversos ambientes, facilidade e rapidez de instalação, e versatilidade de formas. Essas características os tornam uma solução de alto desempenho para reforço estrutural.

O procedimento para aplicação de PRF colado é o seguinte: limpeza e preparação do substrato para correta aderência; imprimação da superfície com *primer* para estabelecer uma ponte de aderência com o adesivo de PRF; regularização das imperfeições do substrato com uma camada de resina tixotrópica (*putty*) para fornecer um local nivelado para aplicar o reforço; e colagem do reforço. A Figura 4.32 apresenta, a esquerda, um exemplo de PRFC colado e à direita, PRFV colado em alvenaria.

Figura 4.32 – PRFC e PRFV colados em parede de alvenaria



Fonte: Adaptado de Garcez; Meneghetti (2024).

Já a técnica NSMR propõe que faixas de laminados ou barras de PRF sejam inseridas na alvenaria para reforçá-la. As etapas de execução são: recorte dos entalhes da alvenaria a serem inseridos as lâminas ou barras; limpeza desses trechos com jato de ar para retirar o pó gerado pelo corte; limpeza das barras ou laminados com acetona ou produto recomendado pelo fabricante das fibras para limpeza de gordura e pó; mistura dos componentes da resina; aplicação da resina em todo o comprimento dos entalhes (se forem utilizados laminados, deve-se passar resina nos

dois lados destes); e inserção do PRF nos entalhes. A Figura 4.33 demonstra à esquerda a aplicação de resina, ao centro a inserção do PRF e à direita, o procedimento finalizado.

Figura 4.33 – Aplicação de barras de PRF a uma parede



Fonte: Garcez; Meneghetti (2024).

O custo inicial elevado dos PRF é sua principal barreira à disseminação em larga escala. Seu uso é plenamente justificado em cenários onde suas propriedades únicas — como leveza, resistência à corrosão ou rapidez de execução — oferecem benefícios inatingíveis com materiais convencionais, especialmente quando interrupções na utilização da estrutura e condições de acesso são críticas. É relevante notar que, em uma análise de custo ao longo da vida útil, a alta durabilidade dos PRF pode torná-los competitivos. Ademais, os materiais representam apenas uma fração do custo total de uma intervenção (~20%) e a redução nos custos de mão de obra e indiretos proporcionada pelo PRF pode tornar a solução economicamente viável em um número maior de situações.

5 CONCLUSÃO

A evolução da alvenaria, desde as antigas construções empíricas baseadas na compressão até o desenvolvimento da moderna alvenaria estrutural a partir da década de 1950, foi impulsionada por estudos sistemáticos e pela necessidade de normalização. Consolidou-se também o conceito de patologia das construções como uma ciência que, de forma análoga à medicina, exige um processo criterioso de diagnóstico para a proposição de uma terapia eficaz.

O objetivo central deste trabalho foi compreender os fatores que originam as fissuras em alvenaria estrutural, visando tanto a prevenção em novos projetos quanto o tratamento adequado em obras existentes. A investigação partiu da constatação de que, apesar da ampla utilização e das vantagens de racionalização e custo da alvenaria estrutural no Brasil, a fissuração representa sua manifestação patológica mais recorrente, com implicações que afetam desde a estética e a estanqueidade até a segurança estrutural.

A análise das origens das fissuras permitiu identificar que, embora a alvenaria apresente bom desempenho à compressão, sua baixa resistência à tração, flexão e cisalhamento é a principal vulnerabilidade que leva ao surgimento de fissuras. As causas foram: as movimentações térmicas, principalmente na interação entre lajes e paredes; as movimentações higroscópicas, decorrentes da variação de umidade proveniente de diversas fontes; as sobrecargas, causadas principalmente por carregamentos distribuídos, mas também por cargas concentradas; os recalques diferenciais de fundação, que geram fissuras inclinadas características; e a retração de secagem dos materiais cimentícios.

Diante desse diagnóstico, o estudo demonstrou que a abordagem mais eficiente para garantir o bom desempenho das edificações é a prevenção, que se materializa em um projeto criterioso e uma execução controlada. As principais medidas preventivas elencadas foram a introdução de juntas de dilatação para aliviar tensões intrínsecas, o uso de armaduras para compensar a baixa resistência à tração, o controle rigoroso da umidade e a correta especificação e aplicação dos materiais, como blocos e argamassas. Para as manifestações patológicas já instaladas, foi estabelecido que um reparo definitivo e eficaz é aquele que, após um diagnóstico preciso, atua diretamente na causa do problema. Dentre as soluções analisadas, destacam-se a aplicação de bandagens de dessolidarização para fissuras

estabilizadas, a criação de juntas deformáveis para acomodar movimentações térmicas, a execução de coxins para redistribuir cargas concentradas, grauteamento, reforço com elementos metálicos ou concreto projetado, aplicação de polímeros reforçados com fibras e, em casos mais severos, o emprego de reforços como a introdução de vigas e pilares ou o atirantamento da alvenaria

Desta forma, foram apresentadas as principais causas das fissuras em alvenaria estrutural e um panorama de soluções preventivas e corretivas. Conclui-se que a chave para a durabilidade das estruturas de alvenaria reside na compatibilização entre projeto, materiais e execução, com um planejamento que antecipe as movimentações e tensões a que a estrutura será submetida.

REFERÊNCIAS

ADAM, J. P. **Roman Building: Materials and Techniques**. Londres: Routledge, 2005. Disponível em:

https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781134618705_A24416468/preview-9781134618705_A24416468.pdf. Acesso em: 25 maio 2025.

AQUEDUTO de Segóvia. **Portal De Turismo De Castilla Y León**, [20--]. Disponível em: <https://www.turismocastillayleon.com/pt/patrimonio-e-cultura/pontes/aqueduto-de-segovia>. Acesso em: 30 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14974-2**: Bloco sílico-calcário para alvenaria – Parte 2: Procedimentos para execução de alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16868-1**: Alvenaria Estrutural – Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16868-2**: Alvenaria Estrutural – Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8545**: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

BASTOS, P. S. S. **Contribuição ao projeto de edifícios em alvenaria estrutural pelo método das tensões admissíveis**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

BAUER, R. J. F. Patologias em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. **Prisma**, v. 11, p. 33-38, 2006.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção**: patologia, reabilitação e prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Patologia de estruturas**. 1. ed. Cubatão: Oficina de Textos, 2019. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BRE – BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Estimation of Thermal and Moisture Movements and Stress**. Garston, 1979.

CAPORRINO, C. F. **Patologia em alvenarias**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2003.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. Fissuras em paredes de alvenaria estrutural sob lajes de cobertura de edifícios. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, v. 14, n. 62, p. 71-80, 2012.

GARCEZ, M. R.; MENEGHETTI, L. C. Patologias frequentes em alvenaria estrutural. *In*: MOHAMAD, G. (org.). **Construções em alvenaria estrutural**: materiais, projeto e desempenho. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2024. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 11 jun. 2025.

HOLANDA JÚNIOR, O. G. **Influência de Recalques em Edifícios de Alvenaria Estrutural**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-12032003-154139/publico/Osvaldo.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2025.

IGREJA do Uruguai é declarada Patrimônio da Humanidade. **Acidigital**, 30 jul. 2021. Disponível em: <https://www.acidigital.com/noticia/49110/igreja-do-uruguai-e-declarada-patrimonio-da-humanidade>. Acesso em: 10 jun. 2025.

INSTITUTO EDUARDO TORROJA. Obras de Fábrica. *In*: INSTITUTO EDUARDO TORROJA. **Prescripciones del Instituto Eduardo Torroja, P.I.E.T. 70**. Madrid, 1971. Disponível em: <https://www.ietcc.csic.es/wp-content/uploads/2021/11/PIET70.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2025.

KSAR Ait Benhaddou. **Memphis Tours**, [20--]. Disponível em: <https://br.memphistours.com/marrococ/marrococ-guia-de-viagem/ouarzazate-marrococ/wiki/ait-ben-haddou>. Acesso em: 05 jun. 2025.

LORENZI, G. Hotel Cassino Excalibur em Las Vegas. **Dicas de Las Vegas**, [20--]. Disponível em: <https://www.dicasdela Vegas.com.br/las-vegas/excalibur-hotel-e-cassino-las-vegas/>. Acesso em: 12 ju. 2025.

MAGALHÃES, R. Complete Guide to Shotcrete and Construction Considerations. **Compraco**, 7 jun. 2024. Disponível em: https://compraco.com.br/en/blogs/construcao-civil/guia-completo-para-concreto-projetado-e-consideracoes-de-construcao#google_vignette. Acesso em: 12 jun. 2025.

MESQUITA, J. C. V. Opus Latericium - Termos técnicos de construção civil romana no Algarve (2). **PROMONTÓRIO da MEMÓRIA**, 12 maio 2014. Disponível em: <https://promontoriadamemoria.blogspot.com/2014/05/opus-latericium-termos-tecnicos-de.html>. Acesso em: 05 jun. 2025.

MOHAMAD, G.; MACHADO, D. W. N.; JANTSCH, A. C. A. **Alvenaria estrutural construindo o conhecimento**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2017. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E. Introdução à Alvenaria Estrutural. *In*: SÁNCHEZ, E. (org.). **Nova normalização brasileira para alvenaria estrutural**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. p. 1-37. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 09 maio 2025.

MOHAMAD, G.; SANTOS, J. C. P. dos.; SANTOS, J. L. P. dos.; HAAS, A.; KOTHE, K. K. Introdução à alvenaria estrutural. *In*: MOHAMAD, G. (org.). **Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2024. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 abr. 2025.

PARSEKIAN, G. A; FRANCO, L. S. **Recomendações para projeto e execução de alvenaria estrutural protendida**. São Paulo: EPUSP, 2002. Boletim Técnico PCC n. 312.

PARSEKIAN, G. A; MEDEIROS, W. A. **Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto**. 2. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2021.

PATOWARY, K. Monadnock Building: The Last Brick Skyscraper. **Amusing Planet**, 2 set. 2019. Disponível em: <https://www.amusingplanet.com/2019/09/monadnock-building-last-brick-skyscraper.html>. Acesso em: 07 jun. 2025.

PERÍODO Neolítico: a época que marcou o início da arquitetura. **Abra**. [20--]. Disponível em: <https://abra.com.br/artigos/periodo-neolitico-a-epoca-que-marcou-o-inicio-da-arquitetura/>. Acesso em: 30 maio 2025.

SANTOS, C. R. dos. Opus caementicius: da insuspeita sutileza das pedras brutas. *In*: II Seminário DOCOMOMO SUL. Porto Alegre, p. 1-12, ago. 2008.

SANTOS, A. Bons e maus exemplos ajudam a evitar colapso progressivo. **Cimento Itambé**, 10 dez. 2012. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/bons-e-maus-exemplos-ajudam-a-evitar-colapso-progressivo/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

SOUZA, E. Como as paredes dos edifícios romanos eram construídas? **ArchDaily**, 12 mar. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/935402/como-as-paredes-dos-edificios-romanos-eram-construidas>. Acesso em: 05 jun. 2025.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 12 jun. 2025.

GLOSSÁRIO

Este Glossário contém as definições presentes na NBR 16868-1 (2021, p. 2-4).

Bloco: componente básico da alvenaria com altura maior ou igual a 115 mm, podendo ser vazado, perfurado ou maciço.

Cinta: elemento estrutural armado apoiado continuamente na parede, ligado ou não às lajes, vergas ou contravergas.

Componente menor parte constituinte dos elementos da estrutura. Os principais componentes são: bloco ou tijolo, junta de argamassa, graute e armadura

Contraverga elemento estrutural armado colocado sob o vão de abertura, com a função de prevenir de fissuração nos seus cantos

Coxim elemento estrutural não contínuo, apoiado na parede, para distribuir cargas concentradas

Elemento parte da estrutura suficientemente elaborada, constituída da reunião de dois ou mais componentes

Tijolo componente básico da alvenaria com altura menor que 115 mm, podendo ser perfurado ou maciço

Verga viga alojada sobre abertura de porta ou janela, com a função exclusiva de transmissão de cargas verticais para os apoios adjacentes à abertura