

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Mateus Dierings Tanus dos Santos

**MANUAL BÁSICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE FISSURAS
MAIS COMUNS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO PARA ENGENHEIROS RECÉM-FORMADOS**

Porto Alegre
Dezembro de 2019

MATEUS DIERINGS TANUS DOS SANTOS

**MANUAL BÁSICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE FISSURAS
MAIS COMUNS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO PARA ENGENHEIROS RECÉM-FORMADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Ruy Alberto Cremonini

Porto Alegre
Dezembro de 2019

MATEUS DIERINGS TANUS DOS SANTOS

**MANUAL BÁSICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE FISSURAS
MAIS COMUNS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO PARA ENGENHEIROS RECÉM-FORMADOS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, Dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Professor Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)
Doutor pela Universidade de São Paulo
Orientador

Professora Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Nei Ricardo Vaske (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha família, que sempre me apoiou para que pudesse concluí-lo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, André e Eliane, e ao meu irmão, Lucas, que me apoiaram durante todo o curso e, principalmente, durante a realização deste trabalho.

Agradeço também ao meu orientador, Ruy Alberto Cremonini, pela paciência e tempo dedicados a orientações e correções para este trabalho.

Agradeço ainda a todos os amigos que fiz ao longo do curso, que me propiciaram diversão e entretenimento, juntamente aos momentos de estudo.

Agradeço especialmente às pessoas que me ajudaram de alguma forma com este trabalho, principalmente Estéfani, Marco, Juliana e Guilherme.

O segredo do sucesso é a constância do propósito.

Benjamin Disraeli

RESUMO

A construção civil tem como um de seus principais produtos as estruturas em concreto armado. Um elevado índice de manifestações patológicas apresentado nesse tipo de estruturas se faz presente nos dias atuais, sendo isso devido a falhas em qualquer uma, ou mais de uma, das etapas do ciclo de produção e uso estrutural. Uma das principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado são as fissuras, sendo então objeto, neste trabalho, de uma revisão de literatura sobre as causas dessas últimas. Nesta revisão, são apresentados com razoável detalhamento, porém ainda de maneira simples, os mecanismos de formação, as morfologias típicas, o risco que pode ser apresentado e a presença ou não de atividade nas fissuras, de acordo com a subdivisão por causas de formação. O produto deste trabalho é um manual básico, com instruções relativamente simples, através do qual um engenheiro com poucos conhecimentos a respeito de patologia das estruturas pode ser capaz de identificar a causa de uma fissura com razoável precisão. Este manual básico tem instruções que direcionam o usuário à revisão de bibliografia já realizada de maneira assertiva, deixando de lado já algumas das possibilidades de causa de fissuração para evitar grandes gastos de tempo. Na sequência, é realizada nova revisão bibliográfica a respeito das técnicas para recuperação de fissuras em estruturas de concreto armado, já apresentando algumas instruções sobre como realizar essa recuperação para as fissuras que podem ser diagnosticadas através do manual básico que este trabalho produziu. Através do uso do manual, juntamente à leitura da revisão bibliográfica apresentada, um engenheiro deve ser capaz de prolongar a vida útil de estruturas deterioradas por fissuras.

Palavras-chave: Fissuras. Patologia.
Estruturas de concreto armado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fissuração causada por dessecação superficial em lajes contínuas	26
Figura 2 – Fissuras mapeadas, também conhecidas como pele de jacaré, causadas pela dessecação superficial	27
Figura 3 – Fissuras causando perda de aderência entre concreto e armadura	28
Figura 4 – Fissuras causadas por flexão em viga biapoiada	29
Figura 5 – Fissuras causadas por flexão em viga contínua.....	30
Figura 6 – Fissuras devidas à flexão no ponto de maior momento em marquise	30
Figura 7 – Fissuras devidas à flexão no ponto de maior momento em marquise	31
Figura 8 – Fissuras devidas à flexão em laje	31
Figura 9 – Fissuras devidas a esforços excessivos de compressão no concreto.....	32
Figura 10 – Fissura por flambagem do pilar.....	33
Figura 11 – Fissuração por esmagamento do concreto, por insuficiência de armadura de compressão	33
Figura 12 – Viga fissurada devido a esforços de torção	34
Figura 13 – Fissura devida ao esforço excessivo de corte em viga	35
Figura 14 – Fissuras causadas pelo efeito da punção na laje	35
Figura 15 – Fissuras de retração com intervalos regulares em viga	38
Figura 16 – Fissuras de retração em lajes em formato de mosaico	38
Figura 17 – Fissuras e lascamentos em pilar, em função da expansão do concreto provocada pela ação de sulfatos	40
Figura 18 – Fissuras provocadas pela expansão do material, comprometendo irreversivelmente o desempenho da construção	40
Figura 19 – Armaduras em concreto não contaminado	42
Figura 20 – Interação química da ocorrência da corrosão	43
Figura 21 – Processo da fissuração por corrosão de armaduras	43
Figura 22 – Fissuração acentuada e lascamentos em pilar de concreto, devidos à corrosão das armaduras	44
Figura 23 – Fissura em laje causada pela expansão térmica das vigas de apoio	46
Figura 24 – Manifestação típica de retração hidráulica e contração térmica em lajes	46
Figura 25 – Fissuras de recalque causado pela alteração no bulbo de tensões	48
Figura 26 – Fissuras de recalque causado pela alteração no bulbo de tensões	48
Figura 27 – Fissura na superfície do concreto devido à deformação na base da fôrma ...	50
Figura 28 – Fissura na superfície do concreto devido ao movimento da fôrma	50
Figura 29 – Fissura interna devido ao movimento da fôrma	51

Figura 30 – Exemplos de mau uso de reescoramento, com escoramento no meio do vão da laje e fissura devida à formação de um momento fletor negativo por conta de um reescoramento mal executado	52
Figura 31 – Diversas fissuras em locais típicos	53
Figura 32 – Régua de fissurômetro	63
Figura 33 – Dois modelos de alongâmetro: tipo LNEC (a) e de Staeger (b)	63
Figura 34 – Procedimentos para a determinação da movimentação da fissura	63
Figura 35 – Edifício em construção em Capão da Canoa	66
Figura 36 – Fissuras na laje de cobertura em edifício em Capão da Canoa - foto 1	67
Figura 37 – Fissuras na laje de cobertura em edifício em Capão da Canoa - foto 2	68
Figura 38 – Fissuras na laje de cobertura em edifício em Capão da Canoa - foto 3	69
Figura 39 – Fissuras na laje de cobertura em edifício em Capão da Canoa - foto 4	70
Figura 40 – Fissuras na laje de cobertura em edifício em Capão da Canoa - foto 5	71
Figura 41 – Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos – foto 1	72
Figura 42 – Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos – foto 2	73
Figura 43 – Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos – foto 3	74
Figura 44 – Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos – foto 4	74
Figura 45 – Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos – foto 5	75
Figura 46 – Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos – foto 6	76
Figura 47 – Fissura situada na laje do apartamento – foto 1	77
Figura 48 – Fissura situada na laje do apartamento – foto 2	77
Figura 49 – Localização dos bicos de injeção na fissura bifurcada	83
Figura 50 – Preparação da fissura para o procedimento de injeção	83
Figura 51 – Injeção de fissuras	84
Figura 52 – Selagem de fissuras com abertura entre 10 e 30 mm	85
Figura 53 – Vedação de fissuras de grande abertura com mastique	86
Figura 54 – Vedação de fissuras de grande abertura com neoprene	86
Figura 55 – Reparo de uma fissura por grampeamento	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)	19
Tabela 2 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto .	20
Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$	22
Tabela 4 – Fissuras referentes à Figura 31	54
Tabela 5 – Fissuras típicas em lajes em geral	57
Tabela 6 – Fissuras típicas em lajes em balanço	58
Tabela 7 – Fissuras típicas em vigas em geral	59
Tabela 8 – Fissuras típicas em vigas em balanço	60
Tabela 9 – Fissuras típicas em pilares	61
Tabela 10 – Divisão das fissuras como ativas ou passivas	64

LISTA DE SIGLAS

NBR – Norma Brasileira

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 DELIMITAÇÕES	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	16
2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS	16
2.2 DESEMPENHO, VIDA ÚTIL E DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	17
2.2.1 Classe de agressividade ambiental	19
2.2.2 Relação entre as propriedades do concreto e sua durabilidade	19
2.2.3 Cobrimento de armadura	21
2.3 PATOLOGIA DO CONCRETO ARMADO.....	22
3 FISSURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	24
3.1 FISSURAS EM CONCRETO FRESCO	25
3.1.1 Fissuras causadas por dessecação superficial	25
3.1.2 Fissuras causadas por assentamento do concreto/perda da aderência da armadura	27
3.2 FISSURAS EM CONCRETO ENDURECIDO	28
3.2.1 Fissuras devidas a esforços excessivos ou ações aplicadas	28
3.2.1.1 Fissuras devidas a esforços excessivos de flexão	29
3.2.1.2 Fissuras devidas a esforços excessivos de compressão	32
3.2.1.3 Fissuras devidas a esforços excessivos de torção	34
3.2.1.4 Fissuras devidas a esforços excessivos de corte	34
3.2.2 Fissuras causadas por retração do concreto	36
3.2.3 Fissuras devido a agentes químicos	38
3.2.3.1 Ataque por sulfatos	39
3.2.3.2 Reação álcali-agregado	40
3.2.3.3 Corrosão da armadura	41
3.2.4 Fissuras causadas por variação térmica	44
3.2.5 Fissuras causadas por recalques diferenciais	47
3.2.6 Fissuras causadas por movimentação de fôrmas e escoramentos	49
4 DIAGNÓSTICO DE CAUSAS DE FISSURAS	55
4.1 PROCEDIMENTOS RECOMENDADOS PARA AUXÍLIO NA IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS DE FISSURAS	55

4.2 EXEMPLO PRÁTICO DE DIAGNÓSTICO	65
4.2.1 Edifício em construção em Capão da Canoa	66
4.2.2 Edifício antigo em Porto Alegre	69
5 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA AS FISSURAS	80
5.1 INJEÇÕES	82
5.2 SELAGEM	84
5.3 CICATRIZAÇÃO	86
5.4 OCRATIZAÇÃO	87
5.5 GRAMPEAMENTO	88
5.6 RECUPERAÇÃO DE FISSURAS CAUSADAS PELA CORROSÃO DA ARMADURA	89
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado são em geral projetadas e construídas para ter uma vida útil longa, de dezenas de anos. Ao menos essa é a expectativa, já que o concreto é um material que imita rochas, conhecidas por sua resistência e longa durabilidade.

Em tempos mais antigos, quando se trabalhava com concreto de baixas resistências e peças bastante robustas, se comparadas às utilizadas atualmente, as estruturas de concreto armado dificilmente apresentavam grandes problemas e não necessitavam de maiores cuidados de manutenção, em função do excelente desempenho que se observava nas obras construídas com tal material. Contudo, com os avanços na tecnologia do concreto e a construção de estruturas cada vez mais esbeltas, passaram a ser frequentemente observadas algumas manifestações patológicas que poderiam possivelmente comprometer as novas estruturas (ANDRADE, 1997).

Segundo Souza e Ripper (1998, p. 4), “[...] as estruturas de concreto não são eternas, pois se deterioram com o passar do tempo e não alcançam sua vida útil se não bem projetadas, executadas com esmero, utilizadas com critério e, finalmente, submetidas a uma manutenção preventiva.” Projetos de engenharia com detalhamento ruim ou incorreto, construções realizadas sem controle e planejamento, técnicos e operários sem qualificação adequada e prazos curtos tanto para projeto quanto execução são fatores que contribuem para que as estruturas apresentem manifestações patológicas mais frequentemente.

Cánovas (1988) diz que as estruturas de concreto armado podem apresentar muitos tipos de danos ou lesões que necessitam reparos, os quais devem ser realizados a fim de eliminar esses danos e devolver a estabilidade perdida da estrutura.

A fissuração é um dos mais importantes sintomas patológicos para estruturas de concreto armado, pois é um dos sintomas mais marcantes de suas doenças. As fissuras têm sua origem em causas de tipo reológico, térmico ou mecânico, que podem afetar desfavoravelmente os elementos estruturais. Elas podem dar lugar a perdas de resistência na estrutura, deterioração no concreto e nas armaduras, além de causar efeitos antiestéticos nos elementos estruturais (CÁNOVAS, 1988).

As fissuras em estruturas de concreto armado se apresentam em diferentes morfologias, sendo que usualmente as mesmas causas formam fissuras com morfologias semelhantes. Sendo possível identificar a causa de uma fissura, pode ser realizado o tratamento tanto da fissura quanto, eventualmente, de sua causa, o que deve prevenir uma redução da vida útil da estrutura como um todo.

Neste trabalho serão apresentadas as fissuras mais comumente observadas, os motivos que podem tê-las causado, de acordo com a morfologia de cada fissura, e algumas maneiras que pode ser realizado o seu tratamento.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de um manual básico que auxilie engenheiros com poucos conhecimentos de patologia das construções a identificar e diagnosticar causas básicas e níveis de riscos de fissuras em estruturas de concreto armado apresentadas em edificações.

Tem também como objetivo secundário apresentar noções de reparo das fissuras que podem ser diagnosticadas através desse manual.

1.2 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se em considerar fissuras típicas somente em edifícios com estrutura em concreto armado, em que tenha sido utilizado concreto convencional. Delimita-se também que seja utilizada apenas inspeção visual para determinação das causas das fissuras do exemplo real.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por, além da introdução, outros cinco capítulos.

O capítulo seguinte apresenta a revisão bibliográfica e diversos conceitos encontrados em normas a respeito de estruturas de concreto armado, apresentando alguns princípios básicos, os conceitos de desempenho, vida útil e durabilidade, e também um apanhado básico a respeito de patologia das estruturas.

Na sequência, o capítulo três traz uma revisão bibliográfica a respeito das fissuras, apresentando diferentes causas que podem dar origem a elas, e também a morfologia típica que cada causa pode provocar. O capítulo quatro vem a ser o manual básico para identificação de fissuras, elaborado pelo autor baseado nos estudos realizados para a produção deste trabalho, sendo que nele são apresentados uma série de instruções e tabelas auxiliares para auxílio no diagnóstico das causas das fissuras. O capítulo quatro apresenta ainda exemplos reais de diagnóstico de fissuras, realizados através de inspeção visual, somente.

O capítulo cinco apresenta algumas maneiras para realizar o tratamento das fissuras estudadas, elaborado através de revisão bibliográfica, com o objetivo de auxiliar o leitor a encontrar a melhor maneira de reparar a manifestação patológica. Já o capítulo seis apresenta as conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Neste capítulo é abordado o conceito de estruturas de concreto armado, os aspectos que visam torná-las duráveis e seguras, assim como algumas propriedades do material concreto.

2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS

O concreto é, de acordo com Neville e Brooks (2013), no sentido amplo, qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. Esse meio costuma ser o produto da reação entre um cimento hidráulico e água, porém há casos em que essa definição não é válida. Este trabalho irá considerar somente o concreto convencional, que trata-se da mistura de cimento Portland, água, agregados (miúdos e graúdos) e, possivelmente, aditivos.

Estruturas de concreto armado são formadas por uma composição de barras de aço e concreto, sendo que o aço é utilizado para que sejam alcançadas altas resistências à tração, levando em conta que o concreto, por si só, resiste basicamente à compressão. As barras de aço são denominadas armaduras, daí o nome “concreto armado”. De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), elementos de concreto armado são “aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

A durabilidade das edificações é atualmente considerada de grande importância. Para que as estruturas atinjam sua vida útil de projeto, normalmente é necessária a realização de manutenção. A respeito disso, a NBR 5674 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) explica:

“A gestão do sistema de manutenção inclui meios para:

Preservar as características originais da edificação;

Prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes;” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012)

Os materiais a adotar, assim como os métodos construtivos e de concepção estrutural devem considerar o desempenho esperado para a vida útil de uma edificação. Além disso, apesar de

os materiais não serem perenes, eles envelhecem, necessitando de manutenção e tratamento para serem reabilitados. Essas informações devem ser consideradas no projeto e ao longo da utilização da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.2 DESEMPENHO, VIDA ÚTIL E DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A NBR15575-1 define desempenho como o “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 6). De acordo com Souza e Ripper (1998), esse comportamento em serviço de cada produto ao longo da vida útil espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção. Apesar disso, mesmo quando existe um programa de manutenção bem definido, as estruturas deterioram-se, sendo que, no limite, esta deterioração é irreversível.

A NBR 15575-1 então estabelece o conceito de degradação como a “redução do desempenho devido à atuação de um ou de vários agentes de degradação”, sendo definido como agente de degradação “tudo aquilo que age sobre um sistema, contribuindo para reduzir seu desempenho” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 6).

Outro conceito estabelecido pela NBR15575-1 é o de vida útil:

“período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram designados e construídos, com o atendimento dos níveis de desempenho [...], considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 10).

A associação dos conceitos de vida útil e durabilidade é inevitável, sendo que, conhecidas, ou estimadas, as características de deterioração do material concreto e dos sistemas estruturais, tem-se a durabilidade como o parâmetro que relaciona a aplicação dessas características a uma determinada construção e define a vida útil da mesma (SOUZA; RIPPER, 1998).

Por durabilidade, a NBR 15575-1 define a “capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob as condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção”, explicando ainda que esse termo é

comumente utilizado como qualitativo para expressar a condição em que a edificação ou seus sistemas mantêm seu desempenho requerido durante a vida útil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 7).

A respeito da durabilidade, Neville e Brooks (2013) afirmam que:

“A durabilidade do concreto é uma de suas propriedades mais importantes, pois é essencial que ele seja capaz de suportar as condições para as quais foi projetado durante a vida da estrutura.

A falta de durabilidade por ser causada por agentes externos advindos do meio ou por agentes internos ao concreto. As causas podem ser classificadas como físicas, mecânicas e químicas. As causas físicas vêm da ação do congelamento [...] e das diferenças entre as propriedades térmicas do agregado e da pasta de cimento [...], enquanto as causas mecânicas estão associadas principalmente à abrasão” (NEVILLE; BROOKS, 2013, p.256).

Ainda de acordo com Neville e Brooks (2013), as causas químicas tratam-se de ataques por sulfatos, ácidos, água do mar e cloretos, que induzem a corrosão eletroquímica da armadura. Considerando que esses ataques químicos ocorrem no interior da massa de concreto, o agente agressivo precisa ser capaz de penetrar o concreto, o qual, por sua vez, tem de ser permeável.

A pasta do concreto é alcalina, por isso a exposição a águas ácidas é prejudicial ao material. Assim sendo, a impermeabilidade do material e a estanqueidade da estrutura tornam-se os principais fatores determinantes da durabilidade. Permeabilidade é definida como a facilidade com que um fluido pode escoar através de um sólido. O agregado no concreto é assumido como geralmente impermeável, então é considerado que caso a pasta seja impermeável, todo o concreto é. Dessa forma, a impermeabilidade ou baixa permeabilidade da pasta é uma característica altamente apreciada. O tamanho e a continuidade dos poros na estrutura determinam sua permeabilidade, por isso esta e a resistência do concreto estão intimamente ligadas, haja vista que ambas estão relacionadas à porosidade capilar e a relação sólido espaço. Dessa forma, a NBR 6118 exige resistência e relação a/c limites para o concreto de acordo com a agressividade ambiental, conforme será abordado a seguir. Há também influência da porosidade na zona de transição, ou seja, onde a pasta encontra o agregado, isso será abordado com maiores detalhes no item 2.2.2 (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2.2.1 Classe de agressividade ambiental

Na sociedade atual, em que as cidades têm indústrias e poluição, o meio ambiente pode ser mais agressivo ao concreto do que era em outros tempos. Por esse motivo, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) estabelece classes de agressividade ambiental, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

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 ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a 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 conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade 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.

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p.17)

Para cada classe de agressividade, há uma exigência de um padrão mínimo de qualidade do concreto, visando a durabilidade da estrutura.

2.2.2 Relação entre as propriedades do concreto e sua durabilidade

No momento do projeto estrutural, são definidas, entre outras, algumas propriedades do concreto, de forma a tentar assegurar a durabilidade das estruturas. Essas propriedades definidas são a resistência à compressão e a relação a/c máxima, e também, eventualmente, o módulo de elasticidade.

A respeito do módulo de elasticidade, ele tem maior relação com a deformabilidade da estrutura, de forma que se pretende evitar estruturas muito deformáveis que causem manifestações patológicas nos demais elementos que se unem às estruturas, por exemplo a alvenaria de vedação. Ainda assim, de acordo com Mehta e Monteiro (1994), concretos com módulos de elasticidade mais baixos são menos propensos à formação de fissuras, pois o esforço de tração ocasionado neles é menor. Isso ocorre porque o concreto oferece menor resistência à deformação,

Quanto à resistência à compressão, pode-se afirmar que ela é intimamente ligada à permeabilidade do concreto, conforme já explicado anteriormente. Em geral, para concretos convencionais, quanto maior a resistência à compressão, menor deve ser a permeabilidade do concreto. Essa relação tem explicação no volume de vazios deixados no interior do concreto, a porosidade do mesmo. Um concreto com mais vazios tende a ser, usualmente, mais permeável e menos resistente, sendo que um dos fatores que influencia no volume de vazios é a relação a/c.

Assim sendo, a NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) especifica classes de concreto com resistência mínima à compressão, assim como relações a/c máximas e consumo mínimo de cimento para diferentes ambientes, dependendo da sua classe de agressividade, conforme a Tabela 2. Uma mesma resistência pode ser obtida com diferentes relações a/c, dependendo do tipo de cimento, por isso a exigência do atendimento dos três parâmetros.

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

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m ³	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
CA	Componentes e elementos estruturais de concreto armado.				
CP	Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.				

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p.12)

Outro fator que leva a necessidade de consumo mínimo de cimento para diferentes classes de agressividade é que isso pode influenciar na menor formação de microfissuras na zona de transição do concreto.

As microfissuras na zona de transição, usualmente, são grandes vazios capilares, e parecem ser a principal causa da alta permeabilidade do concreto. Para reduzir o volume desses vazios, é recomendado utilizar baixa relação a/c, adequado consumo de cimento e condições apropriadas de adensamento e cura, assim como também deve-se dar atenção adequada ao tamanho e granulometria do agregado, às deformações térmicas e de retração na secagem e impedir carga prematura ou excessiva nas estruturas de concreto armado (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Além da resistência à compressão, também importante em relação à durabilidade da estrutura de concreto armado é a durabilidade do aço. O material concreto tem resistência à tração muito baixa, e por essa razão ele é utilizado em conjunto com o aço. Carregamentos superiores aos projetados ou esforços advindos do próprio concreto, tais como os causados pela retração por secagem, movimentações térmicas, reações químicas, entre outros, podem ocasionar manifestações patológicas no concreto, dentre as quais estão as fissuras. Fissuras abertas servem como porta de entrada para agentes agressivos, os quais podem ocasionar a corrosão do aço. Mais sobre esse tema será apresentado no item 3.2.3.3.

A durabilidade de estruturas de concreto armado depende, então, da durabilidade do concreto, mas, principalmente, da durabilidade do aço, o qual irá resistir aos esforços de tração.

2.2.3 Cobrimento de armadura

Outro elemento normatizado para aumentar a vida útil do concreto armado é o cobrimento de armadura. Para evitar ataques químicos do meio ambiente à armadura, é utilizado um determinado cobrimento de concreto, de acordo com a classe de agressividade ambiental. O concreto desempenha, nesse caso, a proteção química e a proteção física, impedindo ataques por sulfatos, ácidos, água do mar e cloretos, que induzem a corrosão eletroquímica da armadura (NEVILLE; BROOKS, 2013).

De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), os cobrimentos mínimos recomendados são exibidos na Tabela 3.

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

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p.20)

2.3 PATOLOGIA DO CONCRETO ARMADO

Para a produção de uma estrutura, existe um ciclo de etapas: primeiramente, deve ser feito o planejamento e concepção, depois o projeto, escolha e recepção de materiais, execução, e uso da construção. Para que seja alcançada uma vida útil de acordo com a planejada, deve haver um controle de qualidade em todas as etapas deste ciclo: no planejamento, devem ser atendidas as normas de desempenho, o código de obras e demais regulamentos, assim como devem ser verificadas a viabilidade técnica e econômica; no projeto, devem ser atendidas as normas e documentos prescritos; quanto aos materiais, devem ser produzidos e recebidos os materiais de acordo com o especificado em projeto; na execução, deve-se fazer cumprir o projeto, com adequado controle/supervisionamento da mão de obra; no uso, deve ser assegurada a adequada utilização e manutenção do produto. Quando uma ou mais dessas etapas não é cumprida adequadamente, pode ocorrer o surgimento de manifestações patológicas (HELENE, 1992).

De acordo com Souza e Ripper (1998), patologia das estruturas de concreto armado é o campo da engenharia que se ocupa com o estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das

estruturas. Além disso, Helene (1992) explica que junto à patologia, existe também a terapia, a qual é o estudo das técnicas para reabilitar e manter as estruturas existentes em termos de capacidade e desempenho futuro (segurança, servicibilidade e vida útil).

A respeito de manifestações patológicas, o estudo da patologia passa pelas seguintes etapas:

- a) Detecção da manifestação;
- b) Sintomatologia da manifestação patológica: identificação de qual manifestação se trata;
- c) Estudo da manifestação (histórico);
- d) Diagnóstico do problema: entendimento da dinâmica do mecanismo de deterioração, identificação do agente causador e de sua origem, análise da extensão e gravidade do problema;
- e) Prognóstico: prever a evolução e as consequências do problema;
- f) Terapêutica: escolha da técnica adequada à correção do problema, podendo ser manutenção, correção, reparos, recuperação, reforço, reconstrução, ou, em caso pessimista, demolição da estrutura. Esta escolha envolve análise técnica e de custo-benefício, sendo que nem sempre é escolhida a recuperação completa da estrutura pois isto pode envolver um custo muito alto.

De acordo com Helene (1992), as principais manifestações patológicas que podem ocorrer nas estruturas de concreto armado são: as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas no concreto aparente, a corrosão de armaduras e os ninhos de concretagem (segregação dos materiais constituintes do concreto). Este trabalho tem foco na manifestação patológica de fissuras, que serão o tema do próximo capítulo.

3 FISSURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Fissuras são um tipo de manifestação patológica observada em estruturas de concreto, seja concreto simples ou armado. Elas podem ter diversas origens, seja em fase de projeto, execução, ou posteriormente durante o uso da edificação, e podem se apresentar, portanto, após anos, semanas, ou inclusive, poucas horas da realização da concretagem. Além disso, os diferentes tipos de fissuras podem apresentar ou não risco à integridade estrutural da edificação.

Por serem de fácil visualização, as fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica mais comum em estruturas de concreto armado. São elas que mostram que algo de anormal pode estar acontecendo aos leigos, proprietários e usuários. Apesar disso, nem sempre as fissuras representam um problema estrutural. A caracterização do risco apresentado deve ser indicada de acordo com a origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, visto que o concreto é um material de baixa resistência à tração, o qual fissurará por natureza sempre que as tensões de tração, as quais podem ser instaladas pelos mais diferentes motivos, superarem a resistência última à tração do mesmo (SOUZA; RIPPER, 1998).

São denominadas fissuras ativas, ou vivas, aquelas que estão submetidas a movimentos, e fissuras passivas, ou mortas, as que estão estabilizadas. Os movimentos nas fissuras ativas, produzidos por ações de magnitude variável, podem provocar mudanças em sua amplitude e espessura. As fissuras passivas, uma vez que tenham chegado a sua máxima amplitude, estabilizam-se devido ao cessamento da causa que as produziu (CÁNOVAS, 1988).

As causas da fissuração podem ser diversas, e nem sempre a realização do diagnóstico e identificação das mesmas é fácil. Entretanto, é essencial que se faça isso para que se possa aplicar o tratamento adequado para solução dos problemas, caso contrário o tratamento pode ser ineficiente e/ou resultar em problemas ainda maiores.

Em geral, as mesmas causas produzem idênticos tipos de fissuras. Dessa forma, conhecendo-se uma causa, é possível prever o quadro de fissuras que deve aparecer, esquematizar o fenômeno e determinar suas possíveis consequências (CÁNOVAS, 1988).

Neste trabalho serão abordadas as causas das fissuras e níveis de risco que cada uma pode apresentar.

De acordo com Cánovas (1988, p. 204), a fissuração deve-se, na maioria das vezes, às seguintes causas:

- Retração;
- Expansão;
- Cura deficiente;
- Variações de temperatura;
- Ataques químicos;
- Excesso de carga;
- Erros de projeto;
- Erros de execução;
- Recalques diferenciais.

Outra causa de fissuração é a corrosão das armaduras (SOUZA; RIPPER, 1998).

Neste trabalho, as causas serão subdivididas entre fissuras em concreto fresco e fissuras em concreto endurecido.

3.1 FISSURAS EM CONCRETO FRESCO

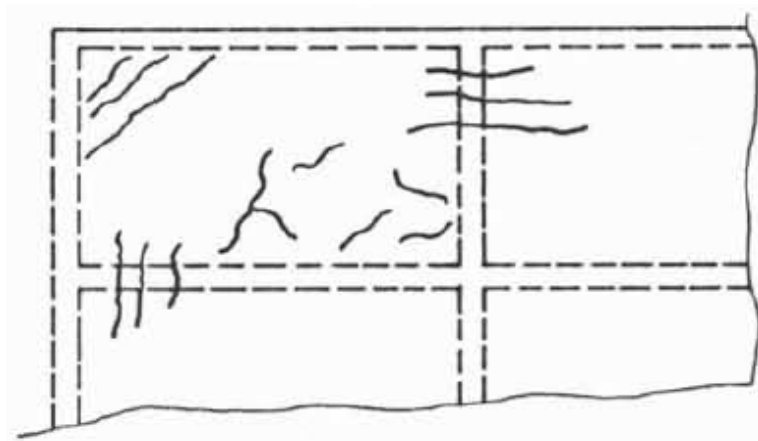
3.1.1 Fissuras causadas por dessecação superficial

A fissuração por contração plástica, ou retração plástica, ou dessecação superficial, ocorre antes mesmo da pega do concreto, ao longo do processo de execução do elemento estrutural. A ocorrência se dá principalmente devido à evaporação excessivamente rápida da água superficial que foi utilizada para se fazer o material, sendo essa evaporação mais rápida que o

processo de exsudação, ou pela sucção da água pelo concreto seco situado abaixo, assim contraindo a massa de concreto de forma irreversível, o que vem a causar as fissuras. A contração volumétrica da pasta do concreto é de magnitude na ordem de 1% do volume absoluto do cimento seco. Também pode ocorrer por ter fôrmas e agregados não saturados, mas a saturação dos mesmos é procedimento de fácil realização e não costuma ser a causa. A contração induz tensões nas camadas superficiais devido a elas estarem restringidas pelo concreto interno, o qual não tem como retraindo, e como o concreto é muito fraco no estado plástico, a fissuração plástica na superfície pode ocorrer facilmente. Este processo nada tem a ver com o comportamento reológico do material, e este movimento pode acontecer pouco após o lançamento do mesmo (30 minutos). O grau de evaporação depende da temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, da qualidade da cura realizada e da temperatura superficial do concreto (NEVILLE e BROOKS, 2013).

É importante ressaltar também que esse processo de fissuração é mais comum em superfícies extensas, como lajes e paredes, usualmente tendo as fissuras paralelas entre si e fazendo ângulo de aproximadamente 45° com os cantos, de acordo com a Figura 1. Além disso, apesar de normalmente essas fissuras serem superficiais, em função da esbelteza da peça a ser estudada, elas podem até mesmo seccioná-la (SOUZA; RIPPER, 1998).

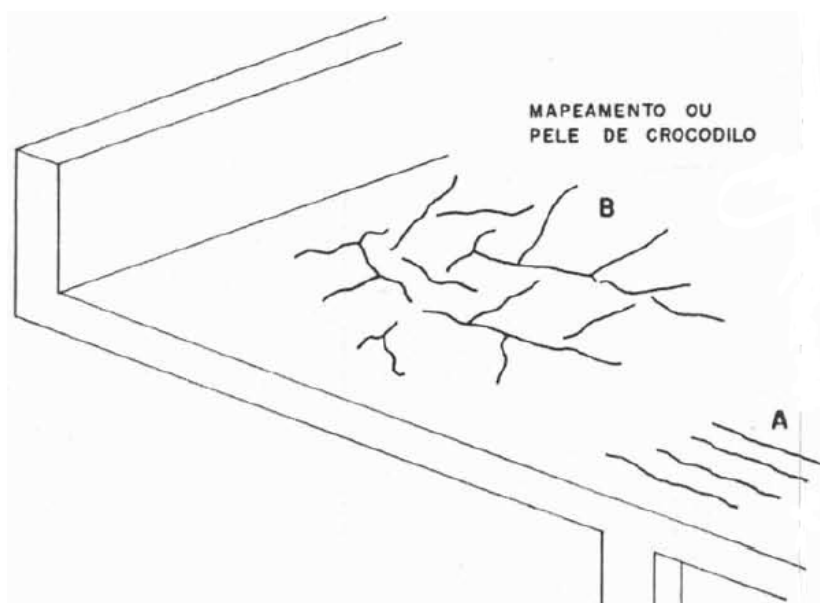
Figura 1 - Fissuração por dessecação superficial em lajes contínuas.



(fonte: DAL MOLIN, 1988, p.15)

Outro formato que essas fissuras se apresentam, em lajes e paredes de concreto armado, é popularmente conhecido como fissuras mapeadas ou pele de jacaré, apresentado na Figura 2. Pode-se dizer também que quanto maior a relação superfície livre/volume dos elementos, maiores as consequências da dessecação superficial (CÁNOVAS, 1988).

Figura 2 - Fissuras mapeadas, também conhecidas como pele de jacaré, causadas pela dessecação superficial.



[fonte: CONCRETE SOCIETY (1982 apud DAL MOLIN, 1988, p.14)]

Estas fissuras não são progressivas, aparecem antes do endurecimento e não se modificam após esse período, sendo, dessa forma, caracterizadas como fissuras passivas e não representando então maiores riscos no sentido de ruptura. Ainda assim, deve-se lembrar que fissuras são aberturas para ingresso de agentes agressivos (DAL MOLIN, 1988).

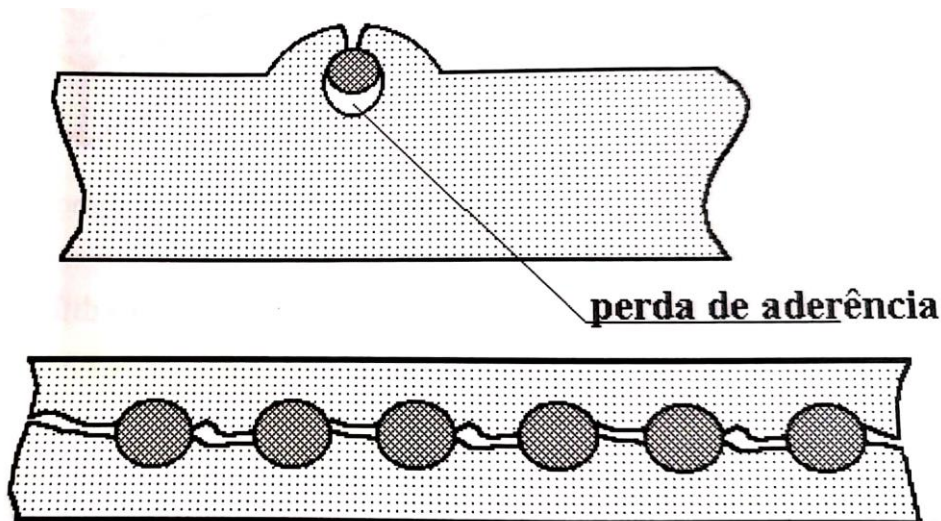
3.1.2 Fissuras causadas por assentamento do concreto/perda de aderência da armadura

No momento em que é realizada a concretagem, as partículas sólidas da mistura tendem a se acomodar naturalmente pelo efeito da gravidade, havendo um deslocamento do ar aprisionado e da água para a superfície. Caso as armaduras estejam muito próximas entre si, somado ao quanto mais espessa for a camada de concreto, pode haver dificuldades no processo do assentamento, deixando alguns espaços vazios. Esses espaços podem causar fissuras e diminuir a aderência da armadura ao concreto, reduzindo a eficiência do elemento estrutural (DAL MOLIN, 1988).

Essas fissuras formadas pelo assentamento acompanham o desenvolvimento das armaduras, e provocam a criação do efeito parede, ou de sombra. Esse efeito trata-se da formação de um vazio por baixo da barra, que reduz a aderência desta ao concreto. Caso o agrupamento de

barras seja muito grande, poderá haver interação entre fissuras, o que pode gerar situações mais graves, conforme apresentado na Figura 3 (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 3 - Fissuras causando perda de aderência entre concreto e armadura.



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p.62)

Outro fator a se considerar é a durabilidade da estrutura de concreto armado. Fissuras que acompanham as armaduras tendem a facilitar a corrosão das mesmas, bem mais que as ortogonais, devido à facilidade de acesso maior dos agentes agressores ao aço.

O assentamento plástico do concreto ocorre normalmente dentro de dez minutos a três horas, e as fissuras formadas se estabilizam e não mais se modificam após o endurecimento do concreto, sendo, portanto, fissuras passivas (DAL MOLIN, 1988).

3.2 FISSURAS EM CONCRETO ENDURECIDO

3.2.1 Fissuras devidas a esforços excessivos ou ações aplicadas

Uma das causas de fissuras é o excesso de esforços solicitantes no concreto armado. Esses esforços excessivos podem ter diversas origens, segundo Souza e Ripper (1998), entre elas:

- Falho dimensionamento na fase de projeto da estrutura, com erros de cálculo, modelização da estrutura ou má avaliação das cargas, detalhamento errado ou insuficiente;

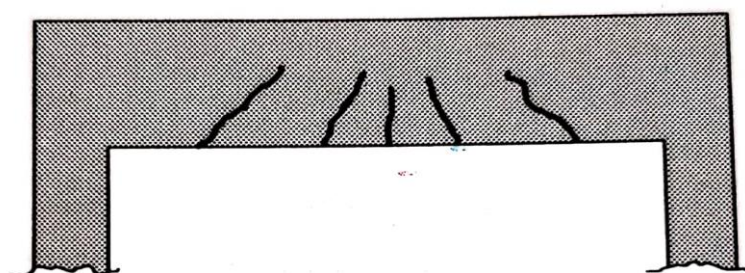
- Erros de execução, tais como colocação da armadura em quantidade ou posições diferentes da estipulada em projeto;
- Carregamento excessivo ou aplicação de ações não esperadas no projeto da estrutura;
- Alteração do uso da estrutura, tal como a transformação de um edifício de escritórios em uma biblioteca.

De modo geral, as fissuras com origem no uso causadas por esforços excessivos podem ser ativas quando as estruturas são submetidas a cargas dinâmicas, variando sua abertura de acordo com a sobrecarga aplicada, como pode ser observado em vigas de uma ponte, ou passivas, quando submetidas a sobrecargas estáticas, que deve ser o caso usual para edificações (FIGUEIREDO, 1989).

3.2.1.1 Fissuras devidas a esforços excessivos de flexão

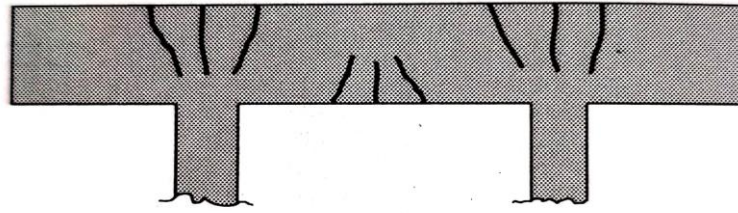
As fissuras típicas de esforços de flexão excessivos usualmente são encontradas, para o caso de vigas, nos trechos de maior momento fletor. No caso de vigas biapoiadas, esse trecho é o centro da viga, na parte inferior, e as fissuras costumam se apresentar de acordo com o que mostra a Figura 4. Já para vigas com mais de dois apoios, essas fissuras podem ser encontradas tanto no centro dos vãos como também nos apoios pela parte superior, de acordo com o apresentado na Figura 5.

Figura 4 - Fissuras causadas por flexão em viga biapoiada.



(fonte: HELENE, 1992, p.56)

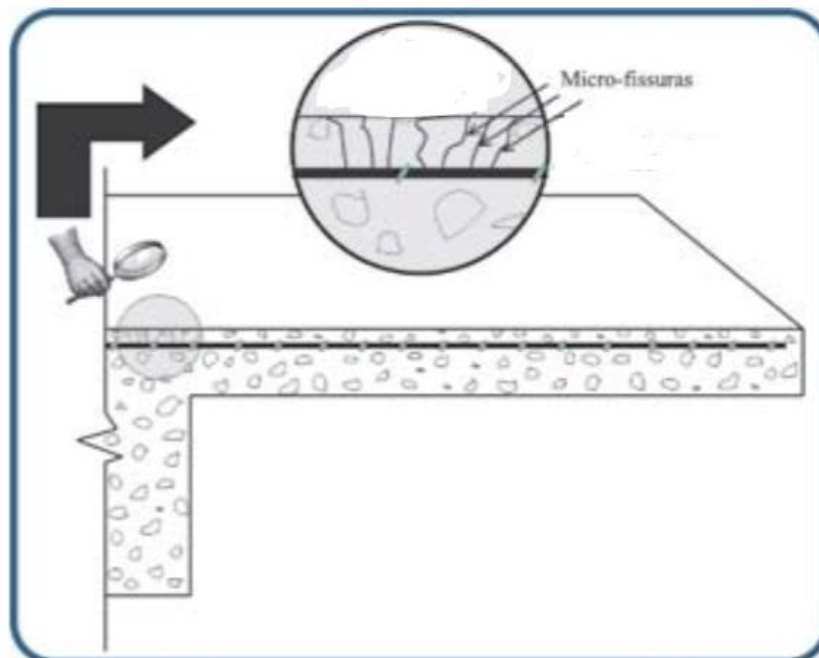
Figura 5 - Fissuras causadas por flexão em viga contínua.



(fonte: HELENE, 1992, p.56)

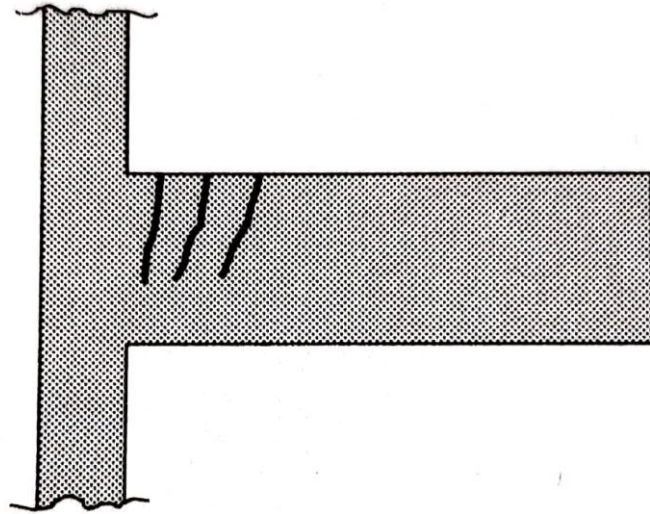
Já para fissuras de excessivo esforço de flexão em lajes, existem dois casos típicos. Um deles é o de lajes em balanço, no qual a fissura típica se apresenta no ponto de maior momento, ou seja, no encontro da marquise com a viga ou pilar que a sustenta. A fissura típica deste caso é apresentada na Figura 6 e na Figura 7. O outro tipo possível é no vão de lajes, geralmente no centro ou ponto de maior momento, em que se pode observar a fissuração em um ou nos dois sentidos perpendiculares à armadura pela parte inferior da laje e fissuras na diagonal na parte superior da laje, conforme a Figura 8 (HELENE, 1992).

Figura 6 - Fissuras devidas à flexão no ponto de maior momento em marquise.



(fonte: MEDEIROS et al, 2007, p.5, adaptado)

Figura 7 - Fissuras devidas à flexão no ponto de maior momento em marquise.

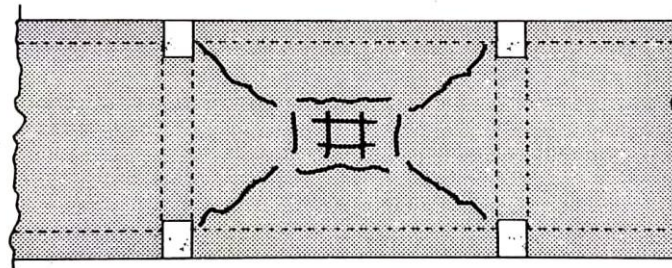


(fonte: HELENE, 1992, p.58)

Figura 8 - Fissuras devidas à flexão em laje.



Elevação



Planta

(fonte: HELENE, 1992, p.69)

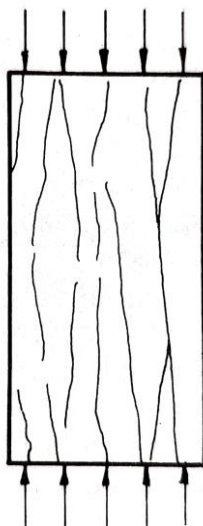
De acordo com Cánovas (1988), as fissuras de flexão não representam um perigo iminente, pois elas “avisam com o tempo”, mas são um indício, conseqüentemente oferecendo prazo para que sejam tomadas medidas sobre as causas que as tenham motivado, sendo possível a ocorrência de que, caso a armadura de tração não tenha superado seu limite elástico, as fissuras se fechem e desapareçam ao cessar a causa que as produziu. Caso as causas não

cessem, tendo como exemplo um revestimento de espessura maior que o esperado, recomenda-se realizar um reforço estrutural antes que seja tratada a fissura.

3.2.1.2 Fissuras devidas a esforços excessivos de compressão

Ocorrem em pilares e de acordo com Cánovas (1988), as fissuras de compressão são paralelas à direção do esforço. Devido à heterogeneidade do concreto, o espaçamento entre elas é muito variável e seu traçado é irregular, sendo assim, às vezes é possível que as fissuras deixem de ser paralelas e se cortem em ângulos agudos, conforme exemplificado na Figura 9. A figura mostra ruptura em corpos de prova.

Figura 9 - Fissuras devidas a esforços excessivos de compressão simples no concreto.

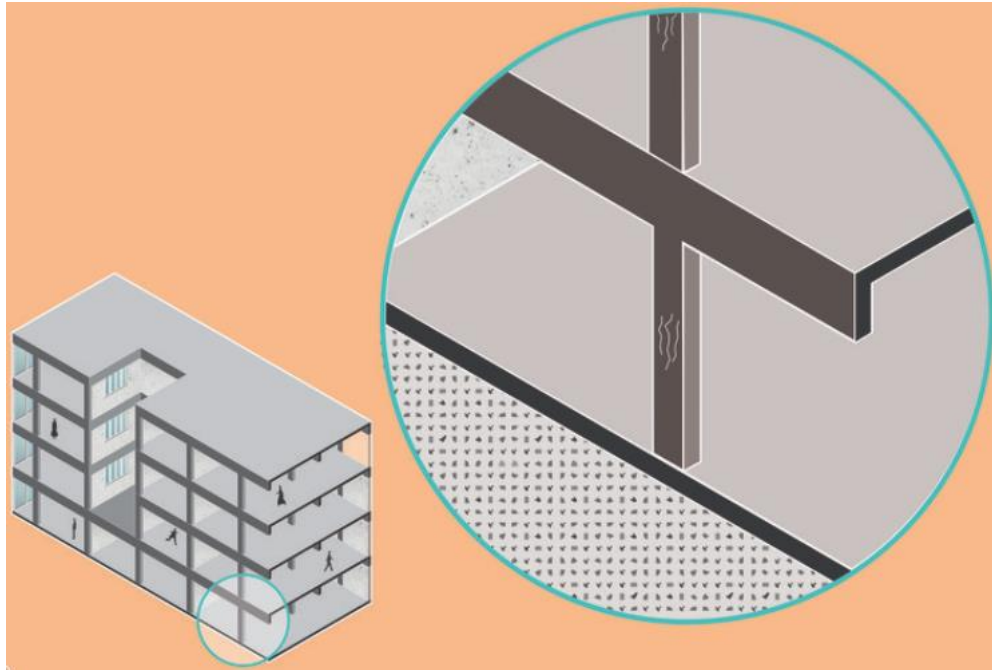


(fonte: CÁNOVAS, 1988, p.229)

É importante ressaltar que a ocorrência de fissuras de compressão em pilares é extremamente perigosa, e deve ser observada com cuidado, pois é um sintoma precursor de um colapso imediato da zona afetada. As fissuras começam a ficar visíveis com esforços inferiores aos de ruptura e vão aumentando de forma contínua (CÁNOVAS, 1988).

Também em pilares podem ocorrer as fissuras causadas pela flambagem. Nesses casos, ocorre a flambagem da armadura devido a grandes esforços de compressão sobre o pilar e insuficiência de estribos. Essas fissuras se apresentam nas laterais, usualmente mais próximas ao centro do pilar, e tem seu formato semelhante ao apresentado na Figura 10.

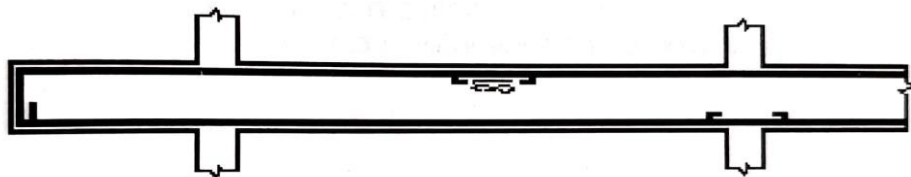
Figura 10 - Fissura por flambagem do pilar



(fonte: SOUZA, 2017)

As fissuras de esforços excessivos de compressão em vigas são causadas pelo esmagamento do concreto, e ocorrem principalmente em vigas superarmadas. Elas usualmente são formadas quando a viga recebe uma sobrecarga grande, maior que aquela para a qual foi dimensionada. Essa sobrecarga provoca fissuras próximas à seção central do vão da viga, na parte superior desta, tendendo a formar uma meia lua, conforme apresentado na Figura 11. Esse tipo de fissura representa alto risco para o elemento estrutural, pois indica que a viga está próxima da ruptura. De acordo com Evangelho e Bittencourt (2014), as etapas de dano no concreto armado para este tipo de situação são: fissuração, escoamento do aço e esmagamento. Pode ocorrer também em casos de seção insuficiente de concreto, para vigas com pouca altura utilizadas em vãos grandes.

Figura 11 - Fissuração por esmagamento do concreto, por insuficiência de armadura de compressão ou por seção insuficiente de concreto.



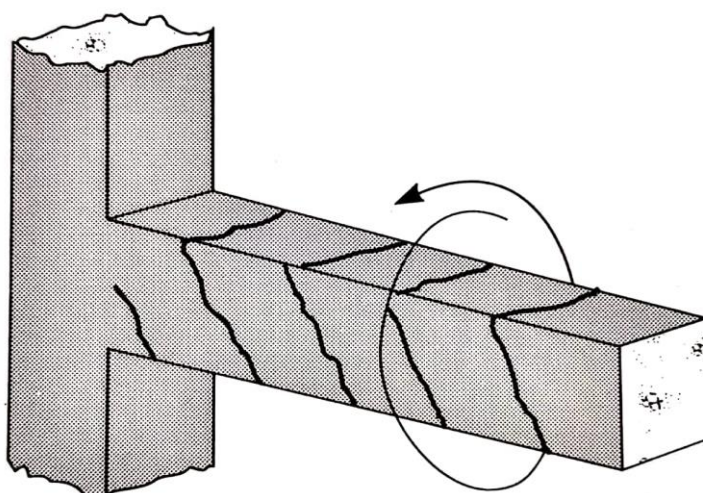
(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p.59)

3.2.1.3 Fissuras devidas a esforços excessivos de torção

Tipicamente são encontradas em vigas com uma carga desbalanceada (onde os esforços em um dos lados são maiores que no outro) e indevidamente armadas, assim como em pilares que sofrem esforços de torção por efeito de cargas horizontais aplicadas fora do centro de gravidade do pilar.

A configuração da fissura se dá circulando as peças na direção de um extremo ao outro, inclinadas a 45 graus, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Viga fissurada devido a esforços de torção.

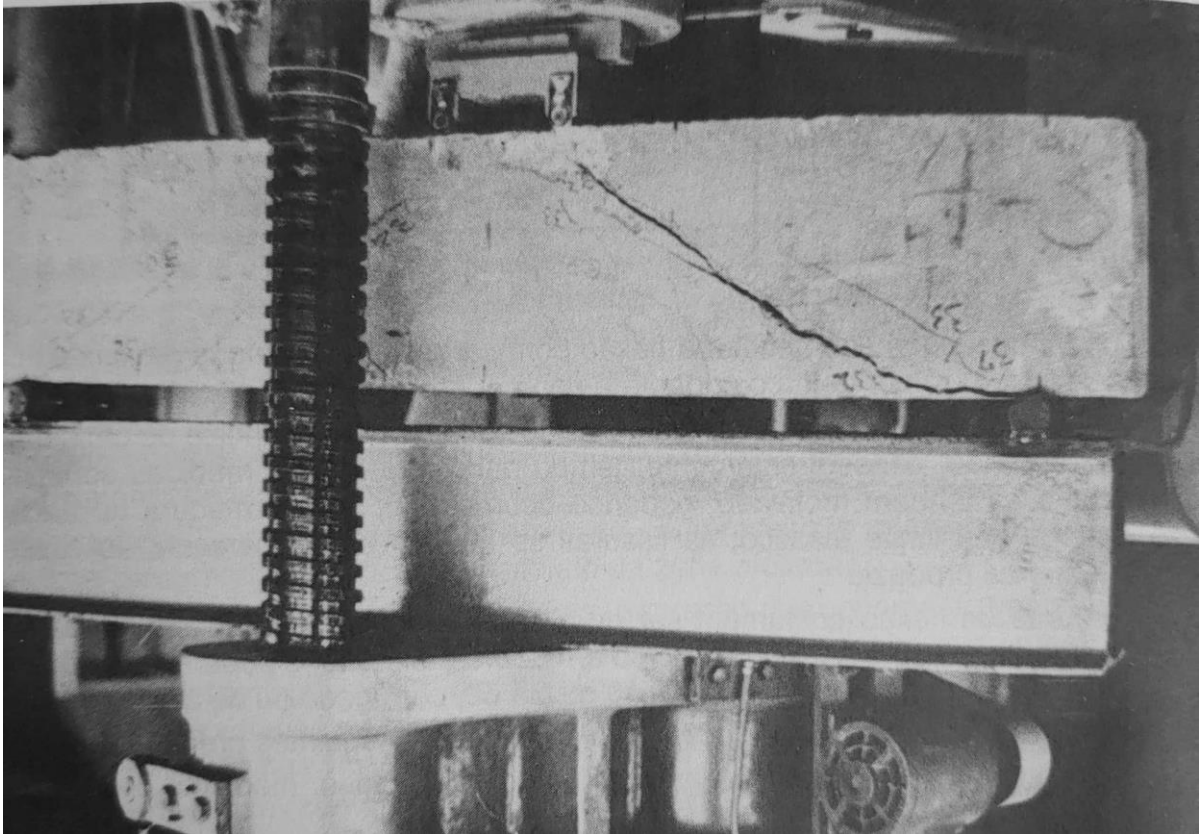


(fonte: CÁNOVAS, 1988, p.61)

3.2.1.4 Fissuras devidas a esforços excessivos de corte

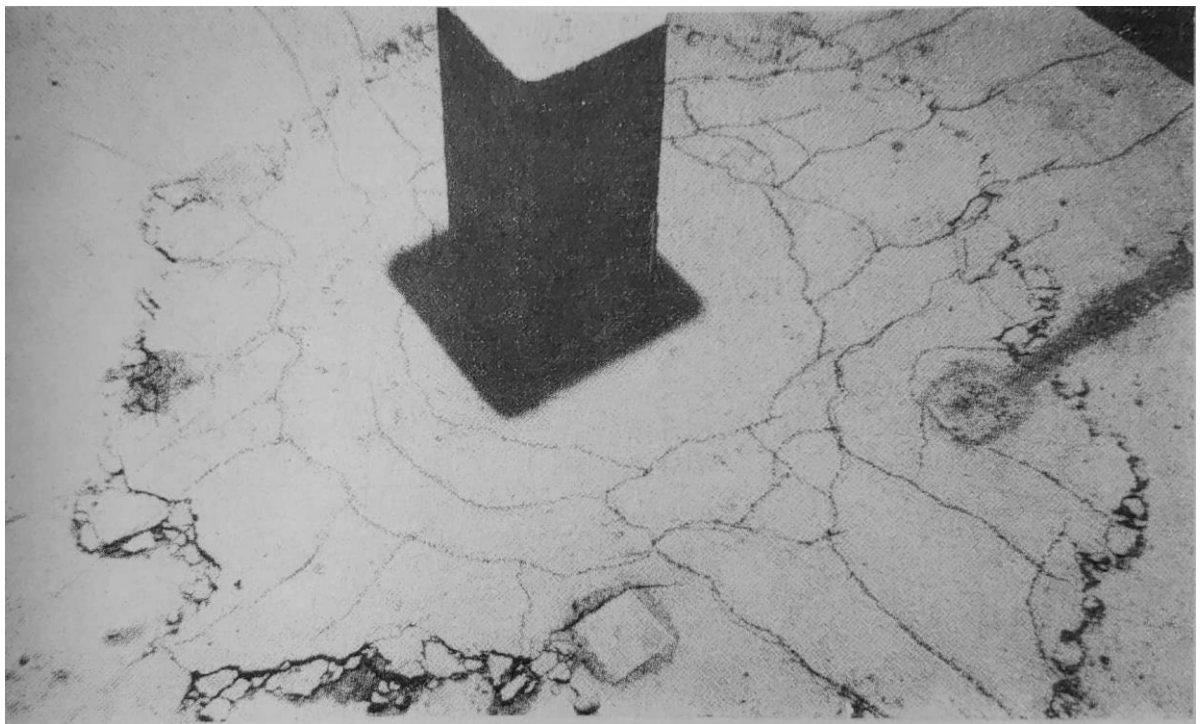
Em se tratando de esforço cortante simples, as fissuras aparecem perpendicularmente à tensão de tração, já que a resistência a essa é muito menor do que a de compressão. Esse tipo de fissura aparece usualmente na alma das vigas, progredindo até as armaduras para finalmente chegar aos pontos de aplicação das cargas, onde dividem as peças em duas partes. Ocorre quando o concreto não dispõe de armadura adequada para absorver as tensões de tração produzidas pelo esforço cortante, de acordo com a Figura 13 (CÁNOVAS, 1988).

Figura 13 - Fissura devida ao esforço excessivo de corte em viga.



(fonte: CÁNOVAS, 1988, p.232)

Figura 14 - Fissuras causadas pelo efeito da punção na laje.



(fonte: CÁNOVAS, 1988, p.233)

Em vigas de concreto armado, esse tipo de fissura costuma ocorrer próxima aos apoios, em caso de armadura insuficiente. Já em lajes, se dá na forma de punção, conforme mostrado na Figura 14. A punção ocorre quando a laje está apoiada diretamente no pilar, sem a presença de vigas.

Além disso, as fissuras de cortante ocorrem em um processo rápido, podendo levar à ruptura do elemento estrutural, por isso são bastante perigosas.

3.2.2 Fissuras causadas por retração do concreto

A retração hidráulica, ou retração por secagem, no concreto é um movimento natural de massa, que decorre na contração volumétrica da pasta pela saída da água do concreto conservado em ambientes com ar não saturado. Parte dessa retração é reversível, e varia de acordo com as variações de umidade causadas pela conservação alternada em ambientes secos e úmidos, enquanto outra parte é irreversível (DAL MOLIN, 1988).

Segundo Dal Molin (1988), a retração por secagem manifesta-se em períodos de tempo muito longos. Apesar disso, a velocidade dessa retração decresce rapidamente com o tempo. Para uma retração total observada em uma peça ao longo de vinte anos, ocorrem:

- 14 a 34% em duas semanas;
- 40 a 80% em três meses;
- 66 a 85% em um ano.

Quanto à fissuração ocorrida devida à retração no concreto armado, a mesma só ocorre porque costumam ser impostas restrições à livre movimentação das peças. Caso essas restrições causem tensões que em algum momento venham a superar a resistência à tração do concreto, ocorrerá o aparecimento de fissuras. As restrições podem ser causadas por obstáculos internos, em geral armaduras, ou externos, tendo por exemplo a vinculação a outras peças estruturais (DAL MOLIN, 1988).

Como a retração hidráulica é função da evaporação da água interna do concreto, e a secagem tem início a partir da superfície livre em contato com o meio ambiente, prolongando-se para o interior da peça, estabelece-se um gradiente de umidade dentro do elemento, que fica então

sujeito a uma retração diferencial. Isso faz com que a abertura e profundidade das fissuras que podem surgir sejam progressivas em função do tempo. Caso esse comportamento reológico não seja considerado, tanto no projeto quanto na execução, são grandes as possibilidades do desenvolvimento de um quadro de fissuração, que pode levar à formação de fissuras que seccionem completamente as peças mais esbeltas (SOUZA; RIPPER, 1988).

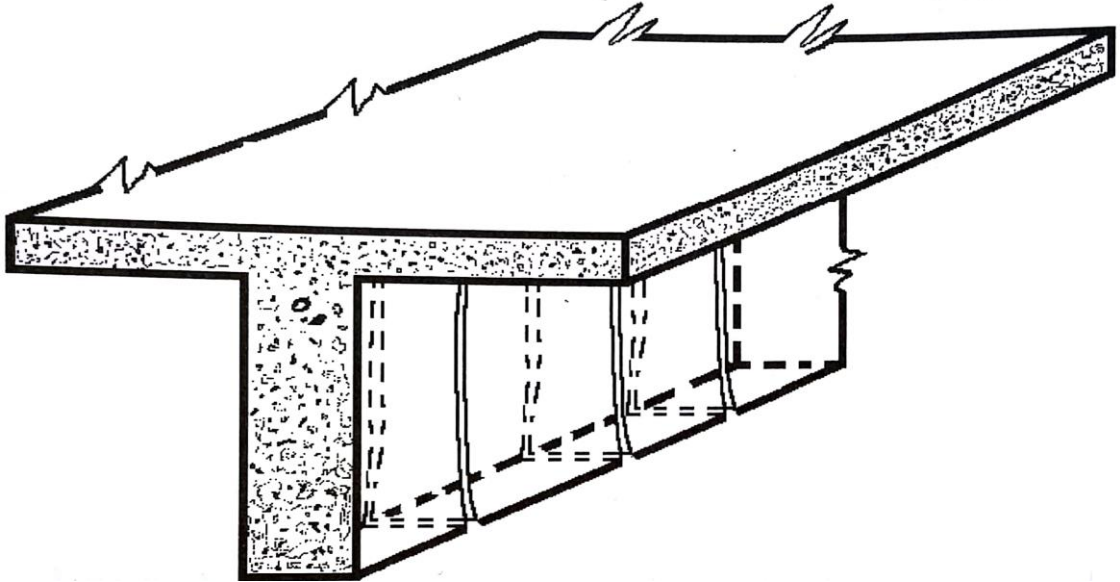
De acordo com Neville e Brooks (2013), além da retração por secagem, devem ser consideradas também a retração autógena e a retração por carbonatação. A retração autógena é causada pela perda de água utilizada na hidratação do cimento, e costuma ser muito pequena em concretos comuns. Ainda assim, é fator importante quando se trata de concreto de alto desempenho com resistências acima de 80 MPa, nos quais a retração por secagem tende a ser menor devido à baixa relação água/cimento (a/c). Já a retração por carbonatação trata-se de uma contração do concreto devido à sua carbonatação. A carbonatação ocorre quando, na presença de umidade, o CO_2 do ar forma ácido carbônico, que reage com o Ca(OH)_2 presente no concreto, formando CaCO_3 e alterando o pH, e decompondo também outros compostos do cimento. Apesar de os mecanismos serem diferentes, as fissuras são todas semelhantes, portanto neste trabalho serão consideradas como de retração por secagem.

Quanto aos cuidados necessários para evitar o quadro de fissuração por retração do concreto, vale ressaltar a análise das tensões de retração, a disposição da armadura de pele e, principalmente em casos de peças de grandes dimensões, é importante cuidar-se da interação da estrutura com o meio ambiente, a época de sua concretagem (estações quentes e secas, com incidência direta de ventos e radiação solar são aspectos extremamente prejudiciais ao normal endurecimento do concreto), a relação água cimento não superior à necessária e a cura adequada da peça (SOUZA; RIPPER, 1998).

As fissuras típicas de retração tem por característica, para vigas, serem paralelas entre si, situando-se em todo o contorno da alma, a intervalos quase regulares, podendo ocorrer em qualquer ponto do vão, como pode ser observado na Figura 15. Esse mesmo formato de fissura pode ocorrer também em marquises e sacadas. No caso de lajes, formam-se tendo geometria com aspecto de mosaico, conforme apresentado na Figura 16, mas também podem ocorrer na direção dos eletrodutos, quando estes possuem cobrimento de concreto insuficiente. Quanto à atividade nas fissuras, em geral elas crescem até que se estabilizem, e o risco que apresentam à estrutura é, usualmente, apenas o fato de que facilitam a entrada de

agentes químicos que podem degradar as estruturas de concreto armado (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 15 - Fissuras de retração com intervalos regulares em viga.



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 64)

Figura 16 - Fissuras de retração em lajes em formato de mosaico.



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 64)

3.2.3 Fissuras devido a agentes químicos

O concreto pode sofrer ataques químicos, dependendo dos componentes em sua composição e fatores ambientais. Dentre esses ataques, alguns causam reações expansivas. É o caso das reações com sulfatos e reação álcali-agregado, que causam expansão no concreto, e corrosão de armadura, onde o óxido formado pela corrosão tem volume maior que o aço. Outro fenômeno que deve ser citado é a carbonatação do concreto (CÁNOVAS, 1988).

Quanto à atividade neste tipo de fissura, em geral são ativas, pois provocam maior degradação no concreto que as envolve e tendem a aumentar de tamanho.

3.2.3.1 Ataque por sulfatos

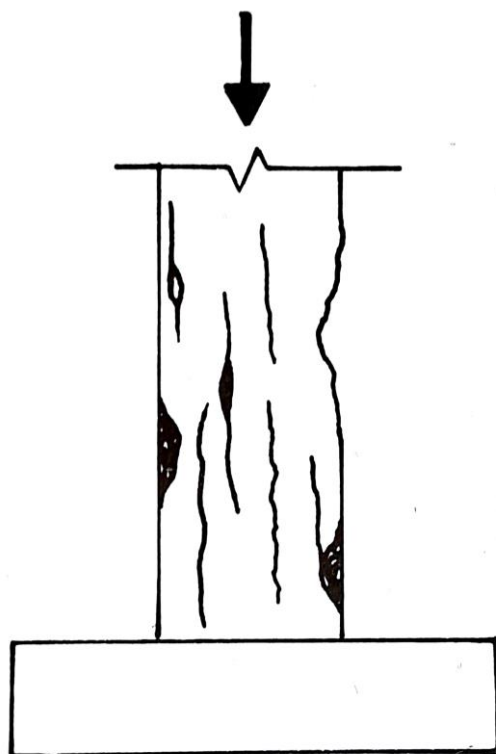
O concreto atacado por sulfatos tem uma aparência característica, de cor esbranquiçada, com a deterioração normalmente começando pelas bordas e cantos, seguida por fissuração e lascamento do concreto. O motivo para essa aparência é que a essência do ataque por sulfatos é a formação de gesso e etringita, sendo que ambos produtos ocupam um maior volume que os componentes que eles substituíram, resultando em expansão e ruptura do concreto endurecido (NEVILLE; BROOKS, 2013).

O efeito expansivo numa massa de concreto provoca fendilhamentos generalizados e fissuras que vão aumentando tanto na abertura quanto na profundidade, até que fragmentos de concreto relativamente grandes sejam destacados. Nos locais onde a expansão não encontra vínculos existentes, as fissuras configuram-se ao acaso, enquanto quando a expansão encontra resistência ao longo de um ou mais eixos (pilares, por exemplo), as fissuras ocorrem como uma série de aberturas paralelas ao eixo vinculado, com expansão lateral do concreto, de acordo com as Figura 17 e Figura 18 (THOMAZ, 1989).

Além disso, Neville e Brooks (2013) afirmam que o sulfato de magnésio é mais danoso que outros sulfatos, porque leva à decomposição dos silicatos de cálcio hidratados, bem como do Ca(OH)_2 e do C_3A hidratado e, posteriormente, se forma um silicato de magnésio hidratado, sem propriedades aglomerantes.

Mehta e Monteiro (1994) indicam ainda que o ataque por sulfatos nem sempre causa a expansão e fissuração do concreto, sendo que pode se manifestar também provocando diminuição progressiva da resistência e perda de massa devido à perda da coesão dos produtos de hidratação do cimento.

Figura 17 - Fissuras e lascamentos em pilar, em função da expansão do concreto provocada pela ação de sulfatos.



(fonte: THOMAZ, 1989, p.123)

Figura 18 - Fissuras provocadas pela expansão do material, comprometendo irreversivelmente o desempenho da construção.



(fonte: THOMAZ, 1989, p. 122)

3.2.3.2 Reação álcali-agregado

Já as reações álcali-agregado, são resultantes da interação entre a sílica reativa de alguns tipos de minerais utilizados como agregados e os íons álcalis (Na^+ e K^+) presentes nos cimentos, libertados durante a hidratação dos mesmos, ou ainda pela penetração de cloretos, contendo estes mesmos íons, no meio concreto. (SOUZA; RIPPER, 1998).

O gel de álcali-silicato formado atrai água por absorção ou por osmose, tendendo a aumentar de volume. Por estar confinado pela pasta de cimento circundante, surgem pressões internas que eventualmente causam expansão, fissuração e desagregação da pasta de cimento, e fissuras mapeadas no concreto. A expansão da pasta de cimento é causada pela pressão hidráulica gerada pela osmose, assim como pela expansão dos produtos, ainda em estado sólido, da reação álcali-sílica. Acredita-se que a expansão das partículas duras de agregado seja o aspecto mais danoso ao concreto. Em geral, quanto mais tarde ocorre a deterioração

devido à reação álcali-agregado, usualmente após mais de cinco anos, maior será a razão para preocupação e incerteza, pois partículas maiores demoram mais para expandir (NEVILLE; BROOKS, 2013).

3.2.3.3 Corrosão da armadura

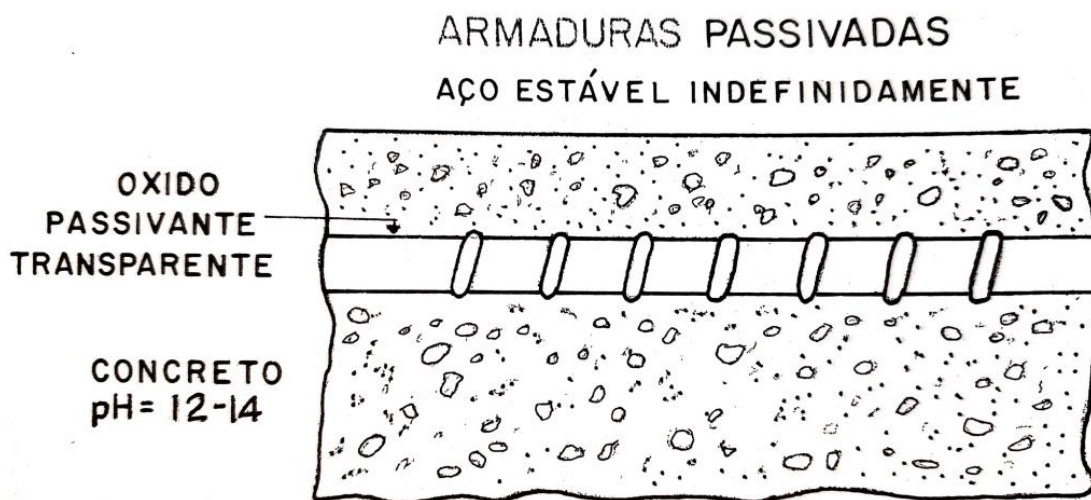
O concreto armado pode, por natureza e desde que bem executado, proteger a armadura da corrosão. Essa proteção baseia-se no impedimento da formação de células eletroquímicas, através de proteção física e química (HELENE, 1986).

Um bom cobrimento de armaduras é aquele que atende, pelo mínimo, o que é disposto no item 7.4 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), ou seja, possui espessura, relação a/c e classe de concreto adequados para a agressividade do ambiente em que se encontra. Essas especificações já foram apresentadas na Tabela 1, na Tabela 2, e na Tabela 3.

Quando o concreto é executado com um bom cobrimento de armaduras, alta compacidade, sem “ninhos”, e com teor de argamassa adequado, garante, por sua baixa permeabilidade, a proteção do aço aos agentes agressivos externos. Essa é classificada como a proteção física do meio ambiente que o concreto oferece à armadura, sob a condição de não conter agentes ou elementos agressivos internos, eventualmente utilizados no seu preparo por absoluto desconhecimento dos responsáveis (HELENE, 1986).

Quanto à proteção química, a maior parte dos concretos possui, devido à presença do hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$, um pH superior a 12, o que representa um caráter altamente alcalino. É nessas condições que se forma uma película protetora da armadura, formada por ferrato de cálcio, resultante da combinação da ferrugem superficial $[Fe(OH)_3]$ com o hidróxido de cálcio. Esse processo é denominado passivação da armadura, conforme apresentado na Figura 19 (DAL MOLIN, 1988).

Figura 19 - Armaduras em concreto não contaminado

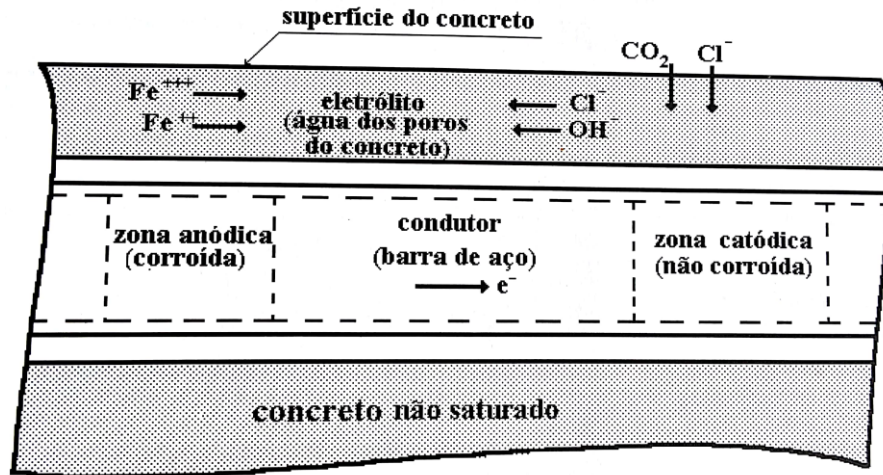


(fonte: Andrade Petrix, 1992, p.20)

Quando, por algum motivo, o meio concreto perde parte dessa alcalinidade, de acordo com Helene (1986), quando o pH fica inferior a 10,5, pode vir a ocorrer a corrosão da armadura. Primeiramente, para que o concreto perca alcalinidade, deve haver a carbonatação do mesmo, ou algum outro ataque químico. A carbonatação é um processo natural, já explicado no item 3.2.2 deste trabalho. Para evitar que ocorra a corrosão, a primeira coisa a se fazer é evitar a perda por completo da proteção natural do concreto, que é a alcalinidade, e para isso são usados cobrimentos de armadura e relação a/c diferentes de acordo com a agressividade do meio.

Tratando-se da corrosão, ela pode ocorrer de forma localizada ou generalizada na armadura. A corrosão que causa fissuras aparentes é a generalizada, para a qual, após a despassivação do aço, deve haver umidade, presença de oxigênio e diferença de potencial, podendo haver também a presença de agentes agressivos. A diferença de potencial pode ser provocada por diversos fatores, como diferença de umidade, aeração, concentração salina, e tensão no concreto e no aço, e é capaz de desencadear pilhas ou cadeias de pilhas conectadas em série. A Figura 20 mostra a formação de uma célula de corrosão, ou pilha (HELENE, 1986).

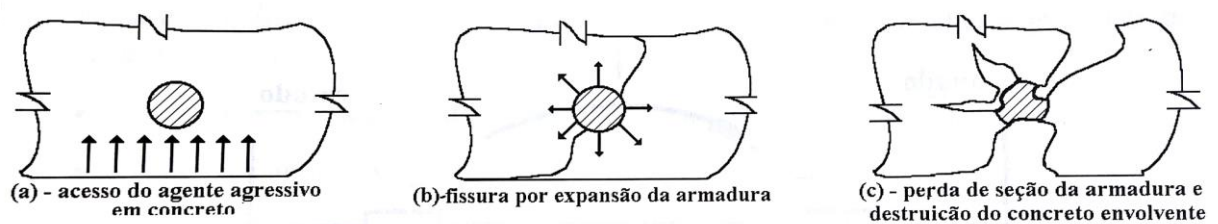
Figura 20 - Interação química da ocorrência da corrosão.



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p.67)

A corrosão do aço forma de um óxido expansivo, com um aumento de volume de oito a dez vezes o volume original, o qual causa fortes tensões no concreto que envolve a armadura, fazendo com que o mesmo se rompa por tração, apresentando fissuras que seguem as linhas das armaduras principais, e inclusive dos estribos, se a corrosão for muito intensa. Esse processo pode ser observado na Figura 21. Às vezes aparecem ainda manchas de óxido na borda das fissuras, que tornam mais claro ainda o efeito que as motivou (CÁNOVAS, 1988).

Figura 21 - Processo da fissuração por corrosão de armaduras.



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p.68)

Exemplo desse tipo de fissura é apresentado na Figura 22, em que pode ser observada uma fissura vertical em um pilar devida à corrosão das armaduras.

Figura 22 – Fissuração acentuada e lascamentos em pilar de concreto, devidos à corrosão das armaduras.



(fonte: THOMAZ, 1989, p.125)

3.2.4 Fissuras causadas por variação térmica

A temperatura em estruturas de concreto pode variar devido a algumas circunstâncias, que podem ser classificadas como influências externas, as quais referem a mudanças de condições ambientais ou incêndios, e influência interna, a qual trata-se da elevação da temperatura do concreto pelo calor de hidratação do cimento. Por se tratar de um efeito acidental e esporádico, a ação do fogo sobre as estruturas, ou seja, os incêndios, não será abordada neste trabalho (DAL MOLIN, 1998).

As principais propriedades térmicas do concreto a considerar são: a condutividade térmica, representada pelo fluxo de calor que atravessa um corpo de 1m de espessura, na unidade de tempo, por metro quadrado de área desse corpo, quando ambas as faces estão expostas a um gradiente de temperatura de 1°Celsius; a difusibilidade térmica, que representa a velocidade em que ocorrem variações de temperatura no interior de um corpo; o calor específico, que representa a quantidade de calor necessária para elevar uma unidade de temperatura uma massa unitária do material; e o coeficiente de dilatação térmica, o qual é definido como a

variação de comprimento que um material sofre ao ser submetido a um diferencial de 1° C de temperatura (DAL MOLIN, 1988).

Essas propriedades podem explicar, então, o quanto o concreto pode, ao se aquecer ou resfriar, se deformar, e qual pode ser o diferencial de temperatura entre dois diferentes pontos do material. Todos esses fatores influenciam na formação de fissuras.

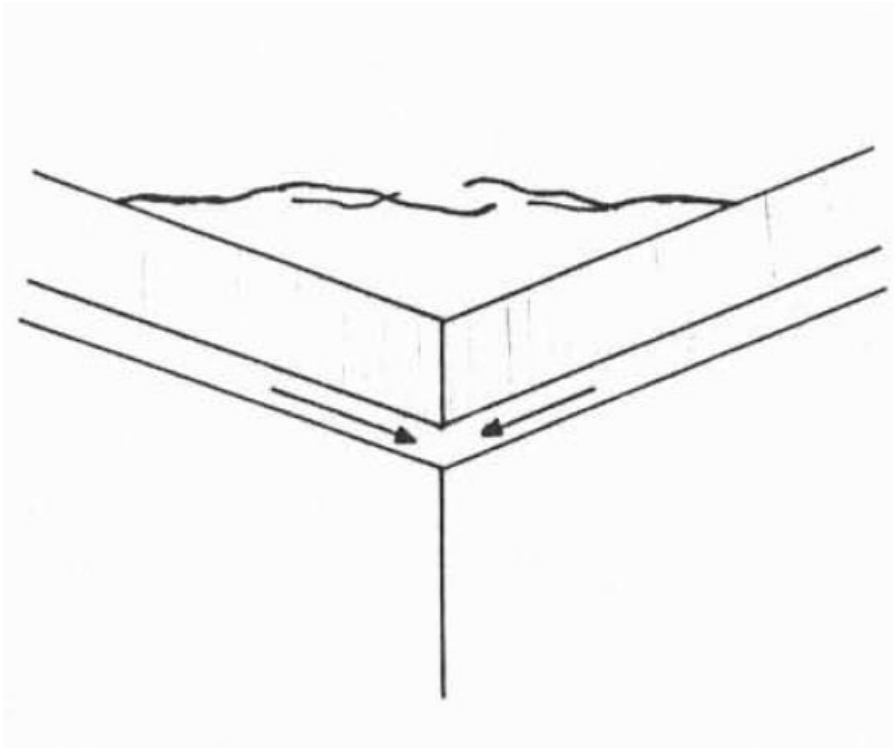
A variação térmica tem sua importância principalmente porque provoca contração dos elementos estruturais, representando um esforço de tração sobre o concreto, o qual pode resultar em fissuras caso em algum momento supere a resistência à tração do material. Quanto à dilatação provocada pela variação térmica, os esforços causados por essa são de compressão, e, considerando que a resistência à compressão do concreto é maior, a importância desse fenômeno é menor. Apesar disso, a dilatação de uma peça pode solicitar à tração estruturas adjacentes, conforme exposto por Souza e Ripper (1998, p. 70):

“Uma situação típica é a que se dá nas coberturas, em particular as horizontais, muito mais expostas aos gradientes térmicos naturais do que as peças verticais da estrutura, gerando, em consequência, movimentos diferenciados entre elementos verticais e horizontais que, normalmente, resultam em fissuração, agravada no caso de diferença de inércia (encontro lajes-vigas) ou de materiais resistentes (lajes mistas ou pré-fabricadas).” (SOUZA; RIPPER, 1998, p.70)

Esse mecanismo de formação de fissuras se dá por influência das mudanças nas condições ambientais, sendo temperatura ambiente, ação do vento e radiação solar as condições mais importantes a serem consideradas. Fissuras com esse tipo de origem podem aparecer em tempos curtos, de algumas semanas, ou podem se apresentar após anos de uso, caso em que as estruturas sofrem estresse devido a contínuas dilatações e contrações e perdem sua capacidade resistiva.

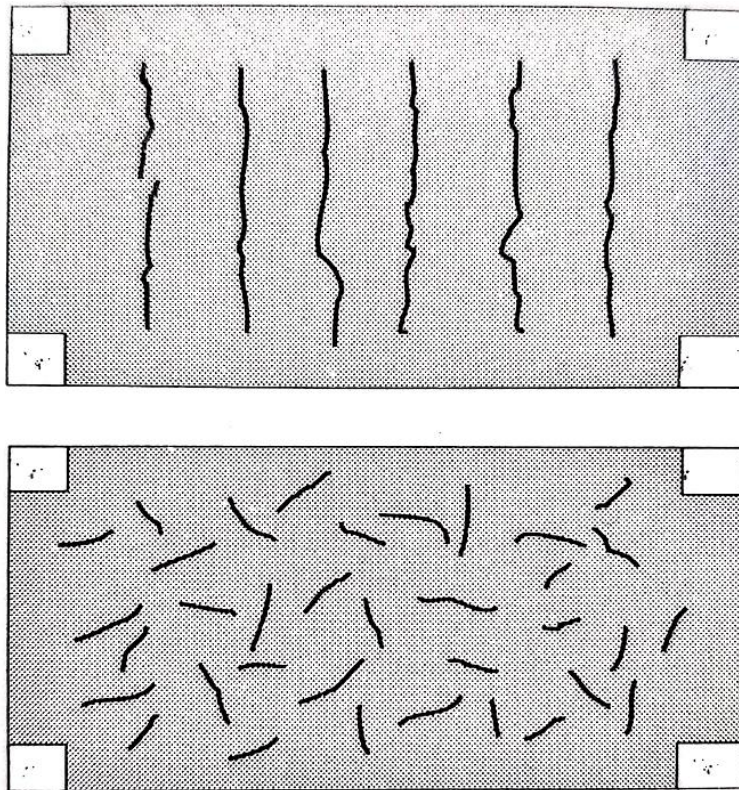
Segundo Cánovas (1988), o aspecto das fissuras de contração térmica é perpendicular ao eixo principal do componente, de abertura constante e produzindo o seccionamento do elemento, se este estiver vinculado aos seus extremos. Caso contrário, poderá ocorrer a fissuração dos elementos a ele unidos. Exemplos de fissuras causadas por contração térmica podem ser observados na Figura 23, que apresenta uma fissura em laje causada pela expansão térmica das vigas de apoio, e na Figura 24, que apresenta a manifestação típica de fissuração por retração hidráulica ou contração térmica em lajes. Podem ocorrer também fissuras acompanhando a linha de eletrodutos, quando esses tem pequeno cobrimento de concreto.

Figura 23 - Fissura em laje causada pela expansão térmica das vigas de apoio.



(fonte: DAL MOLIN, 1988, p. 48)

Figura 24 – Manifestação típica de retração hidráulica e contração térmica em lajes.



(fonte: HELENE, 1992, p.72)

Outro mecanismo de formação de fissuras se dá por influência das reações exotérmicas de hidratação do cimento, quando ainda em estado fresco. Considerando que o concreto das camadas superficiais, em contato com o ambiente, esfria mais rapidamente que o das camadas internas e se contrai, isso vem a causar uma separação do interior ainda quente, formando camadas distintas. Além disso, ocorrendo diminuição de volume, a contração superficial é maior que a profunda, provocando o aparecimento de fissuras. Estas fissuras podem surgir no período de um dia ou no decorrer de várias semanas (DAL MOLIN, 1988).

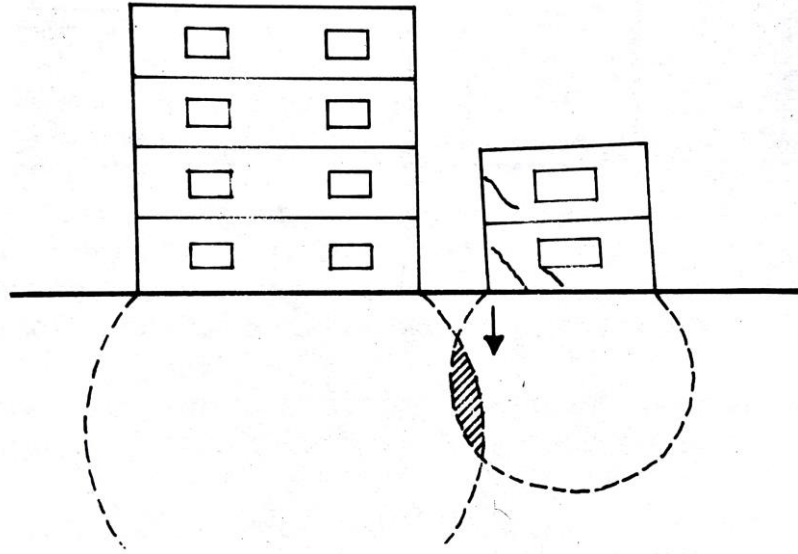
Em geral, as fissuras causadas por variação térmica costumam ser ativas, ou seja, fissuras onde ocorre movimentação.

3.2.5 Fissuras causadas por recalques diferenciais

Toda edificação, durante a obra ou mesmo após a sua conclusão, por um determinado período de tempo, está sujeita a deslocamentos verticais, lentos, até que o equilíbrio entre o carregamento aplicado e a reação do solo seja atingido. Em casos de projetos mal concebidos, com erros de cálculo nas fundações, ocorrem recalques diferenciais entre os vários apoios, causando a abertura de trincas nas alvenarias e na estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

Os recalques diferenciais podem ser gerados por incorreções várias na interação solo-estrutura, que podem ocorrer tanto nas fases de projeto e execução, como também na utilização. Projetos ou execuções ruins podem fazer com que esforços grandes demais sejam aplicados em pontos onde o solo não possui resistência o suficiente para suporte, causando assim fissuras na estrutura. Também são possíveis recalques devido à construção de edificações vizinhas, que modifiquem o bulbo de tensões de edificações anteriores uma vez estabilizado, como é indicado na Figura 25. O mesmo caso é válido para ampliações de uma edificação existente (THOMAZ, 1989).

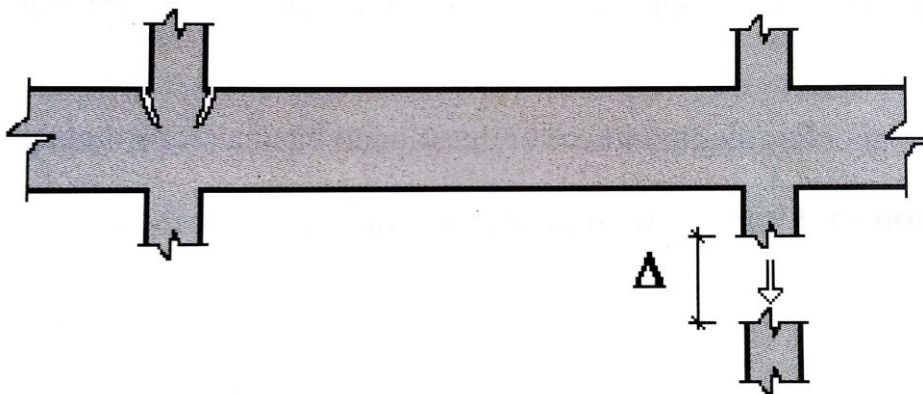
Figura 25 - Fissuras de recalque causado pela alteração no bulbo de tensões.



(fonte: THOMAZ, 1989, p.96)

Segundo Souza e Ripper (1998), o quadro de fissuração pela falha de um ou mais apoios de uma determinada estrutura é função de diversos fatores, sendo os principais a própria magnitude do recalque e a capacidade ou não de a estrutura conseguir assimilá-lo. A Figura 26 exemplifica um processo de fissuração surgido em uma viga em decorrência de recalque de um de seus apoios.

Figura 26 - Fissuras de recalque causado pela alteração no bulbo de tensões.



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p.70)

A respeito da atividade neste tipo de fissura, pode-se afirmar que são fissuras ativas enquanto o recalque não cessar. Após isso, a tendência é que as fissuras se tornem passivas, não havendo causas que motivem maior movimentação nas fissuras.

3.2.6 Fissuras causadas por movimentação de fôrmas e escoramentos

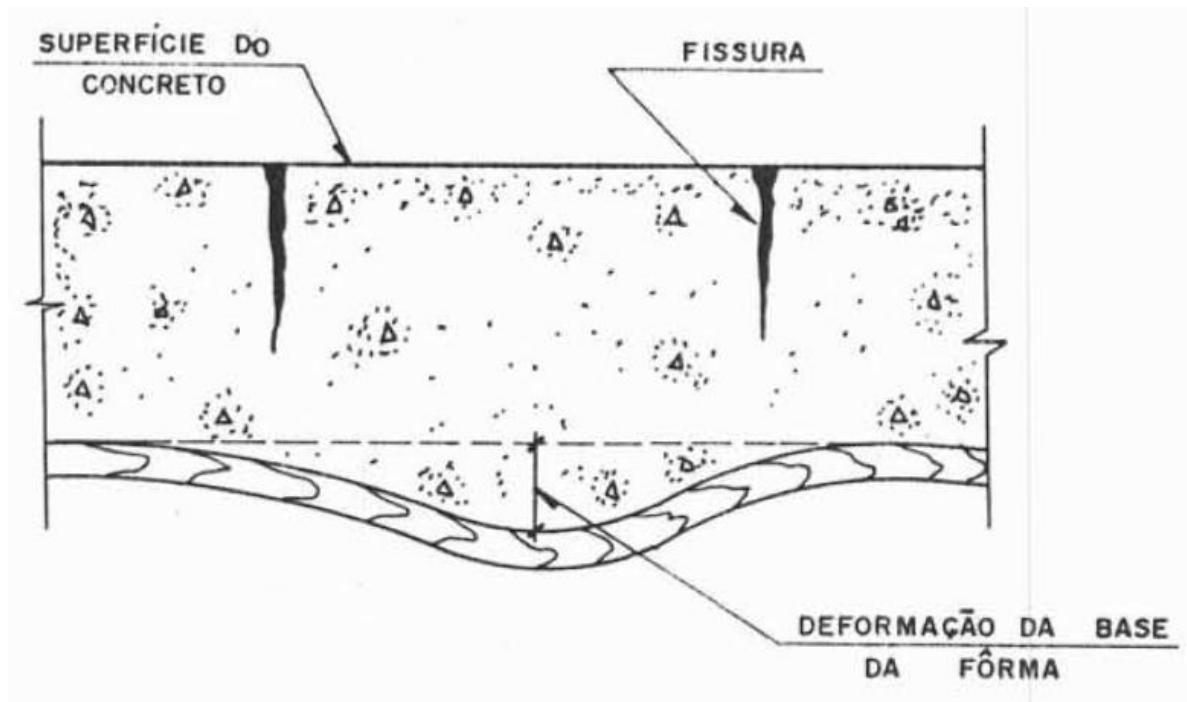
Para a execução de estruturas de concreto, é necessária a utilização de moldes através dos quais o concreto em estado plástico, lançado, toma a forma e dimensões desejadas. Deve-se ter especial cuidado para projeto e execução dessas fôrmas, pois são elas que vão suportar as cargas verticais e horizontais aplicadas até que o concreto tenha condições de resistir a essas.

De acordo com a NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 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 também, 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 do mesmo pode causar o aparecimento de fissuras. As causas desse movimento podem estar ligadas a diversos fatores, tais como sobrecargas, falhas no sistema de escoramento, detalhes construtivos, mão-de-obra de baixa qualidade, e também lançamento do concreto de maneira inadequada (DAL MOLIN, 1988).

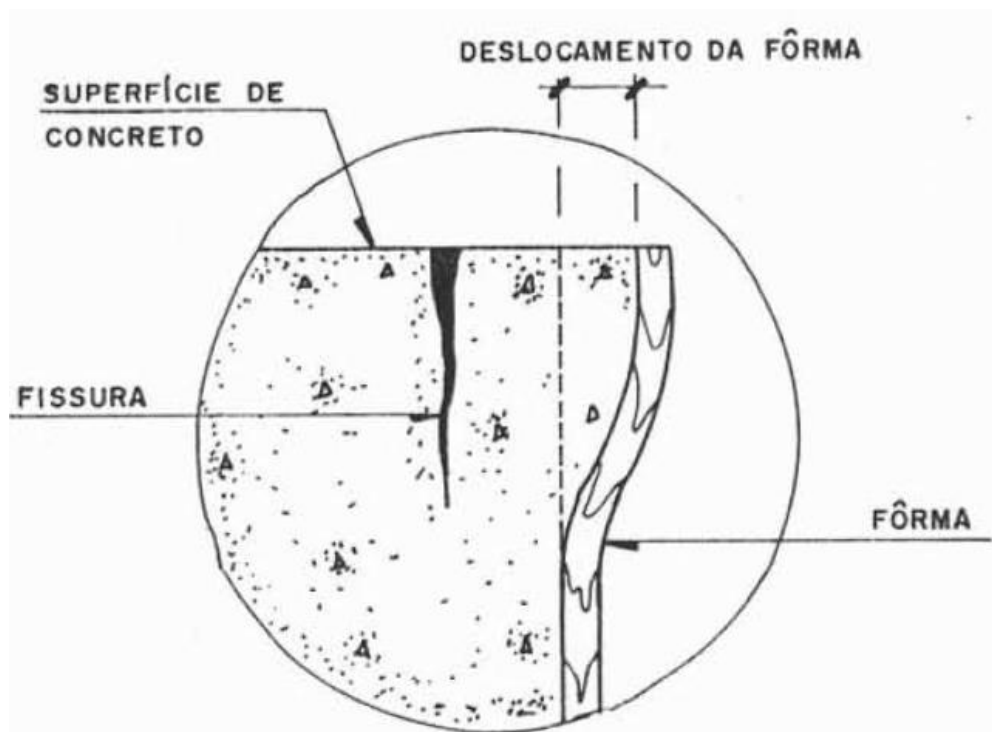
Segundo Souza e Ripper (1998), a fissuração causada por movimentação de fôrmas ocorre principalmente por dois motivos: deformação acentuada da peça, gerando alteração de sua geometria, com perda de resistência e desenvolvimento de um quadro de fissuração característico de deficiência de capacidade resistente, conforme apresentado na Figura 27; deformação das fôrmas (ilustrado na Figura 28), 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 geralmente levam à fissuração.

Figura 27 - Fissura na superfície do concreto devido à deformação na base da fôrma.



(fonte: DAL MOLIN, 1988, p.20)

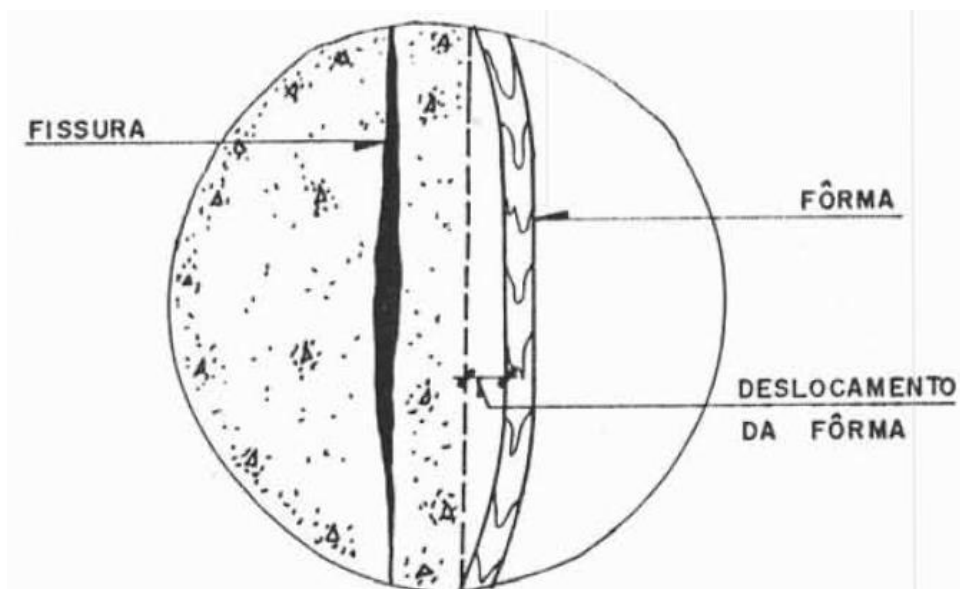
Figura 28 - Fissura na superfície do concreto devido ao movimento da fôrma.



(fonte: DAL MOLIN, 1988, p.20)

Um quadro mais grave que pode se apresentar quando as fissuras são internas. Nesses casos, pode ocorrer a formação de uma bolsa de água na massa do concreto, que pode facilitar o processo de corrosão das armaduras. Esse tipo de fissura é ilustrado na Figura 29.

Figura 29 - Fissura interna devido ao movimento da fôrma.



(fonte: DAL MOLIN, 1988, p.20)

Uma vez que o conjunto de formas esteja estabilizado, ou o concreto não mais esteja no estado plástico, as fissuras decorrentes da movimentação dos moldes não sofrerão modificações adicionais, portanto, tornar-se-ão fissuras estabilizadas (DAL MOLIN, 1988).

Outro processo que pode gerar fissuração é a retirada precoce do escoramento, assim como um possível posterior reescoramento, conforme a Figura 30. De acordo com Vieira e Dal Molin (2011), a retirada precoce do escoramento submete a estrutura a uma carga prematura. Os danos causados por esta carga prematura enquanto ainda estão incompletas a reação de hidratação e a cura do concreto podem desencadear um processo generalizado de formação de microfissuras. Essas podem levar à formação de pontos frágeis na estrutura e aumento da permeabilidade, possibilitando maior penetração de agentes agressivos no concreto, que podem causar maior fissuração, desagregação, e também corrosão de armaduras. Apesar disso, as microfissuras formadas pelo carregamento precoce tendem a se recuperar se o processo de cura for retomado ou se cessar o pré-carregamento.

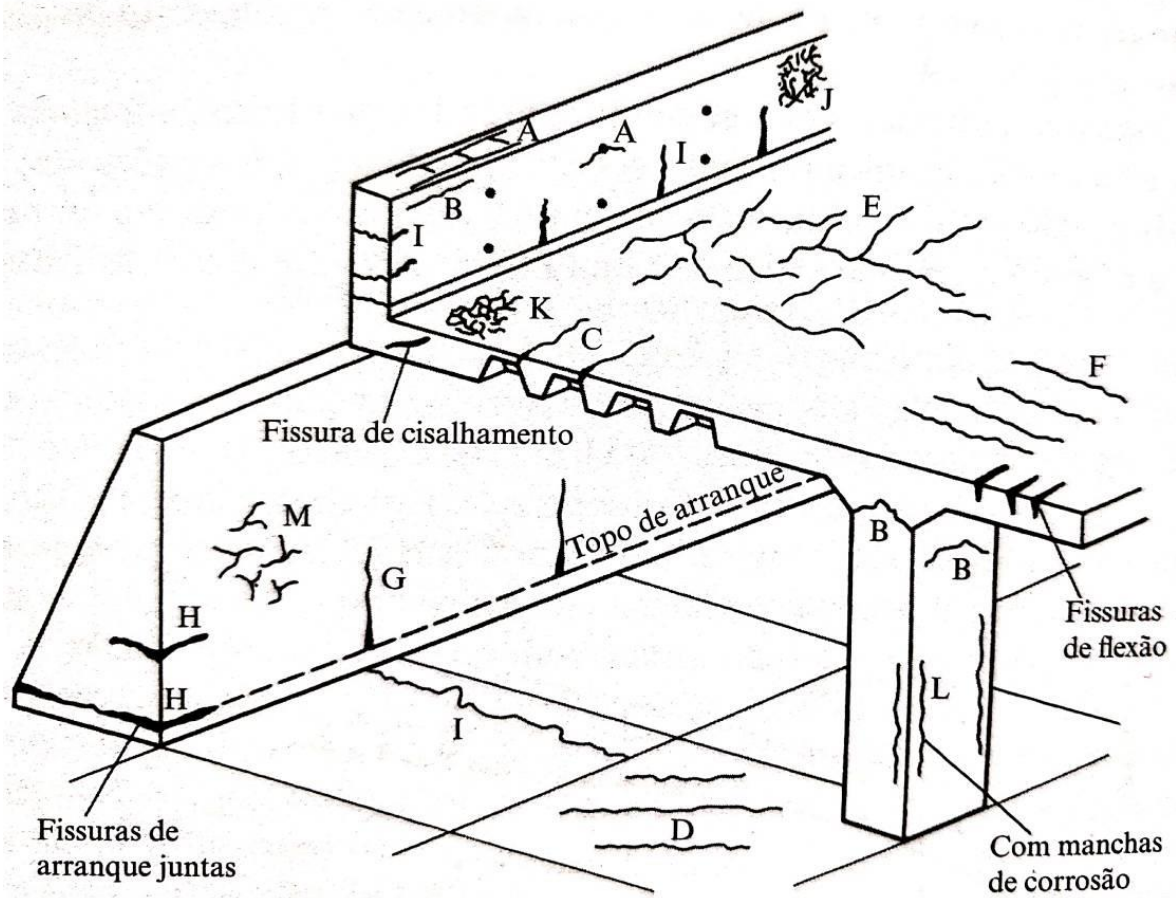
Figura 30 - Exemplos de mau uso de reescoramento, com escoramento no meio do vão da laje e fissura devida à formação de um momento fletor negativo por conta de um reescoramento mal executado.



(fonte: VIEIRA, 2008,p.36)

A seguir, são apresentadas a Figura 31 e a Tabela 4, as quais apresentam e identificam em uma única imagem diversos locais típicos onde se encontram algumas das fissuras citadas neste capítulo, assim como uma subdivisão, causas principais e secundárias, possíveis correções e tempo de aparecimento após a execução da estrutura. Apesar de algumas fissuras estruturais aparecerem na Figura 31, elas não tem suas características melhor especificadas na Tabela 4.

Figura 31 - Diversas fissuras em locais típicos



[fonte: CONCRETE SOCIETY (1982 apud NEVILLE; BROOKS, 2013,p.250)]

Tabela 4 - Fissuras referentes à Figura 31

Tipo de fissura	Símbolo na Fig.	Subdivisão	Localização mais comum	Causa principal (excluindo restrição)	Causas secundárias/fatores	Correção (considerando que é impossível refazer o projeto); em todos os casos reduzir restrição	Tempo de aparecimento
Assentamento plástico	A	Sobre a armadura	Seções espessas				
	B	Em arco	Topo de pilares	Exsudação excessiva	Condições para secagem precoce	Reduzir a exsudação (revibração ou incorporação de ar); revibrar	10 min a 3 horas
	C	Mudança de espessura	Lajes nervuradas				
Retração plástica	D	Diagonal	Pisos e lajes	Secagem precoce			
	E	Aleatória	Lajes armadas		Velocidade de exsudação baixa	Iniciar a cura mais cedo	30 min a 6 h
	F	Sobre a armadura	Lajes armadas	Secagem precoce e armadura próxima à superfície			
Retração térmica inicial	G	Restrição externa	Paredes espessas	Geração excessiva de calor de hidratação			
	H	Restrição interna	Lajes espessas	Gradientes de temperatura excessivos	Resfriamento rápido	Reduzir calor e/ou isolar	Um a dois dias ou três semanas
Retração por secagem em longo prazo	I		Lajes e paredes finas	Juntas ineficientes	Retração excessiva Cura ineficiente	Reduzir quantidade de água Melhorar cura	Várias semanas a meses
	J	Junto às formas	Concreto aparente	Formas impermeáveis	Misturas ricas Cura inadequada	Melhorar cura e acabamento	Um a sete dias, algumas vezes mais tarde
Mapeadas	K	Concreto desempenado	Lajes	Excesso de desempenho			
Corrosão de armadura	L	Natural	Pilares e vigas	Cobrimento insuficiente	Concreto de baixa qualidade	Eliminar as causas listadas	Mais de dois anos
Reação álcali-agregado	M		Locais úmidos	Agregados reativos e cimento com alto teor de álcalis	Eliminar as causas		Mais de cinco anos

[fonte: CONCRETE SOCIETY (1982 apud NEVILLE; BROOKS, 2013,p.251-252)]

4 DIAGNÓSTICO DE CAUSAS DE FISSURAS

A identificação das causas das fissuras pode ser uma tarefa bastante complicada, pois muitas fissuras não têm apenas uma causa, mas sim várias. Profissionais com boa experiência em estudos de patologia conhecem, com pequena margem de erro, a causa e a gravidade da doença apresentada em um caso determinado. Ainda assim, há casos de fissuras em que o problema não estará tão claro e estabelecer o diagnóstico da doença pode ser arriscado, pois pode-se pecar por indulgência ou severidade. Nesses casos, é conveniente ser conservador e escolher sempre a segurança, mesmo correndo o risco de ser considerado severo (CÁNOVAS, 1988).

Neste capítulo, serão descritos alguns procedimentos que tem o objetivo de auxiliar na identificação de causas de fissuras, desenvolvidos através da revisão bibliográfica feita no capítulo três, e também serão apresentados dois exemplos práticos de diagnóstico de causa de fissuração.

4.1 PROCEDIMENTOS RECOMENDADOS PARA AUXÍLIO NA IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS DE FISSURAS

Os procedimentos recomendados são:

- 1) Realizar o mapeamento de fissuras, ou seja, fazer um levantamento completo de todas as fissuras existentes na estrutura, registrando o quadro de fissuração através de desenhos e, se possível, fotos. É recomendado ainda que se registre no local com giz de cera ou lápis de cor o comprimento das fissuras, realizando marcação paralelamente à fissura;
- 2) Verificar se as fissuras observadas estão presentes em estruturas de concreto armado ou em elementos de revestimento. As fissuras presentes nos elementos estruturais (vigas, lajes, pilares e lajes em balanço) são as estudadas neste trabalho;

- 3) Tentar observar se as fissuras que atingem os elementos estruturais são superficiais ou profundas. Em vigas fissuradas por flexão, por exemplo, pode-se remover o revestimento lateral, já que as fissuras se formam de baixo para cima. Em paredes de concreto armado, pode-se verificar se a fissura atinge as faces opostas, seccionando o elemento por completo. A importância da verificação da profundidade da fissura é para determinar qual pode ser a capacidade resistente residual do elemento estrutural;
- 4) Tomando como base a morfologia das fissuras, ou seja, o formato de suas linhas, sua orientação, posição no elemento estrutural, quantidade e frequência (distância entre fissuras), comparando com o que foi estudado no capítulo anterior e baseado nas descrições presentes nas tabelas a seguir, tente identificar as possíveis causas de fissuração. As tabelas apresentam um resumo a respeito das fissuras usualmente presentes em cada elemento estrutural, e foram elaboradas pelo autor com base no capítulo anterior, sendo a Tabela 5 correspondente a lajes em geral, a Tabela 6 a lajes em balanço (sacadas ou marquises), a Tabela 7 a vigas em geral, a Tabela 8 a vigas em balanço, e a Tabela 9 a pilares.

Tabela 5 - Fissuras típicas em lajes em geral

LAJES EM GERAL				
Fissura causada por	Onde se apresenta	Formato	Frequência	Risco
Dessecação superficial	Face superior da laje	45° com os cantos, pele de jacaré nas demais áreas	Muito variável, depende da qualidade da cura	Usualmente não representam risco estrutural
Assentamento do concreto	Face superior da laje, sobre as armaduras ou, em lajes com mudança de espessuras, nos pontos de mudança de espessura	Em geral, seguem uma linha aproximadamente reta	Distância entre as armaduras ou pontos de mudança de espessura, no mínimo	Usualmente não representam risco estrutural
Flexão	Na face superior, próximo aos cantos, e, na inferior, mais ao centro	Direcionadas dos cantos para o centro na face superior, e usualmente paralelas às vigas na face inferior	Variável de acordo com a intensidade da flexão	Indício de problemas. Providências devem ser tomadas
Corte (punção)	Ao redor dos pilares	Formatos circulares ao redor dos pilares, conectando-se entre si através de fissuras radiais	Variável de acordo com a espessura da laje, mas relativamente próximas entre si	Alto risco. ATENÇÃO!!!
Retração	Podem se espalhar por toda a laje, podem seguir os eletrodutos	Formatos aleatórios, podem seguir a linha dos eletrodutos	Usualmente, espaçadas	Usualmente não representam risco estrutural
Varição térmica	Podem se espalhar por toda a laje, podem seguir os eletrodutos, cantos com encontro de vigas, podem ser afetadas pela variação nas dimensões de outros elementos estruturais	Formatos aleatórios, podem seguir a linha dos eletrodutos, 45° com cantos em que vigas se encontram	Usualmente, espaçadas	Usualmente não representam risco estrutural
Ataque por sulfatos	Podem se espalhar por toda a laje	Fissuras configuram-se ao acaso	Relativamente próximas	Degradação contínua da estrutura. Observar com atenção
Reação álcali-agregado	Podem se espalhar por toda a laje	Fissuras mapeadas	Relativamente próximas	Degradação contínua da estrutura. Observar com atenção
Corrosão da armadura	Acompanham as linhas das armaduras	Linhas aproximadamente retas, acompanhando as armaduras	Ao menos a distância entre as armaduras	Degradação contínua da estrutura. Observar e tratar com atenção
Movimentação de fôrmas e escoramentos	Face superior da laje	Paralelas às fôrmas, ou em pontos indevidamente carregados por reescoramento	Relativamente distantes entre si	Baixo risco estrutural, desde que as aberturas sejam pequenas

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 6 - Fissuras típicas em lajes em balanço

LAJES EM BALANÇO				
Fissura causada por	Onde se apresenta	Formato	Frequência	Risco
Dessecação superficial	Face superior da laje	Pele de jacaré	Muito variável, depende da qualidade da cura	Usualmente não representam risco estrutural
Assentamento do concreto	Face superior da laje, sobre as armaduras ou, em lajes com mudança de espessuras, nos pontos de mudança de espessura	Em geral, seguem uma linha aproximadamente reta	Distância entre as armaduras ou pontos de mudança de espessura, no mínimo	Usualmente não representam risco estrutural
Flexão	Face superior da laje, próxima ao ponto de engastamento	Fissuras paralelas à viga onde a laje está engastada	Bastante próximas entre si	Risco variável, pode ocasionar ruptura e desabamento da laje, tratar com atenção
Retração	Ao longo do comprimento da laje, em ambas as faces, podendo também acompanhar eletrodutos	Fissuras perpendiculares ao apoio, atuam como juntas, ou seguem o traçado dos eletrodutos	Distantes entre si	Usualmente não representam risco estrutural
Varição térmica	Ao longo do comprimento da laje, em ambas as faces, podendo também acompanhar eletrodutos	Fissuras perpendiculares ao apoio, atuam como juntas, ou seguem o traçado dos eletrodutos	Distantes entre si	Usualmente não representam risco estrutural
Ataque por sulfatos	Podem se espalhar por toda a laje	Fissuras configuram-se ao acaso	Relativamente próximas	Degradação contínua da estrutura. Observar com atenção
Reação álcali-agregado	Podem se espalhar por toda a laje	Fissuras mapeadas	Relativamente próximas	Degradação contínua da estrutura. Observar com atenção
Corrosão da armadura	Acompanham as linhas das armaduras	Linhas aproximadamente retas, acompanhando as armaduras	Ao menos a distância entre as armaduras	Degradação contínua da estrutura. Observar e tratar com atenção
Movimentação de fôrmas e escoramentos	Na face inferior da laje, parte central, quando reescoramento é inadequado	Semelhante a fissuras de flexão	Bastante próximas entre si	Não costumam representar risco estrutural

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 7 - Fissuras típicas em vigas em geral

VIGAS				
Fissura causada por	Onde se apresenta	Formato	Frequência	Risco
Assentamento do concreto	Acompanham as linhas das armaduras	Linhas aproximadamente retas, acompanhando as armaduras	Ao menos a distância entre as armaduras	Usualmente não representam risco estrutural
Flexão	No centro do vão, na face inferior da viga, e próximas aos pilares na face superior da viga, quando em vigas contínuas	Propagam-se em trajetórias inclinadas em direção à linha neutra	Relativamente próximas	Para pequenas aberturas, baixo risco, porém deve-se tratar com atenção
Torção	Ao longo do comprimento da viga, por todos os lados	Fissuras inclinadas que circulam a viga	Relativamente distantes	Risco considerável. Observar e tratar com atenção
Corte	Próximas aos apoios	Fissuras na diagonal, iniciando próximas aos apoios e propagando-se em direção ao ponto de aplicação de esforços, mais ao centro da viga	Próximas entre si	Alto risco. ATENÇÃO!!!
Retração	Ao longo do comprimento da viga, por todos os lados	Fissuras perpendiculares ao eixo	Distantes entre si	Usualmente não representam risco estrutural
Variação térmica	Ao longo do comprimento da viga, por todos os lados	Fissuras perpendiculares ao eixo	Distantes entre si	Usualmente não representam risco estrutural
Ataque por sulfatos	Podem se espalhar por toda a viga	Uma série de aberturas paralelas ao eixo vinculado	Relativamente próximas	Degradação contínua da estrutura. Observar com atenção
Reação álcali-agregado	Podem se espalhar por toda a viga	Fissuras mapeadas	Relativamente próximas	Degradação contínua da estrutura. Observar com atenção
Corrosão da armadura	Acompanham as linhas das armaduras	Linhas aproximadamente retas, acompanhando as armaduras	Ao menos a distância entre as armaduras	Degradação contínua da estrutura. Observar e tratar com atenção
Recalques diferenciais	Ligação com pilares	Semelhantes às fissuras de flexão, porém na face oposta da viga	Próximas entre si	Para pequenas aberturas, baixo risco, porém deve-se tratar com atenção

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 8 - Fissuras típicas em vigas em balanço

VIGAS EM BALANÇO					
Fissura causada por	Onde se apresenta	Formato	Frequência	Risco	
Assentamento do concreto	Acompanham as linhas das armaduras	Linhas aproximadamente retas, acompanhando as armaduras	Ao menos a distância entre as armaduras	Usualmente não representam risco estrutural	
Flexão	Na face superior da viga, próximas aos apoios	Propagam-se em trajetórias inclinadas em direção à linha neutra	Relativamente próximas	Para pequenas aberturas, baixo risco, porém deve-se tratar com atenção	
Torção	Ao longo do comprimento da viga, por todos os lados	Fissuras inclinadas que circulam a viga	Relativamente distantes	Risco considerável. Observar e tratar com atenção	
Corte	Próximas ao apoio, pelas laterais da viga	Fissuras na diagonal, iniciando próximas ao apoio na parte inferior e propagando-se em direção ao centro da viga	Próximas entre si	Alto risco. ATENÇÃO!!!	
Ataque por sulfatos	Podem se espalhar por toda a viga	Fissuras configuram-se ao acaso	Relativamente próximas	Degradação contínua da estrutura. Observar com atenção	
Reação álcali-agregado	Podem se espalhar por toda a viga	Fissuras mapeadas	Relativamente próximas	Degradação contínua da estrutura. Observar com atenção	
Corrosão da armadura	Acompanham as linhas das armaduras	Linhas aproximadamente retas, acompanhando as armaduras	Ao menos a distância entre as armaduras	Degradação contínua da estrutura. Observar e tratar com atenção	

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 9 - Fissuras típicas em pilares

PILARES				
Fissura causada por	Onde se apresenta	Formato	Frequência	Risco
Assentamento do concreto	Acompanham as linhas das armaduras	Linhas aproximadamente retas, acompanhando as armaduras	Ao menos a distância entre as armaduras	Usualmente não representam risco estrutural
Compressão e flambagem	Principalmente no centro do pilar, metade do pé direito	Fendilhamento e fissuração no sentido das armaduras verticais	Relativamente próximas	ALTÍSSIMO RISCO!!!
Torção	Ao longo do comprimento do pilar, por todos os lados	Fissuras inclinadas que circulam o pilar	Relativamente distantes	Risco considerável. Observar e tratar com atenção
Retração	Locais diversos	Retração em outros elementos pode fissurar pilares	Variável	Usualmente baixo risco
Variação térmica	Locais diversos	Expansão ou contração térmica de outros elementos pode fissurar pilares	Variável	Usualmente baixo risco
Ataque por sulfatos	Podem se espalhar por todo o pilar	Uma série de aberturas paralelas ao eixo vinculado	Relativamente próximas	Degradação contínua da estrutura. Observar com atenção
Reação álcali-agregado	Podem se espalhar por todo o pilar	Fissuras mapeadas	Relativamente próximas	Degradação contínua da estrutura. Observar com atenção
Corrosão da armadura	Acompanham as linhas das armaduras	Linhas aproximadamente retas, acompanhando as armaduras	Ao menos a distância entre as armaduras	Degradação contínua da estrutura. Observar e tratar com atenção
Recalques diferenciais	Diversos locais	Fissuras aproximadamente perpendiculares ao eixo do pilar	Distantes	Risco variável, observar com bastante atenção

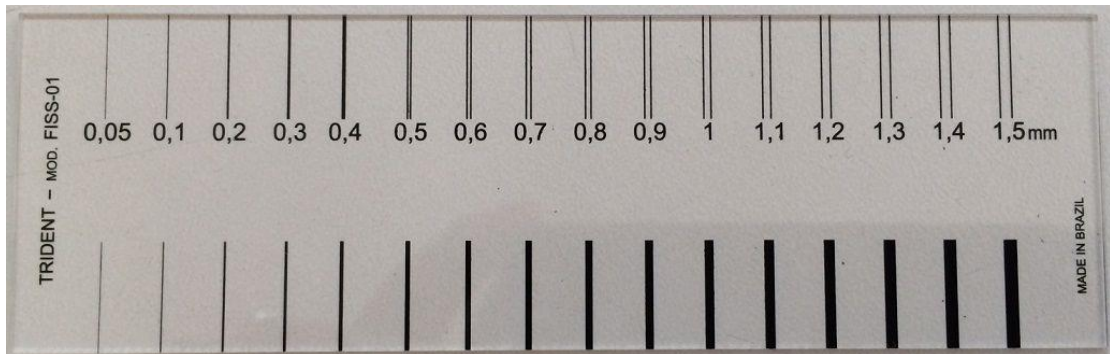
(fonte: elaborada pelo autor)

É sempre válido lembrar que mesmo que as fissuras não representem risco estrutural à edificação, elas são facilitadoras para a penetração de agentes agressivos que podem causar posterior degradação do concreto e/ou corrosão da armadura.

Para a análise das possíveis causas das fissuras em estruturas de concreto armado, é importante sempre considerar não apenas a fissura, mas todos os elementos que estão ao seu redor, tais como a presença ou não de restrições de movimentação, a incidência de calor ou radiação solar, e a possibilidade da ação de agentes agressivos.

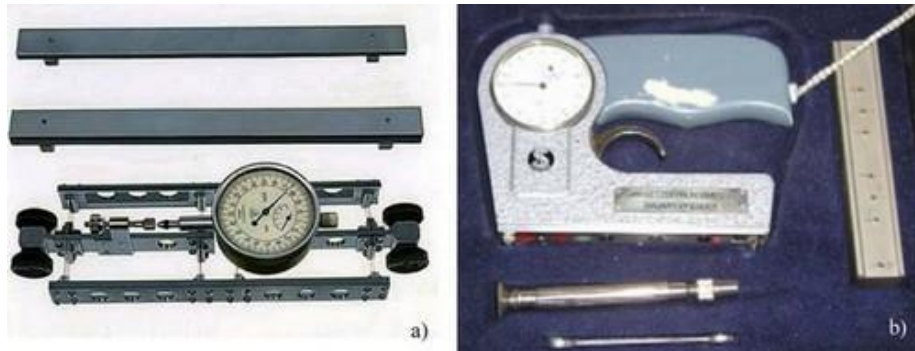
- 5) Verificar a espessura das fissuras consideradas mais relevantes através do uso de um fissurômetro, que é uma pequena régua ou jogo de réguas (fissurômetro de réguas) utilizada para esta medição, conforme mostrado na Figura 32. Verificar também se as fissuras estudadas são ativas ou passivas, utilizando um dos seguintes itens: selos de gesso (aproximadamente 3 mm de espessura e dimensões de um cartão de visita), lâmina de vidro ou alongômetro. Nos casos do selo de gesso e da lâmina de vidro, estes devem ser colados transversalmente à fissura, e verificados periodicamente para constatar a ocorrência ou não de movimentação na fissura, o que pode ser um prazo curto ou longo, dependendo das possíveis causas. Caso as peças rompam, a fissura é ativa, e, caso contrário, passiva. Para a operação do alongômetro, devem ser registradas medidas periodicamente, com maior frequência e às mesmas horas do dia no início, e, posteriormente tendo um intervalo de tempo maior entre medidas. Caso haja movimentação na estrutura, a fissura é ativa. É importante ressaltar que esses instrumentos de verificação de atividade devem sempre ser instalados no elemento estrutural de concreto armado, e não no seu revestimento. A Figura 33 apresenta dois modelos de alongômetro, que devem ser fixados pelas pontas e perpendiculares à fissura, enquanto a Figura 34 traz as maneiras de utilização do selo de gesso e do alongômetro. A utilização da lâmina de vidro é muito similar à do selo de gesso (CÁNOVAS, 1988).

Figura 32 - Régua de fissurômetro



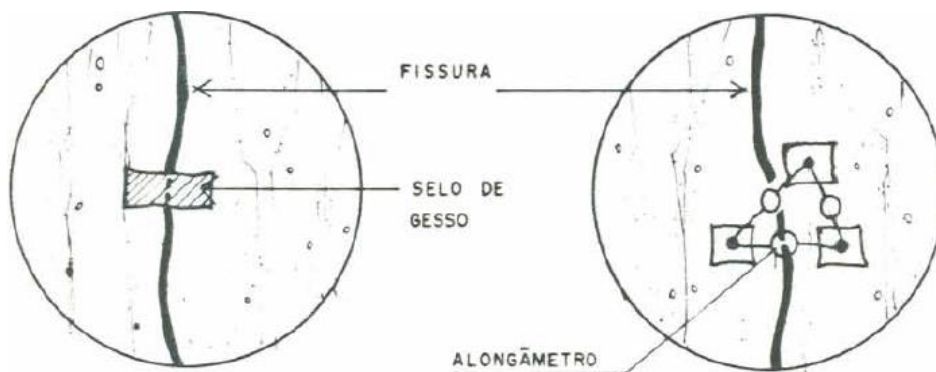
(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 33 - Dois modelos de alongâmetro: tipo LNEC (a) e de Staeger (b)



(fonte: MEDAS, 2013, p.49)

Figura 34 - Procedimentos para a determinação da movimentação da fissura



(fonte: FIGUEIREDO, 1989, p. 23)

A evolução do estado de fissuração, segundo Cánovas (1988), pode ser observada pela progressão no comprimento das fissuras, pelo aparecimento de novas fissuras e pelo aumento na abertura das fissuras.

- 6) Para facilitar o diagnóstico, a Tabela 9 exibe uma divisão de fissuras como ativas ou passivas. Algumas podem estar em ambos os casos, conforme será explicado na sequência. Deve-se procurar identificar, de acordo com as possíveis causas de fissuração já estabelecidas no item quatro, quais casos se encaixam para o diagnóstico de acordo com a presença ou não de atividade na fissura.

Tabela 10 – Divisão das fissuras como ativas ou passivas

CAUSA DA FISSURA	ATIVA	PASSIVA
Contração plástica		X
Assentamento do concreto		X
Esforços excessivos	X	X
Retração por secagem	X	X
Ataque por sulfatos	X	
Reação álcali-agregado	X	
Corrosão da armadura	X	
Variação térmica	X	
Recalques diferenciais	X	X
Movimentação de fôrmas e escoramentos		X

(fonte: elaborada pelo autor.)

A respeito das fissuras enquadradas em ambos os casos (ativas e passivas):

- Esforços excessivos: essas fissuras são enquadradas como ativas quando a estrutura recebe carga dinâmica ou então ainda não está completamente deformada devido à carga estática que lhe foi aplicada. Quando a deformação ocasionada pela ação da carga estiver completa, a fissura deve deixar de se movimentar.
- Retração por secagem: esse tipo de fissura costuma ser encarado pela literatura como fissura ativa, isso devido ao fato de que a expectativa é que o tratamento ocorra antes que a fissura deixe de ter atividade. A retração no concreto ocorre durante várias semanas ou meses, mas cessa após esse período, tornando então as fissuras “passivas”. Observação: uma pequena parcela da “retração” pode causar movimentação, pois o concreto perde e absorve água constantemente, assim tendo variação volumétrica que pode causar movimentação nas fissuras.

- Recalques diferenciais: é um caso similar ao das fissuras causadas por esforços excessivos. Quando a estrutura estiver estabilizada após a ocorrência do recalque, o crescimento das fissuras deve deixar de ocorrer, tornando assim a fissura passiva.
- 7) Caso não tenha chegado a uma conclusão, realizar conversas ou entrevistas com os usuários/moradores, proprietários e vizinhos da edificação. Procure descobrir os históricos da fissura e da edificação estudadas. Caso obtenha dados significativos, tente enquadrar novamente a fissura em estudo nas possíveis causas anteriormente apresentadas.
 - 8) Caso não tenha chegado a uma conclusão, realizar os exames complementares que julgar necessários, tais como a escarificação do concreto, a verificação da profundidade de carbonatação através do uso de solução com fenoftaleína (indicador de pH, que quando aplicada pode permanecer incolor para pH neutro ou ácido, ou então obter coloração rosada para pH básico), e/ou a verificação da existência de cloretos ou sulfatos (ANDRADE PETRIX, 1992).

Exemplo de exame: fissura na parte inferior de uma laje, paralela à armadura, que não apresenta sinais de oxidação na superfície. Dúvida: fissura causada por corrosão da armadura, sobrecarga, movimentação térmica ou retração por secagem. Hipótese mais provável: corrosão da armadura. Exames a serem realizados: escarificar o concreto em busca de sinais de corrosão e/ou verificar a profundidade de carbonatação do concreto.
 - 9) Caso não tenha chegado a uma conclusão satisfatória, optar sempre por adotar uma solução que atenda adequadamente a todos os casos considerados possíveis, mesmo que essa possa ser considerada excessivamente severa.
 - 10) Se ainda considerar necessário, procurar a ajuda de um especialista.

4.2 EXEMPLOS PRÁTICOS DE DIAGNÓSTICO

Foram realizados dois exemplos práticos para o diagnóstico de fissuras em estruturas de concreto armado.

4.2.1 Edifício em construção em Capão da Canoa

Para o primeiro exemplo, foi realizada uma inspeção em busca de fissuras em um edifício em construção na cidade de Capão da Canoa, RS. O edifício possui quatorze andares e está com a estrutura finalizada, sendo que já foram iniciados os acabamentos, conforme pode ser observado na Figura 35.

Figura 35 - Edifício em Capão da Canoa



(fonte: fotografado pelo autor)

A respeito das fissuras encontradas, todas elas se localizam na laje da cobertura, e podem ser observadas nas Figuras 36 a 40.

Figura 36 - Fissuras na laje de cobertura em edifício em Capão da Canoa - foto 1



(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 37 - Fissuras na laje de cobertura em edifício em Capão da Canoa - foto 2



(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 38 - Fissuras na laje de cobertura em edifício em Capão da Canoa - foto 3



(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 39 - Fissuras na laje de cobertura em edifício em Capão da Canoa - foto 4



(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 40 - Fissuras na laje de cobertura em edifício em Capão da Canoa - foto 5



(fonte: fotografado pelo autor)

As fissuras se encontram na face superior da laje e se configuram aleatoriamente, parecendo-se um pouco com uma pele de jacaré. De acordo com a Tabela 5, elas poderiam ser fissuras causadas pela dessecação superficial, por retração ou por contração térmica. Considerando que trata-se de uma laje de cobertura, a hipótese de as fissuras serem causadas pela contração térmica deve ser considerada, ainda que a concretagem seja recente. É possível ainda que as fissuras tenham sido causadas pela dessecação superficial e expandidas pela retração e contração térmica. Pela configuração das fissuras, a dessecação superficial parece ser uma causa bastante provável. Restaria verificar a atividade das fissuras utilizando um dos métodos descritos nos procedimentos recomendados, a fim de determinar se há influência de movimentações térmicas ou da retração (considerando que a concretagem é recente e ainda deve haver atividade na fissura caso essa seja uma causa).

Quanto aos riscos apresentados por essas fissuras, levando-se em conta que haverá um contrapiso e impermeabilização na laje, desde que bem executados, estes devem ser

suficientes para impedir a entrada de agentes agressivos que poderiam degradar mais o concreto ou as armaduras. Ainda assim, deve-se ter cuidado com as possíveis movimentações térmicas para que essas não rompam a impermeabilização.

4.2.2 Edifício antigo em Porto Alegre

Neste exemplo, é feito um estudo de caso para realizar o diagnóstico de fissuras encontradas em um edifício de dez andares no centro histórico de Porto Alegre. O edifício possui aproximadamente trinta anos, e só foi possível ter acesso a um apartamento. Foram realizadas duas vistorias no mês de novembro de 2019, e na maioria dos elementos estruturais observados, não foi possível observar a presença de fissuras devido à presença de revestimento e pintura novos, além da existência de forro de gesso na laje da maior parte dos corredores.

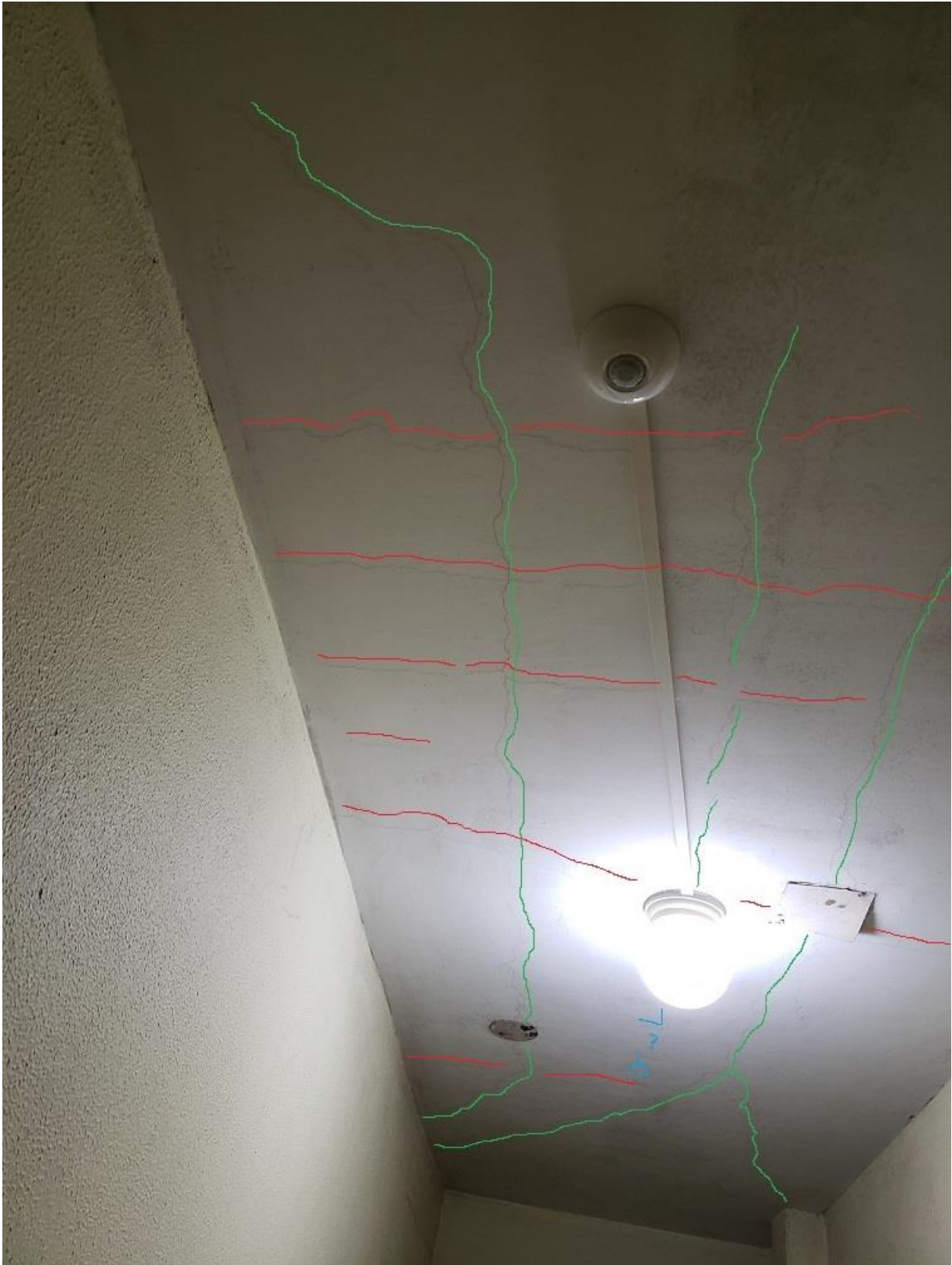
As fissuras, encontradas através de vistoria, ficam em um corredor e em um apartamento, ambos situados no oitavo andar do edifício, sendo que nos dois casos elas foram observadas na face inferior da laje, conforme exibido nas Figuras 38 a 45. As imagens foram editadas com linhas coloridas indicando a posição das fissuras.

Figura 41 - Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos – foto 1



(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 42 - Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos – foto 2



(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 43 - Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos - foto 3



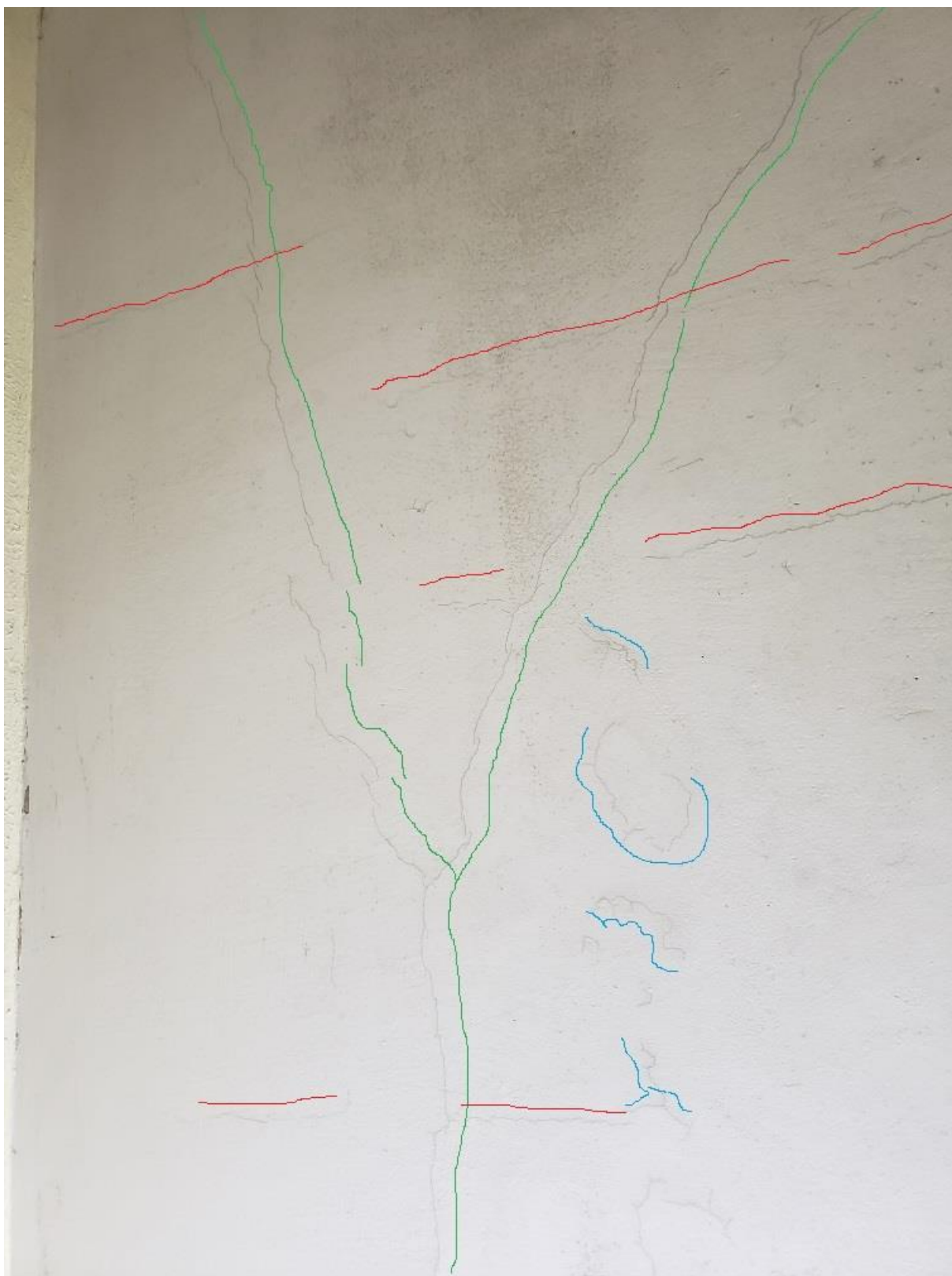
(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 44 - Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos - foto 4



(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 45 - Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos - foto 5



(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 46 - Fissuras localizadas no corredor de acesso aos apartamentos - foto 6



(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 47 - Fissura localizada na laje do apartamento – foto 1



(fonte: fotografado pelo autor)

Figura 48 - Fissura situada na laje do apartamento - foto 2



(fonte: fotografado pelo autor)

Deve-se, em primeiro lugar, ressaltar que as fissuras são observadas no revestimento, sendo que idealmente deveria ser realizada uma escarificação deste, pelo menos em algumas fissuras, para observar se elas estão também presentes na estrutura de concreto armado, já que da forma como estão configuradas estas poderiam também se dar por retração da argamassa, por exemplo. Como este caso está sendo estudado apenas para fins de exemplo de uso dos procedimentos criados, isso não será realizado, e será assumido que as fissuras atingem os elementos estruturais.

A partir da análise da morfologia das fissuras, e levando em consideração também a análise do meio em que elas se encontram, foi possível diagnosticar que elas foram causadas por três causas diferentes. Nas Figuras 38 a 45, as fissuras causadas por diferentes causas foram marcadas por diferentes cores: vermelho, verde e azul.

As fissuras marcadas em vermelho seguem o traçado esperado para a armadura da laje, elas são aproximadamente retas e perpendiculares em relação às vigas do corredor, mas não apresentam manchas amarronzadas na superfície. Ainda assim, a posição das fissuras, considerando que trata-se de um corredor estreito e com lajes possivelmente armadas em uma só direção, leva a crer que a principal causa possível seja a corrosão da armadura, havendo ainda possibilidade de ser devido à retração, movimentações térmicas, ou outras movimentações estruturais de qualquer fonte, já que o cobrimento de armadura parece ser pequeno. A respeito da possibilidade das fissuras serem causadas por movimentações térmicas, tem-se contra isso o fato que não há exposição ao sol no local em que ela se encontra, sendo que apenas uma das paredes recebe radiação solar durante poucas horas por dia, haja vista que há um prédio mais alto ao lado. Tendo em vista a possibilidade de que as fissuras sejam causadas pela corrosão da armadura, recomenda-se que seja realizada a escarificação do concreto em busca de sinais de corrosão, e, caso necessário, utilização de solução com fenoftaleína para determinar a profundidade de carbonatação do concreto. Caso não seja verificada corrosão na armadura, o maior perigo que essas fissuras podem oferecer é que atuarão como facilitadoras para a entrada de agentes agressivos, que podem provocar corrosão no futuro. Caso a corrosão de fato seja observada, recomenda-se verificar a seção em bom estado das armaduras e a realização de reparo de acordo com o que será indicado no próximo capítulo.

As fissuras marcadas em verde seguem traçado passando pelos pontos de luz ou indo em direção aos disjuntores presentes no interior dos apartamentos. Elas não são totalmente retilíneas, apresentam curvaturas justamente nos pontos onde é esperada curvatura para a tubulação de eletrodutos. Isso leva a crer que essas fissuras sejam causadas por movimentações térmicas ou retração do concreto, somadas ao pequeno cobrimento de concreto em volta dos eletrodutos. Pode-se verificar se há movimentação na estrutura através de selos de gesso a fim de determinar se a fissura é ativa ou passiva, para assim encontrar a melhor solução para ela, mas essas fissuras não parecem oferecer riscos à edificação, exceto pelo fato que podem facilitar a entrada de agentes agressivos.

As fissuras marcadas em azul são poucas e possuem formato aleatório. Considerando que elas afetem a estrutura, e levando em conta a morfologia das fissuras, elas podem ter como causa ataque por sulfatos, retração do concreto ou movimentações térmicas. Apesar disso, é difícil imaginar que uma laje interna do oitavo andar em Porto Alegre seja atacada por sulfatos, então essa causa pode ser descartada. Como recomendação, indica-se que seja verificada a atividade nas fissuras utilizando selos de gesso, assim como no caso anterior. Essas fissuras não parecem apresentar risco à integridade da edificação.

Não foi realizado na estrutura nenhum tipo de procedimento para determinar a presença de atividade nas fissuras ou exames complementares. Deve-se lembrar que para um diagnóstico real seria necessário fazer a escarificação do revestimento para verificar se as fissuras observadas realmente atingem a estrutura de concreto armado.

5 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA AS FISSURAS

A fim de tratar uma manifestação patológica de fissuração, deve-se observar, primeiramente se as fissuras são ativas ou passivas e verificar o motivo que a causou, isso porque diferentes fissuras exigem diferentes materiais e/ou soluções para a recomposição das estruturas de concreto armado. Por exemplo, caso se utilize um material pouco elástico para recuperar uma fissura ativa, sem que sua causa seja sanada, esse material pode romper, ou, mais usualmente, causar uma nova fissura no concreto em um local muito próximo ao da fissura anterior. Outro exemplo é o uso de material com elasticidade adequada, porém em um caso que a fissura aumente continuamente, o que põe em risco a integridade da estrutura.

Assim sendo, caso a fissura seja ativa, é muito importante que, além de ser verificada a causa originária da fissura, sempre que possível e economicamente viável, esta causa seja tratada, caso contrário podem haver consequências como perda de desempenho e até, em muitos casos, o colapso das estruturas, como foi o caso recente de edifício em Fortaleza que apresentava corrosão nas armaduras dos pilares da estrutura. Caso seja uma fissura de origem térmica, por exemplo, dificilmente será possível tratar a causa da fissura, que seria a falta de uma junta. Por outro lado, caso seja uma fissura com origem na flexão do concreto causada por um excesso de carga, é possível alterar o uso da estrutura, realizar um reforço na mesma, ou então, eventualmente, demoli-la e reconstruí-la.

Neste capítulo será abordado sobre algumas formas de reparação de fissuras. Reforços estruturais não serão abordados neste trabalho.

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

Entre os métodos de reparação de fissuras, os mais frequentes são as injeções, a selagem, a cicratização, a ocratização e o grampeamento. Estes métodos serão apresentados a seguir. Para as fissuras causadas por corrosão da armadura, o procedimento é mais complexo. Para

fissuras causadas por ataque por sulfatos ou reação álcali-agregado, os procedimentos explicados neste trabalho não são recomendados.

A técnica de injeção epóxi é a mais utilizada para reparação de fissuras em estruturas de concreto armado, mas deve-se considerar que nem todos os casos devem receber esse tratamento. Esta técnica pode ser adequada para fissuras passivas, mas em geral não deve ser aplicada em fissuras ativas, exceto aquelas em que o movimento é muito pequeno, caso contrário o concreto simplesmente fissurará em outro local. Mesmo para as fissuras ativas com movimento pequeno, essa técnica não é recomendada (CÁNOVAS, 1988).

Para as fissuras ativas, é recomendada a utilização de resinas flexíveis ou polisulfuretos como selantes, e estes devem ter um alongamento de ruptura maior que 100%, devendo ser flexíveis a fim de que acompanhem a fissura em seus movimentos. Devem ser observadas na resina empregada resistência à tração superior à do concreto, assim como grande aderência ao mesmo (CÁNOVAS, 1988).

Para as fissuras não estruturais, há ainda a possibilidade de realizar o preenchimento com espuma de poliuretano.

Além disso, Cánovas (1988) ainda ressalta quais fissuras é importante reparar e quais podem ser apenas seladas:

“Nas áreas submetidas à compressão, as fissuras devem ser tratadas por injeção, a fim de dar continuidade ao concreto e assegurar boa distribuição de forças internas provocadas pelas cargas vivas.

As fissuras e trincas de pequena abertura em áreas tracionadas não são importantes do ponto de vista estático; no entanto, convém selá-las para evitar corrosões no concreto e no aço estrutural.” (CÁNOVAS, 1988, p. 255)

Isso significa que nem toda fissura passiva precisa ser injetada. Em muitos casos, pode-se apenas realizar a selagem da fissura, protegendo o concreto do ingresso de agentes de degradação a um custo, muitas vezes, inferior.

Pode-se recomendar, para fissuras passivas, as injeções, a selagem, a cicatrização e a ocratização. Deve-se fazer a ressalva de que em áreas que sofrem compressão, o ideal é utilizar o procedimento de injeção. Para fissuras ativas, recomenda-se os métodos de selagem e, eventualmente, com planejamento e execução cuidadosos, grampeamento.

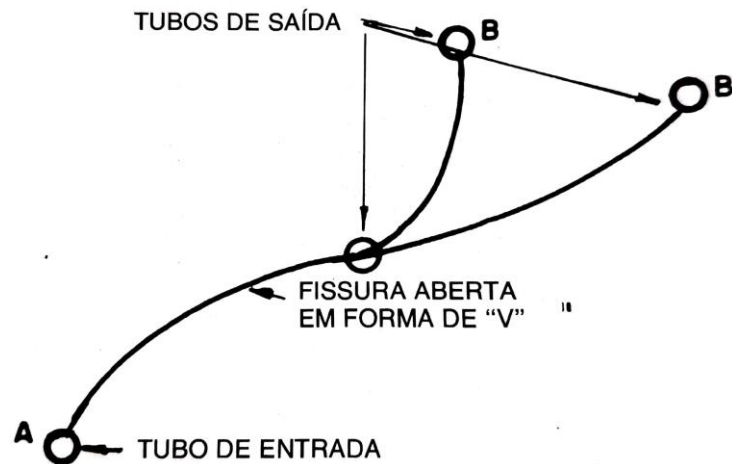
5.1 INJEÇÕES

Para reparar uma fissura por injeção, a primeira coisa a se fazer é uma abertura de furos para a colocação dos bicos de injeção (que serão abordados em seguida), sendo que o espaçamento entre estes furos deve estar adequado de acordo com a largura e profundidade da fissura. Cánovas (1988) afirma que frequentemente são colocados em intervalos de 20 a 50 cm, ou uma vez e meia a profundidade da fissura. Deve-se também fazer uma exaustiva limpeza da mesma, através de jatos de ar comprimido.

Deve ser definido material adequado para a injeção 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 (lembrando que esta técnica não é recomendada para fissuras ativas); a presença ou ausência de umidade, pois alguns materiais não tem bom desempenho frente às altas umidades; o “pot-life”, que é o tempo disponível para aplicação da resina após a mistura com o catalisador (CÁNOVAS, 1988).

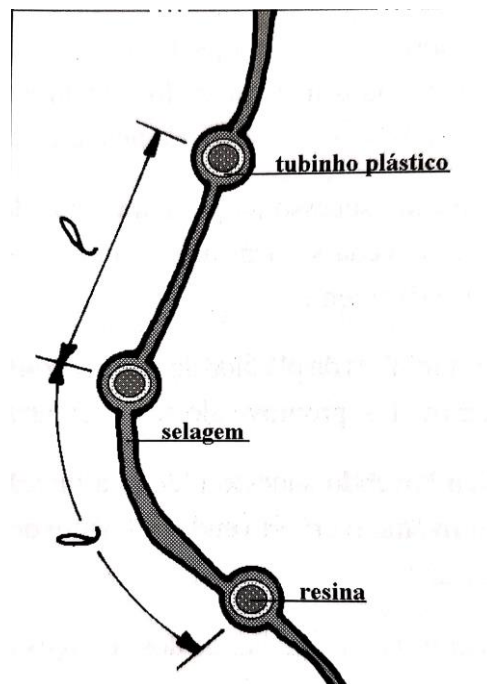
Tendo o material sido definido e uma limpeza adequada sido efetivada, deve-se então realizar a selagem de toda a fissura, a qual, segundo Souza e Ripper (1998), é feita pela aplicação de uma cola epoxídica bicomponente, em geral aplicada através de espátula ou colher de pedreiro. Ao mesmo tempo em que a fissura é selada, devem ser instalados tubos plásticos ou metálicos ao longo da fissura, chamados bicos de injeção. Além disso, quando a fissura tem bifurcações, é indicado colocar um bico em cada ponto de encontro das diferentes linhas ramificadas, conforme exibido na Figura 46, e, quando a fissura atravessa um elemento estrutural, recomenda-se que seja realizada a selagem e colocação dos tubos em ambos os lados. Ao redor dos bicos de injeção, a concentração da cola deve ser ligeiramente maior, de forma a garantir a fixação deles. A Figura 47 apresenta como deve ser o resultado final.

Figura 49 - Localização dos bicos de injeção na fissura bifurcada



(fonte: CÁNOVAS, 1988, p.257)

Figura 50 - Preparação da fissura para o procedimento de injeção



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p.123)

Antes de se iniciar a injeção, deve-se testar se o sistema está eficiente, através da aplicação de ar comprimido por um dos tubos para verificação da intercomunicação entre os furos e a efetividade da selagem. Caso haja obstrução em um ou mais tubos, é recomendada a redução do espaçamento entre eles, inserindo-se outros a meio caminho.

Com o sistema efetivamente testado, deve-se proceder ao início da injeção, a qual deve ser realizada tubo a tubo, iniciando sempre pelos de cota inferior e injetando até que seja possível

observar a resina saindo pelo tubo acima, a partir disso repetindo o procedimento até que a fissura esteja preenchida, conforme exibido na Figura 48. Segundo Cánovas (1988), os tubos devem ser conservados por cerca de doze horas, e então removidos.

Figura 51 - Injeção de fissura



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p.122)

Para avaliar a eficiência da injeção, pode ser retirado um corpo de prova como testemunho, sendo que será considerada satisfatória a injeção quando pelo menos 90% do comprimento da fissura visível no testemunho estiver injetado.

Este tipo de reparo costuma ser realizado por empresa especializada, utilizando equipamentos e mão de obra treinada especificamente para isso.

5.2 SELAGEM

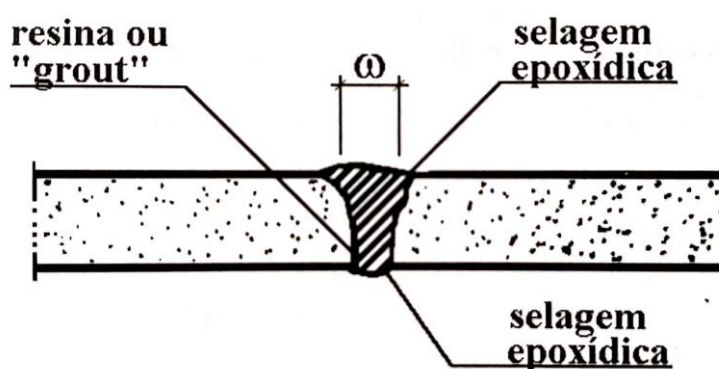
Segundo Souza e Ripper (1998), a selagem é a técnica de vedação dos bordos das fissuras ativas através da utilização de um material necessariamente aderente, mecânica e quimicamente resistente, não retrátil e com módulo de elasticidade suficiente para adaptar-se à deformação da fenda.

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

- Para fissuras com aberturas inferiores a 10 mm, deve ser realizado o mesmo processo de selagem descrito na técnica de injeção de fissuras;
- Para fissuras com aberturas entre 10 e 30 mm, deve ser feito um enchimento da fenda, sempre na mesma direção, com graute, em alguns casos podendo haver adição de carga, procedendo-se a selagem com produto à base de epóxi, de acordo com a Figura 49.
- Para fissuras com aberturas superiores a 30 mm, a selagem já passa a ser encarada como se fosse a vedação de uma junta de movimento e prevê a inserção de um cordão em poliestireno extrudado, ou de uma mangueira plástica, para apoio e isolamento do selante do fundo da fenda, de acordo com a Figura 50. Outra possibilidade é a colocação de juntas de neoprene, as quais deverão aderir aos bordos da fenda, devidamente reforçados para o efeito, conforme a Figura 51.

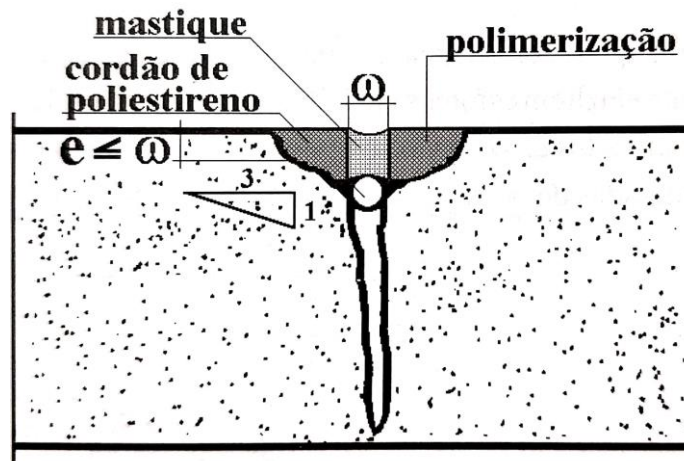
No caso da utilização do mastique, antes de aplicá-lo é usual a pincelagem dos bordos da junta e do cordão com um primário, normalmente epoxídico, o qual servirá como ponte de aderência entre o concreto e o selante. No caso da vedação através de junta de neoprene, deve-se utilizar adesivos epoxídicos para aderí-la aos bordos da fenda. Em ambos os casos é necessário o fortalecimento da superfície mais externa dos bordos das fendas, conforme pode ser observado na Figura 50 e na Figura 51 (SOUZA e RIPPER, 1998).

Figura 52 - Selagem de fissuras com abertura entre 10 e 30 mm



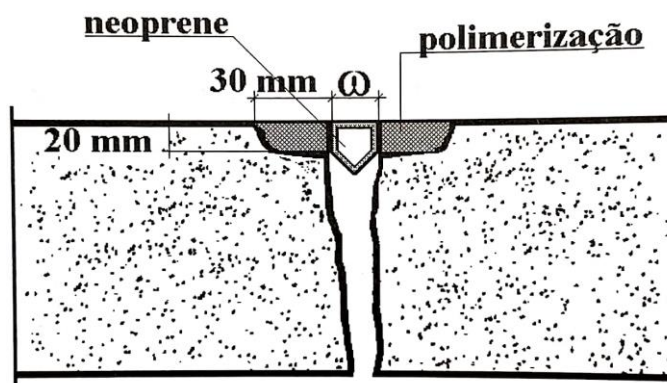
(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 125)

Figura 53 - Vedação de fissuras de grande abertura com mastique



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 125)

Figura 54 - Vedação de fissuras de grande abertura com neoprene



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 126)

Recomenda-se que este reparo seja realizado por mão de obra especializada, a fim de garantir maior qualidade.

5.3 CICATRIZAÇÃO

De acordo com Cánovas (1988), é frequente que fissuras passivas acabem fechando por si mesmas. Esse não se trata propriamente de um método de reparação, mas sim de um fenômeno, habitualmente observado em elementos fissurados de concreto que se encontram saturados de água e nos quais esta não circula pela fissura, e é conhecido pelo nome de “cicatrização”.

Devido à carbonatação, são formados cristais de carbonato de cálcio, que, encaixados entre si, dão lugar a forças de aderência mecânica e química entre eles e as superfícies de concreto.

Essa aderência é tão forte que pode-se considerar que o concreto pode superar trações novamente, mas deve-se considerar que a cicatrização é um ponto delicado, então somente se poderá contar com a sua contribuição quando o elemento estiver submetido a uma carga constante e estática. Para que o fenômeno ocorra, deve ser mantida a saturação de água e estabilidade na fissura ao longo de toda a sua duração, que costuma ser de 90 dias (CÁNOVAS, 1988).

Vale a menção de um material relativamente novo, o concreto autocicatrizante. Este surgiu com o objetivo de promover a eliminação das fissuras geradas não só nas primeiras horas de cura, mas também ao longo da vida útil. Através de adições durante a fabricação do concreto, é possível aumentar sua capacidade de “regenerar” e de fechar as fissuras que surgirão ao longo de sua vida útil. Essa capacidade de fechar fissuras foi estudada em laboratório, chegando-se a uma abertura máxima de fissura de 0,4 mm para uma regeneração adequada. Para que o concreto tenha essa capacidade, ele é misturado com adições minerais de materiais pozolânicos, e quanto maior a quantidade desses no concreto, maior será a reação para a autocicatrização (TAKAGI, 2013).

5.4 OCRTIZAÇÃO

Outro processo para cristalização das fissuras é a ocratização. Através de fluorsilicatos, os quais podem ser provenientes tanto de uso de um gás quanto de soluções líquidas, as fissuras são fechadas de dentro para fora, até a superfície, restabelecendo em grande parte a resistência à tração do concreto. É importante ressaltar que esse processo só é recomendado para fissuras de até 0,2 mm, e é utilizado usualmente apenas na superfície de lajes (CÁNOVAS, 1988).

Para fissuras em que o processo da ocratização pode ser aplicado, o mercado oferece soluções líquidas que podem ser aplicadas sobre superfícies planas, sendo esse um processo rápido e de fácil utilização que poderia ser aplicado em fissuras de pequena dimensão causadas, por exemplo, pela dessecação superficial ou assentamento plástico do concreto em lajes. Neste caso, não é necessária a utilização de mão de obra especializada. Caso o processo seja aplicado através de gás contendo fluorsilicato, recomenda-se que seja realizado por mão de obra especializada.

5.5 GRAMPEAMENTO

A respeito da técnica de grampeamento (costura das fissuras), Souza e Ripper (1998) afirma:

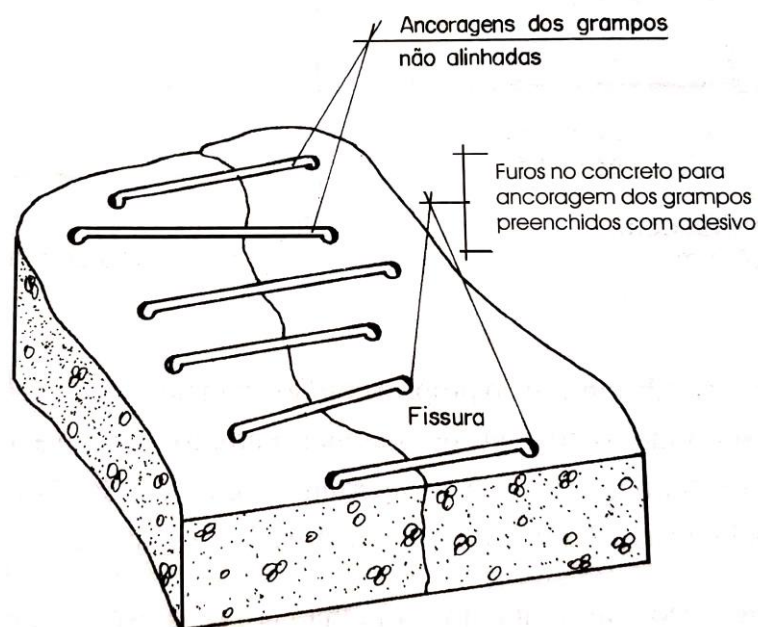
“Nos casos de fissuras ativas e em que o desenvolvimento delas acontece segundo linhas isoladas e por deficiências localizadas de capacidade resistente, poderá vir a ser conveniente a disposição de armadura adicional, de forma a resistir ao esforço de tração extra que provocou a fendilhação. Em função do seu aspecto e de seu propósito, estas armaduras são chamadas grampos, sendo este o processo de costura das fendas[...].

A técnica é de discutível aplicação caso não haja a perfeita configuração da situação indicada no parágrafo anterior, pois aumenta a rigidez da peça localizadamente e, se o esforço gerador da fenda continuar, com certeza produzirá uma nova fissura em região adjacente.

Em qualquer situação, e para minorar estes efeitos, os grampos devem ser dispostos de forma a não introduzirem esforços em linha, nem mesmo os de ancoragem no concreto, pelo que devem ser diferentemente inclinados em relação ao eixo da fissura e ter comprimento variável, à semelhança do que é feito no caso de emendas de barra de aço embutida no concreto.” (SOUZA e RIPPER, 1998, p. 126)

De acordo com Souza e Ripper (1998) e Cánovas (1988), as etapas de execução do grampeamento são as seguintes: primeiramente, sempre que possível, descarregar a estrutura, pois o processo em questão não deixa de ser um reforço; em seguida, executar furos e berços para assentamento dos grampos previamente; se a opção for esta, injetar resinas epoxídicas ou cimentícias na fissura, fazendo a selagem desta a um nível inferior ao do berço executado; na sequência, colocar os grampos e preencher os vazios restantes com resina epóxi, conforme apresentado na Figura 52; caso se esteja lidando com elementos tracionados, as fissuras devem ser grampeadas nos dois lados dos mesmos; pode-se também cobrir toda a área grampeada com uma camada de argamassa.

Figura 55 - Reparo de uma fissura por grampeamento



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p.126)

5.6 RECUPERAÇÃO DE FISSURAS CAUSADAS PELA CORROSÃO DA ARMADURA

De acordo com Helene (1986): “A recuperação deste tipo de fenômeno patológico – corrosão de armaduras – é delicada e requer mão de obra especializada.” (HELENE, 1986, p. 30)

Também de acordo com Andrade Perdrix (1992), a respeito da função do reparo em estruturas que sofreram corrosão:

“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, p. 96)

A recuperação, de acordo com Helene (1986), consiste basicamente de três etapas:

- a) 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. Andrade Petrix (1992) ressalta que deve ser retirado inclusive o concreto que estiver detrás das armaduras corroídas, deixando um vão livre mínimo de 1 a 2 cm entre o aço e o concreto “velho”.

- b) Análise criteriosa da possível redução de seção transversal das armaduras. Se necessário, devem ser colocados novos estribos e novas armaduras longitudinais. Andrade Petrix (1992) indica 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, Helene (1986) recomenda 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.
- c) Reconstrução do revestimento das armaduras, sendo que este tem por finalidade: impedir a penetração de umidade, oxigênio e agentes agressivos até as armaduras; recompor a área da seção de concreto original; proporcionar um meio que garanta a manutenção da capa passivadora no aço.

Esse novo revestimento pode ser executado através de qualquer procedimento que atenda esses requisitos. Alguns exemplos sugeridos por Helene (1986) são:

- Concreto projetado, com espessura mínima de 50 mm. Vantagens: não é necessária a utilização de fôrmas e há boa aderência entre os concretos. Desvantagem: elevada perda de material e sujeira provocada no ambiente.
- Adesivo à base de epóxi para união do concreto “velho” com o “novo”. Vantagem: impermeabilização definitiva da armadura, impedindo a corrosão mesmo com a carbonatação superficial do concreto. Desvantagens: requer fôrmas, é difícil a compactação e adensamento do concreto “novo”, e geralmente as seções finais são maiores que as iniciais, causando possíveis prejuízos estéticos.
- Concretos e argamassas poliméricos de resinas à base epóxi. Vantagens: alta durabilidade, impermeabilidade, aderência ao concreto velho e à armadura, não acarretam problemas estéticos devido à possibilidade de serem moldados em pequenos espaços. Desvantagens: necessitam de fôrma, requer mão de obra especializada e testes prévios de desempenho, e são caros.
- Concretos e argamassas especiais para “grauteamento”. Vantagens: não apresentam retração, possuem boa aderência, podem ser auto-adensáveis, não exigindo aumento da seção original. Desvantagem: necessitam de fôrmas.

- Concretos e argamassas “comuns”, bem proporcionados, com baixa relação água/cimento e aplicados com fôrma, dentro das técnicas de bem construir. Geralmente é necessário grande aumento de seção. Além disso, alto conhecimento da tecnologia do concreto é necessário para garantir a aderência do concreto “velho” ao “novo”.

Deve-se ressaltar que esse procedimento só protege o local aonde foi realizado o reparo, e podem surgir novas fissuras causada pela corrosão de armaduras em outras partes do elemento estrutural bastante próximas ao local reparado, onde a corrosão de armaduras apenas não estava evidente ainda.

Outro ponto importante é que, caso se esteja realizando a recuperação de pilares na estrutura, o recomendado é que esse procedimento seja realizado em apenas um pilar por vez, de modo que a parte da estrutura comprometida seja menor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Evidenciou-se neste trabalho a importância do acompanhamento adequado de todas as etapas do ciclo de uma estrutura, desde o planejamento e concepção até o período de uso, sendo que a falha em qualquer destas etapas pode provocar manifestações patológicas na estrutura. Ficou evidente também a importância do estudo das manifestações patológicas que se apresentam em uma estrutura, que pode auxiliar no diagnóstico de problemas que reduzem consideravelmente a vida útil desta. O trabalho apresentou ainda algumas alternativas para tratamento de fissuras, ressaltando a importância deste, em alguns casos, para a manutenção ou recuperação da integridade de estruturas em concreto armado, assim como, em outros, para evitar degradação posterior que poderia ser ocasionada por outros fatores, como ataques químicos.

Este trabalho tinha como objetivo principal a elaboração de um manual básico para auxiliar na identificação de causas de fissuras. Foram imaginadas diversas formas para a elaboração desse manual, através de fluxogramas ou listas de conferência, porém a conclusão que se chegou é que a identificação das causas de fissuras é uma tarefa cuja dificuldade é bastante variável. Há fissuras facilmente identificáveis, pois, com conhecimentos bibliográficos básicos, pode-se eliminar a maior parte das possíveis causas através da morfologia da fissura e o elemento estrutural que ela atinge. Ainda assim, muitas fissuras podem ter causas com morfologias bastante semelhantes, para as quais a identificação exige um conhecimento maior a respeito do histórico da edificação, ou então a realização de exames no concreto, como a escarificação, e entender o mecanismo de formação da fissura pode ser fundamental para um melhor diagnóstico da sua causa.

Assim sendo, foi decidido pela criação de um procedimento com passos relativamente simples, através do qual é possível identificar as principais possíveis causas de acordo com a morfologia da fissura e, quando isso não é suficiente para a identificação, a indicação de como proceder através da verificação da atividade na fissura e a indicação de outras ações que podem eliminar possibilidades até que seja possível chegar a um diagnóstico relativamente preciso, na maioria dos casos. O profissional também pode estudar na revisão bibliográfica mais profundamente a respeito das causas que ele, com o auxílio deste trabalho, considerou possíveis, tendo maior capacitação para determinação do real motivo que causou a fissuração, podendo assim escolher o melhor tratamento possível.

Como objetivo secundário, este trabalho deveria apresentar algumas técnicas para reparo das fissuras que pudessem ser identificadas pelo mesmo. Considerando o que foi estudado na revisão bibliográfica, pôde-se constatar que há diversas técnicas para reparo, devendo-se levar em conta, no momento da definição de qual aplicar, não apenas o critério técnico, mas também o tempo de realização do reparo e o custo financeiro deste.

Por fim, considera-se que este trabalho possui utilidade técnica, pois pode auxiliar e guiar um profissional no exercício da identificação de fissuras, assim como também aponta algumas formas de reparação destas manifestações patológicas. Ainda assim, não dispensa a necessidade de capacitação em engenharia e entendimento do tema “estruturas em concreto armado” para a realização do diagnóstico e tratamento das fissuras que se apresentarem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE PERDRIX, M. D. C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. Tradução de Antonio Carmona e Paulo Helene. 1. ed. São Paulo: Pini, v. I, 1992. 104 p. ISBN 85-7266-011-9.
- ANDRADE, J. J. D. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 139. 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696**: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto - Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, p. 27. 2009. (978-85-07-01457-7).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, p. 25. 2012. (978-85-07-03557-2).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, p. 71. 2013. (978-85-07-04036-1).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, p. 238. 2014. (978-85-07-04941-8).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, p. 23. 2015. (978-85-07-05356-9).
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 1988.
- CONCRETE SOCIETY. Non-structural cracks in concrete. **Technical Report**, London, n. 22, p. 38, 1982.
- DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. 1988. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 220. 1988.
- EVANGELHO, T. B.; BITTENCOURT, E. Consideração do esmagamento no concreto armado através de modelos coesivos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 7, Maio 2014. ISSN 1983-4195.
- FIGUEIREDO, E. J. P. **Terapia das construções de concreto: metodologia de avaliação de sistemas epóxi destinados à injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto**. 1989. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 151. 1989.
- HELENE, P. R. D. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 1986.

- HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2^a. ed. São Paulo: Pini, 1992.
- MEDAS, L. F. G. **Inspeção, Diagnóstico e Reparação de Estruturas de Betão Armado**. 2013. Dissertação (Mestrado), Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, p. 156. 2013.
- MEDEIROS, M. H. F. D.; GROCHOSKI, M.; HELENE, P. Marquises: por que algumas caem? **Revista Concreto**, São Paulo, p. 10-17, n.24. 2007.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1^a. ed. São Paulo: Pini, 1994.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 2^a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.
- PIANCASTELLI, É. M. Patologias do concreto. **AECweb**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0>. Acesso em: 07 Novembro 2019.
- SOUZA, J. C. O que as rachaduras nas estruturas de concreto querem dizer? **ArchDaily**, 8 Setembro 2017. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/879222/o-que-as-rachaduras-nas-estruturas-de-concreto-querem-dizer>>. Acesso em: 11 Novembro 2019.
- SOUZA, V. C. M. D.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1^a. ed. São Paulo: Pini, 1998.
- TAKAGI, E. M. **Concretos autocicatrizantes com cimentos brasileiros de escória de alto-forno ativados por catalisador cristalino**. 2013. Dissertação (Mestrado), Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, p. 130. 2013.
- THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1^a. ed. São Paulo: Pini, 1989.
- VIEIRA, G. L. **Influência da microfissuração causada por carregamento precoce nas propriedades mecânicas de concretos produzidos com diferentes tipos de cimentos**. 2008. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 189. 2008.
- VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação da resistência à compressão, resistência à tração e formação de microfissuras em concretos produzidos com diferentes tipos de cimentos, quando aplicado um pré-carregamento de compressão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 25-40, jan./mar. 2011. ISSN 1278-8621.