

FUNDAMENTOS DA PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS NAS PERÍCIAS DE ENGENHARIA

AFONSO VITÓRIO
Engenheiro Civil
Especialista em Estruturas

Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia

Filiado ao Instituto de Avaliações e Perícias de Engenharia IBAPE



INTRODUÇÃO

Este trabalho foi inicialmente elaborado como roteiro para o curso “Perícias Judiciais e Patologia das Estruturas”, ministrado por mim e pelo engenheiro Gilberto Adib Couri, presidente do Instituto de Engenharia Legal – IEL - RJ, a convite do IPEAPE.

Durante o desenvolvimento dos assuntos selecionados, percebi que o texto poderia ir além de um roteiro para exposição durante o curso, transformando-se em uma publicação a ser utilizada como fonte de consulta pelos profissionais que desenvolvem atividades relacionadas aos temas abordados.

Por isso, procurei utilizar uma linguagem que, embora técnica, consiga expor da forma mais simples possível, os conceitos básicos do comportamento e dos fenômenos patológicos das estruturas, de modo a possibilitar a compreensão dos mesmos por engenheiros não especialistas, cujas atividades impliquem, mesmo que eventualmente, na necessidade de tais conhecimentos, a exemplo dos profissionais que atuam como peritos.

A experiência mostra que parte considerável dos eventos que demandam a realização de vistorias e perícias em edificações, decorrem de manifestações patológicas muitas vezes identificadas através da simples observação do quadro de fissuração, o que facilita bastante o diagnóstico dos problemas existentes. Evidentemente deverão ser consultados engenheiros especialistas em estruturas e fundações para os casos mais complexos.

Não é pretensão deste trabalho esgotar o assunto que, pela própria natureza e complexidade, necessita, para o seu aprofundamento, de um nível de conhecimento que excede os princípios básicos aqui apresentados. Nesse sentido, ao final do texto é apresentada bibliografia que poderá ser consultada por aqueles que pretendam se aprofundar no estudo da análise estrutural e dos fenômenos relacionados à patologia das edificações.

Espero estar contribuindo com este trabalho para o aprimoramento profissional dos colegas, em especial dos que estão iniciando as suas atividades, como também para a melhoria dos serviços de vistorias e perícias de engenharia nas áreas das edificações e estruturas.

Afonso Vitério.
Recife, novembro de 2003.

FUNDAMENTOS DA PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS NAS PERÍCIAS DE ENGENHARIA

INTRODUÇÃO

SUMÁRIO

- 1 PERÍCIAS DE ENGENHARIA
 - 1.1 Generalidades
 - 1.2 Conceituação
 - 1.3 Perícias Judiciais
 - 1.4 Perito
 - 1.5 Assistente Técnico
 - 1.6 Laudo Técnico
 - 1.7 O Código de Defesa do Consumidor na construção civil

- 2 TÓPICOS DE ESTRUTURAS
 - 2.1 Conceituação
 - 2.1.1 Estados limites
 - 2.1.2 Ações consideradas
 - 2.2 Principais sistemas estruturais
 - 2.3 Fundações
 - 2.3.1 Fundações superficiais
 - 2.3.2 Fundações profundas

- 3 PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS
 - 3.1 Generalidades
 - 3.2 Causas das manifestações patológicas
 - 3.3 Estruturas de concreto
 - 3.3.1 Fissuramento – Conceituação
 - 3.3.2 Causas mais comuns do fissuramento
 - 3.4 Conceituação dos danos mais comuns nas estruturas de concreto
 - 3.4.1 Carbonatação
 - 3.4.2 Desagregação
 - 3.4.3 Disgregação
 - 3.4.4 Segregação
 - 3.4.5 Perda de aderência
 - 3.4.6 Corrosão das armaduras
 - 3.4.7 Corrosão do concreto
 - 3.4.8 Calcinação
 - 3.4.9 Reatividade álcali sílica
 - 3.5 Impermeabilização
 - 3.6 Revestimento
 - 3.7 Patologia da fundações
 - 3.8 Ensaio

- 4 ALVENARIAS
 - 4.1 Contextualização
 - 4.1.2 Alvenarias estruturais
 - 4.1.3 Alvenarias de vedação
 - 4.1.4 Alvenarias resistentes
 - 4.1.5 Tipos mais usuais de tijolos e blocos
 - 4.2 Patologia
 - 4.2.1 Principais anomalias
 - 4.2.1.1 Fissuras
 - 4.2.1.2 Eflorescências
 - 4.2.1.3 Infiltração de água
 - 4.3 A utilização de alvenaria estrutural em Pernambuco
 - 4.3.1 Resumo histórico
 - 4.3.2 Problemas ocorridos com o processo construtivo
 - 4.3.3 Necessidades de mudanças
 - 4.4 Ações propostas
- 5 BIBLIOGRAFIA

1. – PERÍCIAS DE ENGENHARIA

1.1. Generalidades

As obras de engenharia, assim como os seres humanos, podem sofrer os efeitos dos males congênitos e adquiridos, são vulneráveis a acidentes e também deterioram-se com o passar do tempo.

Mesmo considerando-se que muitas edificações têm dado verdadeiros exemplos de grande durabilidade, sob condições totalmente adversas, convém lembrar que elas não têm vida útil infinita.

Afinal, uma edificação é o resultado da combinação de materiais diversos e heterogêneos e de mão-de-obra geralmente não especializada e de grande rotatividade. Acrescente-se a isso a agressividade ambiental, a má utilização e a falta de conservação para que comecem a se manifestar os fenômenos patológicos que tendem a comprometer a funcionalidade e a segurança do imóvel.

Nesse sentido, é de fundamental importância o aprimoramento de profissionais de engenharia voltados para a investigação das falhas e avarias que, além de causarem muitas vezes acidentes de natureza grave, como desabamentos, também acarretam a depreciação do patrimônio e altos custos de recuperação. Esses profissionais, denominados peritos de engenharia, devem ter a capacidade de analisar os problemas e emitir os pareceres técnicos conforme cada caso específico.

1.2. Conceituação

A norma NBR-13.752/96 – **Perícias de engenharia na construção civil**, define perícia como “atividade que envolva a apuração das causas que motivaram determinado evento ou da asserção de direitos”.

Classifica as seguintes espécies de perícias:

a) Arbitramento

Quando envolve a tomada de decisão ou posição entre as alternativas tecnicamente controversas ou que decorrem de aspectos subjetivos.

b) Avaliação

Quando envolve a determinação técnica do valor qualitativo ou monetário de um bem, de um direito ou de um empreendimento.

c) Exame

Inspeção, por meio de perito, sobre pessoa, coisas, móveis e semoventes para verificação de fatos ou circunstâncias que interessem à causa.

d) Vistoria

Quando envolve a constatação de um fato, mediante exame circunstanciado e descrição minuciosa dos elementos que o constituem.

Geralmente as perícias são originadas pelos seguintes tipos de ocorrências:

- ✓ Ações judiciais;
- ✓ Ações administrativas;
- ✓ Ações extrajudiciais.

1.3. Perícias judiciais

São aquelas que ocorrem no âmbito da justiça em diferentes tipos de ações como: execuções, vistorias cautelares, desapropriações, renovatória de contrato de locação, revisional de aluguel, demarcações, alvarás, demolitória, inventários, arrolamentos, partilhas, reivindicatórias, usucapião, civil pública, separação litigiosa, nunciação de obra nova.

1.4. Perito

A NBR 13795/96 define perito como o profissional legalmente habilitado pelos Conselhos Regionais de Engenharia, Arquitetura e Agronomia com atribuições para proceder a perícia.

Nos processos judiciais, muitas vezes o Juiz precisa analisar e emitir uma sentença sobre questão que envolve a necessidade de conhecimentos técnicos especializados que extrapolam a sua formação. Nesses casos ele se utiliza da assistência de profissionais qualificados e que estejam legalmente habilitados para transmitir-lhe as informações necessárias. Esses profissionais são denominados Peritos Judiciais.

O Perito é considerado um auxiliar da justiça, que assessora o Juiz quando o assunto em pauta depende de conhecimento técnico ou científico e não deve ter nenhuma obrigação com qualquer das partes envolvidas no processo.

Um perito judicial pode ser recusado por impedimento ou suspensão. Os motivos são os seguintes:

- a) Se o perito faz parte no processo;
- b) Se tiver trabalhado no processo com outra função;
- c) Se alguma das partes for parente seu, consanguíneo ou afim, em linha reta ou, na colateral, até o terceiro grau;
- d) Quando pertencer a órgão que é parte na causa;
- e) Não versar sobre a matéria da perícia.

O Perito do Juízo precisa ter em mente que as suas funções são da maior relevância, pois contribuem para a descoberta da veracidade dos fatos. Por isso buscará sempre atender à ética profissional durante as atividades desenvolvidas. Nesse sentido deverá:

- ✓ Comunicar, antecipadamente, o início das diligências aos colegas que atuam como assistentes técnicos;
- ✓ Sempre que assim solicitado, conceder vistas aos autos para os assistentes técnicos;
- ✓ Sempre que possível, promover reuniões técnicas com os assistentes, assim como informar acerca do andamento dos trabalhos;
- ✓ Comunicar os assistentes técnicos quando da entrega do laudo.

A habilitação profissional do perito está prevista no artigo 145 do CPC, transcrito a seguir:

“Art. 145

Quando a prova do fato depender de conhecimento técnico ou científico, o Juiz será assistido por Perito, segundo o disposto no art. 421.

§ 1º Os Peritos serão escolhidos entre profissionais de nível universitário, devidamente inscritos no órgão de classe competente, respeitado o disposto no Capítulo VI, seção VII, deste Código.

§ 2º Os Peritos comprovarão sua especialidade na matéria sobre que deverão opinar, mediante certidão do órgão profissional em que estiverem inscritos.

§ 3º Nas localidades onde não houver profissionais qualificados que preencham os requisitos dos parágrafos anteriores, a indicação dos Peritos será de livre escolha do Juízo.”

1.5. Assistente Técnico

A NBR 13752/96 define Assistente Técnico como o profissional legalmente habilitado pelos Conselhos Regionais de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, indicado e contratado pela parte para orientá-la, assistir aos trabalhos periciais em todas as suas fases da perícia e, quando necessário, emitir seu parecer técnico.

De modo geral, o Assistente Técnico deverá ter a seguinte atuação:

- ✓ Analisar tecnicamente o processo em que está atuando, procurando enumerar os itens que poderá ir adiantando quando se iniciarem as diligências;
- ✓ Colaborar com o advogado na formação dos quesitos, em especial nos quesitos complementares, que poderão ocorrer ao longo da realização da perícia;

- ✓ Procurar informar ao Perito Oficial o andamento do processo, facilitando seu acesso aos imóveis, documentos e informações úteis à perícia;
- ✓ Procurar assinar o laudo elaborado pelo Perito Oficial, quando concordar, explicando as conclusões dele ao advogado que o indicou;
- ✓ Quando não concordar, elaborar seu laudo pericial em separado, apresentando suas divergências técnicas com justificativas e bem fundamentadas.

1.6. Laudo Técnico

Laudo é uma peça na qual o perito, profissional habilitado, relata o que observar e dá as suas conclusões ou avalia, fundamentadamente, o valor de coisas ou direitos (NBR 13752/96). Podem ser classificadas em judiciais, extrajudiciais ou particulares.

A legislação não prescreve a forma pela qual os laudos devem ser apresentados, devido à grande variedade de ações em que a atuação dos peritos é solicitada e também à especificidade de cada caso. Porém, algumas regras básicas devem ser seguidas para que o relatório final atenda à sua finalidade.

Nesse sentido é de fundamental importância que o documento seja objetivo e apresentado em linguagem técnica adequada, com disposição racional dos textos e ilustrações. Devem ser evitados parágrafos longos que possam parecer inconclusivos e de difícil compreensão.

Devem ser feitas apenas as considerações que não suscitem qualquer dúvida de natureza técnica e que estejam respaldadas por observações e conclusões evidentes, além de amparadas pela literatura existente sobre o tema.

As respostas aos quesitos formulados, no caso dos laudos judiciais, devem ser totalmente objetivas.

A NBR 13752/96 prevê que um laudo pericial deverá constar dos seguintes elementos:

- a) Indicação da pessoa física ou jurídica que tenha contratado o trabalho e do proprietário do bem objeto da perícia;
- b) Requisitos atendidos na perícia referentes, por exemplo, à metodologia empregada, aos dados levantados, ao tratamento dos elementos coletados etc.;
- c) Relato e data da vistoria com todas as informações referentes;
- d) Diagnóstico da situação encontrada;
- e) No caso de perícias de cunho avaliatório, pesquisa de valores, definição da metodologia, cálculos e determinação do valor final;

- f) Memórias de cálculo, resultados de ensaios e outras informações relativas à seqüência utilizada no trabalho pericial;
- g) Nome, assinatura, número e registro no CREA e credenciais do perito de engenharia.

Recomenda-se ainda que o relatório final contenha todas as informações que possam contribuir para a elucidação dos fatos em análise, como relatórios técnicos complementares, recomendações, bibliografia utilizada e documentário fotográfico.

É importante destacar que os laudos técnicos das perícias de engenharia só terão valor legal se acompanhados da ART (Anotação de Responsabilidade Técnica), conforme estabelece a Lei 6496/71.

1.7. O Código de Defesa do Consumidor na Construção Civil

De acordo com o Código de Defesa do Consumidor (CDC), é obrigatório o respeito às normas técnicas brasileiras elaboradas pela ABNT, e sua desobediência corresponde a uma infração, ensejando as sanções cabíveis.

A falta de observação das normas, bem como deficiências no material e na mão-de-obra, aliadas à eventual negligência dos construtores, podem ocasionar vícios e defeitos construtivos.

Vícios construtivos são anomalias da construção; vícios por inadequação de qualidade prometida ou esperada, ou de quantidade, são falhas que tornam o imóvel impróprio para o uso ou lhe diminuem o valor. Isso acontece em casos específicos. Por exemplo, um pequeno defeito na pintura, alguma pequena falha no rejuntamento de azulejos, uma esquadria mal regulada, entre muitos outros, nem tornam o imóvel impróprio para uso e nem lhe diminuem o valor.

Defeitos são falhas que fazem com que o fornecimento de produtos ou serviços afetem ou possam afetar a saúde e a segurança do consumidor. Os vícios e os defeitos podem ser aparentes ou ocultos. Vícios ou defeitos aparentes são os de fácil constatação, que podem ser notados quando da entrega do imóvel. Os demais são os vícios ocultos que diminuem, ao longo do tempo, o valor da coisa ou a tornam imprópria ao uso a que se destina. Se o consumidor, na aquisição do serviço ou produto, tivesse conhecimento do vício oculto, poderia pleitear abatimento no preço ou desistir da compra. Vale ressaltar que, de acordo com o Artigo 18 do Código de Defesa do Consumidor, somente é possível ao consumidor pleitear abatimento do preço ou desistir da compra no caso da existência de vícios que tornem o imóvel impróprio para o uso ou diminuam o valor, respeitadas as variações decorrentes da natureza do produto, no caso, imóvel construído, e desde que o consumidor tenha exigido a reparação do vício e o mesmo não tenha sido sanado no prazo entre 7 e 180 dias, conforme pactuado entre as partes.

Danos são as conseqüências dos vícios e defeitos que, na construção civil, afetam a própria obra, ou o imóvel vizinho, ou os bens, ou as pessoas nele situados, ou ainda a terceiros (transeuntes e outros).

A partir da entrega do imóvel (chaves), de modo geral, o consumidor tem 90 dias para reclamar do vício ou defeito. Quando for o caso de vícios ou defeitos de fácil constatação, o consumidor tem 90 dias, após a entrega da obra, para reclamar. Quando se trata de vício ou defeito oculto, os 90 dias começam a correr a partir do momento em que tal falha é constatada. No caso de vícios, esse prazo de 90 dias após constatada a imperfeição oculta pode ser utilizado até o último dia do quinto ano contado a partir da data da entrega da obra. Já para o defeito (que afeta a solidez e a segurança da obra ou a saúde do morador), esse prazo se estende até 20 anos. Entende-se aqui entrega da obra como entrega das chaves ao consumidor, e não o “habite-se”.

Porém, esse prazo de 90 dias se interrompe com “a reclamação comprovadamente formulada pelo consumidor perante o fornecedor de produtos e/ou serviços até a resposta negativa correspondente, que deve ser transmitida de forma inequívoca” (art. 26, II, parágrafo 2º do CDC). Portanto aconselha-se que esta reclamação seja registrada em Cartório de Títulos e Documentos.

O **construtor** (executor da obra) tem responsabilidade pela reparação dos danos causados, independentemente da existência de culpa; basta haver relação de causa e efeito entre o dano causado e o defeito ou vício que originou esse dano.

O **engenheiro** (responsável pela obra) responde apenas se a culpa dele restar provada. A culpa é definida pelo artigo 159 do Código Civil: *“Aquele que, por ação ou omissão voluntária, negligência ou imprudência, violar direito, ou causar prejuízo a outrem, fica obrigado a reparar o dano.”*

Nesse caso, a reparação dos danos causados exige que se prove que houve ação ou omissão voluntária, negligência ou imprudência. O profissional liberal (engenheiro) está sob o regime em que a culpa deve ser provada.

O **consumidor**, assim entendido como toda pessoa física ou jurídica que adquire ou utiliza produto ou serviço como destinatário final (art. 2º do CDC), deve receber o “Manual de Uso e Manutenção” do empreendimento, bem como as plantas com a colocação correta dos pontos e das tubulações de luz e de água e receber as informações necessárias nos casos omissos ou duvidosos (CDC e a norma NB-578 da ABNT de julho de 1989).

Uma vez de posse desses documentos, o consumidor torna-se responsável pelo uso e manutenção correta do imóvel. Caso não siga as instruções recebidas e disso decorrer algum dano ao imóvel, ele não poderá reclamar, já que usou o imóvel indevidamente.

É exemplo disso furar uma parede por onde passa um cano d’água, constante da planta do prédio recebida pelo consumidor. Porém, se a planta estiver errada e o cano não passar pelo local indicado, a responsabilidade é do construtor, que forneceu a informação errada.

Por outro lado, recomenda-se que as modificações ou reformas de grande monta (instalações hidráulicas, por exemplo) que serão efetuadas após a entrega do imóvel ao usuário também integrem o rol dos documentos acima citados, com a discriminação de seu responsável, preferencialmente com a análise prévia do engenheiro ou construtor do imóvel, a fim de assegurar que as modificações pleiteadas não interfiram ou prejudiquem o mesmo.

De acordo com o art. 17 do CDC, equiparam-se aos consumidores todas as vítimas do evento. Isto quer dizer que se alguém estiver passando na rua e for vítima de algum material caído da obra, deve ser indenizado, independentemente da culpa do construtor e como se fosse um consumidor.

2. TÓPICOS DE ESTRUTURAS

2.1. Conceituação

Desde o mais primitivo abrigo até o mais moderno edifício que a estrutura representa o principal componente de uma construção. Sem estrutura, nenhuma forma material pode ser preservada.

A estrutura garante a estabilidade da edificação submetida a cargas cujas diferentes direções e intensidades provocam conflitos que necessitam ser equacionados.

O projeto estrutural é o instrumento utilizado para solucionar esses conflitos, fazendo com que as cargas atuantes e as tensões internas sejam mantidas sob controle em sistemas de ação e reação interdependentes, que garantam o equilíbrio tanto de cada componente individual, como da estrutura como um todo.

O conhecimento básico do comportamento estrutural dos edifícios é muito importante para a profissão de engenheiro civil, principalmente para o profissional que atua como perito, que as vezes se defronta com uma situação cuja resolução está diretamente relacionada aos fenômenos de natureza estrutural.

Evidentemente não se espera que tais profissionais tenham um nível de conhecimento sobre o tema que permita-lhes formular e resolver sistemas estruturais. O que se espera, e é isso que este trabalho propõe, é que a partir do entendimento dos fundamentos das estruturas, da identificação dos fenômenos relacionados com o comportamento estrutural e ainda das patologias desenvolvidas nas estruturas, seja possível emitir um parecer técnico nas situações em que não haja necessidade de recorrer a um especialista. Tais situações representam algo em torno de 70% dos casos de vistorias que tratam de anomalias rotineiras em edificações e que podem ser analisadas, entendidas e diagnosticadas por engenheiros civis e até arquitetos legalmente habilitados que possuam os conhecimentos básicos necessários. Guardando as devidas diferenças, tais profissionais poderiam ser comparados a um médico clínico geral.

2.1.1. Estados limites

O projeto de uma estrutura deve garantir: uma adequada segurança contra a ruptura provocada pelas solicitações; a limitação das deformações oriundas das ações de tal modo a não comprometer o seu uso; e a adoção de providências visando a garantir a sua durabilidade.

Diante disso, uma estrutura (no todo ou em parte) se torna inviável para a finalidade a qual foi destinada quando atinge a situação chamada “estado limite”, na qual não preenche mais os requisitos de estabilidade, funcionalidade e durabilidade.

Existem duas categorias de estados limites:

a) Estado limite último

Corresponde ao esgotamento da capacidade portante da estrutura, em parte ou no todo.

b) Estado limite de utilização

Corresponde a situação em que, mesmo não se tendo esgotado a capacidade portante, a estrutura é impossibilitada de ser utilizada por não mais oferecer as condições de funcionalidade e durabilidade.

2.1.2. Ações consideradas

As estruturas são submetidas a diversas ações sejam elas induzidas pela gravidade (ocorrem no sentido vertical de cima para baixo), compreendendo o peso próprio da estrutura, das alvenarias, dos revestimentos e as cargas decorrentes do uso da edificação como os pesos dos móveis, dos objetos, das pessoas, etc.

Existem também as ações produzidas pelos elementos da natureza, como o vento, a terra e a água, estas difusas e atuantes em várias direções.

De modo geral, no projeto de uma estrutura são consideradas as seguintes ações:

a) Ações diretas

✓ Cargas permanentes: peso próprio, paredes, revestimentos, etc.

✓ Cargas acidentais: sobrecargas, cargas móveis, vento, etc.

b) Ações indiretas: variação de temperatura, retração, recalques de apoio, etc.

c) Ações excepcionais: incêndios, terremotos, furacões, maremotos, etc.

A figura 2.1 indica esquematicamente as principais ações consideradas em uma estrutura de um edifício e a tabela 2.1 apresenta os valores mínimos das cargas verticais que devem ser consideradas no cálculo das estruturas de edificações, de acordo com a NBR-6120.

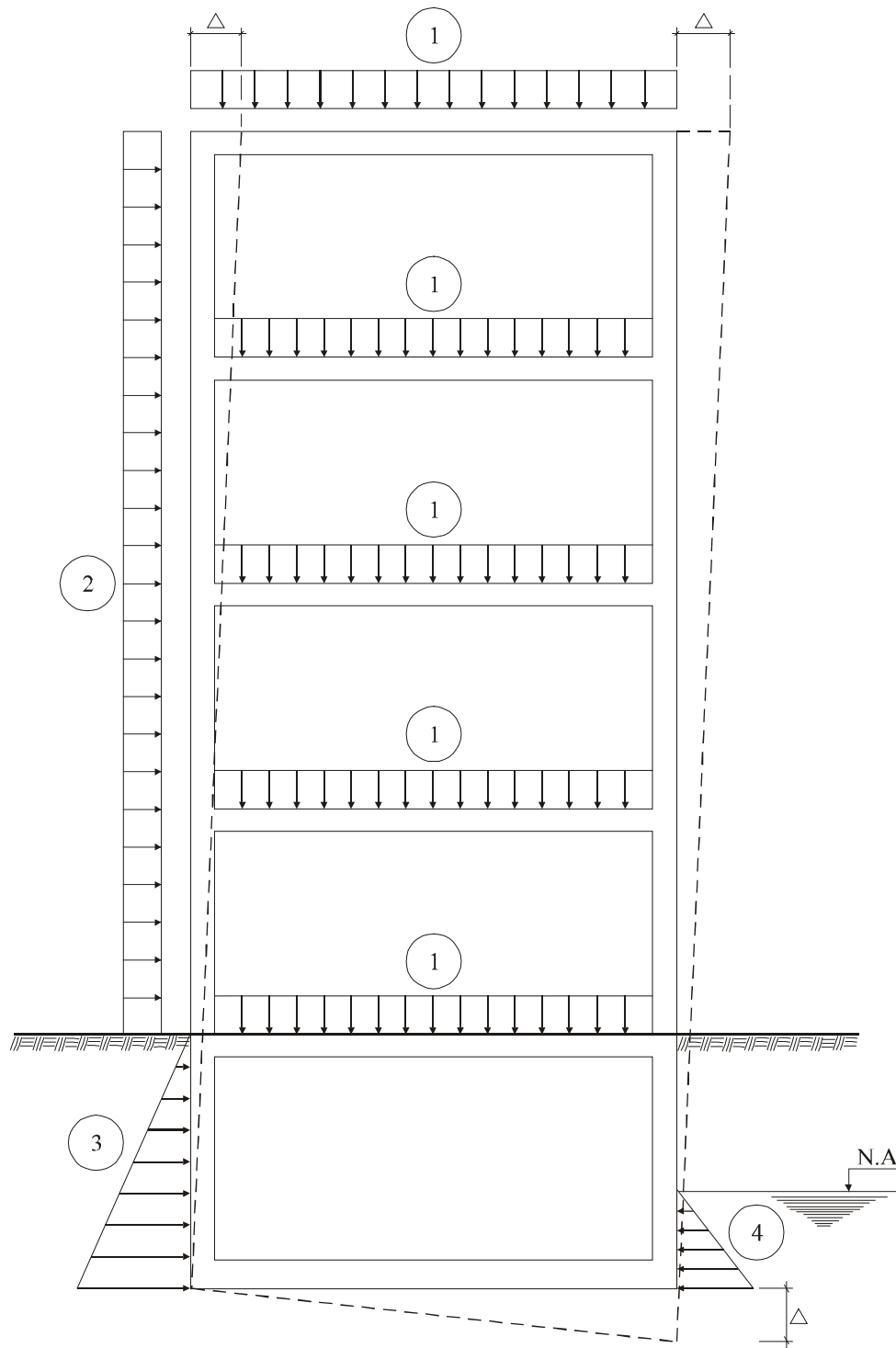


Fig. 2.1 Ações atuantes em uma edificação: ① cargas devidas ao peso proprio, paredes, revestimentos e sobrecargas; ② cargas devidas ao vento; ③ empuxos de terras; ④ empuxos hidrostáticos.

Tabela 2.1 - Valores mínimos das sobrecargas verticais atuando nos pisos das edificações em KN/m²
(Fonte: NBR-6120)

	Local	Carga
1	Arquibancadas	4
2	Balcões	Mesma carga da peça com a qual se comunicam e as previstas em 2.2.1.5 da NBR-6120
3	Bancos	Escritórios e banheiros Salas de diretoria e de gerência
4	Bibliotecas	Sala de leitura
		Sala para depósito de livros
		Sala com estantes, de livros a ser determinada em cada caso ou 2,5kN/m ² por metro de altura observado, porém o valor mínimo de
5	Casas de máquinas	(Incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de
6	Cinemas	Platéia com assentos fixos
		Estúdio e platéia com assentos móveis
		Banheiro
7	Clubes	Sala de refeições e de assembléia com assentos fixos
		Sala de assembléia com assentos móveis
		Salão de danças e salão de esportes
		Sala de bilhar e banheiro
8	Corredores	Com acesso ao público
		Sem acesso ao público
9	Cozinhas não residenciais	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de
10	Depósitos	A ser determinada em cada caso e na falta de valores experimentais conforme o indicado em 2.2.1.3
11	Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro
		Despensa, área de serviço e lavanderia
12	Escadas	Com acesso ao público (ver 2.2.1.7)
		Sem acesso ao público
13	Escolas	Anfiteatro com assentos fixos
		Corredor e sala de aula
		Outras salas
14	Escritórios	Salas de uso geral e banheiro
15	Forros	Sem acesso a pessoas
16	Galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo
17	Galerias de lojas	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo
18	Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25kN por veículo. Valores de ϕ indicados em 2.2.1.6
19	Ginásios de esportes	
20	Hospitais	Dormitórios, enfermarias, sala de recuperação, sala de cirurgia, sala de raio X e banheiro
		Corredor
21	Laboratórios	Incluindo equipamentos, a ser determinada em cada caso, porém com o mínimo
22	Lavanderias	Incluindo equipamentos
23	Lojas	
24	Restaurantes	
25	Teatros	Palco
		Demais dependências: cargas iguais às especificadas para cinemas
26	Terraços	Sem acesso ao público
		Com acesso ao público
		Inacessível a pessoas
		Destinados a heliportos elevados: as cargas deverão ser fornecidas pelo órgão competente do Ministério da Aeronáutica
27	Vestíbulo	Sem acesso ao público
		Com acesso ao público

2.2. Principais sistemas estruturais

Os sistemas estruturais podem ser classificadas como:

- em estado de tração ou compressão;
- em estado de tração e compressão exercidos simultaneamente;
- em estado de flexão;
- Aqueles que atuam segundo sua continuidade superficial (membranas).

A Figura 2.2 apresenta os principais sistemas quanto aos tipos de esforços e dos materiais empregados.

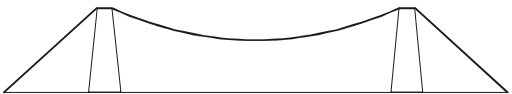
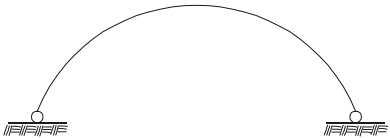
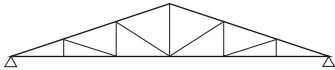
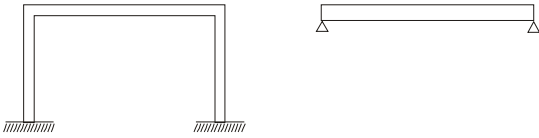
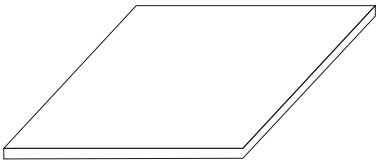
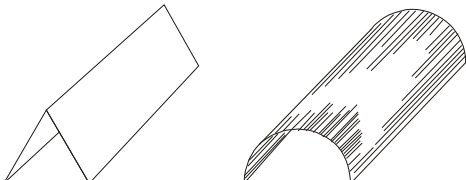
Sistemas em estado de tração ou compressão			
	cabos		Aço
	arcos		Aço Madeira Concreto Alumínio Pedra Alvenaria
Sistemas em estado de tração e compressão exercidos simultaneamente			
	Treliças planas ou espaciais		Aço Madeira Alumínio
Sistemas em estado de flexão			
	Pórticos vigas		Concreto Aço Madeira
	Lajes placas		Concreto
Sistemas que atuam principalmente segundo sua continuidade superficial			
	chapa casca		Concreto Aço Alumínio Plástico

Fig. 2.2 Principais sistemas estruturais

Principais características das estruturas conforme os materiais empregados.

a) Concreto armado

O concreto começou a ser utilizado como material de construção no final do século XIX na França, Estados Unidos e Alemanha, porém foi no século XX que se deu o grande desenvolvimento do concreto armado, obtido pela colocação de barras de aço no interior do material formado pela mistura de cimento, água, pedra e areia.

Continua sendo um dos principais materiais utilizados nas estruturas, tendo, nas últimas décadas, alcançando um elevado nível de qualidade resultante do aprimoramento do seu controle tecnológico e do domínio de seu comportamento estrutural por parte dos projetistas através da elevada sofisticação dos processos de dimensionamento, obtidos principalmente com o uso da informática.

Principais Vantagens:

- ✓ Materiais relativamente econômicos e disponíveis em qualquer lugar;
- ✓ Grande facilidade de moldagem, permitindo a adoção das mais diversas formas;
- ✓ Emprego de mão-de-obra não qualificada e equipamentos simples;
- ✓ Elevada resistência ao desgaste mecânico e à ação das intempéries;
- ✓ Requer manutenção simples e econômica;
- ✓ Grande resistência à ação do fogo;
- ✓ Grande durabilidade

Principais desvantagens:

- ✓ Alto peso específico ($2,5t/m^3$), o que implica em limitações dos vãos;
- ✓ Incapacidade de absorver inversão de esforços;
- ✓ Impossibilidade de desmontagem para reaproveitamento.

b) Concreto protendido

O concreto protendido consiste num sistema em que as armaduras são submetidas a um esforço prévio, denominado protensão, responsável pela criação de um estado de tensões capaz de melhorar a resistência e o comportamento da estrutura sob diversas condições de carregamentos.

O desenvolvimento do concreto protendido e a sua utilização em larga escala se deram após a Segunda Guerra Mundial, devido, em grande parte ao engenheiro francês Eugène Freyssinet que através de estudos, ensaios e observações conseguiu associar concreto de excelente qualidade com aços de elevada resistência, permitindo a execução de grandes vãos livres com expressiva redução do peso próprio.

Principais vantagens do concreto protendido em relação ao concreto armado convencional:

- ✓ Redução das quantidades de concreto e aço;
- ✓ Possibilidade de vencer vãos bem maiores que o concreto armado. Para o mesmo vão consegue-se significativa redução na altura da viga;
- ✓ Significativa redução na incidência de fissuras;
- ✓ Redução das tensões principais de tração provocadas pelo esforço cortante;
- ✓ Durante a operação de protensão, os materiais são submetidos a tensões geralmente superiores às que poderão ocorrer durante a vida útil da estrutura, o que funciona como uma prova de carga.

Principais desvantagens do concreto protendido:

- ✓ O concreto de maior resistência exige melhor controle de execução;
- ✓ Os aços de alta resistência exigem cuidados especiais de proteção contra corrosão;
- ✓ Às operações de protensão necessitam de equipamentos e pessoal especializados;
- ✓ De modo geral as obras de concreto protendido exigem maior atenção, e controle permanente, superiores aos necessários para o concreto armado tradicional.

c) Estruturas metálicas

Os sistemas em estruturas metálicas apresentam amplas possibilidades de utilização de elementos padronizados, principalmente quando se deseja grandes espaços que impliquem na necessidade de flexibilidade no uso da estrutura.

Principais vantagens:

- ✓ Maiores vãos;
- ✓ Reduzido peso próprio;

- ✓ Capacidade de resistir a inversão de esforços;
- ✓ Rapidez na execução;
- ✓ Economia nas fundações;
- ✓ Melhor absorção de recalques de apoio;
- ✓ Incombustibilidade;
- ✓ Reaproveitamento de estruturas já utilizadas;
- ✓ Facilidade de reforço de obras existentes.

Principais desvantagens:

- ✓ Necessidade de rigorosas manutenções periódicas;
- ✓ Necessidade de mão-de-obra especial;
- ✓ Sensibilidade à ação do vento;
- ✓ Maior vulnerabilidade a meios ambiente agressivos;
- ✓ Grandes deformações causadas por sobrecargas, efeitos térmicos, flexão e flambagem;
- ✓ Problemas devido a concentração de tensões.

d) Estruturas de madeira

A madeira é utilizada há vários séculos como material de construção e teve o seu período áureo entre o século XVI e o início do século XIX, na Europa e nos Estados Unidos, quando foram construídas pontes que marcaram época pela excelente qualidade, resistência e beleza. Muitas delas resistiram ao uso e às intempéries durante séculos.

No Brasil a madeira tem sido utilizada na construção civil em cobertas, cimbramentos, residências nas áreas rurais, e pequenos pontilhões. Na região amazônica a abundância desse material permite a construção de pontes com comprimentos de até 50m.

O uso desse material está condicionado a uma série de limitações, varias delas decorrentes da falta de divulgação das informações tecnológicas já disponíveis sobre o seu comportamento em diferentes condições de serviço e principalmente, da carência de profissionais habilitados e qualificados para a elaboração e desenvolvimento de projetos e para a execução de obras de maior porte. Infelizmente ainda hoje as estruturas de madeira são, na sua grande

maioria, projetadas e construídas por pessoas que não detém o conhecimento e a habilitação necessárias.

De modo geral a madeira apresenta as seguintes vantagens e desvantagens como material estrutural:

Vantagens

- ✓ Alta resistência em relação à sua densidade (três vezes superior ao aço e dez vezes superior ao concreto);
- ✓ Capacidade de resistir a esforços de sinal contrário ao projetado;
- ✓ Bom aspecto visual;
- ✓ Pode ser processada sem maiores dificuldades, possibilitando formas e dimensões diferentes, evidentemente limitadas pela geometria das toras e pelo equipamento utilizado na operação;
- ✓ Mesmo suscetível ao apodrecimento e ataque de organismos xilófagos, tem a sua durabilidade natural prolongada quando previamente tratada com substâncias apropriadas;

Desvantagens

- ✓ Empenamento e rachaduras provocados pela variação de umidade;
- ✓ Apodrecimento pela ação de fungos;
- ✓ Vulnerável ao fogo;
- ✓ Desgaste mecânico;
- ✓ Deformações excessivas por flexão ou por flambagem;
- ✓ Necessidade de rigorosas manutenções periódicas.

2.3. Fundações

As fundações são elementos que têm a função de transmitir os esforços da superestrutura para o terreno. As cargas transmitidas devem ser compatíveis com a resistência do solo, devendo ainda as fundações ter adequado comportamento aos recalques previstos.

As fundações podem ser superficiais ou profundas, dependendo de diversos fatores que precisam ser analisados na fase de projeto, sendo, porém, de fundamental importância o conhecimento do tipo de solo do local onde será executada a obra. A tabela 2.4 apresenta os valores das tensões admissíveis básicas para os solos de fundação. Tais valores devem servir apenas como referência pois para a escolha e

dimensionamento torna-se necessário a execução de sondagens e/ou outras formas de reconhecimento do solo como análises, ensaios, etc.

Tabela 2.4 – Tensões admissíveis nos solos de fundação (Fonte: NBR-6122)

Classe	Solo	Valores Básicos MPa
1.	Rocha sã, maciça, sem laminações ou sinal de decomposição	5
2.	Rochas laminadas, com pequenas fissuras, estratificadas	3,5
3.	Solos concrecionados	1,5
4.	Pedregulhos e solos pedregulhosos, mal graduados, compactos	0,8
5.	Pedregulhos e solos pedregulhosos, mal graduados, fofos	0,5
6.	Areias grossas e areias pedregulhosas, bem graduadas, compactas .	0,8
7.	Areias grossas e areias pedregulhosas, mal graduadas, fofas	0,4
8.	Areias finas e médias: Muito compactas	0,6
	Compactas	0,4
	Medianamente compactas	0,2
9.	Argilas e solos argilosos: Consistência dura.....	0,4
	Consistência rija	0,2
	Consistência média	0,1
10.	Siltos e solos siltosos: Muito compactos	0,4
	Compactos	0,2
	Medianamente compactos	0,1

2.3.1. Fundações superficiais

Também conhecidas como fundações diretas, são utilizadas quando o solo de boa qualidade é encontrado a pequena profundidade. Podem ser em blocos e sapatas (fig. 2.3).

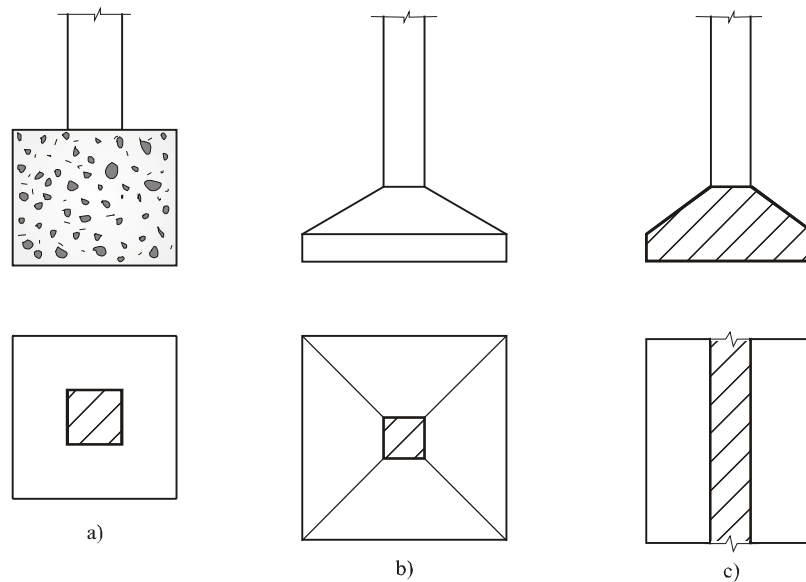


Fig. 2.3 Fundações diretas: a) bloco isolado de concreto ciclópico ou alvenaria de pedra; b) sapata isolada; c) sapata corrida

Os blocos de fundações são elementos de grande altura, dispensando a armação na face inferior. São geralmente construídos em concreto ciclópico e alvenaria de pedras.

As sapatas de fundação são geralmente executadas em concreto armado e podem ser isoladas - quando projetadas para cargas concentradas devido a pilares isolados - ou corridas - quando recebem cargas distribuídas ao longo de sua extensão (caso das alvenarias estruturais).

2.3.2. Fundações profundas

As fundações profundas são adotadas quando o solo com boa capacidade de suporte está situado a uma profundidade tal que não permite o emprego de fundações superficiais. Os tipos de uso mais correntes são as estacas e os tubulões.

Estacas

São elementos estruturais geralmente em concreto, aço ou madeira cravadas através de equipamentos apropriados, que transmitem as cargas da edificação às camadas mais profundas do terreno (fig. 2.4). Como os pilares não podem se apoiar diretamente sobre as estacas, são utilizados elementos intermediários de ligação, denominados blocos de coroamento.

As estacas de concreto podem ser pré-moldadas ou moldadas no local, as estacas de aço são formadas por perfis laminados, simples ou compostos; são também muito utilizadas as estacas formadas por trilhos. As estacas de madeira são formadas por peças roliças, geralmente de eucalipto, aroeira ou ipê.

Existem ainda as estacas de concreto escavadas manualmente, popularmente conhecidas como brocas, muito utilizadas em pequenas construções.

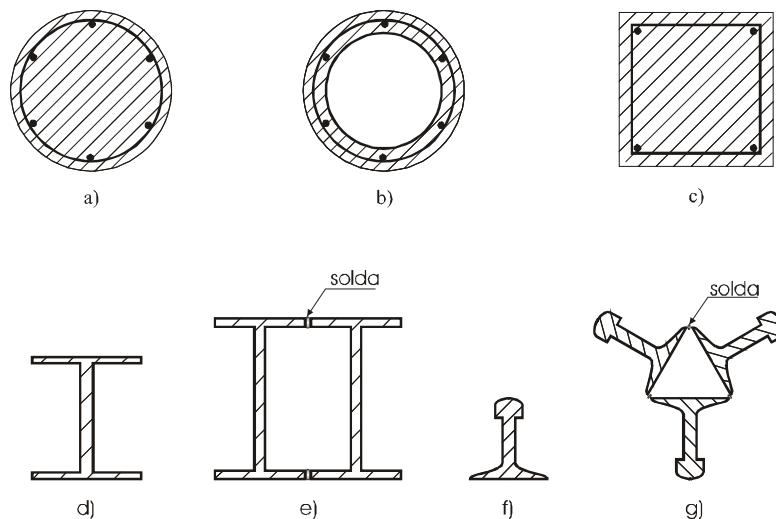


Fig. 2.4 Exemplos de seções transversais de estacas: a) estaca circular de concreto; b) estaca circular oca de concreto; c) estaca quadrada de concreto; d) perfil metálico H ou I; e) perfil metálico duplo I; f) trilho simples; g) perfil formado por três trilhos soldados.

Tubulões

Os tubulões são fundações profundas, executadas por escavação a céu aberto ou com a utilização de ar comprimido no interior de camisas metálicas ou de concreto armado. São constituídos das seguintes partes (fig. 2.5):

Camisa – de aço ou de concreto pré-moldado

Fuste – executado no local

Base – alargada ou não

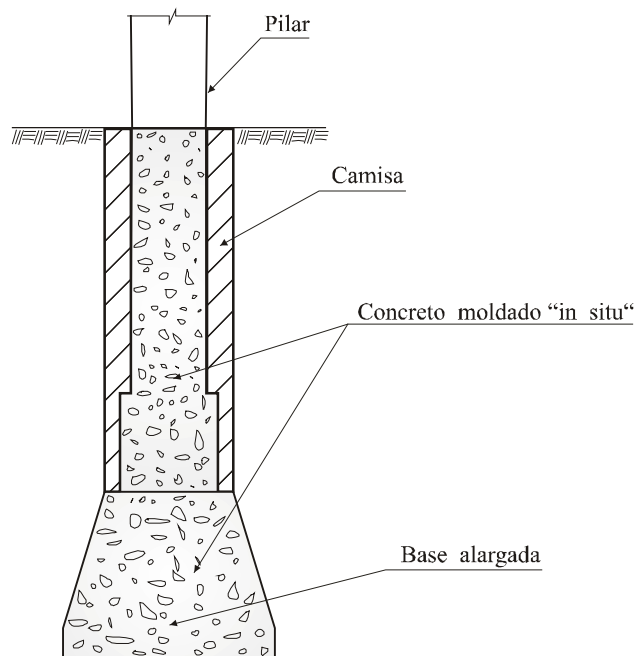


Fig. 2.5 Corte esquemático de um tubulão

3. PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS

3.1. Generalidades

É possível dizer, sem exagero, que os edifícios foram criados, até certo ponto, à imagem e semelhança dos seres humanos.

Assim como o ser humano tem ESQUELETO, os edifícios têm ESTRUTURAS;

Assim como o ser humano tem MUSCULATURA, os edifícios têm ALVENARIA;

Assim como o ser humano tem PELE, os edifícios têm REVESTIMENTOS;

Assim como o ser humano tem SISTEMA CIRCULATÓRIO, os edifícios têm INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS.

Da mesma forma que os indivíduos, também os edifícios, em certas circunstâncias, adoececem por fatores internos, externos ou pela natureza.

Os fatores internos, ou endógenos decorrem de deficiências de projeto ou execução da obra, falhas de utilização ou de sua deterioração natural pelo envelhecimento.

Os fatores externos, ou exógenos, decorrem de ações impostas por fatores provocados por terceiros, voluntários ou involuntários, não previstas quando da execução da obra.

A natureza manifesta-se através de falhas decorrentes de ações não provocadas diretamente pela ação humana.

O estudo das falhas construtivas é feito pela ciência experimental denominada “Patologia das Construções”, que envolve conhecimentos multidisciplinares nas diversas áreas da engenharia.

A Escola Politécnica da USP define patologia das construções como o estudo das origens, causas, mecanismos de ocorrência, manifestação e conseqüências das situações em que os edifícios ou suas partes apresentam um desempenho abaixo do mínimo pré-estabelecido.

Entende-se como o “mínimo pré-estabelecido” a eficiência e durabilidade dos materiais e técnicas construtivas necessárias para assegurar a vida útil de uma edificação. Normalmente, tais condições são previstas em normas técnicas, especificações, ensaios de resistência, etc.

3.2. Causas das manifestações patológicas

É importante ressaltar que a identificação das origens dos problemas patológicos permite, também, identificar, para fins judiciais quem cometeu as falhas. Ou seja, se

os problemas tiveram origem na fase de projetos, os projetistas falharam; quando a origem está na qualidade do material, o erro é dos fabricantes; se na etapa de construção trata-se de falhas que envolvem mão-de-obra e fiscalização, ou ainda omissão do construtor; se na etapa de uso, as falhas poderão ser decorrentes da operação e manutenção.

Estudos mostram que um elevado percentual dos problemas patológicos nas edificações são originados nas fases de planejamento e projeto. Essas falhas são geralmente mais graves que as relacionadas à qualidade dos materiais e aos métodos construtivos. Isso se explica pela falta de investimento dos proprietários, sejam eles públicos ou privados, em projetos mais elaborados e, detalhados, fazendo com que a busca pura e simples de projetos mais “baratos” implique muitas vezes na necessidade de adaptações durante a fase de execução e futuramente em problemas de ordens funcional e estrutural.

O quadro a seguir mostra os percentuais das causas das manifestações patológicas em uma edificação.

ETAPA	%
PROJETO	40
EXECUÇÃO	28
MATERIAIS	18
USO	10
PLANEJAMENTO	4

3.3. Estruturas de concreto

3.3.1. Fissuramento - conceituação

Os problemas patológicos nas estruturas de concreto geralmente se manifestam de forma bem característica, permitindo assim que um profissional experiente possa deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos envolvidos, bem como as prováveis conseqüências.

Um dos sintomas mais comuns é o aparecimento de fissuras, trincas, rachaduras e fendas.

Fissura é uma abertura em forma de linha que aparece nas superfícies de qualquer material sólido, proveniente da ruptura sutil de parte de sua massa, com espessura de até 0,5mm.

Trinca é uma abertura em forma de linha que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de evidente ruptura de parte de sua massa, com espessura de 0,5mm a 1,00mm.

Rachadura é uma abertura expressiva que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de acentuada ruptura de sua massa, podendo-se “ver” através dela e cuja espessura varia de 1,00mm até 1,5mm.

Fenda é uma abertura expressiva que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de acentuada ruptura de sua massa, com espessura superior a 1,5mm.

De modo geral tais aberturas podem ser passivas ou ativas.

As fissuras passivas quando chegam à sua máxima amplitude, estabilizam-se devido ao cessamento das causas que as geraram, como é o caso das fissuras de retração hidráulica ou das provocadas por um recalque diferencial de fundação que esteja estabilizado.

As fissuras ativas são produzidas por ações de magnitude variáveis que provocam deformações também variáveis no concreto. É o caso das fissuras de origem térmica e das de flexão provocadas por ações dinâmicas.

Os problemas existentes em uma estrutura avariada podem ser vários e muitos complexos.

Existem defeitos localizados e de pouca importância que não afetam o resto da estrutura e que podem ser identificados imediatamente, sem depender de maiores estudos e de ensaios de laboratório.

Outros defeitos, porém, são de tal ordem que necessitam de um conhecimento global da obra, envolvendo ainda todo o histórico da estrutura, a análise do projeto e todas as informações que possam identificar as causas que motivaram a sua patologia.

O estudo dos sintomas apresentados pela estrutura implica na análise das causas que produziram os defeitos ou lesões existentes. Nesse sentido a localização e o tipo de fissuras são da maior importância nessa análise, bastando muitas vezes a observação do quadro de fissuração para se chegar às conclusões que permitam diagnosticar os problemas existentes.

3.3.2. Causas mais comuns do fissuramento

A seguir algumas das causas mais usuais do fissuramento das estruturas:

- ✓ Cura mal realizada – ressecamento
- ✓ Retração
- ✓ Variação de temperatura;
- ✓ Agressividade do meio ambiente;
- ✓ Carregamento;
- ✓ Erros de concepção;
- ✓ Mal detalhamento do projeto;

- ✓ Erros de execução;
- ✓ Recalques dos apoios;
- ✓ Acidentes.

Ressecamento do concreto

Após os primeiros dias da concretagem, o concreto não experimenta nenhuma retração; ela se manifestará aos 7 dias aproximadamente. Durante a cura tem lugar um auto-aquecimento que ocorre desde o início da pega do cimento; a temperatura elevar-se-á, ocorrerá aquecimento do núcleo da peça, com valor superior ao de sua parte externa.

A figura 3.1 a) mostra fissuras por ressecamento em uma laje nervurada. As fissuras seguem a armadura principal; a figura 3.1 b) mostra uma laje maciça e as fissuras não são retilíneas. As fissuras provocadas por ressecamento manifestam-se durante as primeiras 6 a 18 horas. Para evitar o fissuramento por ressecamento, as superfícies concretadas devem ser protegidas e umedecidas imediatamente após serem executadas.

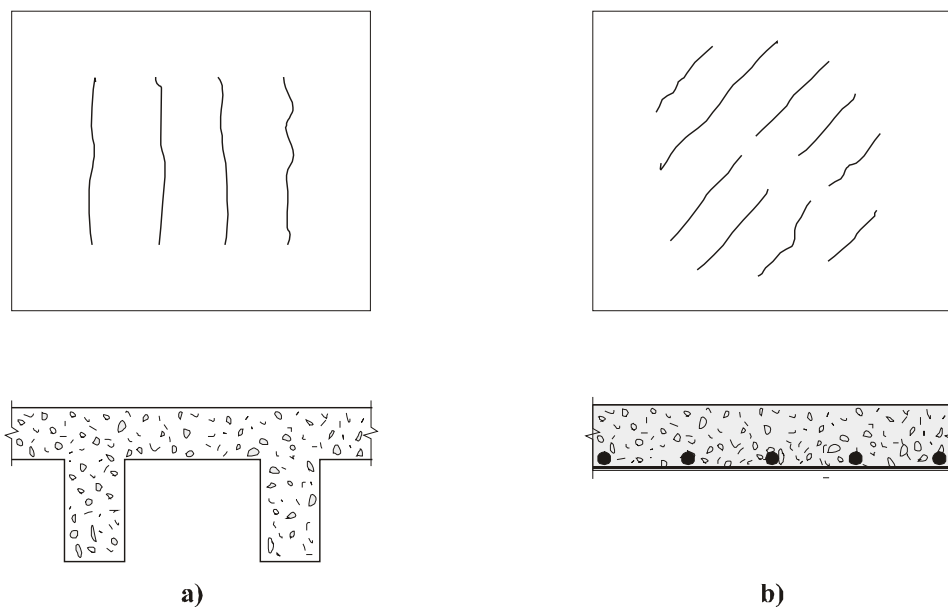


Fig. 3.1 Fissuras provocadas pelo ressecamento do concreto; a) lajes nervuradas
b) lajes maciças

Retração

O concreto experimenta um aumento de volume quando umedecido, e uma retração durante o processo de cura. A retração aparece quando a porcentagem de água interna diminui, sendo a retração mais intensa em tempo seco e

quente. É de máxima importância o grau de umidade do meio ambiente para o desenvolvimento da retração. O processo de retração estende-se durante 2 anos a 3 anos, provocando tensões de tração, quando as deformações são impedidas por forças externas ou internas, originadas das armaduras. A retração dará origem a tensões de compressão no interior da peça e de tração na superfície. Nas vigas que possuem vários vãos, as fissuras de retração manifestam-se nas proximidades dos apoios, especialmente se eles são fixos. Nos muros de concreto diretamente apoiados no solo, as fissuras aparecem devido à resistência oferecida pelo atrito do concreto com o solo. (fig. 3.2 a)

Quando se trata de peça fortemente armada, a resistência oferecida pela armadura intervém no fenômeno de fissuramento e o encurtamento global pode resultar insignificante. Em lajes as fissuras de retração são frequentes, principalmente, se elas não possuem elementos de enrijecimento, como vigas paralelas à armadura. As figuras 3.2 b) e 3.2 c) mostram fissuras de vigas e pórticos provocadas por retração.

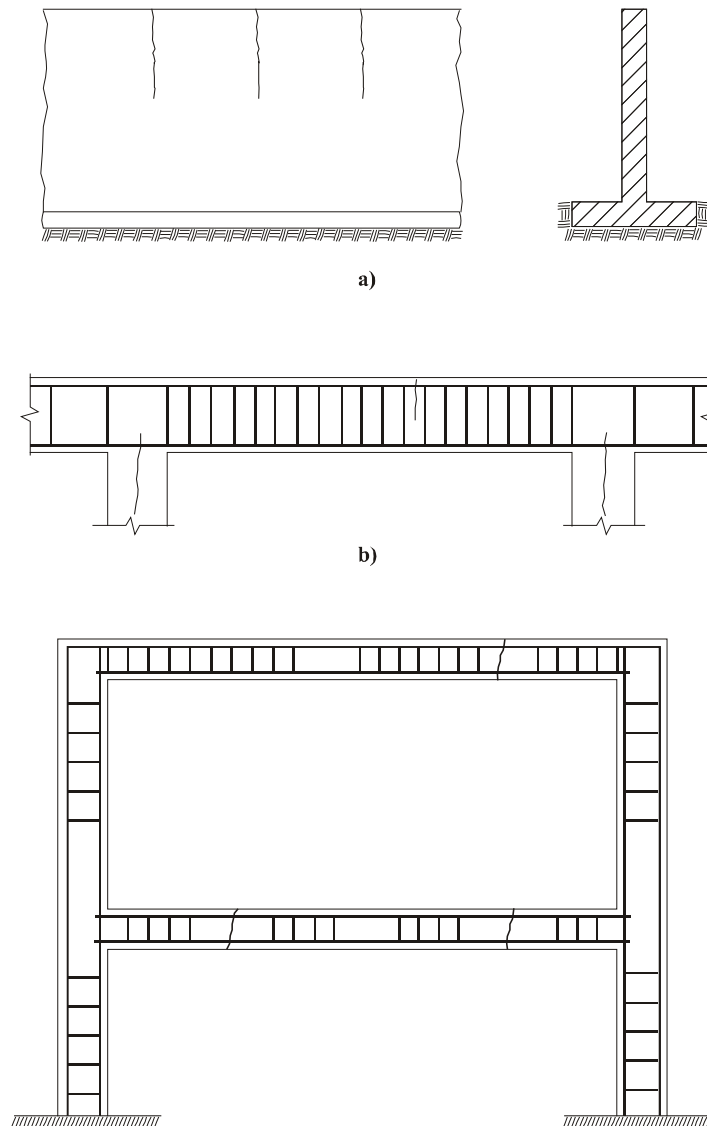


Fig. 3.2 Fissuras de retração: a) muros de concreto apoiados no solo; b) vigas contínuas; c) pórticos

Carregamento

Uma peça estrutural pode fissurar em consequência dos seguintes tipos de esforços provocados por carregamentos:

Tração axial – fissuramento bastante regular, sempre perpendicular às armaduras, atravessando toda a seção (fig. 3.3)

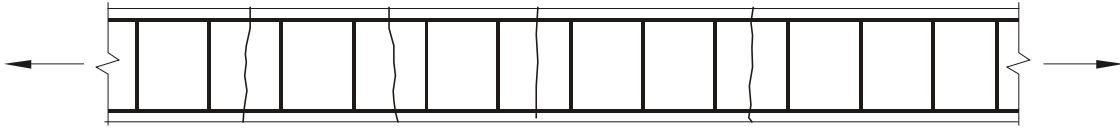


Fig. 3.3 Fissuras provocadas por tração axial

Compressão axial – Os pilares de concreto armado, submetidos a compressão axial, rompem com características bem definidas, como os corpos de prova (fig. 3.4).

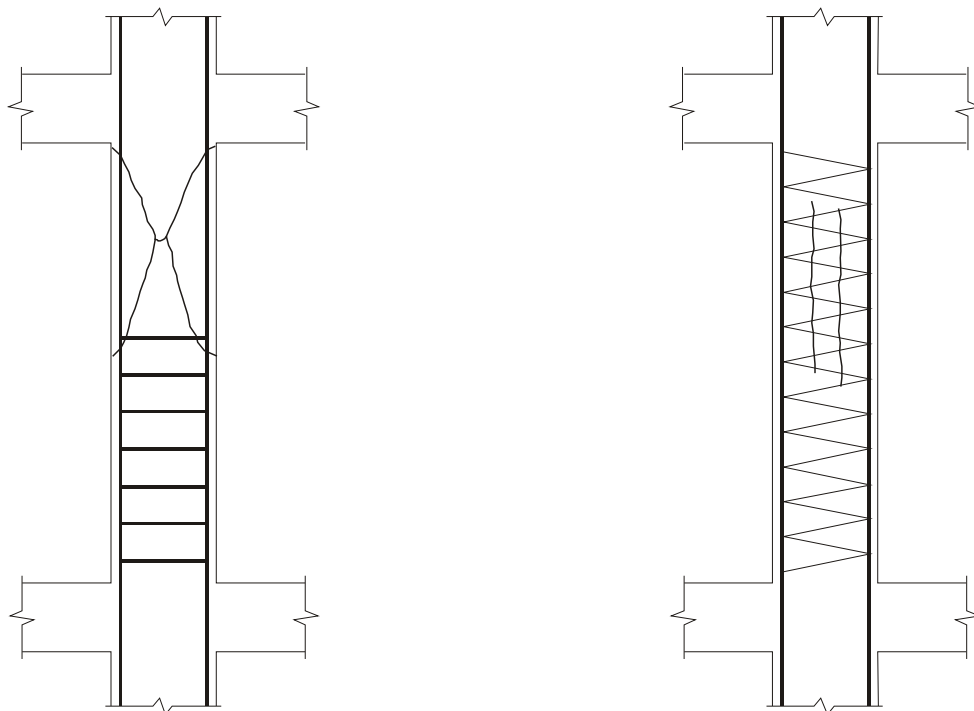


Fig. 3.4 Fissuras de pilares submetidos a compressão axial

Compressão excêntrica – As peças submetidas ao efeito de compressão excêntrica e flambagem apresentam geralmente fissuras com as características mostradas na fig 3.5.

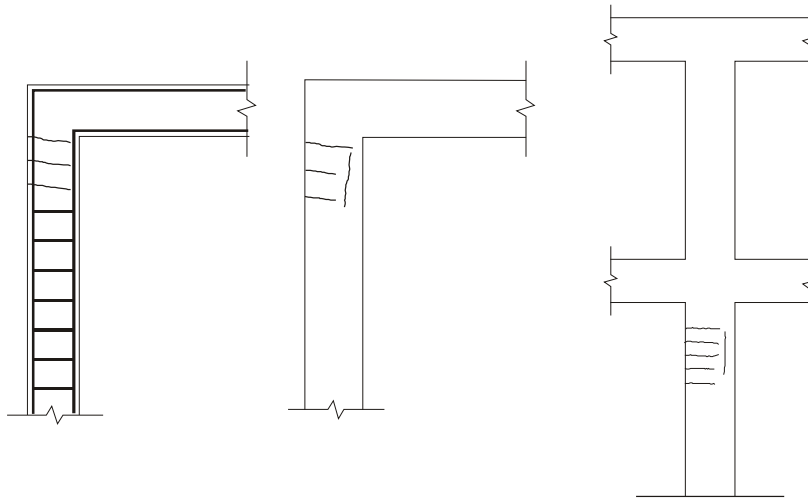


Fig. 3.5 Fissuras em pilares provocadas pela flexão composta e flambagem

Flexão – as fissuras de flexão são as mais conhecidas e fáceis de identificar. São sempre perpendiculares às armaduras (fig. 3.6)

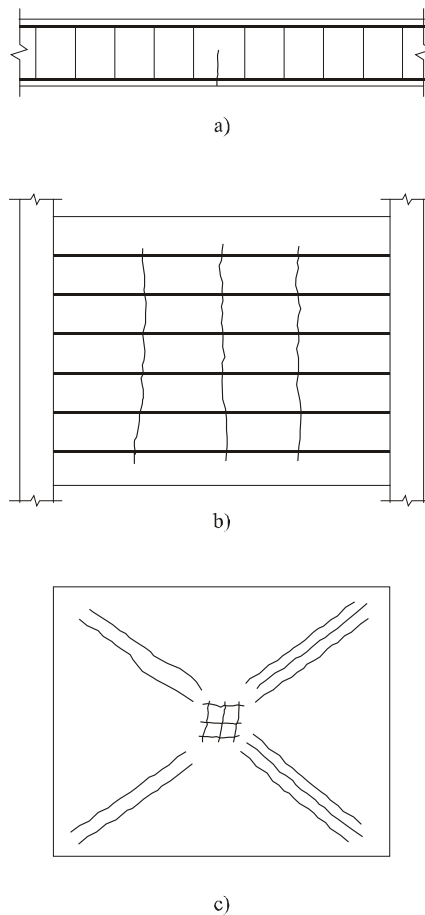


Fig. 3.6 Fissuras de flexão: a) vigas; b) lajes armadas em uma direção; c) lajes armadas nas duas direções.

Cisalhamento – As fissuras de cisalhamento, provocadas pelo esforço cortante, são inclinadas e surgem inicialmente nas proximidades dos apoios, manifestando-se também na parte média das vigas. São geralmente causadas pela deficiência das armaduras de cisalhamento (fig. 3.7)

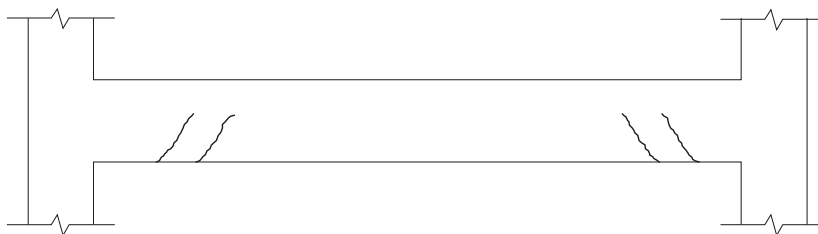


Fig. 3.7 Fissuras de cisalhamento em uma viga.

Torção – As fissuras de torção podem aparecer em vigas de bordo, por excessiva deformabilidade da laje; também são originadas de cargas excêntricas em vigas, ou em vigas que servem de engaste para marquises. Tais fissuras aparecem simultaneamente em todas as faces livres da peça estrutural com desenvolvimento helicoidal (fig. 3.8)

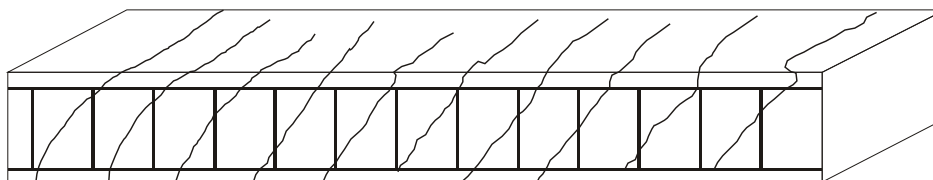


Fig. 3.8 Fissuras de torção em uma viga.

3.4. Conceituação dos danos mais comuns nas estruturas

Além da fissuração, os fatores relacionados anteriormente podem causar os seguintes danos às estruturas de concreto armado ou protendido.

3.4.1. Carbonatação

Uma das causas mais frequentes da corrosão em estruturas de concreto armado, a carbonatação é a transformação do hidróxido de cálcio, com alto PH, em carbonato de cálcio, que tem um PH mais neutro.

A perda de PH do concreto representa um problema, pois em seu ambiente alcalino – PH variando de 12 a 13 -, as armaduras estão protegidas da corrosão, mas, abaixo de 9,5, tem-se o início do processo de formação de células eletroquímicas de corrosão, começando a surgir, depois de algum tempo, fissuras e desprendimentos da camada de cobrimento.

A existência de umidade no concreto influencia bastante o avanço da carbonatação. Outros fatores que também contribuem para que o fenômeno se desenvolva com mais rapidez são: a quantidade de CO₂ do meio ambiente, a permeabilidade do concreto e a existência de fissuras.

3.4.2. Desagregação

É a deterioração, por separação de partes do concreto, provocada, em geral, pela expansão devido à oxidação ou dilatação das armaduras, e também pelo aumento de volume do concreto quando este absorve água. Pode ocorrer também devido às movimentações estruturais e choques.

3.4.3. Disgregação

Caracteriza-se pela ruptura do concreto, em especial nas partes salientes da estrutura. O concreto disgregado geralmente apresenta as características originais de resistência, porém não foi capaz de suportar a atuação de esforços anormais.

3.4.4. Segregação

É a separação entre os elementos de concreto – a brita e a argamassa – logo após o lançamento.

3.4.5. Perda de aderência

Pode ocorrer entre a armação e o concreto ou entre concretos. A perda de aderência entre o concreto e o aço ocorre geralmente nos casos de oxidação ou dilatação da ferragem.

3.4.6. Corrosão das armações

A porosidade do concreto, a existência de trincas e a deficiência no cobrimento fazem com que a armação seja atingida por elementos agressivos, acarretando, desta maneira, a sua oxidação. A parte oxidada aumenta o seu volume em cerca de aproximadamente 8 vezes e a força da expansão expõe o concreto do cobrimento, expondo totalmente a armadura à ação agressiva do meio. A continuidade desse fenômeno acarreta a total destruição da armação (fig. 3.9).

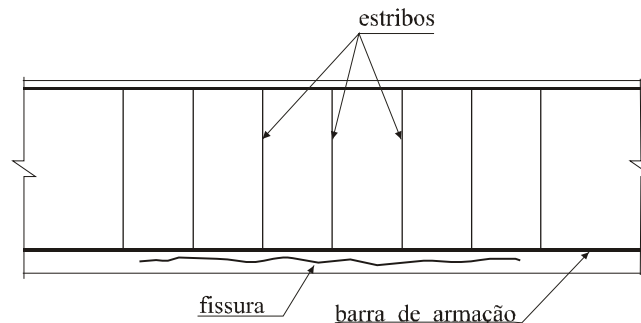


Fig. 3.9 Fissuras causadas pela corrosão das armaduras

3.4.7. Corrosão do concreto

O concreto, mesmo sendo bastante resistente quando de boa qualidade está sujeito a sofrer danos em presença de agentes agressivos. Normalmente, o concreto mais atacado é o de má qualidade, permeável, segregado, etc.

Os agentes ácidos, os sulfatos, o cloro e seus compostos, os nitratos e nitritos são os principais fatores destrutivos do concreto.

Mesmo a água totalmente pura, como é o caso das águas de chuvas, pode atacar o concreto através da infiltração e do acúmulo ao longo do tempo.

3.4.8. Calcinação

É o ressecamento das camadas superficiais do concreto devido à ocorrência de incêndios.

3.4.9. Reatividade álcali sílica (RAS)

A RAS é uma reação química que ocorre entre a sílica existente em determinados tipos de agregados utilizados no concreto e o álcali (pode ser o de sódio ou de potássio) presente na parte de cimento.

A RAS provoca trincas de grande magnitude na superfície das estruturas. Genericamente se dispõem no sentido longitudinal da peça, interconectadas por finas trincas aleatórias transversais.

Esse tipo de patologia foi identificado pela primeira vez em 1937 como sendo um sério problema para barragens, pontes e pavimentos de rodovias.

No Brasil, diversas barragens e pontes apresentam os sintomas da RAS, algumas já em estágio avançado.

3.5. Impermeabilização

A impermeabilização na construção civil é uma atividade da engenharia que utiliza materiais e técnicas, de modo a garantir a estanqueidade necessária às partes da edificação eventualmente expostas à água. Essa atividade além de proteger o ser humano, do ponto de vista da saúde e do conforto, também contribui para a funcionalidade e segurança das edificações, ampliando a vida útil.

Mesmo exercendo essa importância para o bom desempenho dos imóveis, verifica-se que grande parte dos problemas patológicos que surgem ao longo do tempo nas edificações são originados direta ou indiretamente pela falta de adoção dos procedimentos adequados para a impermeabilização, o que implica, além dos transtornos conhecidos para os usuários, em grandes prejuízos econômicos e financeiros devidos à prematura deterioração e a diminuição da vida útil dos empreendimentos.

Preocupado com esta questão o CREA-PE realizou em 1997 pesquisa, implantou um fórum de discussão e publicou uma cartilha sobre o tema impermeabilização.

A pesquisa, realizada em um universo constituído por 6.100 unidades residenciais na cidade do Recife, com amostras de 355 unidades (5,5%), e confiabilidade de 94% chegou às seguintes conclusões:

- 1) Oito entre cada dez prédios visitados apresentam, ou já apresentaram, problemas de infiltração.
- 2) A maior ocorrência de infiltração se dá nas áreas malhadas: wc, cozinha, áreas de serviço, varanda, jardineira.
- 3) As infiltrações nas fachadas aparecem em segundo lugar, na ordem decrescente, paredes e esquadrias. Nas paredes, a maior incidência se dá naquelas revestidas com massa única e pintadas, seguidas daquelas com pastilhas, cerâmicas, mármore/granito e vidro.
- 4) Em terceiro lugar aparecem as cobertas, na ordem decrescente telhamento, lajes expostas e calhas.
- 5) Por último, e em pequenas proporções, aparecem as infiltrações nos sub-solos, pavimentos vazados, casas de máquinas/poço de elevador.
- 6) Foi constatado que 25% dos problemas de infiltração aparecem nos prédios com até dois anos de construídos.
- 7) A maior incidência dos problemas de impermeabilização se deu nos prédios enquadrados nos padrões C e D.
- 8) Dos prédios que têm fissuras, 98% apresentam problemas de infiltração.
- 9) Dos 335 prédios pesquisados, apenas 38 (11,30 %) fazem manutenção preventiva; 198 (59,10%) fazem manutenção corretiva; 98 (28,40%) não fazem manutenção e 4 (1,2%) não informaram.

As reclamações acontecem da seguinte forma:

CREA	0,3%
Pequenas causas	0,6%
Agente financeiro	2,1%
Construtora	8,4%
Condomínio	87,4%
Não reclamou -----	60,80%

Aproximadamente 60% dos que reclamaram problemas relacionados à impermeabilização tentem solucioná-los no âmbito do condomínio, deixando de adotar os procedimentos técnicos adequados.

3.6. Revestimentos

Aparentemente os revestimentos são tidos como elementos que conferem às edificações um acabamento bonito. Porém, na realidade eles têm uma função bem mais abrangente do que garantir uma boa aparência, em especial às partes externas dos imóveis.

Os revestimentos significam na prática, a garantia da proteção das estruturas e alvenarias de uma edificação, através do cobrimento com os mais diversos tipos de materiais apropriados, de modo a evitar a ação deletéria dos agentes externos e internos, ou seja, tanto provocada pelo meio ambiente como pelo uso.

Nas paredes são geralmente utilizados como revestimentos azulejos, cerâmicas, pastilhas, argamassas e texturas. Nos pisos é comum a aplicação de cerâmicas, pedras e madeiras.

A garantia da proteção conferida pelo revestimento depende diretamente da escolha dos materiais utilizados, da forma de aplicação e da mão-de-obra. Qualquer falha em uma dessas etapas irá implicar futuramente no aparecimento de anomalias no acabamento da obra que, por sua vez, irão repercutir na resistência e na funcionalidade de peças estruturais e alvenarias.

As anomalias mais freqüentes são do tipo manchas, bolhas, descolamentos (em cerâmicas, azulejos ou pedras) e fissuras.

Sendo as anomalias uma conseqüência, é preciso identificar suas causas, pois só assim pode-se resolver definitivamente o problema. É necessário, então, o diagnóstico das causas, que poderão estar tanto nos próprios revestimentos, quanto em qualquer uma das peças por eles protegidas. Tal diagnóstico poderá ser dado por um profissional que tenha experiência e conhecimento suficiente sobre o tema.

É preciso, também, lembrar que os materiais de revestimento têm o seu desempenho limitado por um determinado período de tempo, e esse período é tão mais curto quanto mais sofrem interferências externas. Assim, os revestimentos, por serem justamente os que mais são atingidos pelos agentes agressivos, quer do ambiente externo, quer interno, requerem mais cuidados, com revisões e manutenções periódicas, muitas vezes simples como é o caso de limpeza e repintura.

Pode-se dizer que quanto mais eficientes forem os revestimentos, maior durabilidade e funcionalidade terá a edificação como um todo, principalmente no que se refere a estrutura, alvenaria e instalações.

3.7. Patologia das fundações

Pelo fato de estarem enterradas e conseqüentemente não acessíveis as inspeções periódicas, os defeitos apresentados pelas fundações só são percebidos através das repercussões na obra como um todo.

Tais defeitos podem ser originados por diversas causas, e nem sempre é fácil diagnosticá-los e solucioná-los. O solo, é um material complexo, cuja natureza pode implicar em uma variação muito ampla de suas características.

Os problemas mais freqüentes nas fundações são causados por recalque ou ruptura do solo, por excesso de carga nas estruturas, por erosões no terreno, pela ação de agentes agressivos e pela própria inadequação da solução adotada.

Uma causa de danos às fundações que até há algum tempo não recebia a devida atenção é a ação das raízes de certos tipos de árvores nas proximidades das edificações. Algumas árvores possuem raízes que se desenvolvem horizontalmente e com grande rapidez, alcançando grande distância e podendo atingir as fundações, seja produzindo recalques ou pela saturação do terreno provocado pela ruptura de tubulações enterradas.

Poços artesianos de pequena profundidade, executados próximos às fundações, podem representar risco devido à possibilidade de carreamento do material do subsolo, sob as sapatas.

3.8. Ensaios

Muitas vezes, além da análise visual, faz-se necessário a realização de ensaios destinados a fornecer informações relacionadas às condições de resistência e ruptura de componentes da estrutura vistoriada, além de maior conhecimento sobre o solo de fundação.

A decisão da realização ou não de ensaios fica a cargo do engenheiro responsável pela elaboração do laudo pericial.

Os ensaios mais conhecidos nas estruturas de concreto e alvenaria são os seguintes:

a) Não destrutivos:

- ✓ esclerometria;
- ✓ carbonatação;
- ✓ controle de fissuras com selos de gesso ou vidros;
- ✓ ultra-sonografia;
- ✓ gamagrafia;
- ✓ prova de carga;
- ✓ medições de deformações e recalques;

b) Destrutivos:

- ✓ resistência à compressão axial em testemunhos retirados da estrutura;
- ✓ resistência à tração em testemunhos retirados da estrutura;
- ✓ módulo de deformação do concreto e de argamassas;
- ✓ reconstituição do traço de concreto e de argamassa;
- ✓ massa específica, permeabilidade e absorção de água;

- ✓ teor de cloretos;
- ✓ determinação do escoamento à tração em amostras de armadura retiradas da estrutura;
- ✓ determinação do potencial de corrosão de amostras de armadura retiradas da estrutura;
- ✓ resistência à compressão de tijolos e blocos individuais;
- ✓ resistência à compressão de prismas de tijolos e blocos;

c) No solo de fundação:

- ✓ sondagem de reconhecimento à percussão;
- ✓ sondagens rotativas (rochas);
- ✓ ensaios de caracterização da capacidade de suporte;
- ✓ determinação do nível de agressividade da água do subsolo.

4. ALVENARIAS

4.1. Contextualização

Desde a mais remota antiguidade que o homem utiliza a alvenaria como método construtivo, inicialmente através do empilhamento de pedras e em seguida através da descoberta de técnicas que foram evoluindo ao longo dos séculos.

Antes da era Cristã já haviam sido construídas pontes em arcos, monumentos e outras edificações pelos etruscos, egípcios e romanos que permanecem até os dias atuais como testemunhas da importância da utilização da alvenaria como material de construção ao longo da história da humanidade.

Com o passar do tempo as alvenarias sofreram diversas transformações, passando das formas iniciais, pesadas e espessas, para formas mais delgadas e leves, tornando-se hoje um dos componentes mais freqüentes em quase todos os tipos de edificações.

Atualmente existe no Brasil uma grande diversidade de peças modulares, blocos e tijolos, utilizados na construção civil, principalmente na produção de habitações populares. Isto implica na necessidade de maiores conhecimentos sobre essa técnica construtiva, seja nos aspectos relativos ao dimensionamento estrutural e controle de qualidade dos materiais, como no seu comportamento após a conclusão da obra.

Porém, ainda observa-se, de modo geral, a falta até dos conhecimentos básicos sobre o tema, principalmente quando trata-se da utilização da alvenaria como elemento estrutural. Isso talvez seja um reflexo da falta de incentivos e investimentos dos diversos setores que tratam direta ou indiretamente da questão, como Universidades, a Indústria da Construção Civil, os agentes financeiros que financiam os imóveis e os próprios fabricantes de tijolos.

Diante disso, as obras de alvenaria, em sua grande maioria ainda são caracterizadas pelo empirismo e pela carência de procedimentos adequados, tanto de projeto como de execução, levando algumas delas a apresentarem manifestações patológicas que, além de prejudicarem a habitabilidade dos imóveis, podem até levá-los ao colapso estrutural.

4.1.2. Alvenarias estruturais

Também denominadas alvenarias portantes ou autoportantes, são utilizadas com função estrutural, recebendo as cargas da edificação e transmitindo-as às fundações. A normalização brasileira estabelece que as paredes com função estrutural deverão ser executadas com blocos vazados de concreto com furos na vertical, espessura mínima de 14cm e esbeltez máxima igual a 20. (NBR-10837. Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto).

Podem ser não armadas, parcialmente armadas ou armadas.

As alvenarias não armadas são constituídas pela união de blocos e argamassa, que absorvem os esforços atuantes. São previstas apenas armaduras de amarração

(prevenção de trincas), porém, elas não são consideradas no dimensionamento das paredes.

As alvenarias parcialmente armadas são constituídas pela união de blocos e argamassa, sendo utilizada armadura para absorver os esforços em algumas partes das paredes, sendo as outras partes calculadas como alvenaria não armada.

As alvenarias armadas são compostas pela união de blocos, argamassa, graute e armadura, dimensionada para resistir aos esforços solicitantes, independentemente das armaduras construtivas.

4.1.3. Alvenaria de vedação

São as alvenarias que constituem apenas elementos de vedação ou fechamento dos ambientes. São normalmente constituídas de tijolos cerâmicos vazados com furos na horizontal ou outros tipos de blocos que não exercem função estrutural.

4.1.4. Alvenarias resistentes

Denominação dada nos meios técnico e acadêmico para aquelas alvenarias que são utilizadas com função estrutural, porém, de forma empírica ou semi-empírica, em desacordo com os procedimentos de projeto e execução previstos nas normas. É o caso, por exemplo, dos edifícios em alvenaria estrutural que utilizam tijolos cerâmicos vazados com furos na horizontal.

4.1.5. Tipos mais usuais de tijolos e blocos

Os componentes mais usuais das alvenarias, sejam estruturais ou de vedação são:

- ✓ Tijolos cerâmicos vazados;
- ✓ Tijolos cerâmicos maciços;
- ✓ Blocos de concreto;
- ✓ Blocos de concreto celular;
- ✓ Blocos sílicos-calcáreos;
- ✓ Blocos de solo estabilizado.

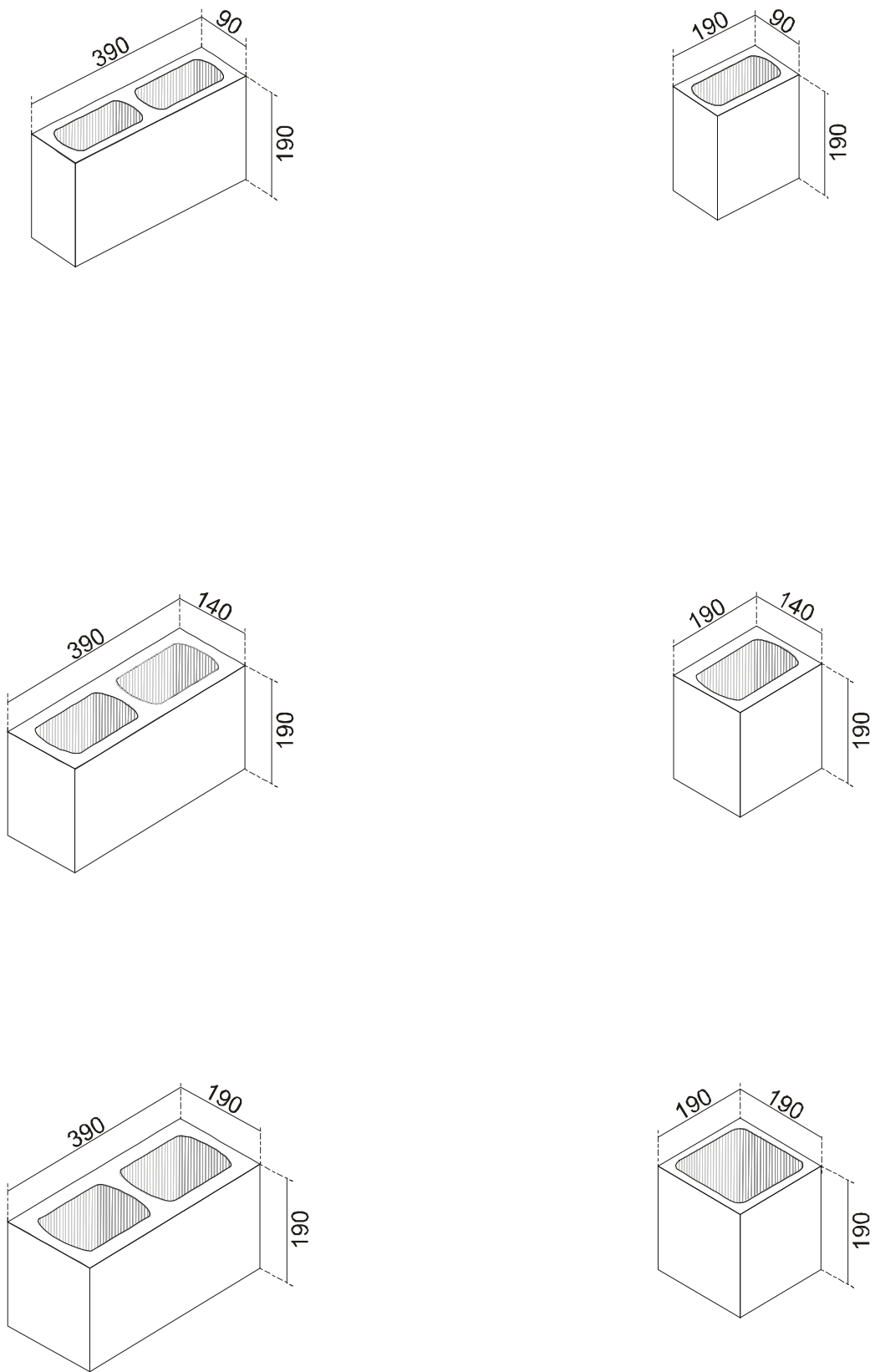
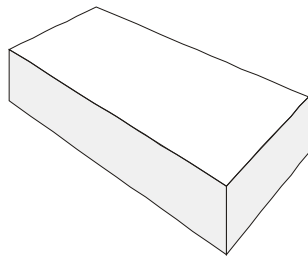
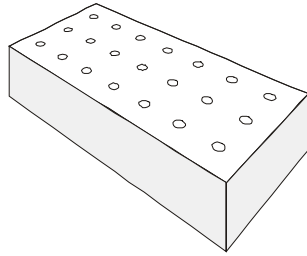


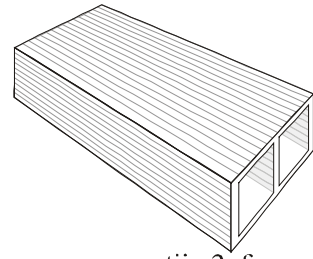
Fig. 4.1 Blocos de concreto mais usuais no mercado



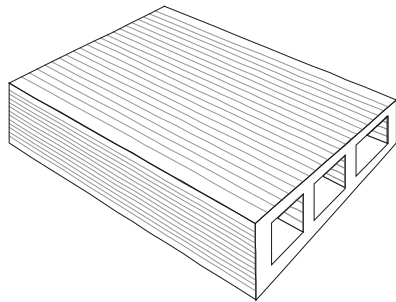
tij. maciço



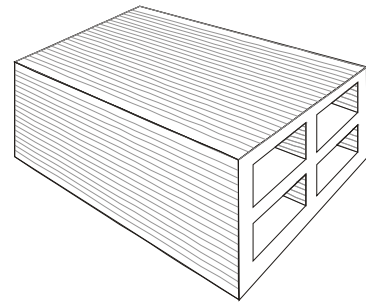
tij. 21 furos



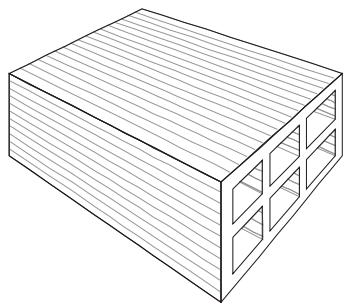
tij. 2 furos



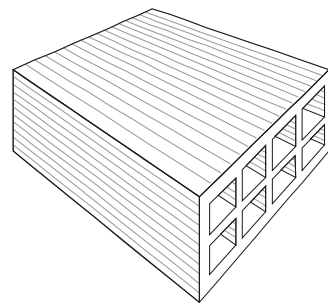
tij. 3 furos



tij. 4 furos



tij. 6 furos



tij. 8 furos

Fig. 4.2 Alguns tipos mais usados de tijolos cerâmicos

Tabela 4.1 Características geométricas
Blocos de concreto estruturais e de vedação.

TIPO	DIMENSÕES (cm)	ÁREA BRUTA (cm ²)	ÁREA LIQUIDA (cm ²)	ÁREA VAZADA (cm ²)	TOLERÂNCIA DIMENSIONAL (mm)
Bloco	19x19x39	741	371	370	±3
	14x19x39	546	271	275	±3
Meio bloco	19x19x19	361	202	159	±3
	14x19x19	266	145	121	±3
Bloco	9x19x39 *	351	178	173	±3
Meio bloco	9x19x39 *	171	92	79	±3

* Só podem ser utilizados como elementos de vedação

Tabela 4.2 Características físicas
Peso específico médio dos componentes das alvenarias.

COMPONENTE	γ	
	KN/m ³	Kg/m ³
Blocos de concreto	21,6	2.200
Blocos cerâmicos vazados	12,7	1.300
Blocos cerâmicos maciços	12,7 – 21,6	1.300 – 2.200
Blocos silicos-calcáreos	11,8 – 17,6	1.200 – 1.800
Blocos de concreto celular	3,0 – 7,8	300 – 800
Argamassa de assentamento	18,6	1.900
Graute	21,6	2.200
Chapisco	20,6	2.100
Emboço (massa grossa)	19,6	1.900

Tabela 4.3 Resistência mínima à compressão para blocos cerâmicos (NBR-7171).

TIPO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NA ÁREA BRUTA (MPa)	
De vedação	A	1,5
	B	2,5
Portante	C	4,0
	D	7,0
	E	10,0

Tabela 4.4 Resistência mínima à compressão para blocos de concreto.

BLOCO	REQUISITO
Vedação	$f_i \geq 2,0MPa, f_m \geq 2,5MPa$
Estrutural B	$F_{bk} \geq 4,5MPa$
Estrutural A	$F_{bk} \geq 6,0MPa$

f_i = valor individual

f_m = valor médio da amostra

f_{bk} = valor característico

4.2. Patologia

As anomalias manifestadas nas alvenarias que compõem as paredes de uma edificação, são, de modo geral, bastante visíveis pela própria natureza dos materiais e do comportamento desses componentes.

Nas alvenarias estruturais as manifestações patológicas são evidentemente de maior gravidade pela influência na estabilidade do imóvel. Porém, mesmo as alvenarias de vedação, precisam ter desempenho adequado, de modo a resistir aos fatores externos e internos como variações de temperatura, movimentações das estruturas onde estão apoiadas, umidade relativa do ar, infiltrações, etc.

Pelo fato de empregarem materiais diversos, com parâmetros físicos diferenciados, tornam-se necessários cuidados especiais, especialmente na junção entre paredes e de paredes com a estrutura, de modo a evitar que as diferenças de comportamento provoquem danos à edificação. Basta observar que as fissuras mais comuns ocorrem justamente na ligação das paredes com lajes, vigas e pilares, junto às aberturas de portas e janelas e na ligação entre paredes.

As alvenarias também são muito sensíveis às movimentações estruturais provocadas por recalques diferenciais nas fundações, excesso de sobrecarga nas lajes ou deformabilidade das peças estruturais. Atenção especial deve ser dada às alvenarias que se apóiam sobre vigas ou lajes em balanço.

4.2.1. Principais anomalias

As anomalias mais frequentes nas alvenarias são fissuras, eflorescências e infiltrações de água.

4.2.1. Fissuras

As fissuras ocupam o primeiro lugar na lista dos problemas mais comuns nas alvenarias. Suas causas nem sempre são facilmente identificadas, porém, o conhecimento das mesmas é de fundamental importância para a adoção dos procedimentos adequados de correção.

As alvenarias apresentam, de modo geral, bom comportamento à compressão, porém o mesmo não ocorre em relação às solicitações de tração, flexão e cisalhamento. Normalmente a quase totalidade dos casos de fissuração em alvenaria são provocadas por tensões de tração e cisalhamento.

Outros fatores que também influenciam na fissuração e nas propriedades mecânicas estão a seguir relacionadas:

- ✓ Heterogeneidade resultante da utilização conjunta de materiais diferentes, com propriedades mecânicas e elásticas diferenciadas;
- ✓ Geometria, rugosidade e porosidade dos componentes;

- ✓ Retração, aderência e retenção de água da argamassa de assentamento;
- ✓ Esbeltez, geometria da edificação, presença ou não de armadura, existência de paredes de contraventamentos;
- ✓ Cintamentos, amarrações, tipos e dimensões de aberturas de portas e janelas;
- ✓ Tubulações embutidas;
- ✓ Movimentações higroscópicas e térmicas;
- ✓ Tipo de fundação, recalques diferenciais.

Tabela 4.5 Principais tipos de fissuras nas alvenarias (Fonte: L.A.Falcão Bauer)

Configuração Típica	Causa Provável
Fissura Vertical	Deformação da argamassa de assentamento em paredes submetidas a uma carga vertical uniformemente distribuída.
	Movimentação higroscópica da alvenaria, principalmente no encontro de alvenarias (cantos) e em alvenarias extensas.
	Retração por secagem da alvenaria, principalmente em pontos de concentração de tensões ou seção enfraquecida.
	Expansão da argamassa de assentamento (interação sulfato-cimento, hidratação retardada da cal).
Fissura Horizontal	Alvenaria submetida à flexocompressão devida a deformações excessivas da laje.
	Movimentação térmica da laje de cobertura (deficiência de isolamento térmico, com a ocorrência de fissuras no topo da parede, decorrente da dilatação da laje de cobertura).
	Expansão da argamassa de assentamento (interação sulfato-cimento, hidratação retardada da cal).
	Expansão da alvenaria por movimentação higroscópica, em geral nas regiões sujeitas à ação constante de umidade, principalmente na base das paredes.
	Retração por secagem da laje de concreto armado, que gera fissuras nas alvenarias, principalmente nas externas enfraquecidas por vãos (janelas).
Fissura Inclinada	Recalques diferenciais, decorrentes de falhas de projeto, rebaixamento do lençol freático, heterogeneidade do solo, influência de fundações vizinhas.
	Atuação de cargas concentradas diretamente sobre a alvenaria, devido à inexistência de coxins ou outros dispositivos para distribuição das cargas.
	Alvenarias com inexistência ou deficiência de vergas e contravergas nos vãos de portas e janelas.
	Carregamentos desbalanceados, principalmente em sapatas corridas, ou vigas baldrames excessivamente flexíveis.
	Movimentação térmica de platibanda, ocorrendo fissuras horizontais e inclinadas nas extremidades da alvenaria.
Fissura na Laje Mista de Forro da Coberta	Movimentação térmica, gerando fissuras no encontro dos elementos cerâmicos com as vigas pré-moldadas.

A seguir estão indicadas esquematicamente, algumas configurações mais frequentes de fissuras nas paredes de alvenaria (figuras 4.3 a 4.15).

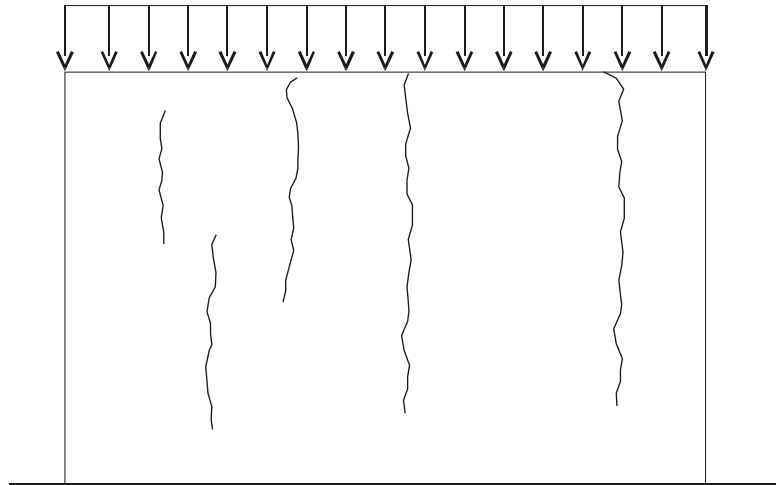


Fig. 4.3 Fissuras verticais em paredes de alvenarias, devidas a atuação de carga vertical uniformemente distribuída

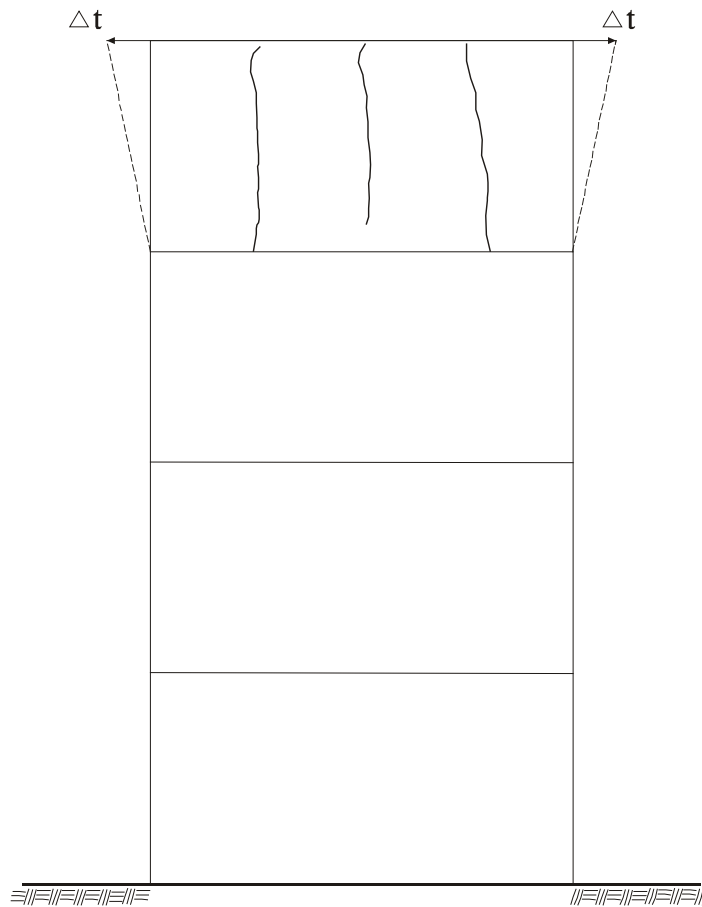


Fig. 4.4 Fissuras verticais em alvenarias junto à cobertura, provocadas pela dilatação térmica da laje de cobertura que traciona as paredes.

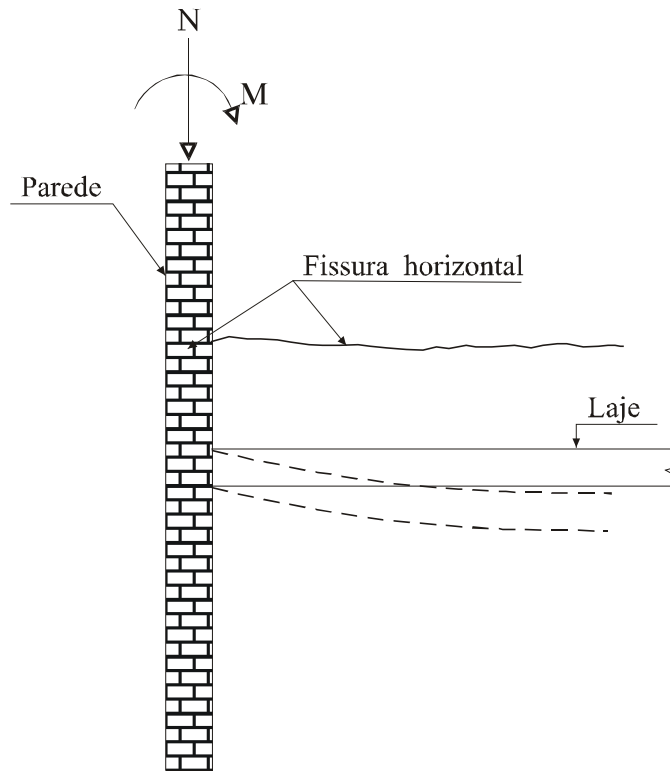


Fig. 4.5 Fissura horizontal na parte inferior da alvenaria, causada pela deformação da laje que solicita a alvenaria à flexão composta

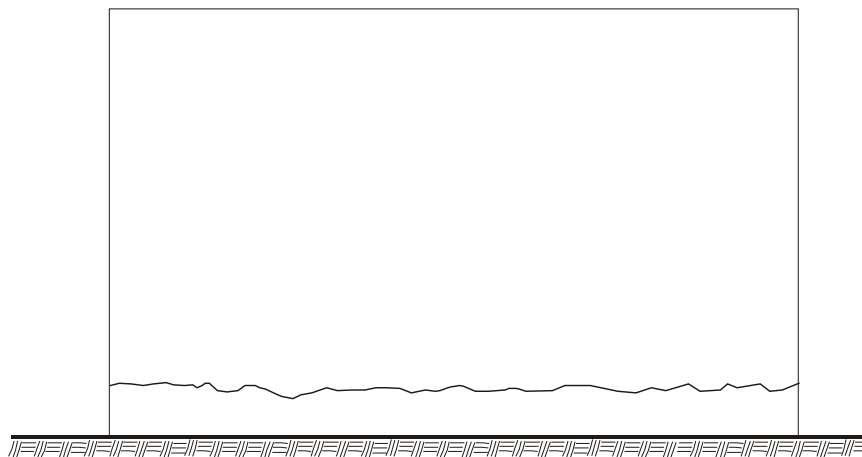


Fig. 4.6 Fissura horizontal causada por movimentação higroscópica, geralmente nos trechos mais submetidos à ação da umidade (as fiadas mais úmidas apresentam maior expansão em relação as demais fiadas)

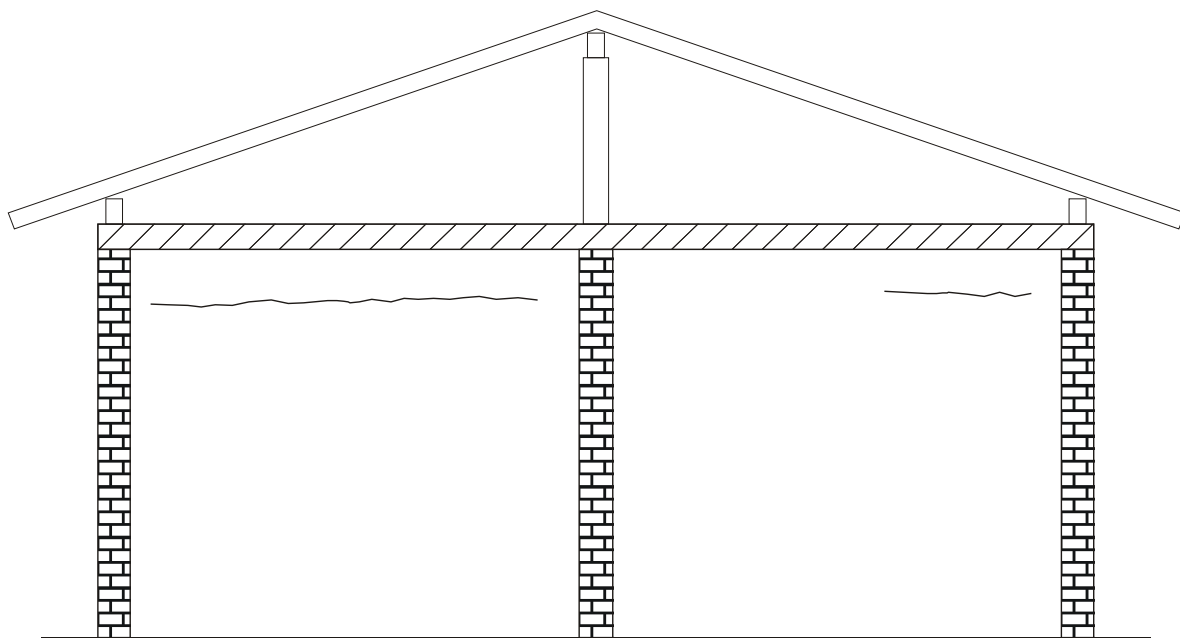


Fig. 4.7 Fissuras horizontais de cisalhamento causadas pela movimentação térmica da laje de cobertura; as fissuras são mais acentuadas no topo das paredes.

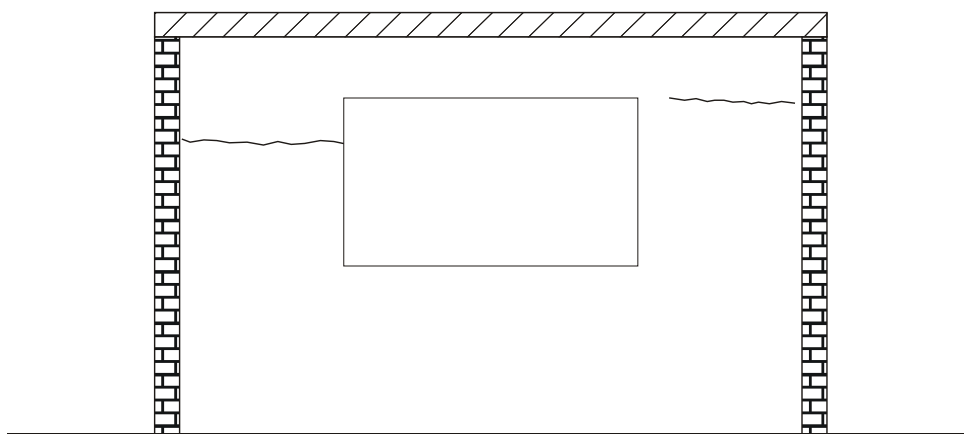


Fig. 4.8 Fissuras provocadas pela retração por secagem de lajes de concreto armado, em geral nas paredes externas enfraquecidas por aberturas de janelas e portas

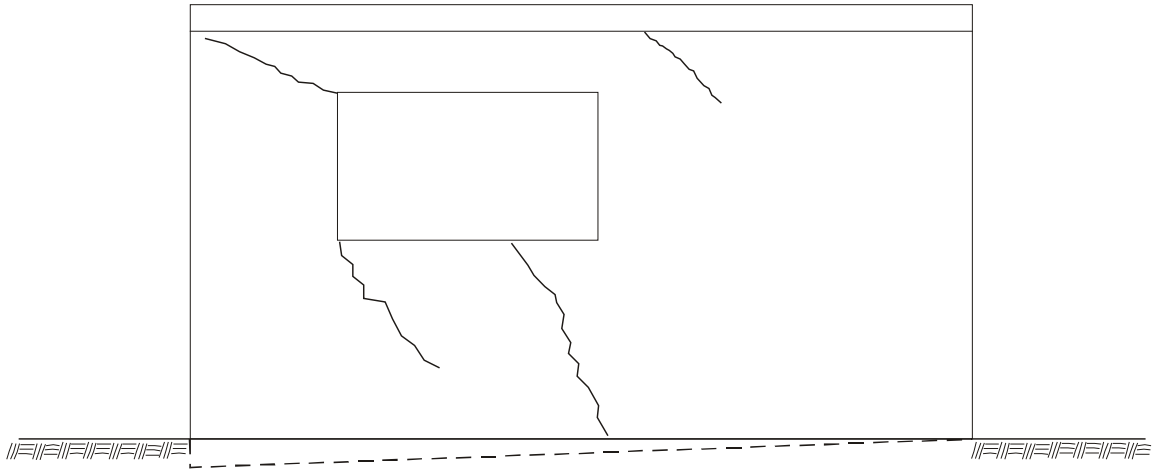


Fig. 4.9 Fissuras inclinadas causadas por recalques diferenciais nas fundações (heterogeneidade do solo)

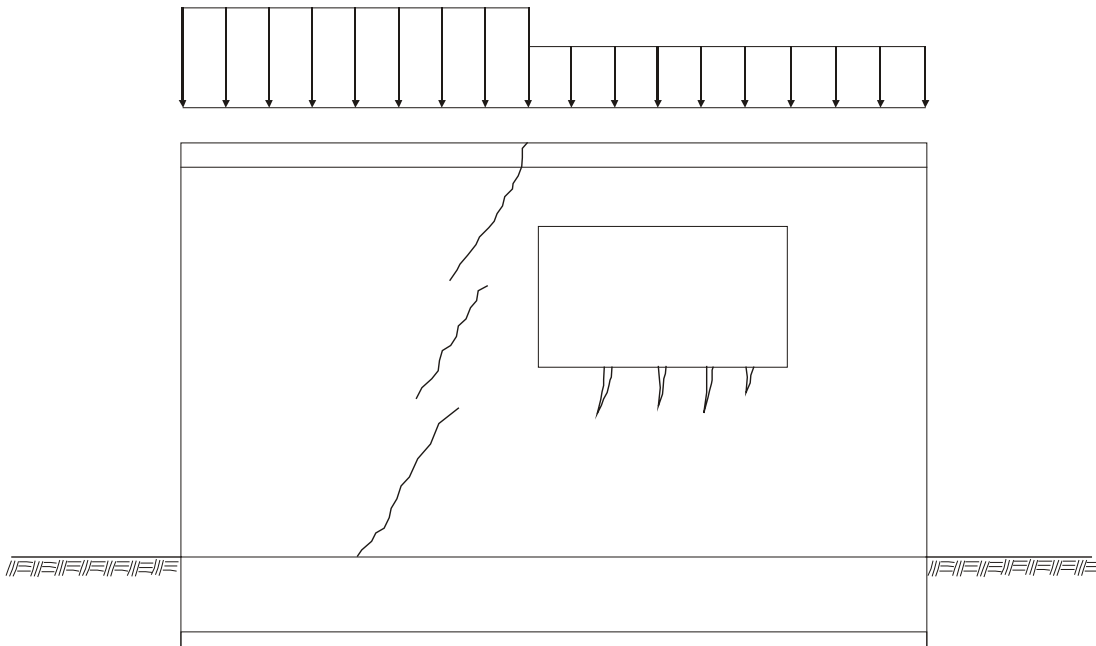


Fig. 4.10 Paredes com carregamentos desbalanceados sobre sapatas corridas: fissuras de cisalhamento no trecho mais carregado e fissuras de flexão sob as aberturas.

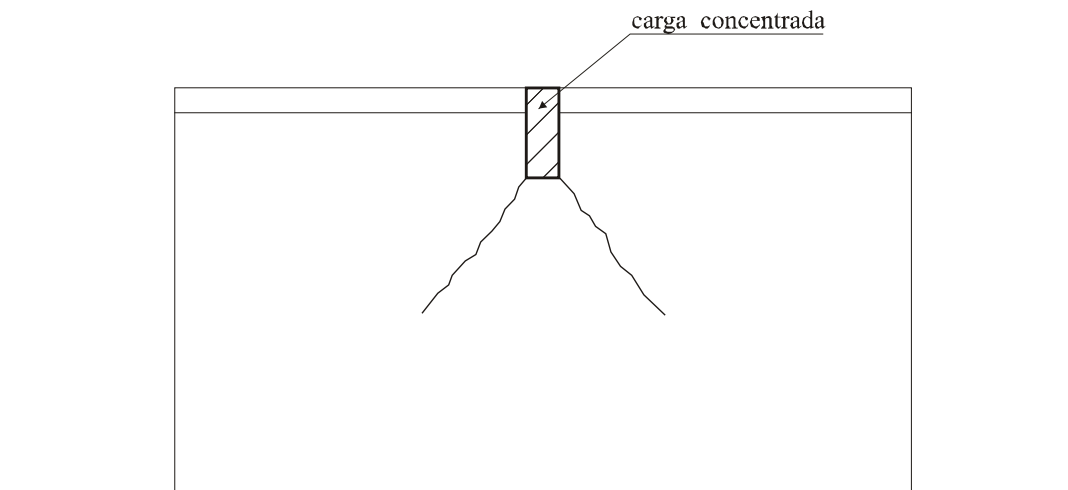


Fig. 4.11 Fissuras inclinadas provocadas pela ação de cargas concentradas diretamente sobre a alvenaria

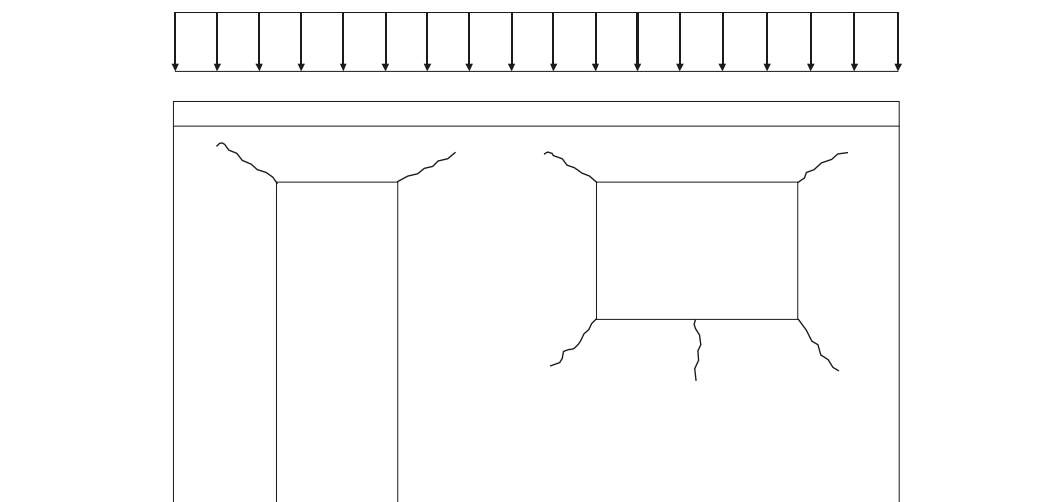


Fig. 4.12 Configuração típica de fissuras em paredes com aberturas de portas e janelas, submetidas a carga uniformemente distribuída e com inexistência ou deficiências de vergas e contravergas.

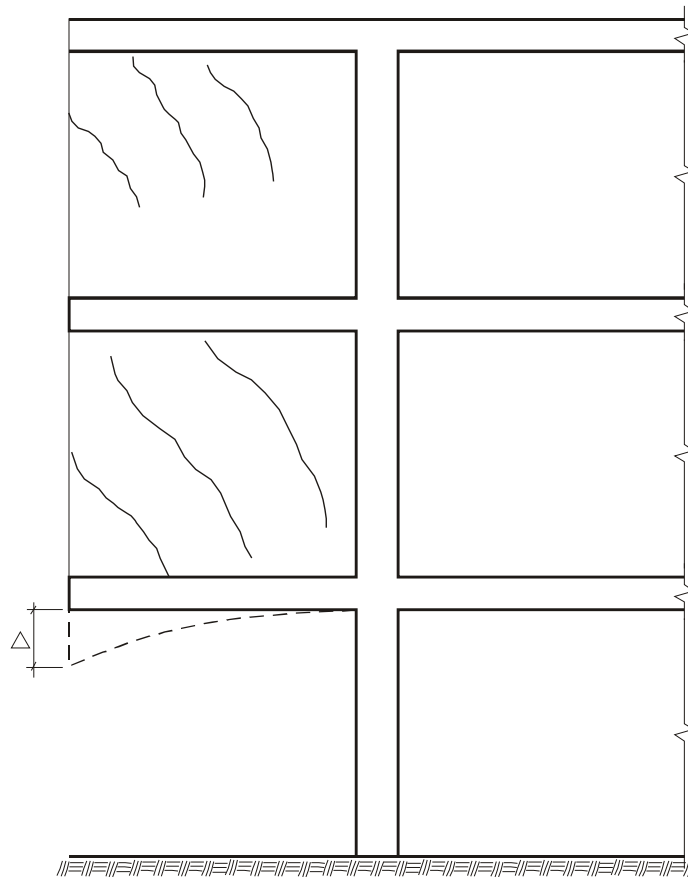


Fig. 4.13 Fissuras inclinadas nas alvenarias provocadas pela flexão de vigas em balanço.

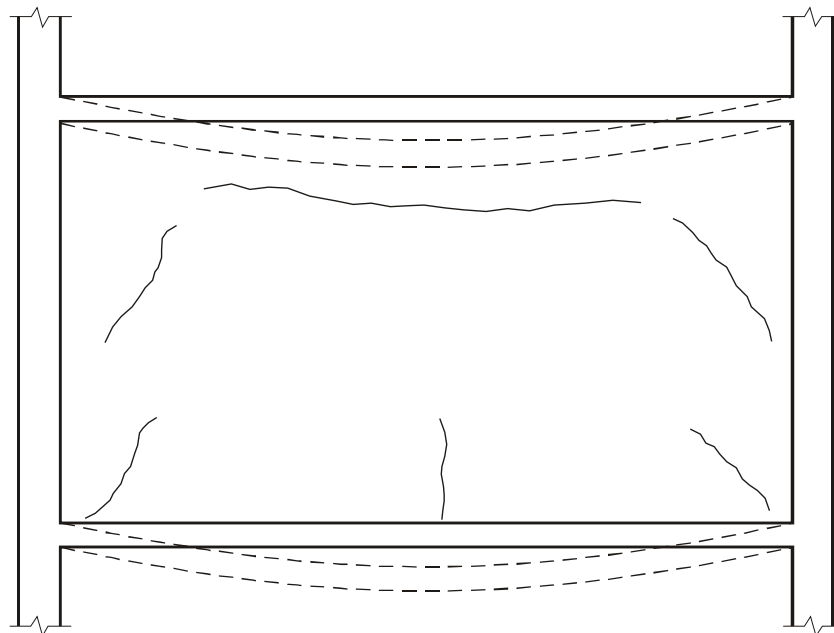


Fig. 4.14 Fissuramento em painéis de alvenaria causado pela excessiva deformação de lajes e vigas. A configuração varia em função dos valores das flechas desenvolvidas.

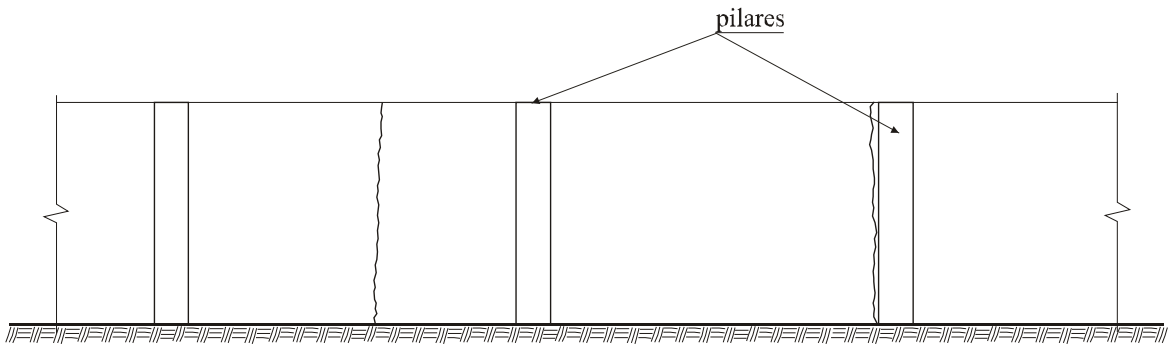


Fig. 4.15 Fissuras em muros de alvenaria causadas por movimentações térmicas

4.2.1.2. Eflorescências

A eflorescência é um depósito de sais acumulado sobre a superfície das alvenarias, de composição e aspecto variáveis de acordo com o tipo de sal depositado.

A acumulação do sal na superfície dos componentes das alvenarias ocorre pela evaporação da água da solução saturada de sal, que percola através dos materiais.

A eflorescência pode alterar a superfície sobre a qual se deposita, podendo, em determinados casos, seus sais constituintes serem agressivos e deteriorarem profundamente as alvenarias.

Normalmente a eflorescência é causada pela combinação de três fatores:

- a) Teor de sais solúveis existentes nos blocos, tijolos e/ou argamassa de assentamento ou revestimento.
- b) Presença de água para dissolver e carrear os sais solúveis até a superfície da alvenaria.
- c) Pressão hidrostática ou evaporação, de modo a produzir a força necessária para a solução migrar para a superfície.

O fluxo de água através das paredes e a conseqüente cristalização dos sais solúveis na superfície, ocorre devido ao efeito isolado ou combinado das seguintes causas: capilaridade, infiltrações em fissuras, percolação por vazamentos de tubulações de água ou vapor, condensação de vapor de água dentro das paredes.

De modo geral, todas as alvenarias e componentes de concreto estão sujeitos ao fenômeno da eflorescência. A quantidade e as características dos depósitos salinos variam conforme a natureza dos produtos solúveis, das condições atmosféricas, da temperatura, umidade, vento, etc.

A seguir a tabela 4.6 apresenta os sais eflorescentes que podem desenvolver-se nas alvenarias, e a tabela 4.7 as formas de manifestação da eflorescência.

Tabela 4.6: Sais eflorescentes que se desenvolvem nas alvenarias (Fonte: Ércio Thomaz)

Composição química	Solubilidade em água	Fonte provável
Carbonato de cálcio	pouco solúvel	carbonatação da cal lixiviada da argamassa ou concreto.
Carbonato de magnésio	pouco solúvel	carbonatação da cal lixiviada da argamassa de cal.
Carbonato de potássio	muito solúvel	carbonatação dos hidróxidos alcalinos do cimento com elevado teor de cálcio.
Carbonato de sódio	muito solúvel	carbonatação dos hidróxidos alcalinos do cimento com elevado teor de cálcio.
Hidróxido de cálcio	solúvel	cal liberada na hidratação do cimento.
Sulfato de cálcio dihidratado	parcialmente solúvel	hidratação do sulfato de cálcio de componentes cerâmicos.
Sulfato de magnésio	solúvel	componentes cerâmicos e/ou água de amassamento.
Sulfato de cálcio	parcialmente solúvel	componentes cerâmicos e/ou água de amassamento.
Sulfato de potássio	parcialmente solúvel	agregados contaminados, água contaminada ou reação entre constituintes do cimento e constituintes da cerâmica.
Sulfato de sódio	parcialmente solúvel	água de amassamento.
Cloreto de cálcio	parcialmente solúvel	água de amassamento
Cloreto de magnésio	parcialmente solúvel	água de amassamento.
Nitrato de potássio	muito solúvel	solo adubado ou contaminado por sais solúveis.
Nitrato de sódio	muito solúvel	solo adubado ou contaminado por sais solúveis.
Nitrato de amônia	muito solúvel	solo adubado ou contaminado por sais solúveis.

Tabela 4.7: Formas de manifestação da eflorescência (Fonte: Ércio Thomaz)

Causas prováveis	Locais de formação	Aspectos e características da eflorescência
<ul style="list-style-type: none"> - Sais solúveis presentes nos materiais: água de amassamento, agregados ou aglomerantes - Sais solúveis presentes nos materiais cerâmicos - Sais solúveis contidos no solo - Poluição atmosférica - Reação entre compostos dos materiais cerâmicos e dos cimentos 	<ul style="list-style-type: none"> - Superfícies de concreto aparente - Superfície de alvenarias revestidas - Juntas de pisos cerâmicos ou azulejos - Regiões próximas a caixilhos mal vedados - Superfícies de ladrilhos não esmaltados 	Pó branco pulverulento, solúvel em água
<ul style="list-style-type: none"> - Carbonatação da cal liberada na hidratação do cimento - Carbonatação da cal constituinte da argamassa 	<ul style="list-style-type: none"> - Juntas das alvenarias assentadas com argamassa - Superfície de concreto ou revestimento com argamassa - Superfície de componentes próximos a elementos de alvenaria ou concreto 	Depósito branco com aspecto de escorrimento, muito aderente e pouco solúvel em água
<ul style="list-style-type: none"> - Expansão devido à hidratação do sulfato de cálcio existente no tijolo ou reação dos compostos do tijolo e do cimento - Formação do sal expansivo por ação do sulfato do meio 	<ul style="list-style-type: none"> - Em fissuras eventualmente presentes nas juntas das alvenarias - Nas juntas de argamassa das alvenarias - Em regiões da alvenaria muito expostas à ação da chuva 	Depósito branco, solúvel em água, com efeito de expansão

4.2.1.3. Infiltração de água

Estudos realizados no Brasil constataram que a incidência de problemas causados pela umidade nas edificações, é relativamente alta se comparada com outros tipos de problemas, chegando a até 50%.

A umidade pode ter diversas origens, como a absorção de água do solo pelas fundações; a condensação do vapor de água nas superfícies ou no interior das edificações; o vazamento de tubulações de água ou esgoto e a infiltração de água da chuva que penetra nos edifícios, principalmente através das fachadas e cobertas.

Dentre os tipos de umidade citados, a umidade por infiltração é a que apresenta maior incidência (aproximadamente 60%).

A infiltração de água nas fachadas e cobertas pode ser agravada pelas intensidade e direção dos ventos e da chuva.

As observações das condições seguintes têm importante papel, visando a evitar os efeitos da umidade por infiltração, principalmente se adotados na fase de projeto:

- ✓ Detalhes arquitetônicos e construtivos adequados para fachadas e cobertas, como por exemplo frisos, pingadores, rufos, beirais, platibandas, juntas, esquadrias e materiais de revestimento;
- ✓ Conhecimento das propriedades dos materiais constituintes das alvenarias quanto a higroscopicidade, porosidade e absorção de água;
- ✓ Conhecimento sobre a intensidade e duração das precipitações na região;
- ✓ Orientação das fachadas quanto à direção do vento.

Nas alvenarias de blocos vazados de concreto a infiltração de água pode acontecer pela interface argamassa-bloco e pela própria argamassa, principalmente quando ela tem espessura elevada (>1,0cm).

As argamassas excessivamente rígidas ou preparadas com excesso de água de amassamento também apresentam fissuras, que por sua vez provocam infiltrações.

4.2.1.5. Expansão por umidade

Nas alvenarias de tijolos cerâmicos expostos à ação da umidade, pode ocorrer o fenômeno conhecido como expansão por umidade (EPU).

Embora seja conhecida desde a década de 20, e na década de 50 tenha sido identificada como responsável pela ocorrência de danos em alvenarias, a EPU só ganhou destaque no meio técnico a partir de 1997, após a ocorrência de acidentes com edifícios de alvenaria estrutural no Grande Recife. Na ocasião laudos

apontaram o fenômeno como fator determinante para a baixa resistência das alvenarias de embasamento que provocaram a falência estrutural do prédios.

A EPU é um fenômeno bastante complexo e implica sempre em conseqüências danosas. De forma simplista, pode-se dizer que as cerâmicas porosas absorvem água (hidratação) e com o passar do tempo sofrem um aumento de volume (expansão).

Os problemas decorrentes podem variar de fissuras em azulejos, descolamento de revestimentos e pisos cerâmicos até a graves lesões estruturais em paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos, podendo comprometer a estabilidade das edificações construídas com alvenaria portante.

No Brasil a EPU não tem sido estudada com a profundidade merecida e a maioria dos trabalhos técnicos encontrados sobre o assunto referem-se a problemas relacionados com os revestimentos cerâmicos. Torna-se necessário portanto, que sejam desenvolvidas pesquisas que possibilitem o conhecimento adequado do fenômeno da EPU, como forma de utilizar adequadamente os tijolos cerâmicos em obras de alvenaria estrutural, especialmente aquelas construídas em condições ambientais desfavoráveis como é o caso de lençol freático superficial.

4.3. A utilização de alvenaria estrutural em Pernambuco

4.3.1. Resumo histórico

A alvenaria é utilizada em Pernambuco como elemento estrutural desde os tempos coloniais. Um dos principais motivos sempre foi a grande disponibilidade de matéria prima para produção de tijolos cerâmicos.

A partir da década de 70 do século passado, no auge da atuação do Banco Nacional da Habitação – BNH, esse sistema construtivo teve grande impulso na produção de moradias populares, a maioria delas financiada pelo Sistema Financeiro da Habitação - SFH.

Estima-se que no Grande Recife tenham sido edificados 6.000 prédios com essa tecnologia construtiva, a maioria deles composta de um pavimento térreo e três pavimentos superiores, com estrutura de concreto armado apenas no trecho correspondente à escada e reservatório superior, ficando a maior parte da edificação funcionando de tal modo que todas as cargas são transmitidas diretamente para as paredes que, por sua vez, as transmitem para as fundações, geralmente em sapatas corridas.

Tais edificações ficaram popularmente conhecidas como “prédios caixão” e apresentavam, à época em que foram construídos, uma série de vantagens em relação as obras com estrutura convencional, entre elas um menor custo de construção, maior rapidez de execução, menores valores de financiamento dos apartamentos e grande utilização dos tijolos cerâmicos produzidos no Estado.

4.3.2. Problemas ocorridos com o processo construtivo

A busca pela diminuição dos custos, muitas vezes associada à falta de controle de qualidade da construção, além da inexistência de norma técnica específica, resultou em uma série de patologias e acidentes com esse tipo de obra, que acentuaram-se a partir de 1997, com a ocorrência de diversos acidentes, inclusive desabamentos com vítimas fatais no Grande Recife.

Os laudos técnicos elaborados por profissionais especializados concluíram que as causas dos desabamentos estavam diretamente relacionadas a falência estrutural dos blocos de concreto, ou tijolos cerâmicos das alvenarias de embasamento que se deterioraram ao longo do tempo em decorrência do ataque de sulfatos presentes na água do subsolo.

A utilização de sistema construtivo inadequado, com o uso de caixão perdido no embasamento, inclusive de alvenaria singela, contribuiu para que se estabelecessem condições desfavoráveis como: o funcionamento dessas alvenarias como muros de contenção do aterro, passando as mesmas a trabalhar à flexo compressão; o contato permanente do aterro com blocos de concreto de alta porosidade, com uma das faces sujeita à umidade e tendo a outra face livre para a evaporação, o que favorece a formação da etringita seguida de lixiviação; a ocorrência do fenômeno conhecido como expansão por umidade – EPU, com a perda da resistência dos tijolos cerâmicos.

Vale salientar que a grande maioria dos prédios caixões em Pernambuco foi calculada através de métodos empíricos, devido à ausência de normas específicas. É o caso da utilização em paredes estruturais de tijolos cerâmicos com furos na horizontal.

A única norma brasileira para o cálculo de alvenaria estrutural é a NBR-10837 de julho de 1989, que refere-se apenas aos blocos vazados de concreto, permanecendo ainda a lacuna para a utilização de tijolos cerâmicos com função estrutural.

4.3.3. Necessidades de mudanças

Diante de tal situação, fica evidente a necessidade da adoção de novos procedimentos para projetos e obras em alvenaria estrutural, visando assim garantir a adequada segurança às construções atuais.

A seguir estão enunciados alguns desses procedimentos:

- a) Elaboração de norma técnica para o cálculo de alvenaria estrutural de tijolos cerâmicos.
- b) Adequação da indústria cerâmica para produzir tijolos com furos verticais, dimensões e resistência compatíveis com a função estrutural.

- c) Mudança de postura dos projetistas de estruturas, passando a ser mais rigorosos com a aferição das características de resistência dos materiais previstos nos projetos e seguindo as normas existentes, tanto nacionais como internacionais.
- d) Maior rigor dos construtores com a qualidade de suas obras, tanto no controle dos materiais e mão-de-obra, como no processo construtivo como um todo.
- e) Maior eficiência por parte dos agentes financeiros na fiscalização das obras financiadas.
- f) Participação efetiva do poder público, nos âmbitos federal, estadual e municipal, inclusive revendo alguns procedimentos atualmente adotados para disciplinamento das construções, garantia da qualidade e a concessão do habite-se.
- g) Orientação aos moradores sobre a utilização e conservação de seus imóveis, principalmente no que se refere às reformas com retirada de paredes.

4.3.4. Ações propostas

Com base no histórico recente de acidentes com esse tipo de edificação e considerando que outros prédios com características semelhantes também poderiam vir a sofrer colapso estrutural a qualquer momento, o CREA-PE elaborou, em 2001, em parceria com os Departamentos de Engenharia Civil da UFPE, UNICAP e UPE, um documento, que teve o autor deste texto como um dos redatores, propondo uma série de ações voltadas para a garantia das condições de estabilidade dos prédios em alvenaria estrutural já edificados, de modo a resolver definitivamente o problema que aflige diretamente os habitantes desses imóveis, que se encontram potencialmente expostos a riscos de vida ou a perda do patrimônio duramente conquistado.

A seguir o resumo das propostas apresentadas no documento que foi entregue às autoridades:

- a) Inspeção detalhada em todas as edificações executadas em alvenaria estrutural na Região Metropolitana do Recife, contemplando aspectos relativos ao estado atual do imóvel, condições de projeto e de construção.
- b) Verificação, com base em critérios pré-estabelecidos, das condições de estabilidade de cada edificação, envolvendo as análises estruturais e os ensaios necessários.
- c) Elaboração dos projetos de recuperação estrutural para as edificações que não atenderem aos parâmetros de verificação estabelecidos.
- d) Execução das obras de recuperação projetadas.

5. BIBLIOGRAFIA

- ABCI. **Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo, 1990
- ABNT, NBR-10.837. **Cálculo de alvenaria Estrutural em Blocos Vazados de Concreto**
- ABNT, NBR-13752. **Perícias de Engenharia na Construção Civil**
- ABNT, NBR-6118. **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Armado**
- ABNT, NBR-6122. **Projeto e Execução de Fundações**
- ABNT, NBR-6128. **Cargas para o Cálculo de Estruturas de edificações**
- ABNT, NBR-6461. **Bloco Cerâmico de Alvenaria – Verificação de resistência à compressão**
- BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. Volumes 1 e 2, LTC Editora, São Paulo, 2000
- CÁNOVAS, Manuel F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. Ed. Pini Ltda. São Paulo, 1988
- CREA-PE. **Impermeabilização. Cartilha do comprador e usuário de imóveis**. Recife, 1999
- CREA-SP. **A Saúde dos Edifícios**. São Paulo, 1999
- CURI, Edmond. **Perícias Judiciais – Fundamentos de Avaliações Patrimoniais e Perícias de Engenharia**. Editora Pini Ltda., São Paulo, 1998
- ENGEL, Heino. **Sistemas de Estruturas**. Hemus editora Ltda, São Paulo, 1981
- GONÇALVES, Augusto. **Alvenaria e Pavimentação**. Sagra Editora e Distribuidora Ltda., Porto Alegre, 1982
- HELENE, Paulo R. **Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo, 1988
- JULIANO, Rui. **Manual de Perícias na Justiça Civil**. www.manualdepericias.com.br
- JÚNIOR, Carlito C., LAHR, Francisco A. R., DIAS, Antônio. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. Ed. Manole Ltda., São Paulo – 2003

- MAIA, Élcio A. **Patologia das Edificações. Noções Fundamentais – Fundamentos de Avaliações Patrimoniais e Perícias de Engenharia.** Editora Pini Ltda., São Paulo, 1999
- MORAES, Marcelo da C. **Concreto Armado.** Ed. MacGraw – Hill, São Paulo, 1982
- OLIVEIRA, Romilde A. **Curso de Alvenaria Estrutural.** CREA-PE, Recife, 2003
- PFEIL, Walter. **Concreto Protendido.** Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1980
- PFEIL, Walter. **Estruturas de Aço.** Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1976
- SÁNCHEZ, Emil. **Alvenaria Estrutural. Novas Tendências e Técnicas de Mercado.** Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2002
- SÜSSEKIND, José C. **Curso de Concreto.** Vol 1, Ed. Globo, Rio de Janeiro, RJ, 1980
- THOMAZ, Ércio. **Patologia. Manual Técnico de Alvenaria.** Editora Pini Ltda., São Paulo, 1990
- THOMAZ, Ércio. **Trincas em Edifícios, Causas, Prevenção e Recuperação.** Ed. Pini Ltda., São Paulo, 1989
- VITÓRIO, Afonso. **Pontes Rodoviárias. Fundamentos, Conservação e Gestão.** CREA-PE, Recife, 2002
- VITÓRIO, Afonso. RAMOS, José R. **Inspeção e Diagnóstico para Recuperação de Pontes Rodoviárias.** DER-PE, Recife, 1992
- VITÓRIO, Afonso. **Sistemas Estruturais na Arquitetura.** IAB-PE, Recife, 1987