

Hiago Simões Duarte

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Norte Shopping)

Melissa Barbosa

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Norte Shopping)

Bruno Matos de Farias

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Norte Shopping)

RESUMO

Mesmo diante do avanço tecnológico e normativo na indústria da construção civil, manifestações patológicas, como, fissuras, continuam ocorrendo em diversas estruturas de concreto armado. As estruturas de concreto armado interagem com o ambiente a que estão inseridas, logo, podem sofrer perda de desempenho e redução de vida útil. Fatores, como, o uso de materiais de baixa qualidade, projetos mal concebidos e a falta do controle durante os processos de execução, podem acelerar o processo de deterioração dessas estruturas. Para que não ocorra perda significativa das estruturas, deve-se tentar evitar os sintomas patológicos do concreto armado, fazendo o uso de correta prevenção, diagnóstico e tratamento. As fissuras presentes nas estruturas de concreto armado observadas em uma residência localizada no município de Saquarema, estado do Rio de Janeiro, motivaram a realização deste trabalho, que foi desenvolvido com o objetivo de apresentar a importância de entender suas causas, origens e práticas de manutenção, através de revisão bibliográfica. O trabalho traz uma investigação patológica em diferentes estruturas de concreto armado de uma residência em Saquarema – RJ, diagnosticando os problemas através de inspeção visual e sugerindo intervenções terapêuticas adequadas a cada caso.

Palavras-chave: Patologia no concreto armado; Diagnóstico; Intervenção terapêutica.

INTRODUÇÃO

A norma brasileira de desempenho de edificações, NBR 15575 (ABNT, 2013), estabelece como vida útil de um imóvel o período em que a construção e seus componentes realizem as funções para as quais foram edificadas e respondam aos níveis de desempenho presumidos. O satisfatório desempenho das habitações implica que aspectos como segurança para uso e operação, estanqueidade, conforto térmico e acústico, higiene e funcionalidade sejam assegurados (ABNT, 2013).

Todavia, por vários motivos, edificações são propícias a apresentar defeitos ou vícios, denominados manifestações patológicas. Com o propósito de estudar as manifestações patológicas no concreto armado, foi gerado uma nova área de estudo, denominada de patologia do concreto armado. Caracteriza-se de maneira abrangente por patologia das estruturas, esse novo campo da engenharia das construções que se encarrega das origens, tipos de manifestação, consequências e mecanismo de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas (SOUZA e RIPPER, 1998).

De acordo com Souza e Ripper (1998), o aparecimento dos problemas patológicos indica, de forma geral, a presença de falhas no decorrer da execução e no controle de qualidade de uma ou mais etapas do processo de construção civil. Souza e Ripper (1998) esclarecem que na engenharia, patologia determina o estudo das avarias detectadas nas edificações, onde uma degradação pode suceder uma parcela de fatores, que envolvem: fadiga por tempo de uso, ausência de inspeção profissional, acidente após a geração do empreendimento, oxidação das ferragens em razão da salinidade em área litorâneas, etc. O mau desempenho das estruturas pode propiciar gastos com manutenções corretivas e em situações extremas, conduzir as edificações à ruína, ocasionando acidentes e grandes prejuízos econômicos (SILVA, 2011).

Manutenção corretiva é um termo empregue para reparar falhas e recuperar a competência funcional para qual foi definido o item projetado, elaborada em momento subsequente a sua falha (ABNT/CB-003, 1994). Nos decorrentes anos, os custos gerados com manutenções corretivas cresceram mais que os custos preliminares de construção e passaram a expressar valores significativos no decorrer da vida útil dos imóveis (POSSAN e DEMOLINER, 2013).

Entre variadas patologias, podemos mencionar as fissuras. As fissuras podem ser definidas como descontinuidades de pequena abertura impulsionadas pela ação de forças que provocam o aparecimento de tensões de tração que excedem a capacidade resistente do material que compõe a estrutura (HELENE e ANDRADE, 2010).

Conforme a NBR 9575:2003, fissura é a abertura ocasionada por ruptura de material ou componentes, com abertura inferior ou igual a 0,5 mm.

As fissuras em edificações possuem duas classificações: geométricas ou mapeadas. As geométricas são aproximadamente lineares, seguindo uma direção predominante e normalmente decorrem da movimentação diferencial do substrato (SAHADE, 2005). Já as mapeadas ocorrem em todas as direções simultaneamente, geralmente originadas pela retração do material. De acordo com Sahade (2005), quanto à atividade, as fissuras podem ser classificadas em fissuras ativas ou passivas. As fissuras ativas são as que “apresentam variações sensíveis de abertura e fechamento” (SAHADE, 2005). Já as fissuras passivas são aquelas consideradas estabilizadas, pois não apresentam variações sensíveis ao longo do tempo. Tal constatação é feita, normalmente, através da utilização de “selos” rígidos, que são gesso ou plaquetas de vidro coladas, que se rompem caso a fissura apresente variação de abertura, ou através da medição direta (fissurômetro) dessa variação (PIANCASTELLI, 1997).

O surgimento de fissuras nas edificações é uma patologia que obtém destaque por atrair de maneira imediata a atenção dos usuários (VERÇOZA, 1991). Com o surgimento de fissuras, há preocupação de que a estrutura ou componente construtivo não cumpra os seus critérios de desempenho ou que tenha a sua vida útil reduzida. A manifestação dessa patologia pode trazer pressentimento de insegurança, aflição visual e insalubridade. Para mais, pode resultar em problemas de infiltração e prejudicar a estética do imóvel. Além de tudo, pode sinalizar problemas estruturais e, a partir da entrada de umidade, afetar a durabilidade de outros sistemas da edificação (VEIGA, 1998).

As estruturas de concreto armado necessitam de cuidados e manutenções para conquistar a vida útil para o qual foram concebidas. De acordo com Cánovas (1988), a resistência e durabilidade de uma estrutura necessitam dos cuidados que se disponha com ela em todas as etapas construtivas e de utilização, desde a concepção do projeto, até as manutenções programadas para certificar a integridade dos elementos e materiais que a compõe.

Neste âmbito, o presente trabalho busca apresentar as possíveis causas e origens de fissuração no concreto armado, bem como as intervenções terapêuticas apropriadas.

Embora o concreto armado seja classificado como um material capaz de resistir a inúmeras sobrecargas e agressões do meio ambiente, ele é suscetível de patologias que podem deteriorar e comprometer sua capacidade de resistir aos esforços requisitantes. A engenharia emprega o termo patologia para fazer uma análise por meio dos tipos de causas e origens, estabelecendo e corrigindo as variadas falhas que afetam aparências estruturais e estéticas de uma edificação (CREMONINI, 1988). É imprescindível fazer um estudo minucioso sobre as causas para afastar as manifestações patológicas que acarretam a degradação dos empreendimentos. Tal estudo é de suma importância na pretensão de qualidade, que propõe a prevenção desses problemas (NAZARIO e ZANCAN, 2011).

As deficiências nas estruturas de concreto armado são consequências dos erros de projeto, falhas na execução e carência de manutenção, por meio da prevenção é possível evitar que uma pequena fissura se torne uma rachadura e venha a interferir na estrutura de maneira irreversível (SILVA, 2011).

As fissuras podem arruinar a estética, a durabilidade e as características estruturais do empreendimento (CORSINI, 2010). Averiguar, ponderar e diagnosticar essas patologias são incumbências que devem ser realizadas regularmente, de maneira que os propósitos e os resultados dessas manutenções cumpram com o seu papel, regenerando a construção sempre que houver necessidade (GRANATO, 2002).

“O material mais utilizado em estruturas é o concreto armado, entendendo-se como tal a mistura íntima de cimento, agregados, água, eventualmente aditivos e o aço que vai constituir a fibra ou nervo de que o concreto necessita para ser um material estrutural completo” (CÁNOVAS, 1988).

O uso intenso deste método é justificado pela sua adequação no que se refere à facilidade operacional (SANTOS, 2008). Porém, sua predominância não decorre de evolução natural da técnica e nem do avanço de pesquisas (SANTOS, 2008).

O concreto angariou a maior parte das atividades construtivas e das pesquisas no campo da construção no século XX. De acordo Santos (2008) o predomínio do concreto armado no Brasil foi construído pela sociedade como resultado da interação de variados fatores, como, pressão do mercado, escassez de evolução da mão de obra, carência de incentivo a pesquisas para técnicas construtivas alternativas e questões culturais da própria sociedade.

Por não ser inerte, o concreto está sujeito a alterações ao longo de sua vida útil por incumbência de interações entre os elementos que compõem os agentes internos e externos. Dessas interações podem surgir patologias que podem afetar o desempenho da estrutura. De acordo com Silva (2011), é propício que as patologias sejam fruto de projetos deficientes, de execuções mal feitas ou podem ser adquiridos ao longo da vida útil da estrutura por inexistência de manutenção adequada.

No atual cenário da construção civil, não estão sendo respeitados os prazos sugeridos em normas para as diversas etapas construtivas (NAKAMURA, 2010). A diminuição do tempo utilizado para construir, tem reduzido também o tempo utilizado para projetar e pensar nas características da obra e de seus componentes (TÉCHNE, 2011).

Em decorrência, projetam-se estruturas sem ponderar os vínculos e as características elásticas dos materiais, desconsiderando as inflexibilidades envolvidas. Por consequência, são desenvolvidas estruturas sem levar em conta a sua acomodação e movimentação (THOMAZ, 1989). Thomaz (1989) ressalta que este processo ocasiona tensões que podem ultrapassar a resistência dos materiais e seus componentes, acarretando fissuras.

A manifestação de fissuras em estruturas de concreto armado pode indicar não só problemas estruturais, como também, problemas seu estado de conservação. Caso não ocorra manutenção apropriada, a edificação passa pelo processo de envelhecimento prematuro, perdendo o seu desempenho, levando ao comprometimento de diversos fatores

de caráter estético, social e econômico, além dos riscos de segurança ao usuário (SANTOS, 2014).

As fissuras são habituais nos elementos das estruturas de concreto armado e podem se manifestar após anos, semanas ou horas, com diversas origens e causas. Diagnosticá-las nem sempre é fácil, por isso é de suma importância conhecê-las, compreender as razões do seu aparecimento, a fim de aplicar a terapia correta (CÁNOVAS, 1988).

De acordo com Souza e Ripper (1998), as fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo a avaria sucedida mais habitual, a par das deformações mais evidenciadas, que atrai a atenção dos inexperientes na área, inserindo nessa esfera, os proprietários e usuários, para o fato de que há anomalia na estrutura.

A presença de fissuras acarreta a preocupação de que a estrutura pare de cumprir seus critérios de desempenho ou que diminua sua vida útil. Dessa maneira, uma das grandes preocupações com o surgimento das manifestações patológicas em concreto armado, é a de que, boa parte das avarias possui caráter progressivo, podendo levar a estrutura a uma situação de perigo num curto prazo de tempo (CÁNOVAS, 1988).

O aparecimento de problema patológico em dada estrutura aponta, em última instância e de maneira generalizada, a presença de uma ou mais falhas no decorrer da execução de uma das etapas construtivas, além de indicar para falhas também no sistema de controle de qualidade específico a uma ou mais atividades (SOUZA e RIPPER, 1998).

A ocorrência de fissuras em estruturas de concreto armado é um problema de enorme importância, não apenas no ponto de vista econômico, ao acarretar gastos de recuperação e diminuir a vida útil das edificações, mas também, por afetar o usuário sob o ponto de vista de conforto, salubridade e satisfação psicológica dentro da habitação (MOLIN, 1988). O entendimento das causas e origens do processo patológico é essencial, não apenas para que se possa determinar a terapêutica adequada, mas também para certificar que, depois de reparada, a estrutura não volte a se deteriorar (SOUZA e RIPPER, 1998).

Cánovas (1988) certifica que a resistência e a durabilidade de uma estrutura consistem dos cuidados empregados, não somente na concepção do projeto, mas também na sua execução e posteriormente, durante o resto de sua vida, com a adequada manutenção. As estruturas de concreto devem preservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Partindo do objetivo de apontar as causas e origens do aparecimento de fissuras em estruturas de concreto armado, correlacionando as principais técnicas corretivas, este trabalho tem seu desenvolvimento pautado em revisão bibliográfica e exploração de casos de fissuração em estruturas de concreto armado localizadas em uma residência no município de Saquarema – RJ, por meio de estudo de caso.

O levantamento de dados e informações consistiu na pesquisa de dissertações, teses, monografias, artigos, sites e normas técnicas, a fim de se obter uma melhor compreensão dos conceitos da temática proposta e desenvolver base teórica sólida.

O estudo de caso consistiu em visita técnica à residência, a fim de obter informações necessárias por meio de anamnese, inspeções visuais e registros fotográficos das estruturas objeto de estudo.

Este trabalho tem como objetivo principal analisar as fissuras observadas nas estruturas de concreto armado da residência objeto de estudo de caso, localizada no município de Saquarema, estado do Rio de Janeiro, buscando identificar suas causas, direcionando a técnicas de reparo.

Visando atingir o objetivo principal, alguns objetivos específicos são requeridos, entre eles:

- Elaborar fundamentação teórica sobre causas e origens, formas de diagnóstico e reparo de fissuras em estruturas de concreto armado;
- Identificar as possíveis causas e propor intervenções terapêuticas para as fissuras analisadas nas estruturas de concreto armado fruto de estudo.

REFERENCIAL TEÓRICO

A NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, determina que as estruturas de concreto atendam as condições mínimas de qualidade da estrutura e aos requisitos de qualidade do projeto.

A patologia da construção está intrinsecamente associada à qualidade, embora esta última tenha evoluído bastante, a exemplo da NBR 6118 (2014), os casos patológicos não diminuíram na mesma proporção e importância.

Estruturas de concreto armado

O concreto é um material da construção civil composto por uma mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, pode-se ainda, se necessário, usar aditivos e outras adições (NEVILLE, 1997).

Pianca (1978) menciona que o emprego dos concretos na atualidade é muito grande, podendo-se afirmar que, à medida que se amplia a indústria do cimento, se multiplica suas aplicações na construção.

De acordo com Clímaco (2008), o uso do concreto foi crescendo na construção civil com o passar dos tempos, todavia, era primordial desenvolver uma técnica para superar a deficiência com relação a sua resistência à tração, principalmente nas peças submetidas à flexão. Nessa conjunção nasceu o concreto armado, produto da associação do concreto com um material com resistência satisfatória à tração, no caso a armadura.

O concreto armado surgiu para incrementar ainda mais o uso dos concretos nas construções, podendo ser definido como o material estrutural composto pela associação do concreto com barras de aço, de modo que constituam um sólido único, do ponto de vista mecânico, quando submetido às ações externas (SILVA, 2013).

O trabalho solidário entre o aço e o concreto está visceralmente ligado à qualidade e a durabilidade da estrutura. Clímaco (2008) relata que a solidariedade entre os materiais é uma condição básica para que a estrutura trabalhe como uma peça monolítica. Esta solidariedade é assegurada pela aderência entre o aço e o concreto, que impede o escorregamento e deslizamento das barras de aço quando demandada.

Segundo a NBR 6118:2014 toda estrutura em concreto armado deverá ser projetada e construída de modo a garantir a sua segurança, estabilidade e aptidão ao serviço durante o prazo equivalente à sua vida útil.

Desempenho, durabilidade e vida útil

Em relação as estruturas de concreto armado, Rezende *et al.* (1996) retrata que o desempenho será apropriado quando existir segurança e condições consideráveis de estabilidade.

De acordo com a NBR 6118:2014, desempenho é a capacidade da estrutura de manter-se em integras condições de utilização no decorrer de sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Segundo Gnipper e Mikaldo Jr (2007):

[...] o requisito de desempenho é a formulação qualitativa das propriedades a serem alcançadas pelo edifício, ou por suas partes, de maneira a atender determinadas necessidades do usuário. Os requisitos de desempenho são relativos ao uso propriamente dito da edificação, à resistência que esta deverá oferecer aos desgastes que sobre ela atuam e às consequências que ela produzirá sobre o meio ambiente (GNIPPER e MIKALDO JR, 2007).

O conceito de desempenho é uma ferramenta útil aos projetistas, que ao optarem por determinadas soluções, possuirão previsibilidade da estrutura projetada, satisfazendo condições mínimas de aspectos de habitabilidade, manutenibilidade e uso, expressas através de padrões ou critérios estabelecidos pela norma técnica NBR 15575 (ABNT, 2013). Portanto, a capacidade da estrutura de apresentar o desempenho almejado descrito no projeto, quando exposta às condições normais para as quais foi projetada, se chama durabilidade.

Conforme a NBR 6118:2014, a durabilidade consiste na capacidade da estrutura suportar às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

A durabilidade é essencialmente uma visão retrospectiva do desempenho de uma estrutura. A expectativa de que uma estrutura pode ser durável ou não só pode ser avaliada por meio da utilização de modelos que representem os processos de deterioração a que está vulnerável, de forma que, para garantias do projeto, requer-se a utilização de metodologias de previsão de vida útil (FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON, 2010).

O conceito de durabilidade relaciona-se diretamente à vida útil. Segundo Mehta e Monteiro (2008) “uma vida útil longa é considerada sinônimo de durabilidade”.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) descreve como vida útil o período durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos as condições de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de falhas acidentais (NBR 6118, 2014).

A vida útil do projeto da edificação só poderá ser atingida quando estiverem sendo cumpridos os requisitos de uso, operação e manutenção da edificação. As obras além de ficarem expostas a ação dos elementos como calor, vento e umidade, precisam suportar ações mecânicas que podem cansá-la, fatigá-la e feri-la. Logo, a vida útil da obra dependerá dos cuidados e fiscalização durante sua execução. Entretanto, não se deve pensar que os cuidados terminam nessa etapa, devendo permanecer com a realização de manutenção periódica pós entrega (CÁNOVAS, 1988).

Patologias no concreto armado

Conforme Piancastelli (1997), sendo o concreto armado, um material não inerte, ele se sujeita a alterações ao longo do tempo, devido a correlação entre seus elementos constitutivos (cimento, areia, brita, água e aço), interações entre esses e agentes externos (ácidos, bases, sais, gases e outros) e materiais que lhe são inseridos (aditivos e adições minerais). Por este motivo, as edificações de concreto armado podem apresentar sérios danos e insegurança.

De modo geral, os danos que se exteriorizam nas estruturas de concreto armado, constituem indícios de comportamento irregular de componentes do sistema, devendo ser devidamente avaliados e devidamente corrigidos para que não comprometa as condições de estabilidade e segurança do elemento danificado ou da edificação. Este tipo de dano ou defeito caracteriza o que chamamos de manifestações patológicas, objeto da ciência reconhecida como patologia (AZEVEDO, 2011).

Patologia é oriunda do grego e significa literalmente "estudo da doença", onde Pathos significa doença e Logos significa estudo (Andrade e Silva, 2005). De acordo com Helene (1992), a patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, sendo o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

Em uma estrutura, para que um sintoma seja classificado como patológico, deve prejudicar algumas das exigências da construção, seja de capacidade funcional, mecânica ou estética. Assim, observa-se que existe uma considerável relação entre a manifestação patológica e o desempenho da edificação, na medida em que sua avaliação é relacionada com o comportamento da estrutura em utilização. Logo, a análise das manifestações patológicas é função também de dois aspectos fundamentais: tempo e condições de exposição, tornando-a, assim, associada aos conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho (ANDRADE e SILVA, 2005).

De acordo com Helene (1992), várias construções revelam-se com significativas manifestações patológicas, gerando não somente o comprometimento com o aspecto estético, como também, em boa parte das vezes, na capacidade resistente, podendo direcionar a estrutura ao colapso.

Souza e Ripper (2009) apontam que as causas de deterioração das estruturas podem ser divididas em intrínsecas e extrínsecas. As causas intrínsecas são inerentes às próprias estruturas, ou seja, todas as que têm sua origem nos materiais e peças estruturais durante as fases de execução e de utilização das obras, por falhas humanas, por questões próprias ao material concreto e por ações externas. Já as causas extrínsecas são as que independem do corpo estrutural em si, assim como da composição interna do concreto, ou de falhas inerentes ao processo de execução, podendo, de outra forma, serem vistas como os fatores que atacam a estrutura "de fora para dentro", durante as fases de concepção ou ao longo da vida útil desta.

O estudo das patologias de estruturas de concreto assume relevante importância na medida em que não apenas avalia os danos manifestados pelas estruturas de concreto, quais são suas prováveis causas e as formas mais adequadas de tratamento corretivo, como também constitui fonte de dados importantes para o estabelecimento de procedimentos de projeto e de construção, com o objetivo de minimizar os riscos de ocorrência de danos em aplicações semelhantes e, com isso, estabelecer parâmetro para o aumento da vida útil das estruturas (AZEVEDO, 2011).

Sintomatologia

Os problemas patológicos, salvo raras exceções, apresentam manifestação externa característica, a partir do qual se pode deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, assim como pode-se estimar suas prováveis relutâncias. Esses sintomas, também identificados de lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas, podem ser descritos e classificados, orientando um primeiro diagnóstico, a partir de minuciosas e experientes observações visuais (HELENE, 1992).

Os sintomas patológicos de maior incidência nas estruturas de concreto armado, de acordo com Helene (1992), são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas no concreto aparente, as corrosões de armaduras e os nichos de concretagem gerados pela segregação dos materiais constituintes do concreto.

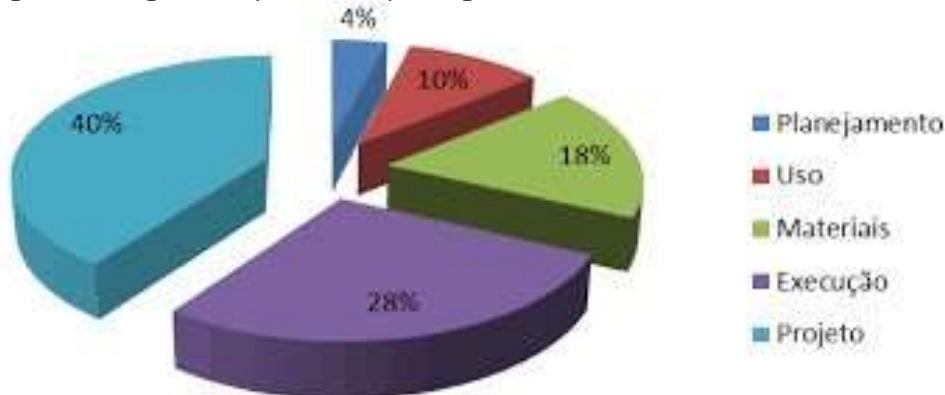
Através da sintomatologia que a estrutura apresenta, é preciso analisar também as causas que produziram os defeitos ou lesões existentes (CÁNOVAS, 1988).

Origem das manifestações patológicas no concreto armado

Na execução de uma edificação, têm-se duas etapas: o processo construtivo e o uso. O processo construtivo pode ser dividido em: planejamento, projeto, materiais e execução física. O uso abrange a operação e manutenção (ALMEIDA, 2008).

É apresentado por Helene (1992) na figura 1 as porcentagens de ocorrência de problemas deletérios referentes a cada fase:

Figura 1 - Origem dos problemas patológicos



Fonte: Helene, 1992.

A realização de um projeto bem elaborado é essencial para que todas as outras fases tenham um bom desenvolvimento. Estudos mostram que essas falhas são geralmente mais graves que as relacionadas à qualidade dos materiais e aos métodos construtivos (HELENE, 2003).

As manifestações patológicas relacionadas às fases de planejamento, projeto, fabricação e construção surgem no período inferior a dois anos, porém, durante a utilização, os problemas podem aparecer depois de muitos anos. Por isso, é muito importante reconhecer em qual etapa surgiram os vícios construtivos, até mesmo para a atribuição de responsabilidades civis (MACHADO, 2002).

Origem: planejamento e projeto

Muitas falhas são possíveis de ocorrer no decorrer da fase de concepção da estrutura, podendo se originar durante o estudo preliminar, na elaboração do anteprojeto, ou no projeto executivo.

Segundo Souza e Ripper (1998), os principais responsáveis pelo encarecimento do processo de construção, ou pelos transtornos no momento de utilização da obra, são as falhas e erros originados de um estudo preliminar deficiente, ou de um anteprojeto equivocados. Já as falhas e erros cometidos durante a realização do projeto final de engenharia são responsáveis pela inserção de problemas patológicos sérios, e podem ser por incompatibilidade de projetos, especificações de materiais inadequados, descrição errada ou insuficiente, detalhes construtivos inexecutáveis, falta de padronização das representações e erros de dimensionamento.

Algumas medidas que podem ser tomadas no tocante aos projetos podem significar diminuição de custos de intervenções posteriores a obras, podendo-se citar como exemplo de medidas preventivas, a caracterização do aumento do cobrimento da armadura, a redução da relação água/cimento, a especificação de tratamentos protetores superficiais, a escolha de detalhes construtivos adequados, a especificação do cimento, e aditivos e adições com características especiais e adequadas à obra (HELENE, 1992).

Origem: materiais e execução

Definidas as especificações dos materiais na fase de projeto, deve-se monitorar bem a aquisição dos insumos para fabricação do concreto, objetivando a certificação das especificações e que o concreto não seja rejeitado. É importante que a caracterização dos materiais componentes do concreto esteja em conformidade com o que recomenda a NBR 12654 (ABNT, 1992).

O uso inapropriado de materiais pode gerar grandes prejuízos nas construções. Se tratando de concreto armado, pode-se citar o cimento, aço, agregados e aditivos. Para que a estrutura suporte as solicitações postas, deve-se sempre utilizar o traço estipulado em projeto. A fim de conhecer a resistência à compressão do concreto, é medido o FCK, que é utilizado como controle de qualidade do mesmo (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2007).

O aço é um material essencial na estrutura, visto que os esforços de tração são em maioria combatidos por ele. É necessário que apresente uma boa aderência com o concreto, para impedir o surgimento de trincas. As barras não devem ficar expostas às intempéries, obedecendo a regulamentação, seguindo o cobrimento mínimo de acordo com a agressividade do meio, para se evitar problemas com a corrosão (TAKATA, 2009).

Para Souza e Ripper (1998), a etapa de execução da estrutura é responsável por boa parte dos problemas patológicos. A execução da estrutura é determinada pela NBR 14931:2004 como o conjunto de atividades executadas na sua concepção, como sistema de fôrmas, armaduras, concretagem, e todas as demais, assim como atividades relacionadas à inspeção e controle de qualidade do concreto.

A adequada execução engloba estudo do traço, além da dosagem, manuseio e cura adequados, a manutenção preventiva periódica e a proteção contra agentes agressivos (LAPA, 2008). No entanto, caso exista inexatidões no processo da execução, resultantes da baixa qualificação da mão de obra, até a falta de fiscalização apropriada, as consequências podem ser prejudiciais ao desempenho da estrutura (COUTO, 2007).

Segundo Cánovas (1988), quando a etapa de concepção de projeto é executada corretamente, nos mais minuciosos detalhes, é pouco provável que ocorra má interpretação do projeto por parte da execução da obra.

Origem: uso e manutenção

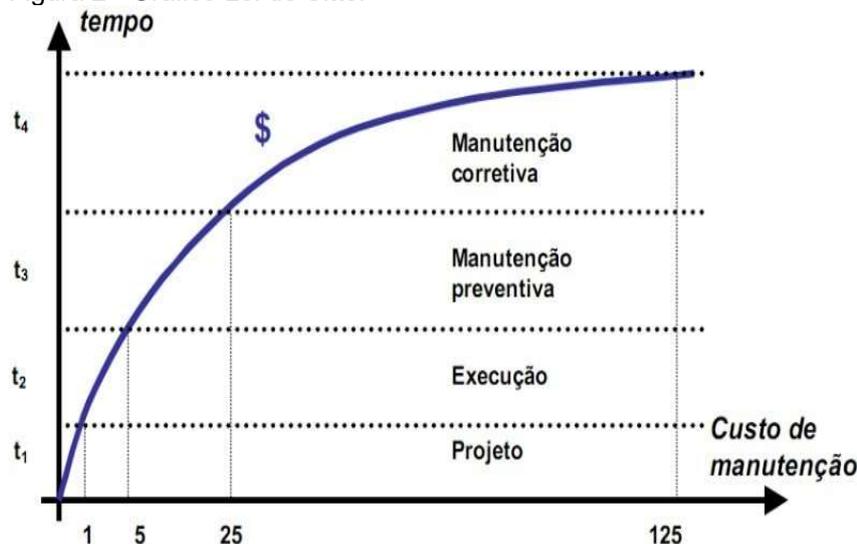
Após a execução e entrega da produção, o usuário deve manuseá-la de forma eficiente, em que todos os seus componentes se procedam convenientemente durante a vida útil da edificação. Contudo, cabe ao usuário certificar que carregamentos previstos em projetos não sejam ultrapassados e manutenções periódicas sejam feitas (ANDRADE e SILVA, 2005).

A NBR 5674 (ANBT, 1999) define manutenção como o conjunto de atividades a serem executadas para conservar ou reabilitar a capacidade funcional de uma edificação e de suas partes constituintes, de forma a atender as carências e segurança dos usuários.

Helene (1992) traz o conceito de manutenção preventiva como sendo toda medida tomada com antecedência e previsão, durante o período de uso da estrutura. A realização de manutenção preventiva pode ser relacionada com a diminuição dos custos, podendo ser até cinco vezes menores em relação as despesas geradas para uma correção de problemas provenientes da falta de uma intervenção preventiva tomada com antecedência à manifestação explícita de patologia. Ao mesmo tempo, está associada a um custo vinte e cinco vezes maior àquele que teria gerado uma decisão de projeto para obtenção do mesmo grau de proteção e durabilidade da estrutura. A Lei de Sitter apresentada na figura

2 descreve esta relação, onde os custos de correção crescem segundo uma progressão geométrica de razão cinco:

Figura 2 - Gráfico Lei de Sitter



Fonte: Ecivil UFES, 2017.

De acordo com Souza e Ripper (1998), os problemas de patologias originadas pela falta de manutenção ou mesmo por manutenção inadequada, têm sua origem no desconhecimento técnico, no desleixo e em problemas econômicos. A falta de recursos ou de destino de verbas para a manutenção preventiva pode vir a ocasionar problemas estruturais de maiores proporções, resultando em gastos significativos ou ainda, em último caso, na própria demolição da estrutura.

Causas de deterioração no concreto armado

Segundo Souza e Ripper (2009) ao se averiguar uma estrutura, é completamente essencial assimilar o porquê do surgimento e do desenvolvimento de patologias, buscando esclarecer as suas causas.

Diversos agentes naturais atuam sob o concreto armado provocando o seu envelhecimento, ou seja, a perda gradual de seu desempenho estético, funcional e estrutural. As causas de degradação originam-se de diversas ações: mecânicas, físicas, químicas e biológicas, podendo estas ocorrer isoladamente ou juntamente, dependendo da velocidade de desenvolvimento e, principalmente, do meio que a estrutura está inserida (ANDRADE e SILVA, 2005).

Causas: mecânicas

Evidencia-se que são consideradas ação de cargas excessivas e a erosão. As cargas excessivas, que não são previstas no projeto, são propensas a ocorrer fissuração excessiva, gerando, assim, caminhos para que outras formas de deterioração se estabeleçam. A erosão do concreto, constitui-se na ruína de sua camada superficial por técnicas de atrito, percussão ou por ação de águas em alta velocidade, apresentando como causas a abrasão e a cavitação. Portanto, conforme Andrade (2005), além de impactar na capacidade resistente da estrutura, possibilitam a entrada de agentes agressivos na estrutura danificada, principalmente quando o concreto e a armadura ficam expostos em razão do impacto das solicitações.

Causas: físicas

Fatores como: variação da temperatura externa, da insolação, do vento e da água, esta última sob a forma de chuva, gelo e umidade, solicitações mecânicas ou acidentes ocorridos durante a fase de execução de uma estrutura. Tem significativa importância na performance das estruturas, principalmente quando agirem as mesmas durante a fase de endurecimento do concreto (SOUZA e RIPPER, 1998).

Causas: químicas

De acordo com Brandão (1998), certas substâncias encontradas no meio ambiente percorrem na massa de concreto enrijecido e, sob condições especiais de temperatura e umidade, provocam reações químicas com impactos nocivos. Sendo o concreto, habitualmente, um material com baixa resistência a esse tipo de ataque, as ações químicas acabam se transformando uma das principais causas de deterioração das estruturas.

A seguir apresenta-se alguns dos mecanismos mais comuns de deterioração química:

a) Lixiviação do concreto

A lixiviação do concreto é ocasionada essencialmente pelo contato da estrutura com a água, que por eletrolise, pode dissolver e transportar o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) constituído no processo de hidratação do cimento (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Os íons de cálcio (Ca^{2+}), produto da lixiviação, reagem facilmente com o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera, ocasionando o aparecimento de crostas brancas de carbonato de cálcio (CaCO_3) na superfície do concreto, classificada como eflorescência. Qualquer peça de concreto está sujeita ao processo de lixiviação, entretanto, pode-se evitar esse problema aplicando aditivos no cimento, a exemplo das pozolanas. Estas, substituem o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) por silicatos de cálcio hidratados, melhorando a durabilidade da matriz cimentícia frente ao ataque por espécies químicas ácidas (NITA, 2006).

b) Reação álcalis-agregados

A reação álcali-agregado é um processo químico no qual alguns constituintes mineralógicos do agregado reagem com hidróxidos alcalinos (provenientes do cimento, da água de amassamento, agregados, pozolanas, agentes externos, etc) que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto. Como produto da reação forma-se um gel higroscópico expansivo (VEIGA *et al.*, 1997).

Kihara (1993) descreve a reação álcali-agregado como sendo “uma reação lenta e complexa que ocorre entre os álcalis ativos, ou disponíveis no cimento e algumas espécies de minerais presentes em alguns tipos de agregados que em condições especiais provocam a deterioração do concreto. A reação se manifesta no concreto por um padrão de fissuração, deslocamentos e uma exsudação de gel (nem sempre presente)”. De acordo com Biczok (1972), a reação álcali-agregado ocorre entre os álcalis óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O) provenientes do cimento, a cal liberada pelo cimento e os agregados reativos, que contenham ácido sílico amorfo ou que sejam fracamente cristalinos. De acordo com o autor, nesta reação ocorre a formação de um gel sílico-alcálico que ao absorver água, incha, exercendo pressões expansivas e causando fissurações.

c) Ataque por cloretos

Para Souza e Ripper (1998), os cloretos podem ser adicionados involuntariamente ao concreto a partir da utilização de aditivos aceleradores de pega, de águas e agregados contaminados, a partir de tratamentos de limpeza realizados com ácido muriático (HCl) e podem também penetrar no concreto ao aproveitarem-se de sua estrutura porosa.

Figueiredo (2005) destaca que os cloretos são introduzidos no concreto de várias formas, como: pelo uso de aditivos estimulante de pega, através de impurezas presentes nos constituintes do concreto, no ambiente marinho, por meio da água salgada e da maresia e em fases de processo industrial.

Segundo Cascudo (1997):

Os mecanismos de transporte que levam ao movimento e concentração iônica dos cloretos no concreto são os seguintes: absorção capilar, difusão iônica, permeabilidade sob pressão e migração iônica. O transporte não apenas dos cloretos, mas de outras substâncias dissolvidas, de líquidos em geral e de gases no interior do concreto, é decisivamente influenciado pela estrutura porosa da pasta de cimento endurecida (CASCUDO, 1997).

Perdrix (1992) ressalta que os cloretos que permanecem dissolvidos na fase aquosa dos poros deterioram de forma pontual a camada passivante provocando uma corrosão localizada que progride em profundidade podendo levar a ruptura das barras. De acordo com o autor, a quantidade média plausível de cloretos sem que ocasionem a despassivação da armadura é em torno de 0,4% em relação à massa de cimento ou 0,05% a 1% em relação à massa de concreto.

d) Ataque por sulfatos

Consiste em um processo físico-químico que ocorre pela expansão da pasta cimentícia pela ação dos sulfatos que podem estar presentes nos agregados e até no próprio cimento. Esses compostos são potencialmente prejudiciais ao concreto, identificado pela ação expansiva que gera altas tensões capazes de fissurá-lo, sendo o sulfato de sódio (Na_2SO_4) e sulfato de cálcio (CaSO_4) mais comuns em solos, águas e processos industriais e o sulfato de magnésio (MgSO_4) o mais nocivo, porém, mais raro (LAPA, 2008).

Para Brandão (1998), os sulfatos podem ser considerados elementos muito agressivos, todavia, quando sólidos, esses sais não agredem o concreto. Mas, quando em solução, os sulfatos de cálcio (CaSO_4), sódio (Na_2SO_4), potássio (K_2SO_4), magnésio (MgSO_4) e amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) podem reagir com a pasta de cimento endurecida e levar à total desagregação do concreto.

No concreto endurecido, a formação da etringita resultante do ataque de sulfato pode levar à expansão, colaborando para o surgimento de fissuras, permitindo dessa forma, a penetração de dióxido de carbono (CO_2) e íons cloreto (Cl^-), acelerando o processo de corrosão da armadura (OLIVARI, 2003).

e) Carbonatação

A carbonatação constitui-se na redução do potencial hidrogeniônico (pH) da pasta de cimento do concreto, de valores entre 12 e 14 para valores inferiores a 9. Segundo Souza e Ripper (1998), esse processo físico-químico tem como agente cursor o gás carbônico (CO_2), que se transporta da superfície para o interior do concreto, reagindo com os minerais do cimento hidratado, sobretudo, com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), formando o carbonato de cálcio (CaCO_3).

A redução do potencial hidrogeniônico (pH) se dá pelo consumo de hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂). Porém, esse processo ocorre pausadamente e tende a diminuir com o tempo. Isto pode ser esclarecido pela hidratação crescente do cimento, além do próprio carbonato de cálcio (CaCO₃), que preenche os poros superficiais, dificultando que o gás carbônico (CO₂) alcance o interior do concreto (CASCUDO, 1997).

Souza e Ripper (1998) afirmam que:

A carbonatação em si, e se ficasse restrita a uma espessura inferior à da camada de cobrimento das armaduras, seria até benéfica para o concreto, pois aumentaria as suas resistências químicas e mecânicas. A questão é que, em função da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera e da porosidade e nível de fissuração do concreto, a carbonatação pode atingir a armadura, quebrando o filme óxido que a protege, corroendo-a (SOUZA e RIPPER, 1998).

Ainda sobre o tema, os autores declaram que quando possuir fissuras no concreto com abertura maior do que 0,4 mm, o processo de carbonatação será acelerado, implantando, irremissivelmente, a corrosão das barras da armadura.

Conforme Cascudo (1997), quando a capa de passivação é descaracterizada, o aço se corrói de forma disseminada como se estivesse simplesmente exposto à atmosfera sem qualquer proteção.

No concreto carbonatado o risco de corrosão por ação de agentes ofensores, como os cloretos, eleva de forma significativa. A viabilidade de que seja provocado um processo de corrosão em uma barra de aço imersa em concreto carbonatado e contaminado por uma concentração de cloretos igual a 0,4% do seu peso em cimento, é 4 vezes maior do que se o concreto não estivesse carbonatado (SOUZA e RIPPER, 1998).

As medidas preventivas, assim como as relacionadas ao ataque dos cloretos, consistem em dificultar a penetração dos agentes agressivos no interior do concreto. A NBR 6118 indica ações preventivas que podem reduzir o efeito da carbonatação, dentre elas, a aplicação de um concreto de baixa porosidade, cobrimento adequado das armaduras e um maior controle de fissuração.

Causas: biológicas

A alta porosidade do concreto ou patologias como, fissuras e trincas ocasionadas por falhas, possibilitam que raízes de plantas e até mesmo algas, se instalam e gerem compostos nocivos ao concreto (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Trindade (2015), pode acontecer também ataque ao concreto por meio de microrganismos, que é um tipo de biodeterioração. Esta deterioração acontece pois os microrganismos, em especial bactérias e fungos, agem de maneira a dissolver os componentes do cimento.

Ambiente em que a estrutura está inserida

A NBR 6118 (ABNT, 2014) enfatiza que a agressividade do meio ambiente está associada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto.

De acordo com Lima (2005) como as estruturas estão inseridas em vários ambientes, esses devem ser analisados, com o objetivo, de que, na fase de projeto da estrutura, todas as ações de degradação sejam previstas.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), os projetos de estruturas em concreto devem possuir a agressividade ambiental classificada de acordo com o apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e ambientes comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de pintura mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Adaptada ABNT NBR 6118, 2014.

Ente os fatores que mais atuam na durabilidade das estruturas podemos citar: as características do concreto, a espessura e a qualidade do concreto de cobertura da armadura. Segundo Kulisch (2011), compreendendo que a durabilidade de uma estrutura depende das características do concreto e da qualidade, como também da espessura do concreto que faz o cobertura da armadura, a norma mostra os valores mínimos de relação água/cimento, classe do concreto e cobertura nominal, em relação à classe de agressividade preliminarmente estipulada. As tabelas 2 e 3, apresentam estes aspectos.

Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação a/c em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

1) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT 12655.

2) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: Adaptada ABNT NBR 6118, 2014.

Tabela 3 - Correspondência entre classe de agressividade e cobertura nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$

Tipo de estrutura	Componente ou elementos	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ³
		Cobertura nominal (mm)			
Concreto Armado	Laje ²	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
Concreto Protendido ¹	Todos	30	35	45	55

1) Cobertura nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.
 2) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimento finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as tais exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitando um cobertura nominal $\geq 15\text{mm}$.
 3) Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos e esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes químicos e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobertura nominal $\geq 45\text{mm}$.

Fonte: Adaptada ABNT NBR 6118, 2014.

Conforme BATTAGIN (2019), compreendendo o grau de agressividade do ambiente em que a estrutura se encontra, têm-se algumas maneiras de evitar possíveis manifestações patológicas, utilizando-se, por exemplo: o uso de concretos menos permeáveis, com baixa relação água/cimento, o uso de cimentos de alto-forno, pozolânicos ou resistentes aos sulfatos, que retratam um comportamento mais adequados com relação à durabilidade.

Segundo Souza e Ripper (1998) a competência de transporte de líquidos e gases presentes no meio ambiente para o interior do concreto é outro fator referente a agressividade. Eles enfatizam que a combinação dos agentes ambientais como temperatura, umidade, salinidade, vento, chuva, agressividade química ou biológica, levados para a massa de concreto, juntamente com resposta da massa de concreto com tal ação, constituem, dessa forma, os principais elementos do processo de caracterização da durabilidade.

Medeiros (2010), ressalta que os agentes físicos, químicos e biológicos são responsáveis pela deterioração das estruturas de concreto. Os agentes físicos são relativos à alteração de temperatura, umidade, ciclos de gelo e degelo, ciclos de umedecimento e secagem. Os agentes químicos se referem à carbonatação, maresia (água do mar), corrosão, chuva ácida, ataque de ácidos, águas brandas e resíduos industriais. Já os agentes biológicos se referem a micro-organismos, algas, solos e águas contaminadas.

Com relação a água do mar, Filho (1994) alega que a mesma apresenta concentrações de sulfatos que podem provocar o processo agressivo, degradando o concreto. É averiguado que a intensidade dos ataques é maior nas zonas em que há oscilações de nível, como de acordo com a ação mecânica de microfissuração, em que há variações nas condições de saturação, já que este fenômeno acarreta a cristalização cíclica dos sais nos poros, possibilitando assim uma maior agressão.

De acordo com Helene (1986), as atmosferas marinhas são as regiões ao ar livre sobre o mar e próximo da costa. A atmosfera marinha compõe principalmente cloreto de sódio (NaCl), cloreto de magnésio (MgCl₂) e sulfato. No Oceano Atlântico, os teores médios de sulfato são da ordem de 2800 mg/L. A média global de salinidade normatizada para todos os oceanos é de 35 partes por mil, sendo o terceiro íon mais frequente, o sulfato (SO₄²⁻), atrás apenas do cloreto (Cl⁻) e do sódio (Na⁺) (LIMA, 2005).

Lima (2005) divide em zonas as áreas de contato de um objeto ou estrutura com o mar, sendo: zona atmosférica marinha, zona de respingos, zona de variação de marés e

zona submersa. As fundamentais diferenças entre as zonas, em relação a introdução de agentes agressivos, são que, a carbonatação é mais considerável apenas na zona de atmosfera marinha, durante a penetração de cloretos e, o ataque por sulfatos são mais intensos na zona de respingos e na zona de variação de marés. Com o crescimento da cota, ou seja, com a distância em relação ao nível do mar, a intensidade do ataque por sulfatos diminui.

Diagnóstico e prognóstico

Do Carmo (2003), ressalta que o diagnóstico da situação está relacionado com a compreensão dos fenômenos que conduziram ao aparecimento da manifestação patológica, ou seja, trata-se das várias relações de causa e efeito e a assimilação dos principais motivos de ocorrência, a partir de dados conhecidos, com o propósito de determinar a possível origem do problema, através dos seus efeitos.

A análise é importante, principalmente, porque as manifestações patológicas são responsáveis por: apontar um possível problema estrutural, lesionando o desempenho da edificação e proporcionar sensação de constrangimento e incômodo nos usuários (THOMAZ, 1989). É importante ressaltar que uma análise correta dos problemas, é aquela que nos possibilita definir nitidamente a origem, causas, consequências, a intervenção mais adequada e o método de intervir (HELENE, 2003).

A observação local assistida de um relatório fotográfico pode fornecer dados significativos à solução do problema, na sondagem de campo é importante à utilização de instrumentos que possam medir a amplitude dos defeitos, como, nível, fio de prumo, higrômetro, termômetro de contato, pacômetro, lupa graduada, entre outros. As informações escritas adquirida por meio do estudo das plantas, cadernos de encargos e memoriais descritivos devem ser analisadas. Sempre que possível devem ser feitos ensaios no local e em laboratório. Entre esses ensaios podem ser destacados a esclerometria, a averiguação da carbonatação e do teor de cloreto no concreto, a determinação do potencial de corrosão, amostras de armadura retiradas da estrutura, ultrassonografia e a prova de carga (SANTUCCI, 2015).

Após realizada a etapa de diagnóstico da circunstância, é estabelecido um prognóstico, ou seja, feita uma possível previsão da evolução do problema, ao longo do tempo. Segundo Lichtenstein (1986), com a definição do diagnóstico e do prognóstico, pode-se elaborar uma conduta de intervenção, levando em consideração três parâmetros: a relação custo-benefício, o grau de dúvida sobre os efeitos e a disponibilidade de tecnologia, para execução dos serviços propostos.

A definição da terapêutica a ser adotada é anteposta pela recolha de dados e adequação do diagnóstico. As definições de conduta, à exemplo da escolha do tipo de material a ser usado, mão de obra e equipamentos, abrangem decisões especificadas pelo responsável técnico. As alternativas de intervenção são analisadas com o objetivo de reconhecer o melhor custo/benefício, levando em consideração a hipótese de reincidência do problema, sendo, o prognóstico da situação, feito a fim de julgar a mais adequada e menos onerosa solução (DO CARMO, 2003).

Terapia

O surgimento de manifestações patológicas pode revelar problemas em estruturas e em seu estado de conservação. Desta forma, é imprescindível o diagnóstico precoce e tratamento das manifestações patológicas que podem prejudicar as estruturas, evitando consequências graves como o colapso estrutural (LOURENÇO e MENDES, 2011).

É de aptidão da terapia, estudar a solução e a correção dos problemas patológicos. Para que as medidas terapêuticas alcancem o objetivo, é necessário que o diagnóstico da questão tenha sido bem elaborado. A definição da conduta a ser seguida pode implicar pequenos reparos localizados até uma recuperação total da estrutura. Em todos os casos é sempre recomendável que sejam adotadas medidas de proteção da estrutura, por meio de um programa de manutenção periódica que leve em consideração a vida útil prognosticada, a agressividade das condições ambientais de exposição, entre outros fatores (HELENE, 1992).

Helene (1992), consolida que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e mais econômicas quanto mais cedo forem executadas.

Fissuras, trincas e rachaduras

Fissuras, trincas e rachaduras são manifestações patológicas das edificações observadas em alvenarias, vigas, pilares, lajes, pisos, entre outros elementos, comumente ocasionada por tensões dos materiais (OLIVEIRA, 2012).

De acordo com Thomaz (1989), as fissuras, trincas e rachaduras são aberturas que se manifestam nas edificações como um mecanismo de alívio de tensões procedentes da movimentação dos materiais e de seus componentes. Elas surgem quando os esforços solicitantes nos materiais ou em suas conexões forem maiores que os esforços resistentes (VEIGA, 1998).

De acordo com Oliveira (2012), essas patologias são classificadas de acordo com o tamanho da abertura, seguindo os valores da tabela 4:

Tabela 4 - Classificação das aberturas nas estruturas

PATOLOGIA	ABERTURA
Fissura	$\leq 0,5$ (mm)
Trinca	$0,5 \leq e \leq 1,5$ (mm)
Rachadura	$1,5 \leq e \leq 5,0$ (mm)

Fonte: Adaptado de Oliveira, 2012.

A fissura tem seu controle previsto na NBR 6118 (ABNT, 2014) em seu item 13.4:

A fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à grande variabilidade e à baixa resistência do concreto a tração; mesmo sob as ações de serviço (utilização), valores críticos de tensões de tração são atingidos. Visando obter bom desempenho relacionado à proteção das armaduras quanto a corrosão e a aceitabilidade dos usuários, busca-se controlar a abertura dessas fissuras (ABNT NBR 6118, 2014).

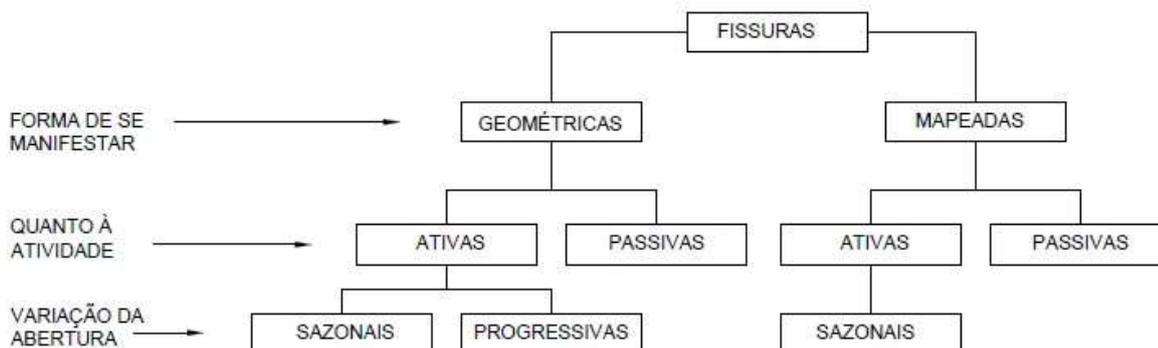
As fissuras são deformações peculiares das estruturas de concreto e denotam que algo de anormal aconteceu ou está acontecendo, chamando atenção dos usuários da estrutura (SOUZA e RIPPER, 1998).

Silva (2011) ressalta que as fissuras são aberturas que lesam a superfície do elemento estrutural de concreto armado, tornando-se um caminho acelerado para a entrada de agentes agressivos à estrutura.

O surgimento de fissuras pode comprometer a estanqueidade, a vedação contra o ambiente externo, o isolamento térmico e acústico e afetar a estética dos ambientes (SAHADE, 2005). Acrescentando a isto, a penetração de água na estrutura por meio das fissuras pode provocar ou acelerar o processo de corrosão das armaduras, comprometendo sua resistência e durabilidade. Além disso, de acordo com Veiga (1998), as fissuras acarretam sensação de desconforto visual e insegurança nos usuários.

Segundo Sahade (2005), as fissuras são classificadas conforme três níveis: quanto à forma de se manifestar, quanto à sua atividade e quanto à variação da abertura. A figura 3 ilustra essa classificação.

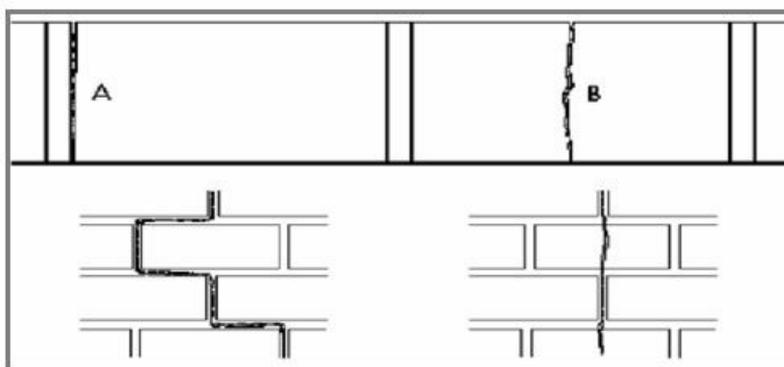
Figura 3 - Classificação das fissuras



Fonte: Adaptado de Sahade, 2005.

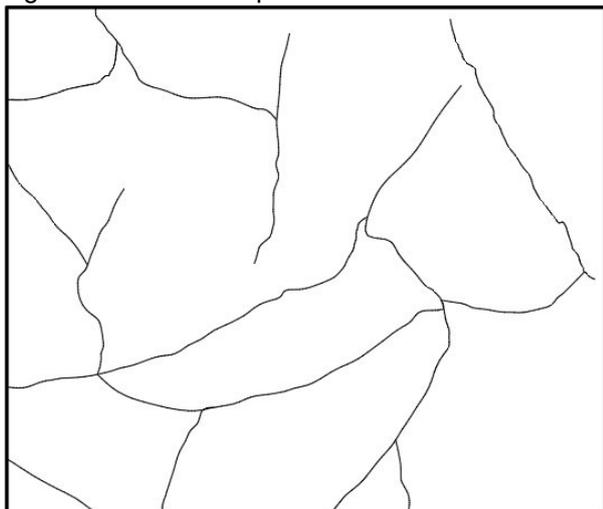
A NBR 13749 (ABNT, 2013) classifica as fissuras como geométricas e mapeadas. As geométricas (figura 4) são as fissuras que ocorrem isoladamente, podendo surgir devido à retração da argamassa de assentamento, falta de juntas de dilatação, base composta de diferentes materiais, entre outros. Elas são assimiladas pela forma geométrica bem definida e por expor uma direção predominante (horizontal, vertical ou diagonal) (SAHADE, 2005). Já as mapeadas (figura 5) são aquelas que não possuem um mesmo padrão, se manifestam aleatoriamente na estrutura e geralmente são superficiais, podem acontecer por um traço inadequado, excesso de finos, de aglomerantes, entre outros (ABNT, 2013). Ambas são subdivididas em ativas e passivas (CORSINI, 2010). As ativas apresentam variações sensíveis na abertura ao longo do tempo e as passivas possuem abertura constante, logo, não se expandem nem se retraem mais (ABNT, 2013).

Figura 4 - Fissuras geométricas



Fonte: Sahade, 2005.

Figura 5 - Fissura mapeada



Fonte: adaptado de IBDA, 2019.

Além da classificação conforme a aparência (geométricas ou mapeadas) e conforme a atividade (ativas ou passivas), as fissuras são classificadas de duas formas quanto a variação da sua abertura: sazonais ou progressivas (SAHADE, 2005). As sazonais são aquelas que a variação da abertura pode ser relacionada com a variação periódica das condições climáticas e são caracterizadas por oscilar em torno de um valor médio. Já as progressivas tendem a apresentar aberturas sempre crescentes (SAHADE, 2005).

A NBR 6118:2014 estabelece valores limites para a fissuração ser considerada nociva ao concreto armado, sendo: 0,1 mm para peças não protegidas, em meio agressivo; 0,2 mm para peças não protegidas, em meio não agressivo e 0,3 mm para peças protegidas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

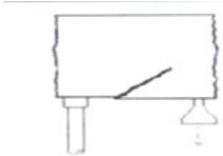
Souza e Ripper (1998) afirmam que:

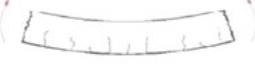
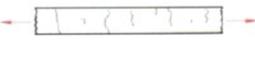
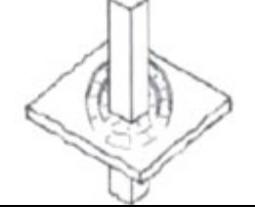
A caracterização da fissuração como deficiência estrutural dependerá sempre da origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, posto que o concreto, por ser material com baixa resistência à tração, fissurará por natureza, sempre que as tensões trativas, que podem ser instalados pelos mais diversos motivos, superarem a sua resistência a última tração (SOUZA e RIPPER, 1998).

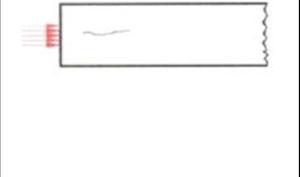
Segundo Cánovas (1988), nem sempre é fácil diagnosticar as fissuras e por essa razão é imprescindível conhecê-las, saber os motivos do seu surgimento, a fim de aplicar a terapêutica correta.

Ambrosio (2004) elucida alguns exemplos de origens de fissuras em estruturas, conforme apresentado na tabela 5.

Tabela 5 - Origens de fissuras em estruturas

TIPO DE FISSURA	PEÇAS MAIS SUJEITAS	CONFIGURAÇÃO TÍPICA	EXEMPLO
Recalque Diferencial da fundação	Paredes / Vigas	→ Inclinação, se afastamento da região que menos recalcou → Abertura variável	

Cisalhamento	Qualquer elemento	<p>→ Mais inclinadas junto ao apoio, verticalizando-se em direção ao meio do vão</p> <p>→ Abertura variável, desaparecendo ao atingir a região comprimida da peça</p>	
Flexão	Qualquer elemento; Lajes, junto aos cantos.	<p>→ Mais concentradas junto às regiões de máximo momento fletor e aumento gradativamente o espaçamento, ao se afastarem dessa região</p> <p>→ Abertura variável, desaparecendo ao atingirem a região comprimida</p> <p>→ Diagonal, formando um triângulo aproximadamente isósceles com os cantos</p>	
Torção	Peças lineares, com cargas não coincidentes com seu eixo longitudinal	→ Em forma de hélice ao longo do eixo longitudinal	
Tração	Qualquer elemento tracionado longitudinalmente	<p>→ Perpendiculares à direção da carga de tração, seccionando a seção transversal</p> <p>→ Mais fechadas junto as armaduras</p>	
Tração	Peças de suporte	→ Perpendiculares à direção da reação de apoio das peças apoiadas indiretamente	
Punção	Lajes / Sapatas / Paredes, com cargas perpendiculares a seu plano	→ Tronco-crônicas, contornando a carga concentrada, em forma de "teia de aranha", em planta	
Fendilhamento	Qualquer peça protendida junto as ancoragens /	→ Paralelas à direção de aplicação da carga	

	Pilares / Paredes com cargas concentradas aplicadas segundo seu plano	→ Abertura variável, mais abertas aproximadamente à metade da maior dimensão da seção transversal da peça, a partir da face carregada	
--	---	---	---

Fonte: Adaptado de Ambrosio, 2004.

As fissuras podem também ser originadas por esforço de compressão e esforço cortante.

Para Marcelli (2007), as fissuras por compressão são mais preocupantes e alarmantes que as fissuras por flexão. Isso se explica pelo fato de que o concreto é um material com baixa resistência a tração e alta resistência a compressão, sendo assim quando aparecem fissuras provenientes de compressão o caso é grave, podendo indicar o colapso da estrutura, ou seja, o elemento estrutural (vigas e pilares) não suporta sua carga para o qual foi projetado e conseqüentemente redistribui os esforços para os pilares mais próximos que também são sobrecarregados e comprometidos.

As fissuras por compressão ocorrem na direção do esforço solicitante, conforme ilustra a figura 6. Os espaçamentos entre elas podem ser muito diversificados e de traçados irregulares, devido à heterogeneidade do concreto, por isso, às vezes, é comum as fissuras deixarem de ser paralelas, cortando-se em ângulos agudos (CÁNOVAS, 1988).

Figura 6 - Fissuras por esforço de compressão

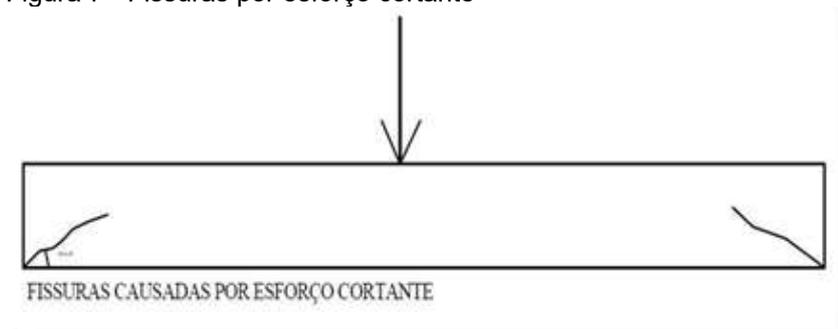


Fonte: FACECHEATSBRASIL, 2021.

Segundo Cánovas (1988), peças muito esbeltas quando sujeitadas à compressão podem apresentar fissuras muito perigosas em sua parte central e só em uma das faces. Essas fissuras habitualmente são finas e com pouco espaçamento entre elas, podendo revelar o início do fenômeno da flambagem da peça. Em pilares, a ocorrência de fissuras de compressão é muito perigosa, sendo sintoma precursor de um colapso imediato da zona afetada.

Já as fissuras causadas pelo esforço cortante acontecem pelo fato de que a resistência à tração da peça é muito menor do que a resistência à sua compressão. Esse tipo de esforço causa fissuras perpendiculares à tensão de tração (CÁNOVAS, 1988). Apresenta-se na figura 7 um exemplo de fissura devido ao esforço cortante.

Figura 7 - Fissuras por esforço cortante



Fonte: FACECHEATSBRASIL, 2021.

Cánovas (1988) complementa, relatando que as fissuras decorrentes de esforço cortante geralmente surgem na alma das vigas, progredindo até as armaduras para então chegar até os pontos de aplicação das cargas. Sua inclinação segue o antifunicular das cargas que agem sobre a peça, fissurando o concreto se este não dispõe de armadura suficiente para absorver os esforços de tração solicitados.

Causas de fissuras

Segundo Thomaz (1989), as fissuras podem ter suas causas por movimentações ocasionadas por variações térmicas e de umidade, atuação de sobrecargas, deformabilidade excessiva das estruturas, recalques diferenciados das fundações, retração de produtos à base de ligantes hidráulicos e alterações químicas de materiais de construção. Entre as ações externas aos componentes, estão as fissuras ocasionadas por movimentações térmicas, higroscópicas, sobrecargas, deformações de elementos de concreto armado e recalques diferenciais. Entre as ações internas, as causas das fissuras estão ligadas à retração dos produtos à base de cimento e às alterações químicas dos materiais de construção (CORSINI, 2010). Além das causas citadas, as fissuras também podem ocorrer por movimentação de fôrmas e escoramentos e corrosão das armaduras (SOUZA e RIPPER, 1998).

Fissuras causadas por variações térmicas

De acordo com Thomaz (1989), os inúmeros elementos que integram uma construção estão expostos às variações de temperatura, sazonais e diárias, que acarretam movimentos de dilatação e contração. Tais movimentos relacionados às diversas restrições existentes à sua movimentação sucedem em tensões que podem provocar fissuras, chamadas fissuras causadas por variação de temperatura. Isso acontece porque, uma estrutura ao se dilatar, cria uma zona de concentração de esforço, assim, para amenizar essa concentração, aparecem as trincas e rachaduras na estrutura em questão. Nas edificações ocorrem, geralmente, sobre as lajes ocasionando fissuras horizontais em sua parte inferior (LEAL, 2003). As fissuras de origem térmica podem também surgir por movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões diversas de um mesmo material.

De acordo com Thomaz (1989), as principais movimentações diferenciadas, transcorrem em função de:

Junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, sujeito 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 as paredes de uma edificação); gradiente de temperatura ao longo de um mesmo componente (por exemplo, gradiente entre a face exposta e a face protegida de uma laje de cobertura (THOMAZ, 1989).

As movimentações que se manifestam nos materiais, associadas à mudança na temperatura, estão vinculadas com os seus coeficientes de dilatação térmica e com os gradientes de temperatura, determinados pelos picos mínimos e máximos de temperatura. A magnitude das tensões desenvolvidas decorre da intensidade da variação dimensional, do grau de restrição imposto pelos vínculos a esta variação dimensional e das propriedades elásticas do material (MEHTA e MONTEIRO, 1994; THOMAZ, 1989).

As variações de temperatura ambiente acarretam variações dimensionais nos materiais das construções, dilatando com a variação positiva de temperatura e contraindo com a variação negativa (DUARTE, 1998). Os elementos mais ostensivos das edificações sentem de forma mais sensível a alteração da temperatura e tendem a se movimentar mais (DUARTE, 1998).

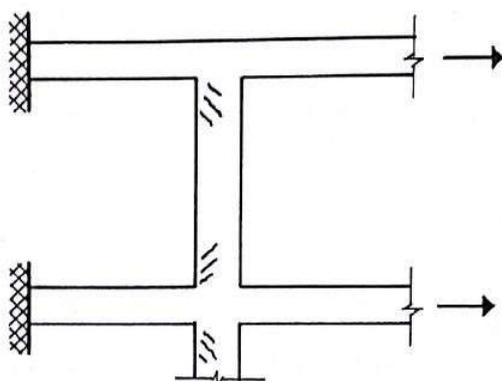
A impetuosidade das movimentações depende de propriedades físicas como: dilatação térmica, coeficiente de condutibilidade térmica e gradiente de variação térmica (THOMAZ, 1989). As restrições a esta movimentação dão origem a tensões nos materiais e em seu contato com outros elementos (THOMAZ, 1989).

O esqueleto portante de uma edificação está facilmente sujeito a movimentações devido à inconstância térmica, higroscópica, acomodações do solo ou vibrações nas suas proximidades (THOMAZ, 1989). De acordo com Thomaz (1989), geralmente os esforços gerados devido à dilatação térmica das lajes e vigas são transmitidos para os pilares ou para a alvenaria quando a estrutura não possui juntas de movimentação.

De acordo com Pacheco (2002) as juntas de movimentação têm a função de separar elementos estruturais de outros elementos portantes ou de elementos de vedação sem função estrutural. As inconstâncias volumétricas às quais edificações e seus componentes estão propensos, podem esclarecer o uso de juntas de dilatação ou movimentação (ABNT, 2018). Elas são empregues para permitir que partes contínuas de edifícios atuem como corpos rígidos isolados para a atuação da variação térmica (ABNT, 2018). Dessa forma, cada parte se movimenta sem agregar tensões uma na outra (THOMAZ, 2012). A concepção estrutural das edificações deve considerar a existência de tais juntas (MONTEIRO, 2008).

As solicitações térmicas podem provocar manifestações patológicas nos pilares das edificações. De acordo com a forma de vinculação viga-pilar, a movimentação das vigas acarreta esforços de tração e cisalhamento aos pilares, ocasionando fissuras levemente inclinadas nas suas extremidades (THOMAZ, 1989), conforme ilustra a figura 8. Estas fissuras indicam má conformação estrutural e podem anunciar problemas estruturais, necessitando de avaliação (THOMAZ, 1989).

Figura 8 - Fissuras formadas em pilar de concreto armado devido à movimentação térmica das vigas de concreto armado



Fonte: Thomaz, 1989.

Fissuras causadas por variações higroscópicas

Segundo Thomaz (1989):

As mudanças higroscópicas provocam variações dimensionais nos materiais porosos que integram os elementos e componentes da construção; o aumento do teor de umidade produz uma expansão do material enquanto a diminuição desse

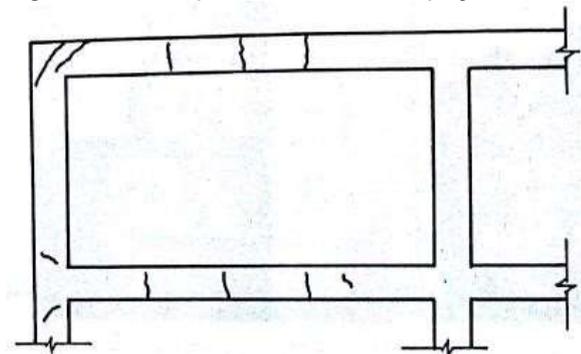
teor provoca uma contração. No caso da existência de vínculos que impeçam ou restrinjam essas movimentações poderão ocorrer fissuras nos elementos e componentes do sistema construtivo (THOMAZ, 1989).

Esse tipo de fissura é um pouco diferente da retração hidráulica, que acontece durante a cura. Segundo Marcelli (2007), nesse caso, a mudança de umidade a que fica compelida a peça de concreto gera uma variação dimensional por absorção ou perda higroscópica. Essa alteração de volume, pode provocar fissuras se houver vínculos que impeçam o elemento de se movimentar. Nesses casos as fissuras poderão surgir ao longo da peça ou junto aos vínculos.

A umidade tem acesso aos materiais através de seus poros e pode ser proveniente do solo, do ar, de problemas na execução da obra ou de falhas nos sistemas hidrossanitários durante o uso (VEIGA, 1998). Já a ausência de umidade para o meio externo, segundo Veiga (1998), pode ser consequência de diversos fatores, como evaporação, alta absorção de um substrato adjacente, ventos e alta temperatura.

A figura 9 ilustra um exemplo de fissuras nas peças estruturais por variação higroscópica.

Figura 9 - Exemplo de fissuras nas peças estruturais por variação higroscópica



Fonte: Thomaz, 1989.

Fissuras causadas por atuação de sobrecargas

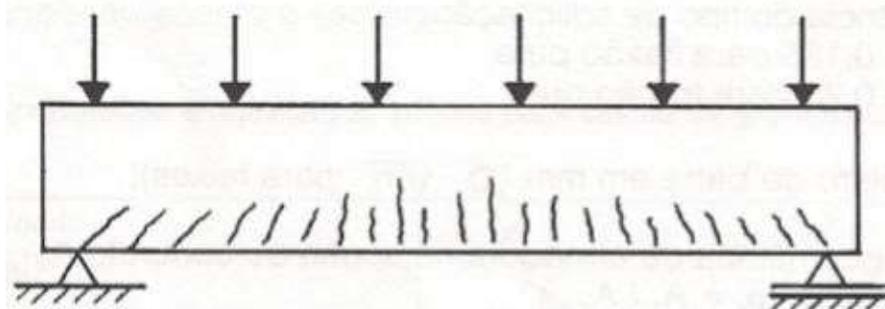
Considera-se a sobrecarga uma solicitação externa, podendo ser previsível ou não nos cálculos, que pode fissurar um elemento com função estrutural ou não (THOMAZ, 1989). As manifestações patológicas, segundo Thomaz (1989), podem surgir quando a sobrecarga foi calculada corretamente, mas a execução do elemento foi falha, ou quando o elemento está sendo demandado por uma carga superior à prevista.

O fissuramento dos componentes de concreto armado devido aos efeitos da sobrecarga, pode resultar ou não em ruptura ou em inconstância da estrutura. O surgimento da fissura em um determinado componente faz com que ele redistribua sua carga em seu próprio componente ou em componentes vizinhos, podendo resultar na absorção dessas requisições pela estrutura (THOMAZ, 1989).

Quando se trata de componentes estruturais, as fissuras podem ser ocasionadas por esforços de tração, compressão ou cisalhamento (CIENITEC, 1998). Almeida (2002), relata que as armaduras na parte inferior de vigas submetidas à flexão resistem aos esforços de tração, enquanto o concreto na parte superior resiste aos esforços de compressão. Para resistir aos esforços cortantes, utiliza-se armadura de cisalhamento (ALMEIDA, 2002). De acordo com Thomaz (1989), vigas subarmadas podem dar origem a trincas de tração, vigas com armadura de cisalhamento deficiente podem dar origem a trincas inclinadas e as vigas muito armadas ou com concreto de baixa qualidade podem dar origem a trincas na sua zona comprimida.

A NBR ABNT 6118 (2018) define o estado limite de fissuras (ELS-F) como o estado em que tem início a fissuração. Ele é alcançado quando a tensão de tração máxima da peça for semelhante à resistência do concreto à tração na flexão (ABNT, 2018). Segundo Thomaz (1989), as vigas com armadura insuficiente na parte tracionada dão origem a fissuras ortogonais à direção dos esforços principais de tração, conforme apresentado na figura 10.

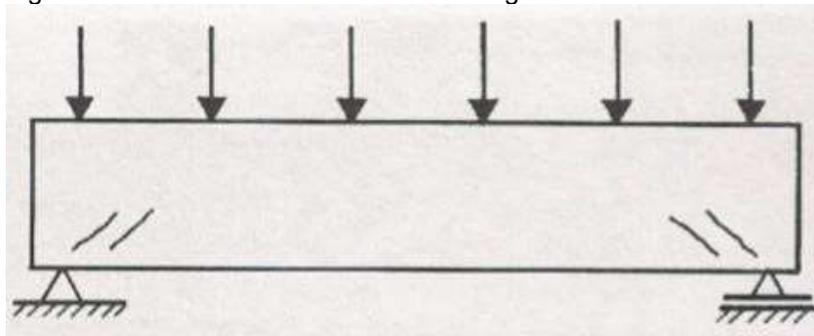
Figura 10 - Fissura típica em viga solicitada à flexão



Fonte: Thomaz, 1989.

As vigas com armadura de cisalhamento insuficiente podem dar origem a fissuras que se exteriorizam próximas aos bordos e inclinadas com ângulo variando de 45 a 60°, considerando que quanto mais altas as vigas, maior será a angulação da fissura (THOMAZ, 1989). A figura 11 apresenta configuração típica de fissura formada quando a tensão cisalhante solicitante é maior que a resistente.

Figura 11 - Fissura de cisalhamento em viga solicitada à flexão



Fonte: Thomaz, 1989.

Já as vigas com armadura excessiva ou concreto com baixa resistência podem dar origem a trincas que surgem pelo esmagamento do concreto (LEONHARDT e MONNING, 1982).

Fissuras causadas por deformidade excessiva das estruturas

De acordo com Valle (2008), vigas e lajes deformam-se naturalmente sob ação do peso próprio, das demais cargas constantes e acidentais e mesmo sob efeito da retração e da deformação lenta do concreto. Os componentes estruturais admitem flechas que podem não afetar em nada sua própria estética, a estabilidade e resistência da construção. Tais flechas, contudo, podem ser divergentes com a capacidade de deformação de paredes ou outros componentes que integram os edifícios.

A norma brasileira para projeto e execução de obras de concreto armado, NBR 6118, estipula as máximas flechas admissível para vigas e lajes:

1. “As flechas medidas a partir do plano que contém os apoios, quando atuarem todas as ações, não excederem $1/300$ do vão teórico, com exceção no caso de balanços para os quais não ultrapassarão $1/150$ do seu comprimento teórico”;

2. “O deslocamento ocasionado pelas cargas acidentais não será superior a $1/500$ do vão teórico e $1/250$ do comprimento teórico dos balanços”.

A ABNT NBR 6118:2014 estipula que no cálculo das flechas precisará ser levada em conta a retração e a deformação lenta do concreto. Se essas observações não forem atendidas com apropriada atenção por parte dos calculistas brasileiros, poderemos presenciar frequentemente casos de fissuras em alvenarias provocadas pelas flechas dos componentes estruturais.

Segundo Thomaz (1989), as paredes de alvenaria podem expor fissuras geradas por deformidade dos elementos da estrutura de concreto armado. A deformidade das estruturas gera movimentações que não podem ser acompanhadas pela constituição rígida das paredes de alvenaria, incorporando tensões de compressão, tração e cisalhamento nas paredes, provocando fissuras.

Fissuras causadas por recalque diferencial

Os solos são compostos, de maneira geral, por partículas sólidas, água e matéria orgânica. Todos os solos propendem a se deformarem, em maior ou menor proporção, devido às cargas externas (THOMAZ, 1989).

De forma abrangente, as fundações propendem a associar o deslocamento do solo e recebem esforços adicionais (VELLOSO e LOPES, 2004).

O recalque é estabelecido como o deslocamento vertical de cima para baixo de uma fundação em relação a um representativo, geralmente o nível do terreno (VELLOSO e LOPES, 2004). Caso este deslocamento aconteça somente em uma parte da estrutura, ou de forma mais intensa em uma parte, este fenômeno de deslocamento passa a ser classificado como recalque diferencial da fundação (VELLOSO e LOPES, 2004).

Quando estas deformações são desiguais ao longo das fundações de uma edificação, são introduzidas na estrutura grandes tensões, que podem exceder a resistência dos materiais e de suas conexões, dando origem a fissuras (THOMAZ, 1989). As fissuras por recalque diferencial formam um ângulo de 45° , de forma que percorrendo uma reta perpendicular à fissura, essa reta aponta para a fundação recalçada.

As fissuras decorrentes de recalque em fundações impactam com maior regularidade o pavimento térreo da edificação e quando ocorrem de forma excessiva, as tensões resultantes de cisalhamento podem provocar esmagamentos localizados e em forma de escamas. Essas fissuras, segundo Holanda Jr. (2002), desenvolvem-se preferivelmente em direção vertical ou diagonal, apresentando variação da abertura ao longo do comprimento.

Segundo Thomaz (1989), as fissuras ocasionadas por recalques diferenciais são comumente inclinadas e se propagam “deitando” em direção ao ponto onde ocorreu o maior recalque.

Neste caso, as aberturas das fissuras ocasionadas por recalques diferenciais serão diretamente proporcionais à Intensidade do recalque ocorrido, ocorrendo ainda, aporte direto na estrutura do edifício e de todas as condições de contorno (THOMAZ, 1989).

Sendo uma edificação constituída de concreto armado e alvenaria de vedação, quando as fundações sofrem recalque diferencial, os esforços provenientes são transferidos para os pilares e redistribuídos através das vigas (THOMAZ, 1989). Logo, a alvenaria de vedação, por ser composta de material menos resistente, normalmente opera como um alívio para estas tensões, acarretando trincas provenientes da movimentação das fundações (MILITITSKY, CONSOLI e SCHENAID, 2015).

Fissuras causadas por retração

Conforme Souza e Ripper (1998), a retração é um movimento natural da massa que é compensado pela existência de restrições distintas como as barras de armadura e vinculações com outras peças estruturais.

Dal Molin (1988) *apud* Bento, Brito e Miranda (2002) identificam três tipos de retração do concreto:

1. Retração plástica assimilada pela perda rápida de água de amassamento, empregue em excesso na confecção do material, e que leva a configuração de fissuras logo após o adensamento e acabamento da superfície do concreto.

2. Retração hidráulica ocasionada pela evaporação de uma parcela da água de amassamento, manifestando-se após o adensamento caso não haja controle para garantir o correto procedimento de cura.

3. Retração térmica caracterizada pela contração do concreto a medida que a peça resfria-se, resultando no aparecimento de tensões que podem provocar a fissuração ou até mesmo a ruptura da peça.

A retração plástica é a diminuição do volume do concreto devido à perda de água para o meio, ainda em seu estado fresco. Esse tipo de evento é mais habitual em lajes em climas quentes e/ou com vento. A retração plástica não é bem-vista na construção civil, uma vez que a água que estava designada para o decurso de hidratação da pasta é perdida para o meio, tendo como consequência a diminuição da resistência e a ocorrência de fissuras (SOUZA e RIPPER, 1998).

Para Cánovas (1988), as retrações que podem ser hidráulicas ou térmicas, geram redução dos elementos estruturais que se converterão em trações, em fissuras ou trincas se o elemento atingido estiver impossibilitado de se deformar. É necessário levar em conta não só a rigidez do elemento considerado, como também o conjunto estrutural que o elemento afeta, pois é comum que a fissuração aconteça nesses elementos que estão unidos a ele.

As retrações hidráulicas acontecem pela perda de água do concreto devido o processo de exsudação no seu estado endurecido. A exposição da superfície do concreto a intempéries intensifica esse processo (CÁNOVAS, 1988).

Já a retração térmica é acarretada pelo calor que é liberado na reação de hidratação. Esta reação é chamada de exotérmica, e o calor que é liberado no decorrer este processo, expande o concreto em um primeiro momento e, após resfriar, delimita o seu volume causando a retração (CÁNOVAS, 1988).

Para Valle (2008), é significativo diferenciar as três formas de retração que transcorrem num produto preparado com cimento:

1. Retração química: a reação química entre o cimento e a água se dá com diminuição de volume.

2. Retração de secagem: a quantidade demasiada de água, empregada na elaboração do concreto ou argamassa, permanece livre no interior da massa, evaporando-se posteriormente.

3. Retração por carbonatação: a cal hidratada liberada nas reações de hidratação do cimento reage com o gás carbônico presente no ar, gerando carbonato de cálcio.

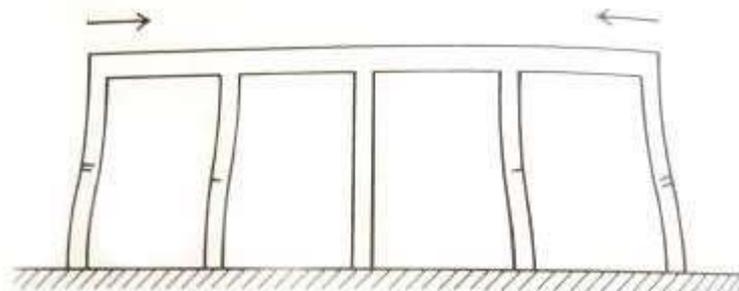
Para Thomaz (1989), na retração de vigas e pilares de concreto armado, as peças de uma estrutura reticulada de concreto armado poderão ser requisitadas por elevadas tensões provenientes da retração do concreto. Em estruturas apertadas, a retração das vigas superiores poderá impulsionar a fissuração horizontal dos pilares mais extremos, conforme ilustra a figura 12.

Segundo Thomaz (1989), a ocorrência de fissuras de retração em viga de concreto armado dependerá da dosagem do concreto (principalmente relação água/cimento),

condições de adensamento (quanto mais adensado, menor a retração) e das condições de cura (evaporação precoce da água aumentará substancialmente a retração), como também das dimensões da peça, da rigidez dos pórticos, da taxa de armaduras e da distribuição de armaduras ao longo de sua seção transversal. Nas vigas altas, com inexistência ou insuficiência de armadura de pele, as fissuras acontecerão, preferencialmente, no terço médio da altura da viga, como retas e regularmente espaçadas, conforme ilustra a figura 13.

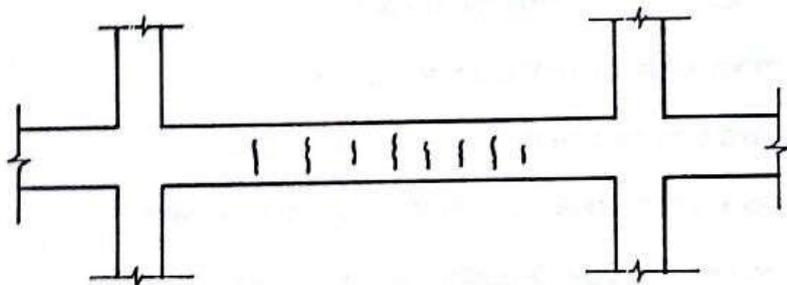
De acordo com Thomaz (1989), a retração de lajes será capaz de motivar a compressão de pisos cerâmicos, somando-se a deflexão estimulada pela retração diferenciada do concreto entre as regiões armadas e não armadas da laje. Em situações bem desfavoráveis, poderá surgir fissuras no piso ou mesmo o destacamento do revestimento cerâmico. Esta retração poderá provocar a compressão de forros falsos, caso estes estejam rigidamente vinculados às paredes. A retração do concreto também será capaz de provocar o aparecimento de fissuras na própria laje, com configuração mapeada e distribuição regular, de maneira semelhante àquela que se verifica em argamassas de revestimento. A figura 14 ilustra fissuras de retração em laje.

Figura 12 - Fissuras horizontais nos pilares devido à retração do concreto das vigas superiores



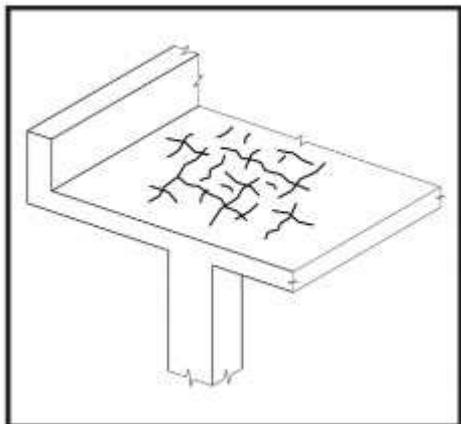
Fonte: Thomaz, 1989.

Figura 13 - Fissuras de retração em viga



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Figura 14 - Fissuras de retração em laje



Fonte: Carmona e Filho, 2013.

Fissuras causadas por reações químicas

Segundo Souza e Ripper (1998), para que decorra uma boa aderência entre o cimento e os agregados, desenvolvem-se combinações químicas entre os mesmos e os componentes hidratados do cimento. Estas combinações são benéficas, pois colaboram para o reforço da resistência mecânica e homogeneidade do concreto, porém, em alguns casos, podem ocorrer reações químicas expansivas, que acabam por invalidar a coesão do concreto. Existem diversas causas químicas de patologias em estruturas de concreto, que tem origem na própria composição do material, como: reação álcali-agregado, presença de cloretos e elevação interna da temperatura do concreto.

A reação álcali-agregado é a reação química que acontece na matriz de concreto entre os minerais reativos presentes nos agregados e os álcalis presentes no cimento, na água de amassamento ou em adições realizadas (DECHICHI, 2002). A reação é lenta e os principais álcalis envolvidos na reação álcali-agregado são o óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O) (DECHICHI, 2002).

A reação álcali-agregado é mais comum em obras frequentemente expostas à umidade como barragens e pontes, porém também pode acontecer em obras habitacionais, com maiores ocorrências nas fundações (PAULON, 1981). Paulon (1981), relata que a reação álcali-agregado origina produtos expansivos na existência de umidade e pode gerar desde fissuração invisível a olho nu, até fissuras que comprometem as estruturas de concreto armado.

De acordo com Cichinelli (2007), é raridade a reação álcali-agregado levar a estrutura de concreto a degradação, porém ela funciona como porta de entrada para outras formas de deterioração da estrutura. O principal indício de reação álcali-agregado nas peças de concreto armado é a fissuração (CICHINELLI, 2007).

Em relação aos cloretos, Zamberlan (2013) afirma que, a presença de cloretos no concreto pode acarretar muitos incômodos. Estes podem ser localizados em agregados extraídos de regiões que no passado foram marinhas, na água do mar, em aditivos aceleradores de pega, poluentes industriais ou a partir de produtos utilizados na limpeza que, tenham na constituição, o ácido muriático. Podem ocasionar a corrosão das armaduras de forma bastante agressiva. Diversos são os parâmetros que influenciam a penetração deste agente no concreto, como, a estrutura porosa do material, composição química, relação água /cimento, fissuração do concreto e potencial hidrogeniônico (pH) do concreto.

Os íons cloreto são um dos agentes mais nocivos para a corrosão das barras de aço, pois têm a habilidade de despassivar as armaduras mesmo em potencial hidrogeniônico (pH) excessivamente alto. Os cloretos penetram nos poros do concreto por meio da difusão

ou pela absorção capilar de águas, que diluem a deposição do aerossol marinho a partir da superfície, contendo o íon na forma dissolvida e ao superarem, na solução dos poros, um certo limite em relação à concentração de hidroxilas, despassivam a superfície do aço e dão início ao processo corrosivo (FUSCO, 2008).

Neville (1997) ressalta que o maior dano gerado pelo ataque de cloretos é a corrosão do aço, que por consequência abalará o concreto ao seu redor. Os produtos que são gerados pela corrosão ocupam um espaço cerca de seis a sete vezes maior do que o aço originalmente ocupava. Isso se dá pela conjuntura da expansão do processo, que acaba ocasionando uma fissuração na estrutura.

Já em relação a elevação interna da temperatura do concreto, têm-se que, as reações que acontecem no decorrer da hidratação, são exotérmicas, ou seja, ocorre a liberação de calor. Perante isso, esta quantidade que é desatada de calor poderá ocasionar avarias quando peças de grandes dimensões forem concretadas, pelo fato de que no início da hidratação não há troca positiva de calor com o exterior, o que leva a um aquecimento e expansão da massa. Posterior a isso, ocorre o esfriamento da massa, gerando um gradiente térmico no qual pode gerar fissuração interna do concreto (SOUZA E RIPPER, 1998).

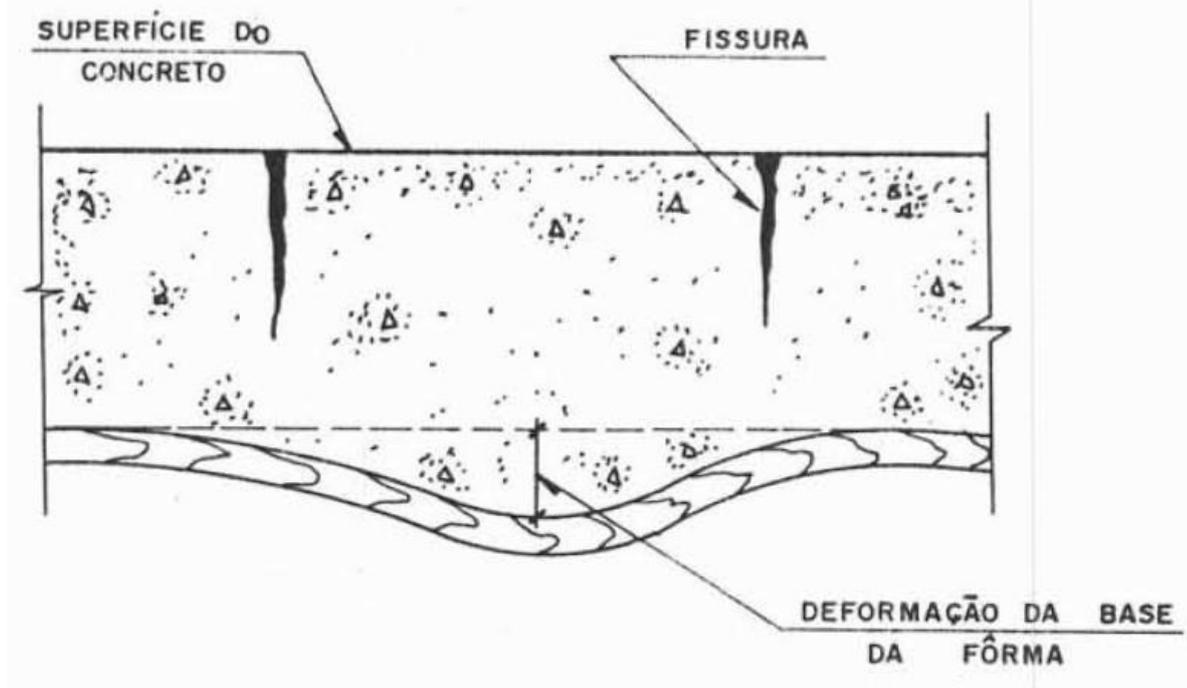
Fissuras causadas por movimentação de fôrmas e escoramentos

Segundo a NBR 15696 (ABNT, 2009), é obrigatória a realização do projeto com dimensionamento para fôrmas e escoramentos, contendo verificação da capacidade de carga de pavimentos inferiores, quando houver, em diversas idades, aplicação de cargas resultantes de concretagens posteriores e, a verificação da capacidade de carga de pavimentos superiores devido à aplicação de carga em diversas idades, resultante da retirada das escoras em um nível inferior. Apesar disso, na prática construtiva, isso nem sempre é observado, ou então o dimensionamento pode vir a ser inadequado, o que pode levar à ocorrência de manifestações patológicas.

Todo o movimento das fôrmas produzido entre o momento do lançamento do concreto até o início da pega pode ocasionar no aparecimento de fissuras. As causas desse movimento podem estar ligadas a diversos fatores, como, sobrecargas, falhas no sistema de escoramento, detalhes construtivos, mão-de-obra de baixa qualidade, e lançamento do concreto de maneira inadequada (DAL MOLIN, 1988).

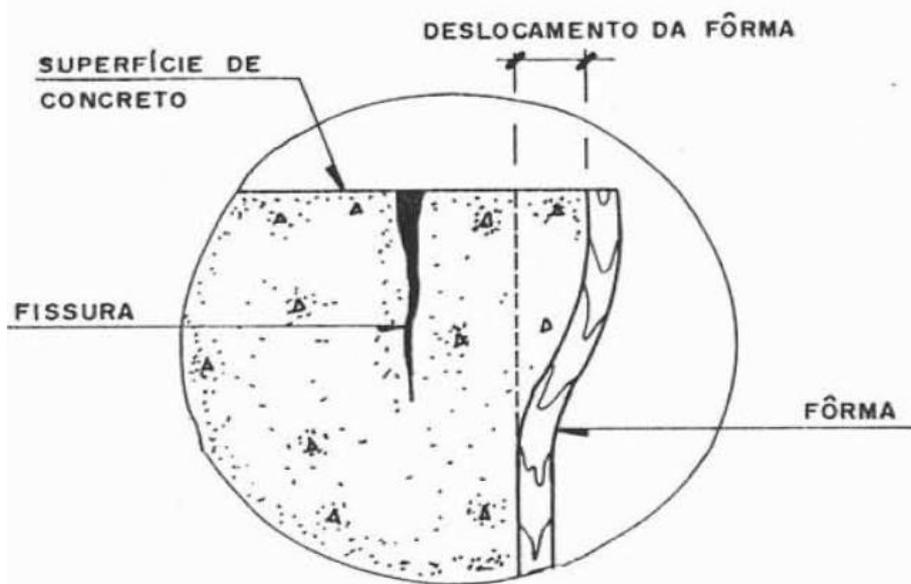
De acordo com Souza e Ripper (1998), a fissuração causada por movimentação de fôrmas ocorre principalmente por dois motivos: deformação acentuada da peça, gerando alteração de sua geometria, com perda de resistência e desenvolvimento de quadro de fissuração característico de deficiência de capacidade resistente (figura 15), e deformação das fôrmas (figura 16), seja por mau posicionamento, falta de fixação adequada, existência de juntas mal vedadas ou fendas, ou por absorção da água do concreto, criando juntas de concretagens não previstas, as quais normalmente levam à fissuração. Um quadro grave que pode ocorrer quando as fissuras são internas, é a formação de bolsa de água na massa do concreto (figura 17), facilitando o processo de corrosão das armaduras.

Figura 15 - Fissura na superfície do concreto devido à deformação na base da fôrma



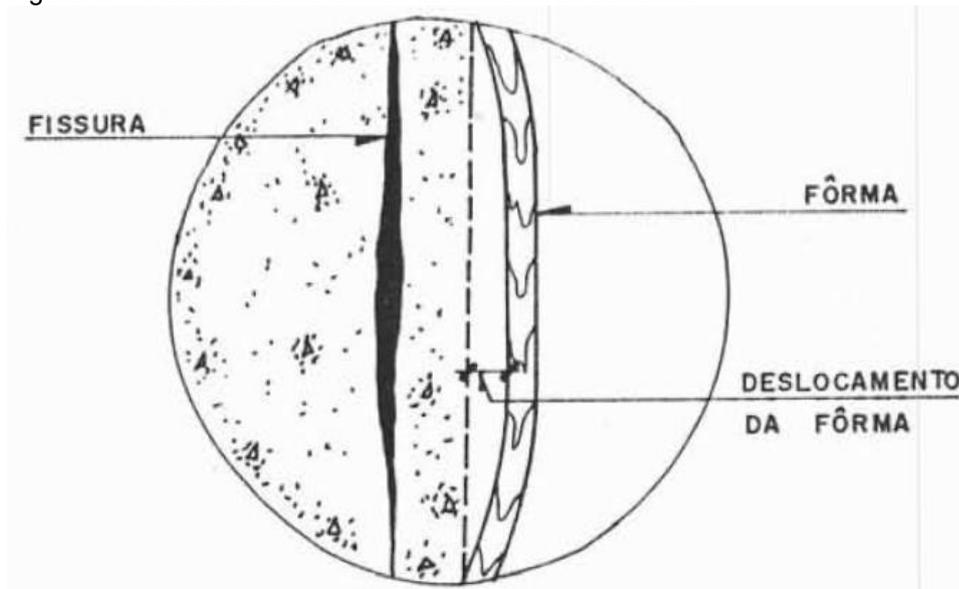
Fonte: Dal Molin, 1988.

Figura 16 - Fissura na superfície do concreto devido ao movimento da fôrma



Fonte: Dal Molin, 1988.

Figura 17 - Fissura interna devido ao movimento da fôrma



Fonte: Dal Molin, 1988.

Segundo Dal Molin (1988), posto que o conjunto de formas apresente-se estabilizado, ou o concreto não encontre-se em estado plástico, as fissuras decorrentes da movimentação dos moldes não sofrerão modificações adicionais, logo, se tornarão fissuras estabilizadas.

Outro processo capaz de gerar fissuração é a retirada precoce do escoramento. Alguns anos atrás, esperava-se de 7 a 12 dias para iniciar a retirada de formas e escoramentos de uma laje, atualmente, esse serviço é iniciado antes de completar 5 dias (NAKAMURA, 2010). As formas e escoramentos devem ser retirados respeitando o comportamento da estrutura, atendendo ao tempo necessário para que o concreto adquira resistência e suporte às cargas impostas (ABNT, 2017). Não obedecer aos prazos necessários à cura do concreto e ao ganho de resistência das estruturas, pode gerar tensões não previstas no material, originando a fissuração na estrutura (THOMAZ, 1989).

Fissuras causadas por corrosão das armaduras

A corrosão das armaduras que compõem o concreto armado pode ser denominada como um processo eletroquímico, que ocorre em meio aquoso e depende de diferença de potencial, exposição ao ar e agentes agressivos (ANDRADE, 2001). De acordo com Andrade (2001), o processo de corrosão eletroquímica depende de um desequilíbrio elétrico entre metais diferentes ou entre partes do mesmo metal.

Mehta e Monteiro (1994), definem a corrosão das armaduras como a transformação de aço metálico em ferrugem seguida de aumento no volume da armadura. Este aumento no volume da armadura também ocasiona a expansão do concreto, provocando nele uma redistribuição das tensões internas que resulta na perda de aderência entre os materiais e no surgimento de espaços vazios no concreto (CUNHA e HELENE, 2001).

Este processo de acréscimo e redistribuição das tensões internas no concreto pode originar fissuração (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Dessa forma, além de gerar zonas de fraqueza no concreto, comprometendo-o, a fissuração gera vazios que expõem a armadura às intempéries, aumentando sua corrosão e a abertura das fissuras, intensificando o processo e agravando a situação (MEHTA e MONTEIRO, 1994). A figura 18 ilustra fissura em elemento estrutural devida à corrosão das armaduras.

Figura 18 - Fissura em pilar de concreto devido à corrosão das armaduras



Fonte: Thomaz, 1989.

Diagnóstico de causa de fissuras

De acordo com Sahade (2005), as fundamentais técnicas de recuperação de fissuras estão relacionadas com as características das patologias. Logo, o primeiro passo para tratar uma fissura é buscar com exatidão qual o seu mecanismo de formação.

O estudo inicial da manifestação patológica deve levantar o máximo de informações indispensáveis para diagnosticar a causa da fissura: variação da temperatura, variação higroscópica, atuação de sobrecargas, deformidade excessiva das estruturas, recalques na fundação, alterações químicas de materiais de construção, movimentação de fôrmas e escoramentos, corrosão das armaduras, etc. De acordo com Thomaz (1989), nesta fase de levantamento de subsídios é fundamental a análise minuciosa da obra com auxílio técnico capacitado.

Em razão da complexidade da análise, em alguns casos é imprescindível o uso de equipamentos para detecção de armaduras, indicador dos teores de umidade e outros aspectos. Um segundo aspecto a ser levantado é a qualidade dos materiais empregados para a construção e o modo de execução que foi adotado (SAHADE, 2005).

Segundo Thomaz (1989), alguns itens não podem deixar de serem levados em consideração durante o levantamento de informações de uma fissura, sendo:

- Incidência, configuração, comprimento, profundidade, abertura e localização da fissura;
- Idade aproximada da trinca e a época em que a edificação foi construída;
- Existência de alguma manifestação patológica semelhante à analisada em componentes vizinhos da edificação, em outros pavimentos ou em edifícios vizinhos;
 - Se a fissura apresenta ou não variação na sua abertura;
 - Se a patologia estudada já passou por reparo anterior;
 - Se a vizinhança da obra passou por alguma modificação profunda que possa ter afetado a edificação analisada;
 - Se nas proximidades da fissura existem tubulações ou eletrodutos embutidos;
 - Se existem outras manifestações patológicas nas proximidades da fissura, como umidade, descolamentos ou manchas de ferrugem;

- Se as fissuras se manifestam preferivelmente em uma fachada específica da edificação;
- Se a edificação está sendo utilizada corretamente conforme sua finalidade.

Posteriormente ao levantamento do máximo de informações possíveis em relação as manifestações patológicas, o próximo passo para a recuperação é relacionar as possíveis causas e efeitos com as características das fissuras encontradas (LICHTENSTEIN, 1985).

Segundo Thomaz (1989), para diagnosticar as patologias, uma adequada técnica é considerar inicialmente todas as suas possíveis causas e ir excluindo as que não se adequam à situação analisada na etapa de coleta de informações. Para casos em que apenas a análise não é eficiente para chegar a um diagnóstico correto, Thomaz (1989) reitera que devem ser assumidas medidas mais trabalhosas, como, a revisão dos cálculos estruturais, avaliação da sondagem local em caso de possibilidade de recalques ou utilização de técnicas instrumentadas. A aplicação de instrumentos para o diagnóstico das fissuras, varia desde medidas simples como o uso fissurômetros, à medidas mais requintadas como a utilização de extensômetros (THOMAZ, 1989).

Conforme Sahade (2005), a definição do sistema de recuperação apropriado é primordial para que a fissura não ressurgir com o tempo, devendo ser compatível com o acabamento dos pontos vizinhos às patologias, de modo a não interferir na arquitetura e estética da edificação.

Recuperação de fissuras

De acordo com Souza e Ripper (1998):

O tratamento de peças fissuradas está diretamente ligado à perfeita identificação da causa da fissuração, ou, dito de outra forma, do tipo de fissura com que se está a lidar, particularmente no que diz respeito à atividade (variação de espessura) ou não da mesma, e da necessidade ou não de se executar reforços estruturais (casos em que as fissuras resultam de menor capacidade resistente da peça) (SOUZA e RIPPER, 1998).

O tratamento será habitualmente mais simples nos casos superficiais, não sendo mesmo, em algumas situações, necessário recorrer-se às resinas epoxídicas, que são mais caras, podendo-se optar pela aplicação de nata de cimento portland inserida com aditivo expensor, nos casos de obstrução rija (SOUZA e RIPPER, 1998).

Se a razão da fissura estiver ligada a agressividade do meio, há ainda a indispensabilidade da concepção de uma barreira ao transporte nocivo de líquidos e gases para dentro das fissuras, reprimindo a contaminação do concreto e até das armaduras (SOUZA e RIPPER, 1998).

Antes de iniciar a reparação, Helene (1992) salienta que o preparo e a limpeza do substrato são especialmente importantes e realizados de maneira inadequada podem comprometer integralmente um reparo estrutural, por melhor e mais adequados que sejam os materiais e os sistemas empregados.

Para tratar fissuras, dispõe-se das seguintes opções: injeção de fissuras, selagem de fissuras e costura de fissuras. Vale ressaltar que, para tratar fissuras por corrosão de armaduras, o procedimento ocorre por outro método.

Injeção

Souza e Ripper (1998) explicitam injeção como “a técnica que garante o perfeito enchimento do espaço formado entre as bordas de uma fenda, independente de se estar

injetando para restabelecer o monolitismo de fendas passivas, casos em que são usados materiais rígidos, como epóxi ou grautes, ou para a vedação de fendas ativas, que são ocorrências mais raras, em que se estarão a injetar resinas acrílicas ou poliuretânicas”.

Thomaz (2003) ressalta o uso de resina epóxi e poliuretano da seguinte forma: a resina epóxi é empregada para ligação rígida e muito resistente aos esforços mecânicos, podendo ser utilizada em elementos que necessitam esforços estruturais. Já o poliuretano e a espuma de poliuretano são aplicados para fechamento elástico e vedação de fissuras secas, de fissuras úmidas ou de fissuras com água percolando, não podendo ser empregado em elementos estruturais. Caso haja água percolando, sob pressão, deve ser utilizado inicialmente uma espuma de Poliuretano de pega rápida para parar o fluxo da água.

Para correta injeção, deve ser definido material de acordo com: a abertura da fissura, que define a viscosidade necessária, sendo utilizadas menores viscosidades quanto menor a abertura da fissura; se há movimentação, o que define o módulo de elasticidade do material, sendo utilizados materiais de menor módulo de elasticidade, ou seja, mais facilmente deformáveis, caso a fissura seja ativa; a presença ou ausência de umidade, pois alguns materiais não tem bom desempenho frente às altas umidades e, o “pot-life”, que é o tempo disponível para aplicação da resina após a mistura com o catalisador (CÁNOVAS, 1988).

O procedimento de injeção é anunciado por Souza e Ripper (1998) do seguinte jeito:

1º. Abertura de furos ao longo do progresso da fissura, com diâmetro da ordem dos 10 mm e não muito profundos (30mm), respeitando o espaçamento, que deve variar entre os 50 mm e os 300 mm, em incumbência da abertura da fissura (tanto maior, quanto mais aberta for), mas sempre respeitando um máximo de 1,5 vezes a profundidade da fissura;

2º. Exaustiva e consciente limpeza da fenda – ou do conjunto de fissuras, se for o caso – e dos furos, com ar comprimido, por aplicação de jatos, seguida de aspiração, para remoção das partículas soltas, não só as originalmente presentes (sujeiras), mas também as derivadas da operação de furação;

3º. Nos furos, são fixados tubinhos plásticos, de diâmetro imediatamente inferior ao da furação, com parede pouco espessa, por meio dos quais será injetado o produto. A fixação é feita através do próprio adesivo que selará o intervalo de fissura entre dois furos consecutivos;

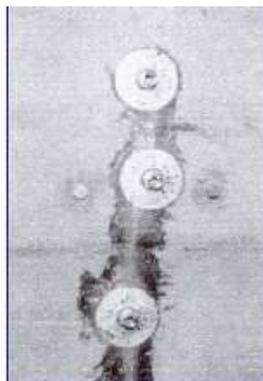
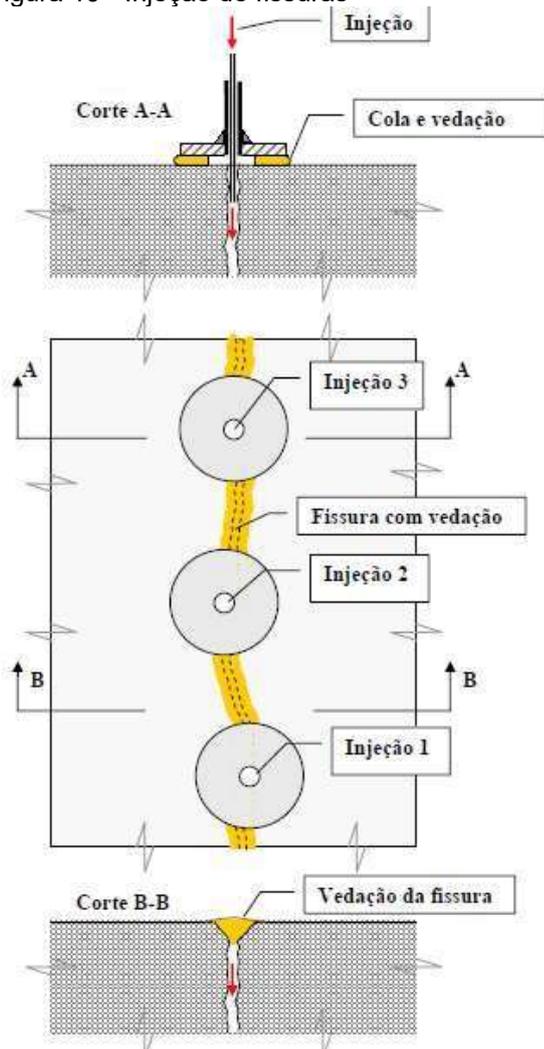
4º. A selagem é feita pela aplicação de uma cola epoxídica bicomponente, geralmente aplicada a espátula ou colher de pedreiro. Ao redor dos tubos plásticos, a concentração da cola deve ser relativamente superior, de forma a garantir a fixação deles;

5º. Antes de se iniciar a injeção, a eficiência do sistema deve ser atestada, o que pode ser feita através da aplicação de ar comprimido, testando então a comunicação entre os furos e a efetividade da selagem. Se houver obstrução de um ou mais tubos, será indício de que haverá a indispensabilidade de reduzir-se o espaçamento entre eles, inserindo-se outros a meio caminho;

6º. Testado o sistema e definido o material, a injeção pode então começar, tubo a tubo, sempre com pressão crescente, escolhendo-se normalmente como primeiros pontos aqueles situados em cotas mais baixas.

A figura 19 ilustra a injeção de fissuras.

Figura 19 - Injeção de fissuras



Injetar de baixo para cima.

Bauberatung Zement [120]

Fonte: Thomaz, 2003.

Selagem

A selagem é aplicada para vedação de fissuras ativas pela utilização de um material indispensavelmente aderente, resistente mecânica e quimicamente, não retrátil e com módulo de elasticidade suficiente para adaptar-se à deformação da fenda (SOUZA e RIPPER, 1998).

Souza e Ripper (1998) apontam três diferentes procedimentos para a selagem de fissuras, variando de acordo com a abertura:

1º. Para fissuras com aberturas inferiores a 10 mm, deve ser realizado o mesmo processo de selagem descrito na técnica de injeção de fissuras;

2º. Para fissuras com aberturas entre 10 mm e 30 mm, deve ser feito um enchimento da fenda, invariavelmente na mesma direção, com graute, podendo, em alguns casos, ocorrer a adição de carga, procedendo-se a selagem convencional das bordas, com produto à base de epóxi;

3º. Para fissuras com aberturas superiores a 30 mm, a selagem já passa a ser vista como se fosse a vedação de uma junta de movimento e que prevê a inserção de um cordão em poliestireno extrudado, ou de uma mangueira plástica, para apoio com isolamento do

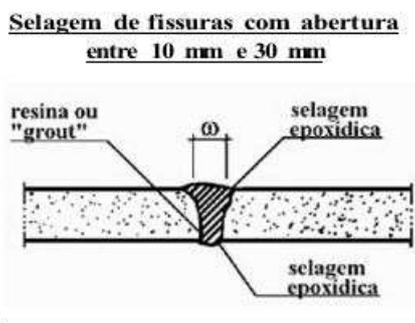
selante do fundo da fenda. Uma outra possibilidade é a colocação de juntas de neoprene, que precisarão aderir aos bordos da fenda, apropriadamente reforçados para o efeito.

De acordo com Souza e Ripper (1998), quando é utilizado o mastique como selante, é imprescindível a prévia colocação de um cordão de poliestireno no fundo do entalhe, que serve como material de preenchimento. Esse procedimento tem como objetivo, inibir que o mastique venha a aderir ao fundo da fissura, o que poderia comprometer não só a sua durabilidade, mas o seu devido trabalho. Para melhor aderir o material de preenchimento ao substrato, indica-se a pincelagem com epoxídicos, permitindo, assim, a aplicação do produto com o bico da bishnaga. Após, a superfície final deverá ser cuidadosamente alisada com espátula.

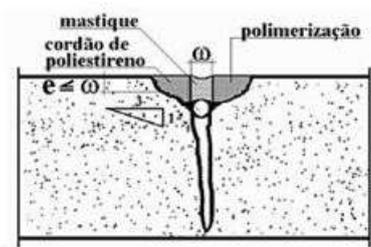
Souza e Ripper (1998) salientam que em todos os casos, é crucial o fortalecimento da superfície mais externa dos bordos das fendas, para certificar que o reparo seja eficiente. Se tal reforço não for previsto, poderá haver perda de aderência.

A figura 20 ilustra a selagem de fissuras.

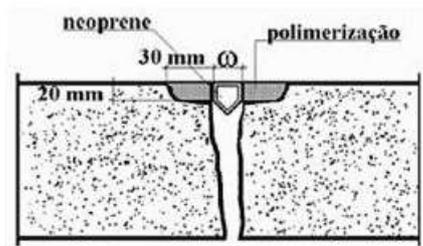
Figura 20 - Selagem de fissuras



Vedação de fissuras de grande abertura com mastique



Vedação de fissuras de grande abertura com neoprene



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Grampeamento

A costura de fissuras (grampeamento), é empregada em fissuras cuja causa se depara na capacidade resistente. Desta maneira, é aplicado um reforço na estrutura por armaduras, a fim de aumentar a resistência à tração. Em função do seu aspecto e propósito, essas armaduras são denominadas grampos, sendo este, portanto, o processo de costura das fissuras (SOUZA e RIPPER, 1998).

“A técnica é de contestável aplicação pois intensifica a rigidez da peça localizadamente, e se o esforço causador da fenda continuar, com certeza gerará uma nova fissura em região adjacente” (SOUZA e RIPPER, 1998). Desse modo, para minorar os efeitos dos grampos, são recomendados os seguintes procedimentos:

1º. Sempre que viável, descarregamento da estrutura, pois o método em questão não deixa de ser um reforço;

2º. Execução de berços na superfície do concreto, para assentamento das barras de costura, englobando, se a opção for por ancoragem mecânica, a realização de furação no concreto para amarração das extremidades dos grampos, sendo estes buracos devidamente cheios com adesivo apropriado;

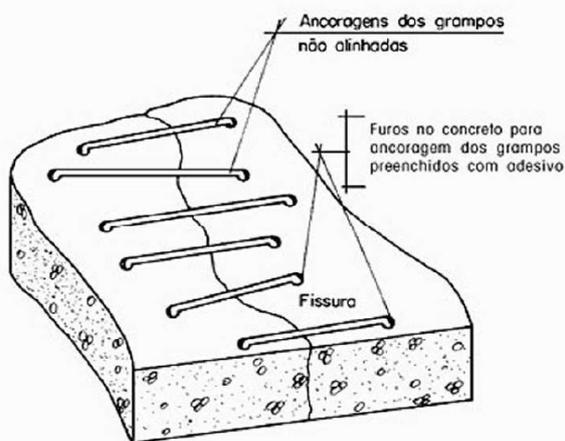
3º. Se a opção for esta, injeção da fenda com resinas epoxídicas ou cimentícias, fazendo a selagem a um nível inferior ao do berço executado. O grampeamento deve ser, sempre e indispensavelmente, posterior à injeção;

4º. Aplicação dos grampos e complementação dos berços realizados com o mesmo adesivo utilizado para a selagem;

5º. As fendas precisam ser costuradas nos dois lados da peça, no caso de peças tracionadas.

A figura 21 ilustra o grampeamento de fissuras.

Figura 21 - Grampeamento de fissuras

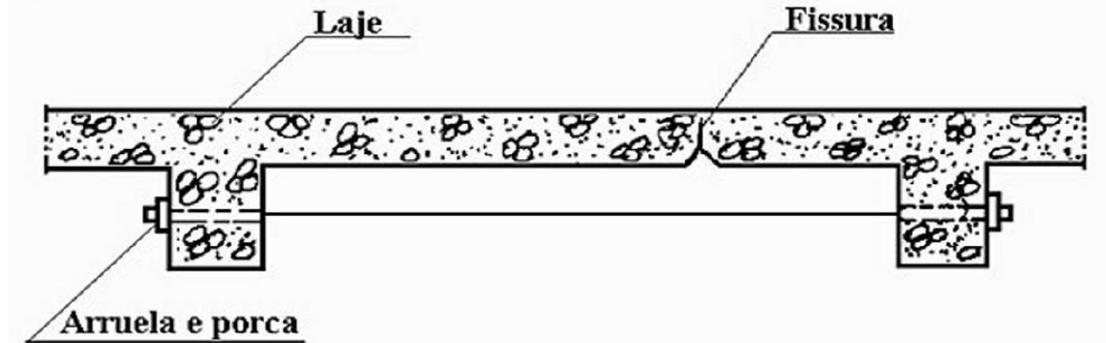


Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Souza e Ripper (1998) recomendam, como opção à costura, a introdução de um reforço de compressão por aplicação de cabos de aço ou barras comuns, para compensar a tração imposta ao elemento. Os autores ratificam que esse processo é mais relacionado com o dimensionamento estrutural de um reforço, do que com o tratamento de fissuras, como uma técnica em si. Para a aplicação dessa técnica, deve-se levar em importância os esforços localizados nas regiões de ancoragem das barras ou cabos.

A figura 22 ilustra a anulação das tensões de tração pela introdução de pretensão exterior.

Figura 22 - Anulação das tensões de tração pela introdução de pretensão exterior



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Recuperação de fissuras causadas por corrosão de armaduras

Segundo Andrade Perdrix (1992):

“No caso de uma estrutura deteriorada por corrosão de armaduras, a função básica que deve cumprir o reparo é a de restaurar a proteção das armaduras e reconstruir o componente de concreto restabelecendo suas propriedades físicas e características estéticas e geométricas” (ANDRADE PERDRIX, 1992).

Conforme Helene (1986), a recuperação consiste basicamente em três etapas:

1º. Limpeza rigorosa, preferencialmente com jato de areia e apicoamento de todo o concreto solto ou fissurado, inclusive das camadas de óxidos/hidróxidos das superfícies das barras. Deve ser retirado, inclusive, o concreto que estiver atrás das armaduras corroídas, deixando um vão livre mínimo de 1 a 2 cm entre o aço e o concreto “velho” (ANDRADE PERDRIX, 1992).

2º. Análise criteriosa da possível redução de seção transversal das armaduras. Se necessário, devem ser colocados novos estribos e novas armaduras longitudinais. Andrade Perdrix (1992) afirma que é recomendável colocar armadura adicional sempre que a redução de seção transversal supere 15 a 25%. Recomenda-se utilizar pintura de zinco nas armaduras. Além disso, sempre que se empregar solda, recomenda-se que esta seja à base de eletrodos, controlando-se o tempo e a temperatura, a fim de evitar a mudança de estrutura no aço, principalmente em estruturas mais antigas, já que nas construções recentes é mais comum a presença de aços soldáveis (HELENE, 1986).

3º. Reconstrução do cobrimento das armaduras, tendo por finalidade, impedir a penetração de umidade, oxigênio e agentes agressivos até as armaduras, recompor a área da seção de concreto original e propiciar um meio que garanta a manutenção da capa passivadora no aço.

A fim de se aplicar o correto cobrimento das armaduras, Helene (1986) sugere alguns exemplos:

- Concreto projetado, com espessura mínima de 50 mm.

Vantagem: não é demandada a utilização de fôrmas e há eficiente aderência entre os concretos.

Desvantagem: elevada perda material e sujeira provocada no ambiente.

- Adesivo à base de epóxi para união do concreto “velho” com o “novo”.

Vantagem: impermeabilização definitiva da armadura, evitando a corrosão apesar da carbonatação superficial do concreto.

Desvantagem: requer fôrmas, é de difícil compactação e adensamento do concreto “novo” e comumente as seções finais são maiores que as iniciais, causando prováveis prejuízos estéticos.

- Concretos e argamassas poliméricos de resinas à base epóxi.

Vantagem: alta durabilidade, impermeabilidade, aderência ao concreto velho e à armadura, não resultam problemas estéticos em razão da possibilidade de serem moldados em pequenos espaços.

Desvantagem: requerem fôrma, mão de obra especializada, testes prévios de desempenho e são dispendiosos.

- Concretos e argamassas especiais para “grauteamento”.

Vantagem: não manifestam retração, possuem boa aderência, podem ser auto-adsorvíveis, não solicitando aumento da seção original.

Desvantagem: requerem fôrmas.

- Concretos e argamassas “comuns”, bem proporcionados, com baixa relação água/cimento e aplicados com fôrma, dentro das técnicas de bem construir.

Normalmente é necessário grande aumento de seção. Além de exigir alto conhecimento da tecnologia do concreto, necessário para garantir a aderência do concreto “velho” ao “novo”.

METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos deste estudo, além da pesquisa bibliográfica, que consiste em explicar um problema a partir do registro disponível, utilizando-se de referenciais teóricos já trabalhados e devidamente publicados por outros pesquisadores (SEVERINO, 2007), adotou-se o estudo de caso, aplicado quando se deseja compreender um fenômeno da vida real em profundidade, englobando importantes condições contextuais (YIN, 2010).

O método adotado para realização deste trabalho, fundamenta-se em Mazer (2012), sendo, a primeira etapa, o levantamento de subsídios, que consiste na obtenção de informações necessárias para o diagnóstico, consideráveis para o estudo dos fenômenos, baseadas em inspeções visuais, executadas no mês de fevereiro de 2021. Além do levantamento de subsídios, as próximas etapas são, o diagnóstico do problema e a definição de conduta para o problema levantado na pesquisa, conforme ilustra a figura 23.

Figura 23 - Fluxograma das etapas do procedimento aplicado



Fonte: Mazer, 2012.

O levantamento de subsídios fundamenta-se na concentração do maior número de informações necessárias no que se refere a problemática, com o propósito de estudar e entender os fenômenos patológicos. O processo utiliza inspeções visuais para compreensão aproximada ou total do problema, conforme o número de sintomas identificados.

O diagnóstico baseia-se na percepção dos fenômenos de tratamento de múltiplas relações de causa e efeito e entendimento dos principais motivos de ocorrência a partir dos dados levantados, tornando praticável determinar a possível causa a partir do seu efeito.

Posteriormente a coleta e manipulação de dados para a definição do diagnóstico considerado adequado, têm-se a determinação da conduta a ser empregada, estratégia de intervenção ou plano de ação para resolução do problema.

Para o estudo de caso, foram selecionadas cinco estruturas de concreto armado fissuradas observadas na área externa e interna da residência objeto do estudo.

Para o correto diagnóstico e posterior conduta de reparação das estruturas de concreto armado estudadas no estudo de caso, levou-se em consideração a condição de exposição desses elementos estruturais.

Materiais utilizados

Para realização de inspeção visual é necessária a utilização de alguns equipamentos básicos que auxiliem neste processo. Para realizar o levantamento dos dados, foram utilizados:

- Equipamento para registro fotográfico;
- Lápis;
- Papel;
- Prancheta.

DESENVOLVIMENTO

Descrição da residência

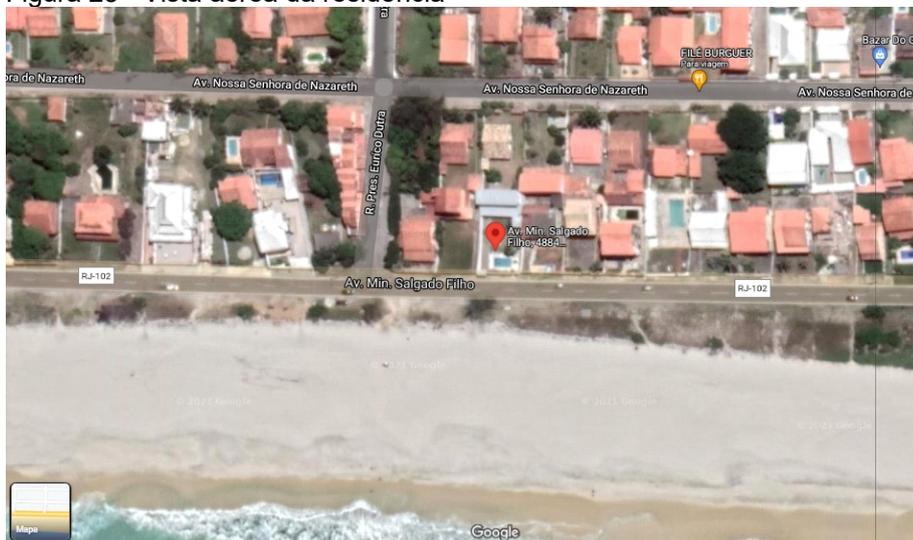
A fim de alcançar os objetivos apresentados, foi realizado o levantamento de estudo de caso de estruturas de uma residência (figura 24) construída em concreto armado e alvenaria no início do ano de 2003, situada na Avenida Ministro Salgado Filho, número 4884, Barra Nova – Saquarema, RJ (figura 25). A residência é constituída por 3 quartos, 3 banheiros, sala, cozinha, área de serviço e sótão, dispostos em 3 pavimentos, além de área externa, contendo aproximadamente 220m² de área construída e 450m² de área total.

Figura 24 - Fachada da residência



Fonte: Google, Maps, 2021.

Figura 25 - Vista aérea da residência



Fonte: Google, Maps, 2021.

Identificação das fissuras

De acordo com a NBR 15575:2013, as estruturas de concreto armado são projetadas para uma vida útil de 50 anos, contanto que seus usuários executem as normativas do manual de utilização, inspecionando e realizando as manutenções.

Mediante visita técnica realizada na residência, observou-se fissuras em cinco estruturas de concreto armado. A sondagem das patologias nas estruturas de concreto armado, foram realizadas em 2 vigas e 3 pilares presentes na área externa e interna da residência. Foi pretendida a análise das estruturas, considerando o ambiente de exposição e o embasamento teórico.

As estruturas foram construídas em um período que as normas recomendadas para o cobrimento mínimo das estruturas não eram consideradas, ocasionando mau desempenho.

Área externa

Apresenta-se no quadro 1 as estruturas fissuradas observadas na área externa da residência.

Quadro 1 - Fissuras causadas por corrosão da armadura

ESTRUTURA ANALISADA	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL
	<p>Fissura vertical, localizada em pilar presente no exterior da residência, pertinente a penetração de ação de íons de cloreto.</p>
	<p>Fissura vertical, localizada em pilar presente no exterior da residência, pertinente a penetração de ação de íons de cloreto.</p>
	<p>Fissura horizontal, localizada em viga presente no exterior da residência, estrutura pertinente a penetração de ação de íons de cloreto.</p>

Fonte: Autores, 2021.

Causa provável:

Corrosão da armadura. A residência fica próxima ao mar, logo, é possível afirmar que, as estruturas estão propícias a ação de cloretos nos poros do concreto, atingindo as armaduras, deteriorando as estruturas. As fissuras apresentam manifestações no local da armadura dos pilares e da viga, seguindo o comprimento na vertical (pilares) e na horizontal (viga). Seus aspectos evidenciam que elas ocorrem por expansão do interior ao decorrer de uma linha. Se a corrosão for em viga a característica principal é o descolamento da

cobertura, a corrosão se dá na ferragem negativa a incidência gravidade a água passa a atingir o negativo. Fundamentado na revisão bibliográfica, as fissuras identificadas são procedentes da corrosão da armadura.

Sugestão de reparo:

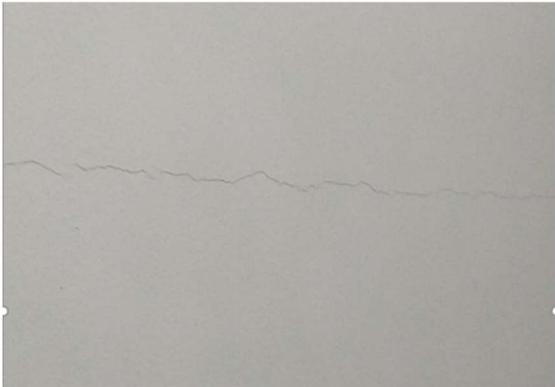
Sugere-se a retirada do concreto degradado e, posterior a isso, a limpeza da corrosão da armadura com escova com cerdas de aço e jato de água ou ar comprimido, até que esteja bem limpa. Após, aplicar inibidores de corrosão, aplicar uma camada epóxi viapol 32, esperar secar completamente, produzir as formas, aplicar de forma abundante água fria e limpa, aplicar o material de reparo com o substrato ainda úmido, aplicar graute de recomposição e controlar a cura.

Vale ressaltar que, caso a corrosão seja superior a 85%, reflete a perda de toda armadura e, sendo inferior a 85%, recomenda-se fazer o reforço da armadura, ressaltando a excentricidade do pilar ou viga. Posterior ao reforço, recomenda-se a proteção da armadura da agressividade do meio, aplicando uma pintura protetiva com epóxi.

Área interna

Apresenta-se no quadro 2 as estruturas fissuradas observadas na área interna da residência.

Quadro 2 - Fissuras causadas por desenvolvimento de sobrecarga

ESTRUTURA ANALISADA	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL
	<p>Fissura horizontal, localizada em viga presente no interior da residência, pertinente a sobrecarga desconsiderada em projeto do pavimento construído acima.</p>
	<p>Fissura vertical, localizada em pilar presente no interior da residência, pertinente a sobrecarga desconsiderada em projeto do pavimento construído acima.</p>

Fonte: Autores, 2021.

Causa provável:

Desenvolvimento de sobrecarga. Foi construído um pavimento acima da viga e do pilar, que não foram projetados com a finalidade de absorver estes esforços, logo, receberam cargas não previstas.

Apesar de se tratar de sobrecargas, o que a princípio levaria a indícios de fissura ativa, as fissuras possuem comportamento passivo, pois não se observa variação de tamanho e abertura a mais de três anos, conforme relatam os proprietários.

Fundamentado na revisão bibliográfica, as fissuras identificadas são procedentes do desenvolvimento de sobrecargas.

Sugestão de reparo:

Partindo da pressuposição de que as fissuras estejam em estado passivo, indica-se sistema de reparação com tela de poliéster juntamente com massa acrílica.

CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como finalidade investigar as fissuras observadas nas estruturas de concreto armado da edificação estudada no estudo de caso, identificando as prováveis causas, direcionando a técnicas de reparo. Para viabilizar o estudo, foi imprescindível compreender os principais mecanismos de formação das fissuras, entender suas avarias e formas de intervir, através de revisão bibliográfica.

Durante vistoria local, foram identificadas no exterior da residência, diversas fissuras em estruturas de concreto armado, com causas equivalentes, sendo, a corrosão de armaduras, a manifestação patológica que mais afeta estas estruturas. No interior da residência, foi identificado que, as fissuras nas estruturas estudadas, ocorrem por desenvolvimento de sobrecargas.

Por carência de recursos, não foi viável a realização de ensaios para definir com precisão as causas. Todavia, embasado em revisão bibliográfica, presume-se que o agente causador das fissuras presentes nas estruturas de concreto armado externas estudadas no estudo de caso, é a agressividade do meio, enquanto o agente causador das fissuras presentes nas estruturas de concreto armado internas averiguadas do estudo de caso, se caracteriza como sobrecargas não estipuladas em projeto.

Os conceitos estudados neste trabalho são elementos básicos para a compreensão da importância de um projeto de obra bem elaborado e coerente com suas características. O monitoramento de estruturas apresenta-se como ferramenta indispensável para levantamento de informações quanto à deterioração e como forma indicativa para intervenções preventivas.

Neste estudo de caso, verificou-se a importância da conscientização quanto à manutenção preventiva. Portanto, toda edificação deve possuir um programa eficiente de inspeção e manutenção para assegurar a durabilidade da estrutura e a otimização dos recursos.

Salienta-se que, as iniciativas de reparo devem possuir controle tecnológico e execução adequada para que os problemas não reincidam antes do previsto, resultando em manutenções ineficientes e dispendiosas. A elaboração de um correto diagnóstico, é uma condição essencial para o tratamento adequado das patologias nas estruturas de concreto armado.

É importante enfatizar que normas técnicas devem ser seguidas, a fim de garantir o desempenho e a durabilidade satisfatória das estruturas de uma edificação, cumprindo com a vida útil para qual foi projetada.

Conclui-se que, tendo em vista os aspectos observados, a realização de estudos que buscam avaliar, caracterizar e diagnosticar a ocorrência de patologias em estruturas de uma edificação, são fundamentais para o processo de produção e uso das edificações, pois

permitem conhecer ações eficientes para atenuar a ocorrência de falhas e problemas, melhorando a qualidade geral das edificações e otimizando a aplicações dos recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. de. **Manifestações Patológicas em Prédio Escolar: Uma Análise Qualitativa e Quantitativa**. 2008. 204 p. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria., Santa Maria, 2008.

ALMEIDA, L. C. D. **Fundamentos do concreto armado**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2002.

AMBROSIO, Thais da Silva. **Patologia, tratamento e reforço de estruturas de concreto no metrô de São Paulo**. 2004. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

ANDRADE, J. J. D. O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos**. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

ANDRADE PERDRIX, M. D. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo, Brasil: Pini, 1992.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Patologia das Estruturas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) Concreto: In.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT/CB-003, A. B. D. N. T. **Confiabilidade e manutenibilidade**. [S.l.]. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de edifícios**. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: Seleção e projeto - Impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto - Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho: Requisitos para os sistemas estruturais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749: Revestimento de Paredes e Teto de Argamassa Inorgânica - Especificação**. Rio de Janeiro 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, A. B. D. N. T. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. [S.l.]. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. A. B. D. N. T. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. [S.l.]. 2018.

AZEVEDO, M. T. **Patologia das Estruturas de Concreto**. In ISAIA, G. C. Ed. Concreto: Ciência e tecnologia. Volume 2. 1. ed. São Paulo, 2011.

BATTAGIN, A. F. **Cuidados ao construir em áreas litorâneas**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP. 2009.

BENTO, J.G.V.; BRITO, P. C. de; MIRANDA, R. de F. **Fissuras em elementos de concreto armado: características, causas e recuperações**. 2002. 86 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2002. Disponível em: <www.dec.uem.br/jdnc/TCC/Patologia/>. Acesso em: 11 março. 2021.

BICZOK, I. 1972. **Corrosion y protección del hormigon**. Bilbao/Espanã: Ediciones Urmo. Trad. de Emilio J. d'Ocon Asensi.

BORGES, M. G. (2008). **Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado**. (Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS).

BRANDÃO, A. M. S. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. 1ª ed. São Paulo: Ed. Pini, 1988.

CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. 1ª ed. Goiânia: Editora UFG, 1997.

CARMONA, Thomas; FILHO, Antônio Carmona. **Fissuração nas estruturas de Concreto**. Boletim Técnico, 2013. Disponível em: <<http://alconpat.org.br/wpcontent/uploads/2012/09/B3-Fissura%C3%A7%C3%A3o-nas-estruturas-deconcreto.pdf>> Acesso em: 01 abril. 2021.

CICHINELLI, G. C. **Reação Perigosa**. Técnica, n. 125, agosto 2007.

CIENTEC. Fissuras em Alvenarias: **Causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação**. Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC. Porto Alegre. 1998.

CORSINI, R. **Trinca ou fissura?** Técnica, n. 160, julho 2010.

COUTO, J. P.; COUTO, A. M. **Importância da revisão dos projetos na redução dos custos de manutenção das construções**. In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO 2007, 3, 2007, Coimbra, Portugal. Universidade de Coimbra, 2007.

CLIMACO, João Carlos Teatini. **Estruturas de concreto armado**. 2ª edição. Brasília: UnB, 2008.

CREMONINI, R. A. **Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares da região de Porto Alegre: Recomendações para projeto, execução e manutenção**. Porto Alegre: UFRGS, 1988.

CUNHA, A. C. Q. D.; HELENE, P. R. L. **Despassivação das armaduras de concreto por ação da carbonatação**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - BT/PCC/283. São Paulo, p. 17. 2001.

DAL MOLIN, Denise C. Coitinho. **Fissuras em estruturas de concreto armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio**

Grande do Sul. Porto Alegre, 1988. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/>>. Acesso em: 01 maio. 2021.

DECHICHI, M. **Reação álcali-agregado: Estudo das propriedades elásticas e mecânicas através da utilização de inibidores.** Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2002.

DO CARMO, Paulo Obregon. **Patologia das construções.** Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.

DUARTE, R. B. **Fissuras em alvenarias: Causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação.** CIENTEC, Porto Alegre, n 25, 45 p, dezembro 1998.

ECIVIL UFES. **Manutenção de obras: um problema cultural?** Disponível em: <<https://ecivilufes.wordpress.com/tag/custo/>>. Acesso em: 11 de março. 2021.

FACECHEATSBRASIL. **Patologias em concreto armado.** Disponível em: <<http://tecnicoedifica.blogspot.com/2014/04/patologias-em-concreto-armado.html>>. Acesso em: 22 março. 2021.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (FIB 53). **Structural Concrete Textbook on behaviour, design and performance.** Second edition, Volume 3: Design of durable concrete structures, 2010.

FILHO, L. C. P. S. **Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: Análise do efeito da permeação de água e da adição de microssilica.** 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com Fibras. In.: **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005, V.2.

FUSCO, Pericles. **Técnica de armaduras estruturas de concreto.** São Paulo: P ini.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://maps.app.goo.gl/S7JC6xE4ebbFMkv6A>>. Acesso em: 25 abril. 2021.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com/search?q=Avenida+Ministro+Salgado+Filho+4884&oq=av&aqs=chrome.1.69i57j69i59l2j35i39j46i131i199i291i433.2876j0j9&client=ms-android-asus-tpin&sourceid=chrome-mobile&ie=UTF-8>>. Acesso em: 25 abril. 2021.

GNIPPER, Sérgio F.; MIKALDO JR. Jorge. **Patologias frequentes em sistemas prediais hidráulico sanitários e de gás combustível decorrentes de falhas no processo de produção do projeto.** Curitiba, 2007.

GRANATO, J. E. **Apostila: Patologia das construções.** Disponível em: <<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadasconstrucoes2002.pdf>>. Acesso em: 10 maio. 2021.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** 1. ed. São Paulo: PINI (IPT), 1986.

HELENE, P. **Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto.** Pini, 2ª ed. São Paulo, 1992.

HELENE, P. R. L. **Manual de reabilitação de Estruturas de Concreto – Reparo, Reforço e Proteção.** São Paulo: Red Rehabilitar, editores, 2003.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** São Paulo. 2 ed. IBRACON, 2010.

HOLANDA Jr., O.G. **Influência de recalques em edifícios de alvenaria estrutural**. 2002. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

IBDA. **Fissuras e Trincas em fachadas**. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. [S.l.]. 2019.

KIHARA, Y. 1993. **Reação álcali-agregado: mecanismo, diagnose e casos brasileiros**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 3., 1993, São Paulo. Anais. São Paulo: ABCP, v. 1.

KULISCH, D. **Ataque por sulfatos em estruturas de concreto**. 109 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2008.

LEAL, U. **Quando as fissuras em paredes preocupam**. *Téchne*, São Paulo, 70, jan. 2003. Disponível em: <<http://techne.kubbix.com/engenharia-civil/70/artigo287252-1.aspx>>. Acesso em: 18 abril. 2021.

LEONHARDT, F.; MONNING, E. **Construções de concreto - princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, 1982.

LICHTENSTEIN, N, B. **Patologia das construções**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, Boletim Técnico nº 06, 1985.

LIMA, M. G. **Ação do meio ambiente sobre as Estruturas de Concreto**. In.: *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.

LOURENÇO, L. D. C.; MENDES, L. C. **Deteção preventiva de patologias em edificações**. *Téchne*, n. 167, fevereiro 2011.

MACHADO, Ari de Paula. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. São Paulo: Pini, 2002.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: Causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007.

MAZER, W. **Inspeção e ensaios em estruturas de concreto**. Curitiba, 2012. Disponível em: Acesso em: 27 abr. 2017.

MEDEIROS, H. **Doenças concretas**. *Revista téchne*, São Paulo, n. 160, p. 62-68, jul. 2010.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, IBRACON, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHENAID, F. **Patologia das fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 2, 2015.

MOLIN, D. C. C. V. **Fissuras em estruturas de concreto armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de caso ocorrido no estado do Rio Grande do Sul**. Lume Repositório digital, Rio Grande do Sul, 1988.

NAKAMURA, J. **Qual é o limite?** *Téchne*, n. 156, março 2010.

NAZARIO, Daniel; ZANCAN, Evelise C. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde**. Santa Catarina, 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo. PINI, 1997.

NITA, C. **Utilização de Pozolanas em Compósitos de Cimento Reforçados com Fibras de Celulose e PVA**. Dissertação, Mestrado em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PACHECO, P. Á. **Projeto de estruturas Especiais de Betão**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP. Porto. 2002.

PAULON, V. A. **Reações álcali-agregado em concreto**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1981.

PIANCA, João Batista. **Manual do construtor: materiais de construção 1º vol.** 15ª edição. Porto Alegre: Globo, 1978.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Apostila para Curso de Extensão, Ed. Depto. Estruturas da Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1997.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos: Universidade de São Carlos, 2007.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral**. Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420, Curitiba, n. 1, 14 p, outubro 2013.

REZENDE, L. V. S. et al (1996). **Resistência do concreto dosado em central – classificação e aspectos de durabilidade**. Congresso técnico-científico de Engenharia Civil. Abril. Florianópolis, 1996.

SAHADE, R. F. **Avaliação de sistemas de recuperação de fissuras em alvenaria de vedação**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2005.

SANTOS, R. E. D. **Armação do Concreto no Brasil: História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, C. F. **Patologia de estruturas de concreto**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

SANTUCCI, Jô. **Patologia e desempenho das construções**. Crea-RS – Conselho em revista, Porto Alegre, 2015.

SEVERINO, Antônio J. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23 ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, F. B. D. **Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil**. Técnica, n. 174, setembro 2011.

SILVA, Ricardo José Carvalho. **Concreto armado**. 2. ed. [S.l.]: Universidade do Vale do Acaú, 2013.

SOUZA, V.; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. – São Paulo: Pini, 1998.

TAKATA L. T. **Aspectos executivos e a qualidade de estruturas em concreto armado: Estudo de caso**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009.

TÉCHNE. **Alvenaria sob ação horizontal**. Téchné, dezembro 2007. n129.

TÉCHNE. **Recuperação por baixo**. Téchné, julho 2007. n124.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini; EPUSP; IPT, v. 1, 1989.

THOMAZ, E. C. S., **Fissuração - 168 Casos Reais**. Rio de Janeiro, 2003.

TRINDADE, D. dos S. da. **Patologias em Estrutura de Concreto Armado**. 2015. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

OLIVARI, G. **Patologia em edificações**. São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, A. M. D. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

VALLE, Juliana B. de Senna. **Patologia das alvenarias**. Monografia (Especialização em Tecnologia da Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2008.

VEIGA, F. N., Gonçalves, I. N., Armelin, J. L., Hasparyk, N. P., 1997. **Reação Álcali-Agregado: A utilização da técnica de microscopia eletrônica de varredura na identificação de seus produtos**. Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado Em Estruturas de Concreto, Goiânia, novembro de 1997, Anais.

VEIGA, M. D. R. D. S. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes**. Faculdade de Engenharia da Universidade Do Porto. [S.I.]. 1998.

VELLOSO, D. D. A.; LOPES, F. D. R. **Fundações: Critérios de rojeto - Investigação do Subsolo - Fundações Superficiais**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2004.

VERÇOZA, Ê. J. **Patologia das edificações**. Sagra, Porto Alegre, 1991.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 4º ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZAMBERLAN, F. **Penetração de cloretos em concretos compostos com cinza de casca de arroz de diferentes teores de carbono grafítico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa maria, 2013.