



5. ANOMALIAS EM ALVENARIAS [1]

5.1. INTRODUÇÃO

As paredes de alvenaria constituem um dos subsistemas mais importantes presentes nos edifícios, particularmente as paredes exteriores que, separando o ambiente interior do exterior, são decisivas para o desempenho dos edifícios. Apesar desta inegável importância, as paredes exteriores, de um modo geral, são objecto de poucos cuidados, para o que contribuem as particularidades das alvenarias como elemento construtivo:

- Constituem a tecnologia construtiva mais antiga, sendo o resultado, ao nível dos materiais e das tecnologias, da herança construtiva das regiões, o que justifica a grande diversidade de materiais e soluções;
- Asseguram várias exigências funcionais, sendo o seu desempenho fortemente condicionado pela qualidade construtiva;
- O estudo das alvenarias através de métodos modernos veio a ocorrer muito mais tarde do que o verificado noutros domínios da engenharia e da construção;
- A caracterização experimental nas alvenarias é muito mais complexa e envolve em geral custos mais avultados do que noutros materiais de construção.

Estas particularidades, associadas à falta da tradição de investigar, ensinar e pormenorizar cuidadosamente as alvenarias, representam um grande obstáculo, pois estas são um dos subsistemas onde se verificam maiores desajustes de desempenho e conseqüentemente de anomalias.

É do conhecimento geral que as paredes de alvenaria são o principal foco de anomalias nos edifícios, como é visível na figura 1, relativa a uma estatística francesa que não deve ser muito diferente do observado entre nós. Em Portugal, as anomalias mais frequentes relacionadas com as alvenarias são a fissuração de paredes exteriores e interiores, a manifestação de problemas associados à estanquidade da água e humidade, assim como, relacionadas com as anomalias referidas, a degradação dos revestimentos e acabamentos.

Os aspectos mais relevantes que estão na origem das referidas anomalias estão relacionados com: o projecto (impõe a solução construtiva), aspectos de carácter económico, a qualidade e a mão-de-obra e as práticas construtivas (fig. 2).



Figura 1 - Anomalias em edifícios



Figura 2 - Anomalias mais frequentes em paredes exteriores



5.2. PRINCIPAIS ASPECTOS QUE ESTÃO NA ORIGEM DAS ANOMALIAS

5.2.1. O Projecto

A solução construtiva das paredes está associada ao projecto de arquitectura, sendo da responsabilidade dos arquitectos. Geralmente o projecto apresentado é insuficiente, no que respeita à especificação dos materiais a empregar, características, pormenores de execução e representação dos pontos singulares a escalas convenientes, assim como, recorre cada vez mais a opções arquitectónicas potenciadoras de patologias, nomeadamente pela incidência mais directa nas fachadas dos agentes climatéricos e pela sua maior esbelteza e desenvolvimento.

O “*projecto*” de alvenaria normalmente situa-se numa zona de fronteira entre a arquitectura e a estabilidade, com ligações a outros domínios, como por exemplo: as instalações, conservação de energia e conforto térmico, protecção contra ruído e a segurança ao fogo, sendo a sua compatibilização e coordenação insuficientes.

A inexistência de recomendações que ajudem os projectistas a escolher melhor as soluções de paredes e a detalhá-las convenientemente, com obrigatoriedade de existência de peças desenhadas explícitas, contribui seguramente para explicação de uma boa quota-parte das anomalias encontradas nos edifícios.

5.2.2. Aspectos de carácter económico

A selecção das soluções a empregar na realização de paredes deveria resultar numa ponderação mais consistente do que a habitualmente efectuada entre nós, considerando o custo global agregando a construção, utilização e manutenção. Habitualmente pondera-se apenas o custo de construção sem ter em conta os outros aspectos e designadamente a qualidade da execução e manutenção.

5.2.3. Qualidade e mão-de-obra

Sabemos que as características da mão-de-obra disponível para trabalhar na construção têm vindo a mudar. A disponibilidade de mão-de-obra experiente, sujeita a longos períodos de aprendizagem, reduziu-se muito. Por outro lado, algumas soluções arquitectónicas correntes hoje em dia e os ritmos de construção excessivamente rápidos praticados na actualidade, tornam a construção em geral e as paredes em particular extremamente sensíveis à qualidade de execução.

Estes aspectos acentuam a importância numa correcta escolha dos elementos, argamassas e acabamentos a usar na execução das alvenarias, sendo óbvio o interesse em ter soluções convenientemente detalhadas e, sempre que possível, simples, menos sujeitas à qualidade da mão-de-obra. Por outro lado o recurso a soluções mais racionais, que reduzam o esforço físico no assentamento, conduzirá a maior produtividade e economia.



5.2.4. Práticas construtivas

Grande parte das anomalias observadas nas alvenarias portuguesas, resultam de práticas construtivas que não atendem às singularidades deste subsistema, nem à forma como proporcionam a interacção entre este e os restantes subsistemas adjacentes.

Como exemplos reveladores das referidas práticas construtivas, refiram-se os seguintes aspectos:

- Os pavimentos e estruturas de betão armado são em geral “*excessivamente*” deformáveis para servirem de suporte às paredes de alvenaria, embora grande parte das vezes dentro dos valores regulamentares previstos para o efeito. A deformação do suporte e/ou do elemento estrutural superior poderá produzir acções mecânicas nas paredes de alvenaria que poderão potenciar o aparecimento de fissuração;
- As ligações alvenaria/estrutura normalmente não existem ou são mal resolvidas. Com frequência não há ligação mecânica, mas também não se adoptam juntas;
- Em termos estruturais a influência dos panos de parede é, em geral, menosprezada;
- As paredes de alvenaria correntemente apresentam-se pouco resistentes, com dificuldade em suportarem as acções mecânicas a que estão submetidas. Circunstância a que não está alheia a fraca resistência mecânica da generalidade dos elementos para alvenaria, nomeadamente os mais usados em Portugal: o tijolo cerâmico de furacão horizontal e os blocos de betão;
- As paredes duplas geralmente têm uma construção pouco cuidada no que respeita: à limpeza da caixa-de-ar, ligadores, orifícios de drenagem e ventilação, posicionamento e fixação dos isolamentos térmicos;
- Os pontos singulares de paredes, como por exemplo em torno de aberturas, normalmente, são encarados como uma zona corrente do pano ou são mal resolvidos;
- As tentativas de minimizar as pontes térmicas recorrem geralmente a soluções inadequadas. Com frequência, estas trazem problemas mais graves do que aqueles que se pretendem minimizar;
- Os acabamentos são frequentemente escolhidos sem avaliação técnica e aplicados muito depressa;
- As fachadas são definidas por opções arquitectónicas, que normalmente não têm em conta a incidência da água da chuva, a qualidade da mão-de-obra e a necessidade de durabilidade;
- Rapidez de execução dos edifícios, onde a construção das paredes de alvenarias, segue a ritmo semelhante ao da evolução da estrutura.



5.3. ANOMALIAS EM PAREDES DE ALVENARIA SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL

5.3.1. Introdução

Desde à antiguidade que o homem recorre ao emprego das alvenarias, processo construtivo que derivou, num primeiro momento do empilhamento de rochas fragmentadas e, num segundo momento, dos muros em pedra (cantarias). Muitas construções milenares, dos egípcios e dos romanos particularmente, permanecem até hoje como testemunhos vivos da história da humanidade e da própria história das alvenarias.

Tradicionalmente pesadas, espessas e rígidas, as alvenarias evoluíram, acompanhando a própria evolução do homem, para as lâminas consideravelmente delgadas dos nossos dias, para os produtos com alta agregação de tecnologia, para os processos de produção intensivamente industrializados. Os componentes de alvenaria foram sendo desenvolvidos tendo como meta a criação de um material de construção ideal, que, segundo os especialistas, deve ser o mais barato, o mais resistente, o mais durável e o mais leve possível. Nesse último aspecto, a evolução tecnológica apontou, por um lado, para a invenção de materiais com baixa massa específica aparente (enquadrando-se aí os betões celulares) e por outro lado para os componentes vazados (blocos de betão, tijolos, etc.) que representaram, em meados do século XX, uma verdadeira revolução na história das alvenarias.

Como consequência do caminho realizado (e a realizar) na procura do material ideal (o mais resistente, o mais leve, o mais durável e de mais baixo custo), da evolução das técnicas de projecto e de execução de obra, começam a surgir, em quase todos os tipos de obras, com maior frequência, problemas e falhas nas construções, e nas alvenarias como uma das principais partes integrantes, em particular.

Resultando talvez da própria intensificação dessas falhas, o homem passou a analisá-las com maior cuidado, valendo-se cada vez mais dos princípios da “ciência dos materiais”, da estabilidade das estruturas, da mecânica dos solos, da física e da química, dando origem, assim a uma nova “ciência”, designada por “Patologia das Construções”, que foi buscar à medicina diversos de seus termos mais usuais (diagnóstico, prognóstico, terapia etc.) que, no âmbito da construção civil, podem ser definidos como:

- **Patologia:** falha, disfunção, defeito que prejudica a estética ou o desempenho da edificação ou de qualquer uma de suas partes;
- **Patologia das construções:** “ciência” que procura, de forma metodizada, estudar os defeitos dos materiais, dos componentes, dos elementos ou da edificação como um todo, diagnosticando as suas causas e estabelecendo os seus mecanismos de evolução, formas de manifestação, medidas de prevenção e de recuperação;



- **Diagnóstico:** determinação das causas, dos mecanismos de formação e da gravidade potencial de um problema patológico, com base na observação dos sintomas (formas de manifestação) e na eventual realização de estudos específicos;
- **Prognóstico:** avaliações ou conjecturas, baseadas no diagnóstico, acerca da duração, evolução ou término do problema;
- **Terapia:** conjunto de medidas (reformas, recuperações, reforços) destinado a sanar um problema patológico;
- **Agente:** causa imediata que deu origem ao problema patológico (assentamento de apoio, movimentações térmicas, sobrecarga, etc.).

Ao contrário da medicina, onde os casos de patologia clínica e os avanços científicos na área eram rapidamente divulgados, os casos de patologia das construções eram tratados com muita reserva, pois na maioria das vezes encontravam-se associados a falhas de projecto, erros de concepção, desconhecimento de propriedades dos solos e dos materiais de construção, fiscalização deficiente dos serviços, etc. Esse facto, aliado em geral à falta de acompanhamento da obra, depois desta concluída, por parte dos seus projectistas e construtores e a própria ausência de um sistema de catalogação dos problemas patológicos (ocorrência, incidência, gravidade, medidas correctivas adoptadas, etc.), fez com que o avanço da ciência “Patologia das construções” ocorresse de forma muito lenta, deixando de facultar ao meio técnico informações preciosas que poderiam ter evitado a repetição de um grande e sucessivo número de erros.

5.4. FISSURAÇÃO EM PAREDES DE ALVENARIA

5.4.1. Fissuras causadas por movimentações térmicas

Os elementos e componentes de uma construção estão sujeitos a variações de temperatura, diárias e sazonais. Essas variações dão origem a uma variação dimensional dos materiais de construção (dilatação ou contracção). Os movimentos de dilatação e contracção são restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os elementos e componentes, desenvolvendo-se nos materiais, por este motivo, tensões que poderão provocar o aparecimento de fissuras.

As movimentações térmicas de um material estão relacionadas com as propriedades físicas do mesmo e com a intensidade da variação da temperatura, enquanto que a magnitude das tensões desenvolvidas é função da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto pelos vínculos a esta movimentação e das propriedades elásticas do material.

As fissuras de origem térmica podem também surgir por movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material. As principais movimentações diferenciadas ocorrem em função de:

- Ligação de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, sujeitos às mesmas variações de temperatura (por exemplo, movimentações diferenciadas entre argamassa de assentamento e componentes de alvenaria);



- Exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais (por exemplo, cobertura em relação às paredes de um edifício);
- Gradiente de temperaturas ao longo de um mesmo componente (por exemplo, gradiente entre a face exposta e a face protegida de uma laje de cobertura).

No caso das movimentações térmicas diferenciadas é importante considerar-se não só a amplitude da movimentação, como também a rapidez com que esta ocorre. Se ela for gradual e lenta muitas vezes um material que apresenta menor resposta ou que é menos solicitado às variações da temperatura pode absorver movimentações mais intensas do que um material ou componente a ele justaposto; o mesmo pode não ocorrer se a movimentação for brusca.

Por outro lado, alguns materiais também podem sofrer fadiga pela acção de ciclos alternados de carregamento/descarregamento ou por solicitações alternadas de tracção/compressão. Este fenómeno, a fadiga, poderá ser analisado através de métodos muito sofisticados de cálculo dinâmico. As tensões altas resultantes de mudanças bruscas de temperatura, também podem ser relevantes para os materiais que se degradam sob efeito de choques térmicos, descrevendo a expressão "choque térmico", uma situação em que um componente é submetido a uma variação de temperatura de 38 °C, em poucas horas.

Os materiais que mais resistem aos choques térmicos são aqueles que apresentam boa condutibilidade térmica, baixo coeficiente de dilatação térmica linear, baixo módulo de deformação e elevada resistência a esforços de tracção; considerando-se esses parâmetros, a resistência ao choque térmico é dada por uma função.

$$R = (f) \frac{\lambda \cdot f_{ct}}{E \cdot \alpha}$$

onde:

λ - coeficiente de condutibilidade térmica;

f_{ct} - resistência característica à tracção;

E - módulo de deformação longitudinal;

α - coeficiente de dilatação térmica linear.

5.4.2. Configurações típicas de fissuração em paredes de alvenaria provocadas por movimentações térmicas

5.4.2.1. Lajes de cobertura com vínculo a paredes

As lajes de cobertura normalmente encontram-se vinculadas às paredes de sustentação, pelo que surgem tensões tanto no corpo das paredes quanto nas lajes. Teoricamente as tensões de origem térmica são nulas nos pontos centrais das lajes, crescendo proporcionalmente em direcção aos bordos onde atingem seu ponto máximo, (fig. 3).



5.4.2.2. Movimentações térmicas da estrutura

Em sequência do exposto anteriormente, a estrutura do edifício estará sujeita a movimentações térmicas, principalmente em estruturas de betão aparente. Deve-se salientar que, devido à insolação directa, as temperaturas nas faces expostas das peças de betão poderão atingir, valores da ordem de 80°C.

Essas movimentações raramente causam dano à estrutura em si; normalmente as regiões mais solicitadas são os encontros entre vigas, onde podem surgir fissuras internas às peças de betão, e por isso mesmo, não detectáveis. A movimentação térmica das vigas pode provocar, contudo, fissuração aparente em pilares; este facto pode ocorrer principalmente quando a estrutura não possui juntas de dilatação ou quando as mesmas foram mal projectadas. A dilatação térmica de vigas pode provocar nas extremidades dos pilares fissuras ligeiramente inclinadas.

Já com maior probabilidade de ocorrência, a movimentação térmica da estrutura pode causar destacamentos entre as alvenarias e o reticulado estrutural, e mesmo a incidência de fissuras de corte nas extremidades das alvenarias (fig. 7).

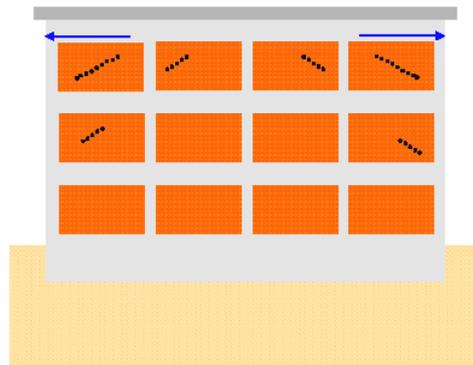


Figura 7 - Fissuras de corte nas alvenarias, provocadas pela movimentação térmica da estrutura

5.4.2.3. Movimentações térmicas em muros

Os muros muito extensos geralmente apresentam fissuras devidas a movimentações térmicas, sendo essas fissuras, tipicamente verticais, com aberturas da ordem de 2 a 3 mm. Em função da natureza dos componentes de alvenaria, as fissuras manifestam-se a cada 4 ou 5 m, podendo ocorrer nos encontros da alvenaria com os pilares ou mesmo no corpo da alvenaria, conforme ilustrado na figura 8.

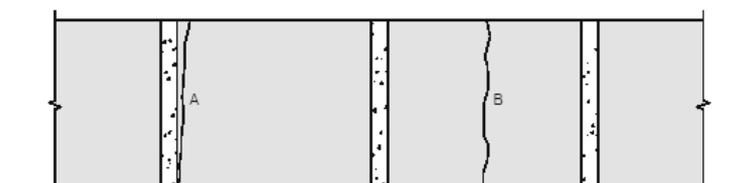


Figura 8 - Fissuras verticais causadas por movimentações térmicas: a) destacamento entre alvenaria e pilar, b) fissura no corpo da alvenaria



As fissuras provocadas pelas movimentações térmicas normalmente iniciam-se na base do muro, em razão das restrições que a fundação oferece à sua livre movimentação. Em função da resistência à tracção da argamassa de assentamento e dos componentes de alvenaria as fissuras poderão acompanhar as juntas verticais de assentamento ou mesmo estenderem-se através dos componentes de alvenaria (figuras 9 e 10).

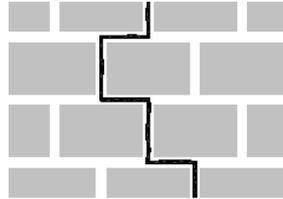


Figura 9 - Fissura vertical: a resistência à tracção dos componentes de alvenaria é superior à resistência à tracção da argamassa ou à tensão de aderência argamassa/blocos

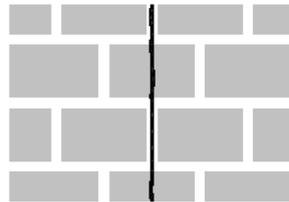


Figura 10 - Fissura vertical: a resistência à tracção dos componentes de alvenaria é igual ou inferior à resistência à tracção da argamassa ou à tensão de aderência argamassa/blocos

5.4.3. Fissuração causada por movimentações higroscópicas

As mudanças higroscópicas provocam variações dimensionais nos materiais porosos que integram os elementos e componentes da construção. O aumento do teor de humidade produz uma expansão do material enquanto que a diminuição desse teor provoca uma contracção. No caso da existência de vínculos que impeçam ou restrinjam essas movimentações poderão ocorrer fissuras nos elementos e componentes do sistema construtivo.

A humidade pode ter acesso aos materiais de construção através de diversas vias:

- Humidade resultante da produção dos componentes. Na fabricação de componentes construtivos à base de ligantes hidráulicos emprega-se geralmente uma quantidade de água superior à necessária para que ocorram as reacções químicas de hidratação. A água em excesso permanece em estado livre no interior do componente e, ao evaporar, provoca a contracção do material.
- Humidade proveniente da execução da obra. É usual humedecerem-se componentes de alvenaria no processo de assentamento, ou mesmo painéis de alvenaria que receberão argamassas de revestimento; esta prática é correcta pois visa impedir a absorção brusca de água das argamassas, o que viria prejudicar a aderência com os componentes de alvenaria ou mesmo as reacções de hidratação do cimento. Mas nesta operação de humedecimento poder-se-á elevar o teor de humidade dos componentes de alvenaria a valores muito acima da humidade higroscópica de equilíbrio, originando-se uma expansão do material. A água em



excesso, a exemplo do que foi dito anteriormente, tenderá a evaporar-se, provocando uma contracção do material.

- Humidade do ar ou proveniente de fenómenos meteorológicos. O material poderá absorver água da chuva antes mesmo de ser utilizado na obra, durante o transporte até à obra ou por armazenagem desprotegida no estaleiro. Durante a vida da construção, as faces de seus componentes voltadas para o exterior poderão absorver quantidades consideráveis de água da chuva ou, em algumas regiões, até mesmo da neve. Também a humidade presente no ar pode ser absorvida pelos materiais de construção, quer sob a forma de vapor, quer sob a de água líquida (condensação do vapor sobre as superfícies mais frias da construção).
- Humidade do solo. A água presente no solo poderá ascender por capilaridade à base a construção, desde que os diâmetros dos poros capilares e o nível do lençol de água assim o permitam. Não havendo impermeabilização eficiente entre o solo e a base da construção, a humidade terá acesso aos seus componentes, podendo trazer sérios inconvenientes a pisos e paredes do andar térreo.

5.4.3.1. Configurações típicas de fissuração em paredes de alvenaria provocadas por movimentações higroscópicas

Sendo constituídas por materiais porosos, e portanto com capacidade de absorção de água, o comportamento das alvenarias será influenciado pelas movimentações higroscópicas desses materiais, que ocorrerão sempre que houver um aumento da humidade (provocando expansões da alvenaria) ou uma diminuição da humidade dos materiais (provocando contracções da alvenaria). Em função da intensidade desses movimentos, função por sua vez das propriedades dos materiais e do grau de exposição à humidade, da capacidade de acomodação aos movimentos (inversamente proporcionais ao módulo de deformação da alvenaria) e do grau de restrição imposto às movimentações, poderão desenvolver-se nas alvenarias tensões de considerável magnitude, levando-a à fissuração.

Em edifícios com paredes muito longas, onde, por exemplo, não foram adequadamente projectadas juntas de movimentação, poderão ocorrer fissuras resultantes das movimentações higroscópicas referidas. Tais fissuras, pronunciadamente verticais, poderão ocorrer de forma regular no corpo das paredes ou mesmo nos cunhais dos edifícios, (fig.11).

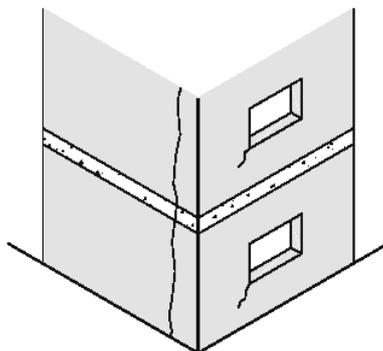


Figura 11 - Fissuração vertical da alvenaria no cunhal da obra provocada por movimentações higroscópicas



A expansão das alvenarias por higroscopicidade ocorrerá com maior intensidade nos locais da obra mais sujeitas à acção da humidade, como por exemplo: cantos desabrigados, platibandas (onde poderá ocorrer inclusive empoçamento de água no encontro entre a laje de cobertura e a platibanda), base das paredes (onde poderão ocorrer respingos e empoçamento de água ou mesmo ascensão da humidade do solo por capilaridade, em fundações mal impermeabilizadas), etc., em alvenarias pouco carregadas (caso típico de casas térreas) a expansão diferenciada entre fiadas de blocos ou tijolos pode provocar, por exemplo, a ocorrência de fissuras horizontais na base das paredes, (fig. 12).

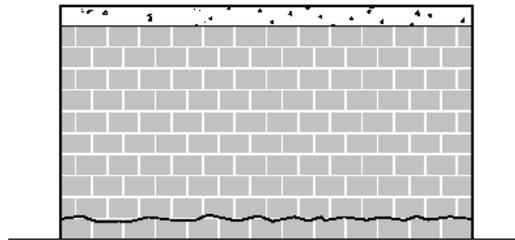


Figura 12 - Fissuração horizontal na base da alvenaria por movimentações higroscópicas diferenciadas: as fiadas inferiores, mais sujeitas à humidade, apresentam maior expansão em relação às fiadas superiores

5.4.4. Fissuração causada pela actuação excessiva de cargas

Considera-se actuação excessiva de cargas, uma sollicitação externa, prevista ou não em projecto, capaz de provocar a fissuração de um componente com ou sem função estrutural.

5.4.4.1. Configurações típicas de fissuração em paredes de alvenaria devidas à actuação excessiva de cargas

Em tramos contínuos de alvenarias, sollicitadas por sobrecargas uniformemente distribuídas, podem surgir dois tipos característicos de fissuras:

- Fissuras verticais (caso mais típico), provenientes da deformação transversal da argamassa sob acção das tensões de compressão, ou da flexão local dos componentes da alvenaria.

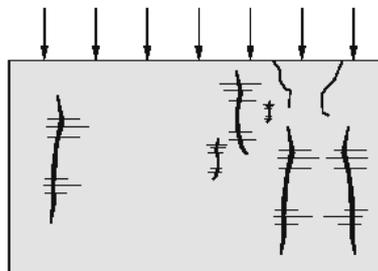


Figura 13 - Fissuras verticais causadas por movimentações térmicas: a) destacamento entre alvenaria e pilar, b) fissura no corpo da alvenaria



- Fissuras horizontais, provenientes da ruptura por compressão dos componentes de alvenaria ou da própria argamassa de assentamento, ou ainda, de solicitações de flexão axial da parede (fig. 14).



Figura 14 - Fissuras horizontais na alvenaria provenientes da actuação excessiva de cargas

Além da fissuração da parede carregada, outros fenómenos poderão ocorrer, no caso de alvenarias constituídas por blocos cerâmicos estruturais, com furos dispostos verticalmente. A deformação transversal da argamassa de assentamento poderá provocar a ruptura por tracção de nervuras internas dos blocos, conforme já exposto anteriormente. Nessa hipótese, além de fissuras verticais, ocorrerão destacamentos de paredes externas dos blocos.

A actuação excessiva de cargas localizadas (concentradas) também pode provocar a ruptura dos componentes de alvenaria na região de aplicação da carga e/ou o aparecimento de fissuras inclinadas a partir do ponto de aplicação (fig. 15). Em função da resistência à compressão dos componentes de alvenaria é que poderá predominar uma ou outra das anomalias citadas.

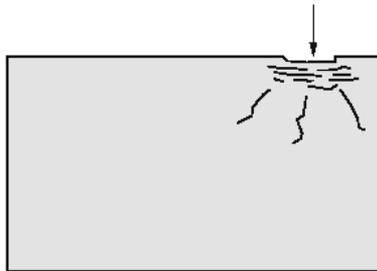


Figura 15 - Ruptura localizada da alvenaria sob o ponto de aplicação da carga e propagação de fissuras a partir desse ponto

Nos painéis de alvenaria onde existem aberturas, as fissuras formam-se a partir dos vértices dessa abertura e sob o peitoril. Teoricamente, em função das isostáticas de compressão, a configuração das fissuras de uma parede apoiada sobre suporte indeformável é a apresentada na figura 16.

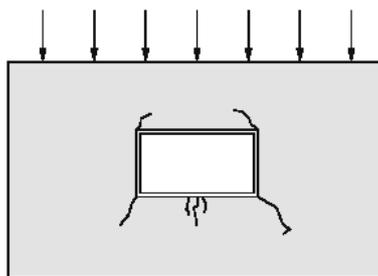


Figura 16 - Fissuração teórica no contorno de abertura, em parede solicitada por actuação excessiva de cargas



Essas fissuras, entretanto, poder-se-ão manifestar segundo diversas configurações, em função da influência de uma gama enorme de factores intervenientes, tais como: dimensões do painel de alvenaria, dimensões da abertura, posição que a abertura ocupa no painel, anisotropia dos materiais que constituem a alvenaria, dimensões e rigidez de vergas e contravergas etc. A maior deformação da alvenaria e a eventual deformação do suporte nos tramos mais carregados da parede, fora das aberturas, originam fissuras com as configurações indicadas na figura 17.

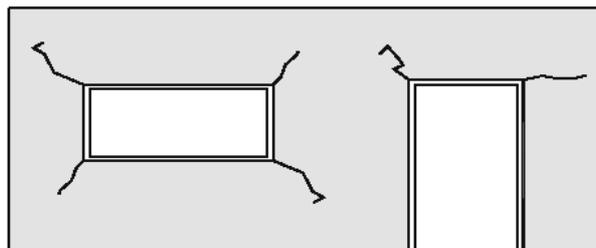


Figura 17 - Fissuração típica (real) nos cantos das aberturas, sob actuação excessiva de cargas

5.4.5. Fissurações causadas por deformação excessiva da estrutura de suporte das alvenarias

Vigas e lajes deformam-se naturalmente sob acção do peso próprio, das demais cargas permanentes e acidentais e mesmo sob efeito da retracção e da deformação lenta do betão.

Os componentes estruturais admitem flechas que podem não comprometer em nada a sua própria estética, a estabilidade e a resistência da construção. Tais flechas, entretanto, podem ser incompatíveis com a capacidade de deformação de paredes ou outros componentes que integram os edifícios.

Ao que tudo indica, as alvenarias são os componentes da obra mais susceptíveis à ocorrência de fissuras pela deformação do suporte. Pfeffermann realizou estudos com alvenarias de tijolos de barro, paredes com 7,50 m de comprimento e 2,50 m de altura, constatando o aparecimento das primeiras fissuras na alvenaria quando a flecha da viga suporte era de apenas 6,54 mm, ou seja, 1/1150. O autor cita ainda que tem constatado o aparecimento de fissuras nas alvenarias mesmo com flechas da ordem de 1/1500.

O REBAP condiciona a flecha máxima ao menor dos valores: $L/400$ (longo prazo) e 1.5 cm no caso da existência de paredes divisórias inferiormente. As prescrições belgas, bastante severas, recomendam que a flecha relativa instantânea de lajes sobre as quais se apoiam paredes não ultrapasse 1/2500. O Conseil International du Bâtiment, recomenda que a flecha máxima em lajes de piso não ultrapasse a 1/1000.

Não existe um consenso sobre os valores admissíveis das flechas, para vigas ou lajes onde serão apoiadas alvenarias. Os valores anteriormente comentados são, contudo, muito inferiores aos de flechas admitidas pelo REBAP. Existe, na realidade, a necessidade de que sejam efectuados prolongados estudos práticos, através dos quais se possam compatibilizar as deformações das estruturas com as dos demais componentes da construção.



5.5.1. Configurações típicas de fissuração em paredes de alvenaria de tijolo por deformação excessiva do suporte

Os componentes do edifício mais susceptíveis à flexão de vigas e lajes são, como já foi dito anteriormente, as alvenarias. Para paredes de vedação sem aberturas de portas e janelas existem três configurações típicas de fissuras.

- O componente de apoio deforma-se mais que o componente superior (fig.18).

Surtem fissuras inclinadas nos cantos superiores da parede, oriundas do carregamento não uniforme da viga superior sobre o painel, já que existe a tendência de ocorrer maior carregamento junto aos cantos das paredes. Na parte inferior do painel normalmente surge uma fissura horizontal; quando o comprimento da parede é superior à sua altura aparece o efeito de arco e a fissura horizontal desvia-se em direcção aos vértices inferiores do painel (normalmente o que se pode observar, contudo, é somente o troço horizontal da fissura). Para alvenarias com boa resistência à tracção e ao corte, o painel pode permanecer apoiado nas extremidades da viga (efeito de arco), resultando um destacamento entre a base da alvenaria e a viga suporte.

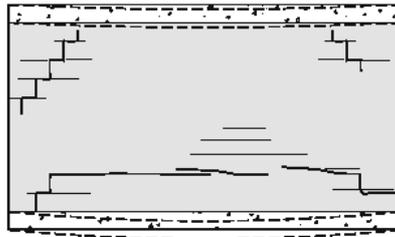


Figura 18 - Fissuras em parede de vedação: deformação do suporte maior que a deformação da viga superior

- O componente de apoio deforma-se menos que o componente superior (fig.19).

Neste caso, a parede comporta-se como viga, resultando fissuras semelhantes àsquelas apresentadas para o caso de flexão de vigas de betão armado.

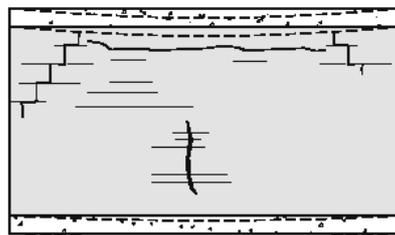


Figura 19 - Fissuras em parede de vedação: deformação do suporte inferior à deformação da viga superior

- O componente de apoio e o componente superior apresentam deformações aproximadamente iguais.

Nessa circunstância a parede é submetida principalmente a tensões de corte, comportando-se o painel de maneira semelhante a vigas de betão deficientemente armadas ao esforço transversal. As



fissuras iniciam-se nos vértices inferiores do painel, propagando-se aproximadamente a 45°, conforme ilustrado na figura 20.



Figura 20 - Fissuras em parede de vedação: deformação do suporte idêntica à deformação da viga superior

Nas alvenarias de compartimentação com presença de aberturas, as fissuras poderão ganhar configurações diversas, em função da extensão da parede, da intensidade da movimentação, do tamanho e da posição dessas aberturas; em geral, podem ser observadas manifestações idênticas àquelas representadas na figura 21.

Um caso bastante típico de fissuração provocada pela falta de rigidez estrutural é aquele que, se observa nas regiões em balanço de vigas. A deformação da viga na região do balanço normalmente provoca o aparecimento de fissuras de corte na alvenaria e/ou o destacamento entre a parede e a estrutura, (fig. 22).

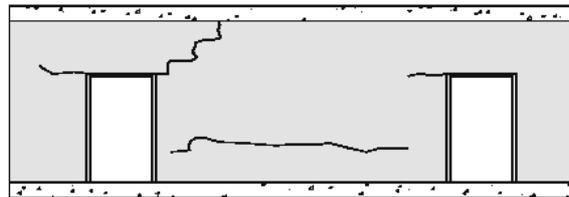


Figura 21 - Fissuras em parede com aberturas, causadas pela deformação dos componentes estruturais

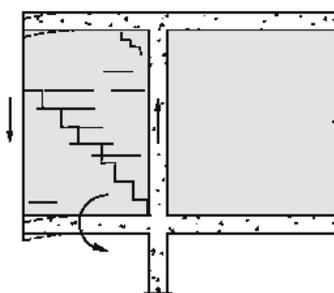


Figura 22- Fissuras na alvenaria, provocadas por deformação da viga na região do balanço

A ocorrência de flechas diferenciadas nos balanços das vigas de dois pavimentos sucessivos poderá introduzir esforços de flexão nas paredes de fachada, apoiadas em vigas perimetrais por sua vez apoiadas nas extremidades das vigas em balanço, situação em que normalmente aparecem fissuras horizontais à altura dos peitoris das janelas (região da parede enfraquecida pela inserção das



aberturas). Tais flechas poderão ainda provocar a compressão de paredes de vedação apoiadas sobre as vigas de bordadura.

Outro caso típico de fissuração, é aquele provocado pela excessiva deformação de lajes ancoradas nas paredes, introduzindo nas mesmas esforços de torção; sob essa solicitação, desenvolve-se próxima à base da parede uma fissura horizontal, que se estende praticamente por toda a parede (fig. 23).

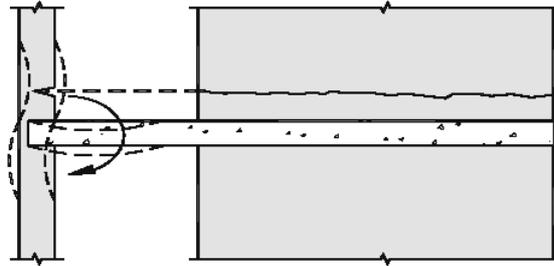


Figura 23 - Fissura horizontal na base da parede provocada pela deformação excessiva da laje

5.4.6. Fissuras causadas por assentamentos de apoio

A capacidade de carga e a deformabilidade dos solos não são constantes, sendo função dos seguintes factores mais importantes:

- Tipo e estado do solo (areia nos vários estados de compactidade ou argilas nos vários estados de consistência);
- Disposição do lençol freático;
- Intensidade da carga, tipo de fundação (directa ou profunda) e cota de apoio da fundação;
- Dimensões e formato da sapata (sapatas quadradas, rectangulares, circulares);
- Interferência de fundações vizinhas.

Os solos são constituídos basicamente por partículas sólidas, água, ar e, não raras vezes, material orgânico. Sob efeito de cargas externas todos os solos, em maior ou menor proporção, deformam-se. Se estas deformações forem diferenciadas ao longo do plano das fundações de uma obra, tensões de grande intensidade serão introduzidas na estrutura da mesma, podendo gerar o aparecimento de fissuras.

Se o solo for uma argila dura ou uma areia compacta, os assentamentos decorrem essencialmente de deformações por mudança de forma, função da carga actuante e do módulo de deformação do solo. No caso de solos moles os assentamentos são basicamente provenientes da sua redução de volume, já que a água presente no bolbo de tensões das fundações tenderá a percolar para regiões sujeitas a pressões menores.

Para as fundações directas a intensidade dos assentamentos dependerá não só do tipo de solo, mas também das dimensões do componente da fundação. Para as areias, onde a capacidade de carga e o módulo de deformação aumentam rapidamente com a profundidade, existe a tendência de que os



assentamentos ocorram com mesma magnitude, tanto para sapatas estreitas quanto para sapatas mais largas.

Na realidade, segundo Bowles, o módulo de deformação, E_s , do solo e a própria profundidade de influência da fundação variam com uma série de propriedades do solo, principalmente com a estratificação de camadas, a massa específica e eventuais estados de pré-compressão. Em virtude disso, a estimativa do verdadeiro módulo de deformação do solo e, em consequência, a avaliação do assentamento real que ocorrerá na sapata carregada é tarefa bastante difícil.

O comportamento de um edifício mediante a ocorrência de assentamentos diferenciais depende de interações extremamente complexas entre a sua super estrutura, a estrutura da fundação e o solo de suporte. Nesse sentido, uma super estrutura poderá ter comportamento flexível quando apoiada sobre um solo pouco deformável, ao passo que tenderá a comportar-se como um corpo rígido se apoiada em solo muito deformável.

Em geral, mediante a acção de assentamentos diferenciais, há grande probabilidade das estruturas terem um comportamento flexível, levando ao aparecimento nas paredes que lhes estão vinculadas, de tensões de corte. Por outro lado, as alvenarias autoportantes, não armadas, apresentam comportamento muito mais próximo da rigidez.

5.4.6.1. Configurações típicas de fissuração em paredes de alvenaria de tijolo provocadas por assentamentos de apoio

De maneira geral, as fissuras provocadas por assentamentos diferenciais são inclinadas, confundindo-se às vezes com as fissuras provocadas por deformação de componentes estruturais. Em relação às primeiras, contudo, apresentam aberturas geralmente maiores, inclinando-se em direcção ao ponto onde ocorreu o maior assentamento. Outra característica das fissuras provocadas por assentamentos é a presença de esmagamentos localizados, em forma de escamas, dando indícios das tensões de corte que as provocaram; além disso, quando os assentamentos são acentuados, observa-se nitidamente uma variação na abertura da fissura.

Os assentamentos diferenciais podem provir de carregamentos não uniformes; nesse caso, as fissuras apresentarão as configurações indicadas nas figuras 24 e 30.

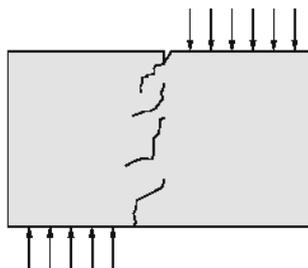


Figura 24 - Fundações contínuas solicitadas por carregamentos não uniformes: o tramo mais carregado apresenta maior assentamento, originando fissuras de corte no painel

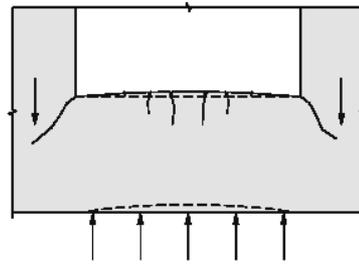


Figura 25 - Fundações contínuas solicitadas por carregamentos não uniformes: sob as aberturas surgem fissuras de flexão

Para edifícios uniformemente carregados, o CSTC aponta diversos factores que podem conduzir a assentamentos diferenciais e, conseqüentemente, à fissuração do edifício. Nas figuras 25 a 27 são ilustrados alguns desses casos.

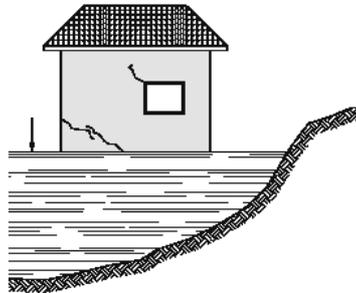


Figura 25 - Assentamento diferencial, por consolidações distintas do aterro carregado

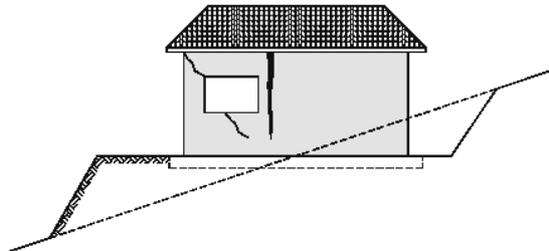


Figura 27 - Fundações assentadas sobre seções de corte e aterro; fissuras de corte nas alvenarias

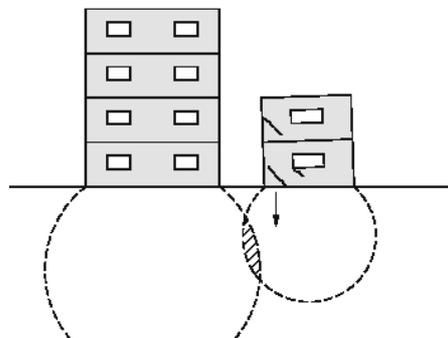


Figura 28 - Assentamento diferencial no edifício menor pela interferência no seu bolbo de tensões, em função da construção do edifício maior

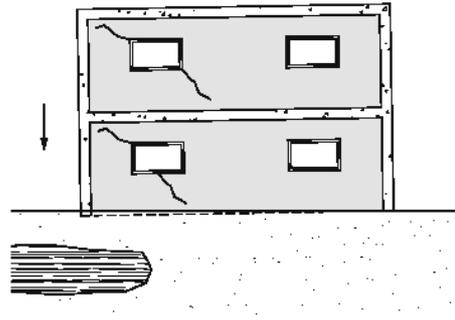


Figura 29 - Assentamento diferencial, por falta de homogeneidade do solo

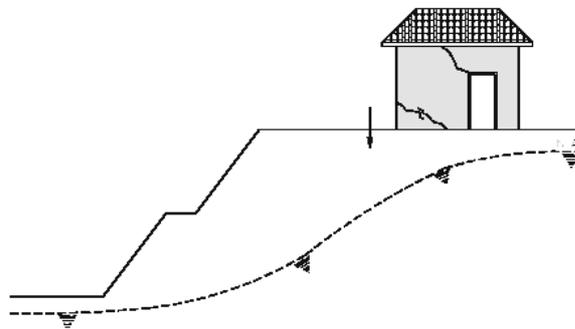


Figura 30 - Assentamento diferencial, por rebaixamento do lençol freático; foi cortado o terreno à esquerda do edifício

A construção de edifícios dotados de um corpo principal, mais carregado, e de um corpo secundário menos carregado, com um mesmo sistema de fundação, invariavelmente conduz a assentamentos diferenciais entre as duas partes, surgindo fissuras verticais entre elas e, não raras vezes, fissuras inclinadas no corpo menos carregado. A adoção de sistemas diferentes de fundação numa mesma obra, conforme representado na figura 31, provoca o mesmo problema.

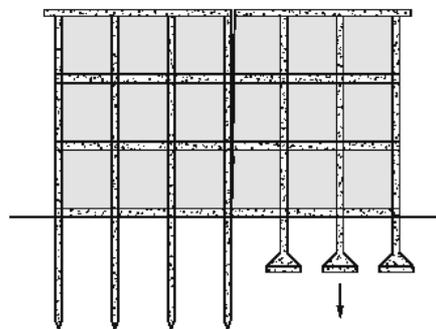


Figura 31 - Diferentes sistemas de fundação na mesma construção: assentamentos diferenciais entre os sistemas, com a presença de fissuras de corte no corpo do edifício



Em edifícios com estrutura reticulada os assentamentos diferenciais da fundação induzem a fissuração por tracção diagonal das paredes de vedação: as fissuras inclinam-se na direcção do pilar que sofreu maior assentamento, (fig. 32).

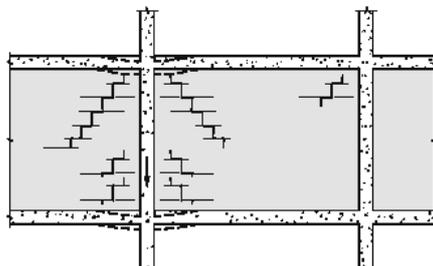


Figura 32 - Assentamentos diferenciais entre pilares: surgem fissuras inclinadas na direcção do pilar que sofreu maior assentamento

As variações de humidade do solo, principalmente no caso de argilas, provocam alterações volumétricas e variações no seu módulo de deformação, com possibilidade de ocorrência de assentamentos localizados. Segundo o BRE, estes assentamentos, bastante comuns por causa da saturação do solo pela penetração de água de chuva na adjacência da fundação, podem também ocorrer pela absorção de água por vegetação localizada próxima do edifício, (fig. 33).

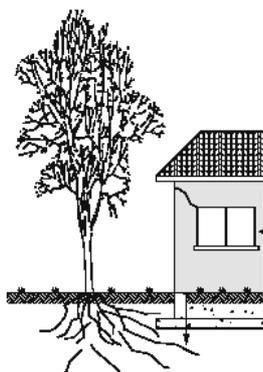


Figura 33 - Fissura provocada por assentamento de apoio provocado pela contração do solo, devida à retirada de água por vegetação próxima

Além das fissurações anteriormente tipificadas, os assentamentos diferenciais poderão provocar fissuras com outras configurações, em função de diversas variáveis: geometria das edificações e/ou do componente, tamanho e localização de aberturas, grau de rigidez da construção (emprego de cintagem, vergas e contra-vergas), eventual presença de juntas no edifício, etc.

5.4.7. Fissuras causadas pela retracção de produtos à base de cimento

A hidratação do cimento consiste na transformação de compostos anidros mais solúveis, em compostos hidratados menos solúveis, ocorrendo na hidratação a formação de uma camada de gel em torno dos grãos dos compostos anidros. Para que ocorra a reacção química completa entre a



água e os compostos anidros é necessário cerca de 22 a 32% de água em relação à massa do cimento. Para a constituição do gel é necessária uma quantidade adicional em torno de 15 a 25%. Em média, uma relação água/cimento de aproximadamente 0,40 é suficiente para que o cimento se hidrate completamente. Em função da trabalhabilidade necessária, os betões e argamassas normalmente são preparados com água em excesso, o que vem acentuar a retracção. Na realidade, é importante distinguir as três formas de retracção que ocorrem num produto preparado com cimento, ou seja: retracção química, retracção de secagem e a retracção por carbonatação.

Dos factores que intervêm na retracção de um produto à base de cimento, a relação água/cimento é sem dúvida o que mais influencia a retracção de um produto constituído por cimento, ultrapassando inclusive a própria influência do consumo de cimento. A figura 34 ilustra a importância relativa do consumo de cimento e do consumo de água na retracção de betões, conforme estudos efectuados pelo LNEC.

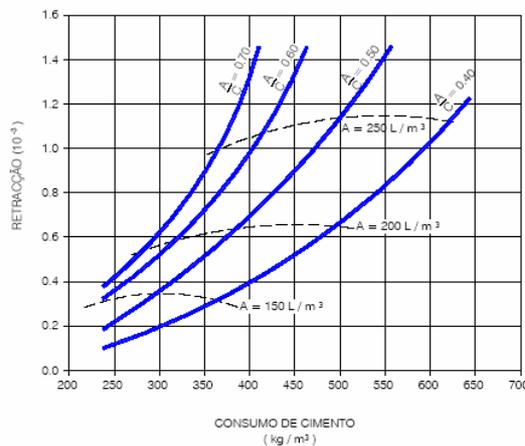


Figura 34 - Retracção do betão em função do consumo de cimento e da relação água/cimento

Outro factor fundamental na magnitude da retracção desenvolvida é a humidade relativa do ar, do local em que a peça betonada ficará exposta. Em relação à humidade relativa de 50%, normalmente adoptada para a determinação em laboratório da retracção de betões e argamassas, o BRS fez um estudo para as retracções desenvolvidas em betões (fig. 35):

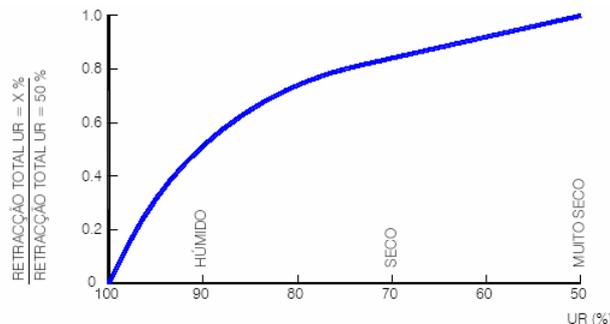


Figura 35 - Retracção de betões em função da humidade relativa do ar



A retracção de um betão ou argamassa, mantida constante a humidade relativa do ar, é bem mais acelerada nas primeiras idades, atingindo-se cerca de 50% da retracção total com apenas sete dias de condicionamento. Além dos factores internos à massa (relação água/cimento, granulometria do agregado etc.) e das condições ambientais, a forma geométrica da peça influi decisivamente na grandeza da retracção. Assim, quanto maior for a área exposta da peça por volume da peça, maior será a retracção desenvolvida.

5.4.7.1. Configurações típicas de fissuração em paredes de alvenaria provocadas pela retracção das estruturas de betão armado

Consumos de água excepcionalmente altos, identificados pela coloração esbranquiçada que assume o betão após a secagem, produzirão fissuras com diferentes configurações, inclusive fissuras em forma de mapa, similares àquelas que ocorrem com maior frequência nas argamassas de revestimento.

As peças de uma estrutura reticulada de betão armado poderão ser solicitadas por elevadas tensões provenientes da retracção do betão. Nas estruturas porticadas, a retracção das vigas superiores poderá induzir a fissuração horizontal dos pilares mais extremos (fig. 36).

Por outro lado, estas forças horizontais desenvolvidas, poderão produzir nas alvenarias de preenchimento dos vãos dos pórticos, tensões de corte, que vencida a capacidade resistente destas, darão origem a fissuras (fig. 37).

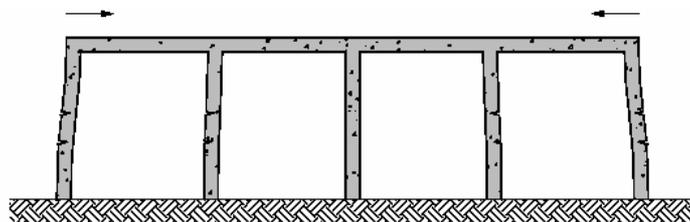


Figura 36 - Fissuras horizontais nos pilares, devidas à retracção do betão das vigas superiores

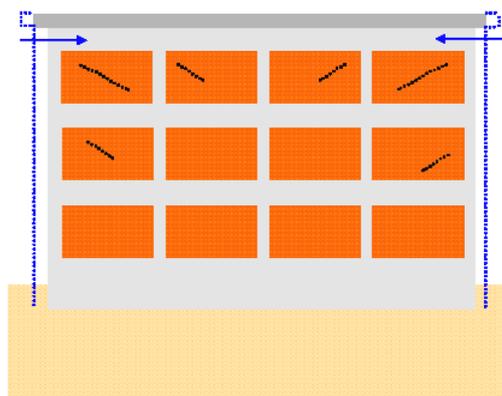


Figura 37 - Fissuras devido ao corte em paredes por retracção da estrutura



5.4.7.2. Configurações típicas de fissuração em paredes de alvenaria provocadas pela retracção de lajes de betão armado

O efeito mais nocivo da retracção de lajes de betão armado será a fissuração de paredes solidárias à laje (fig. 38).

Estudos desenvolvidos na Suécia, indicam que fissuras horizontais, oriundas da retracção de lajes, poderão aparecer também em paredes de andares intermédios, de edifícios constituídos por alvenaria estrutural; nesse caso, as fissuras poderão surgir imediatamente abaixo da laje ou nos cantos superiores de caixilhos, conforme representado na figura 39.

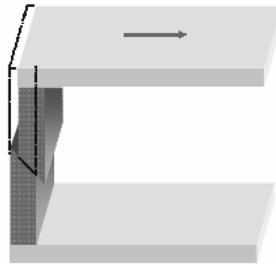


Figura 38 - Rotura por corte numa parede por retracção da laje

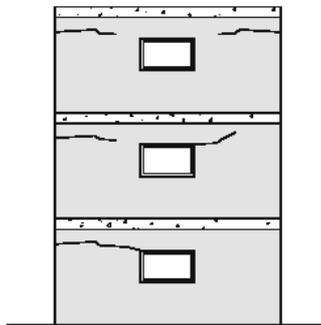


Figura 39 - Fissuras em parede exterior, causadas pela retracção de lajes intermédias

5.4.7.3. Configurações típicas de fissuração em paredes de alvenaria provocadas pela retracção de paredes e muros

A retracção de paredes e muros como um todo, e mesmo a retracção diferenciada entre componentes de alvenaria e argamassa de assentamento podem provocar fissuras e destacamentos semelhantes aos casos analisados nos números 5.4.2 e 5.4.3 ou seja, o mecanismo de formação das fissuras é idêntico àquele verificado para contracções provocadas por variações de temperatura e de humidade. No entanto o problema mais significativo, decorrente da retracção de argamassa de assentamento de alvenarias, é aquele que se verifica nas fachadas constituídas por alvenaria aparente, onde a penetração de água através de fissuras ou destacamentos gera uma série de patologias correlacionadas (manchas de humidade, bolor, lixiviação, etc.).



Retracções consideráveis, devidas a uma deficiente composição da argamassa e/ou da inadequada execução dos trabalhos (assentamento de blocos muito ressequidos, por exemplo), em geral dão origem a microfissuras e a destacamentos quase imperceptíveis a olho nu. Algumas vezes, no entanto, o problema assume maiores proporções.

O assentamento plástico do betão, conforme exposto por Johnson, poderá provocar o aparecimento de fissuras internas no betão, imediatamente abaixo de secções densamente armadas.

O assentamento plástico da argamassa de assentamento provocará o abatimento da alvenaria recém-construída. Caso o refechamento da junta da parede com o componente estrutural superior tenha sido executado de maneira precoce ocorrerá o destacamento entre a alvenaria e o componente superior (viga ou laje), conforme representado na figura 40.

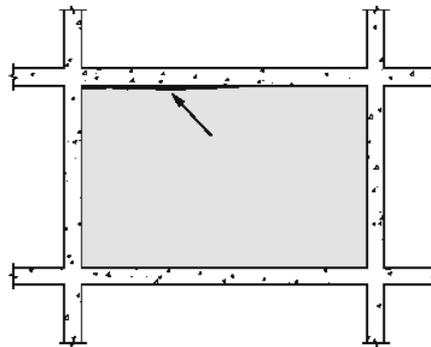


Figura 40 - Destacamento provocado pelo refechamento precoce da junta da parede com o componente estrutural superior

A retracção de alvenarias, além de destacamentos nas regiões de ligação com componentes estruturais, induzirá a formação de fissuras no próprio corpo da parede; estas poderão ocorrer nos encontros entre paredes, no terço médio de paredes muito extensas, em regiões onde ocorra uma abrupta mudança na altura ou na largura da parede ou mesmo nas secções enfraquecidas pela presença de tubagens, (fig. 41).

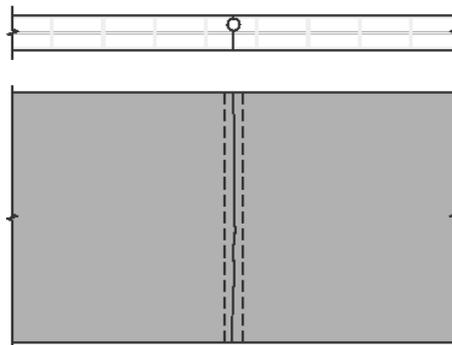


Figura 41 - Fissura de retracção na alvenaria, na secção enfraquecida pela presença de tubagens



5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As manifestações patológicas nas alvenarias podem decorrer de falhas intrínsecas dos seus materiais constituintes (blocos ou tijolos, argamassas, colas, etc.), na armazenagem inadequada desses materiais em estaleiro (exposição à chuva, à insolação ou a elementos contaminantes), de falhas de execução e de deficiências de projecto. Neste último aspecto, os principais problemas residem na aplicação indiscriminada de técnicas construtivas tradicionais, válidas portanto para alvenarias tradicionais, às alvenarias modernas e à inexistência de detalhes construtivos apropriados, que deverão ser projectados para as novas correntes construtivas, levando em conta a actual tendência da flexibilidade das estruturas, a velocidade requerida para as obras, o comportamento físico dos novos materiais empregues no fabrico dos elementos (blocos ou tijolos), etc.

Os problemas patológicos que se manifestam nas alvenarias podem também ser provocados por falhas localizadas em outros componentes ou elementos da obra, conforme foi analisado anteriormente no tocante à excessiva deformabilidade das estruturas de betão armado, às diferentes formas de infiltração de água na parede (pelas fundações, cobertura, caixilharia ou instalações), aos assentamentos de apoio, às dilatações térmicas das estruturas de betão, etc.

Dessa forma, os problemas visualizados nas paredes às vezes não passam de meros efeitos, o que não desobriga o “projectista” da alvenaria, seja ela estrutural ou não, a prever o seu real comportamento quando actua integradamente com todos os demais elementos do edifício.

Em termos de patologia, há como agravante o facto de os problemas frequentemente se interrelacionarem: através de fissuras, por exemplo, ocorre penetração de água, que provoca lixiviação, eflorescências e /ou bolor, que redundam em movimentos higroscópicos dos materiais que por sua vez irão incorrer na formação de novas fissuras, etc.

A falta da prática de manutenção regular dos nossos edifícios também implica degenerescências precoces, pela sobreposição ou pelo desencadeamento de novos problemas, isto é, pequenos problemas perfeitamente possíveis de ocorrerem nas obras (infiltrações em telhados, insuficiência de juntas de revestimentos, etc.) podem transformar-se em problemas generalizados quando não corrigidos a tempo.

O diagnóstico correcto das anomalias é o elemento fundamental para o estabelecimento das correspondentes medidas preventivas e para a decisão sobre os prováveis processos de correcção, que a princípio só serão eficientes na medida em que se conseguir combater efectivamente a causa dos problemas. Pode-se, por exemplo, num caso de assentamento de apoio, consertar repetidas vezes uma fissura presente na alvenaria, sem se conseguir qualquer êxito.

Para o estabelecimento de um diagnóstico correcto devem ser efectuados levantamentos globais (locais da obra onde aparece o problema, eventual manifestação do problema em componentes ou obras vizinhas, presença de outras patologias na região em análise, etc.), sendo necessário também analisar-se o histórico dos acontecimentos que poderiam relacionar-se com a patologia em questão (época de execução da obra, eventual sazonalidade na manifestação do problema, tentativas de reparação etc.).



Em função da gravidade do problema ou do grau de dificuldade em obter-se um diagnóstico confiável, pode-se ainda recorrer à análise do projecto, à revisão de cálculos e à execução de ensaios específicos, tanto em laboratório como na própria obra.

5.6. REFERÊNCIAS

- [1] Pereira, M. F. P. (2005), “Anomalias em Paredes de Alvenaria sem função Estrutural”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães.
- [2] APICER (2000), “ Manual de Alvenaria de Tijolo”, Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica, Coimbra
- [3] Lourenço, P, Sousa H. (2002), “Paredes de Alvenaria – Situação Actual e Novas Tecnologias, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto.

OBS: Estes apontamentos resultaram da adaptação do texto integral da Tese sobre “Anomalias em Paredes de Alvenaria sem função Estrutural”, de Manuel Fernando Paulo Pereira.