



ALICE GUIMARÃES ROSA CARVALHO

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E TIPOS DE ENSAIOS
DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS PARA A
AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO CONCRETO
ARMADO**

LAVRAS - MG

2022

ALICE GUIMARÃES ROSA CARVALHO

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E TIPOS DE ENSAIOS
DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS PARA A
AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO CONCRETO
ARMADO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Engenharia Civil, para o título de Bacharel.

Prof. Dr. Ígor José Mendes Lemes

Orientador

Eng. Dr. Rafael Cesário Barros

Coorientador

LAVRAS - MG

2022

ALICE GUIMARÃES ROSA CARVALHO

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E TIPOS DE ENSAIOS
DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS PARA A
AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO CONCRETO
ARMADO**

**PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS AND TYPES OF
DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE TESTS FOR THE
EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE PROPERTIES**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Engenharia Civil, para o título de Bacharel.

APROVADO em 25 de Abril de 2022

Prof. Dr. Ígor José Mendes Lemes - UFLA

Eng. Dr. Rafael Cesário Barros - Sereng Engenharia e Consultoria

Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo – UFLA



Prof. Dr. Ígor José Mendes Lemes
Orientador

Eng. Dr. Rafael Cesário Barros
Coorientador

LAVRAS - MG

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele não chegaria até aqui.

Aos meus pais, Marialice e Gilberto, pelo carinho, amor, por acreditarem no meu potencial e me incentivarem a sempre buscar o meu melhor.

Aos meus irmãos Alinne e Thiago pelo amor, conselhos e incentivo.

Aos meus amigos pela ajuda, acolhimento e incentivo, por todo o tempo compartilhado, dedicado aos estudos e as distrações.

Ao meu namorado Enzo pelo carinho, por sempre me exaltar e me fazer acreditar no meu potencial.

A minha cachorrinha Lisa por todo amor e companheirismo.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Lavras, em especial ao professor Dr. Ígor J. M. Lemes, por toda a disposição, dedicação e orientação necessárias ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador Dr. Rafael Cesário Barros pela disponibilidade e dedicação para ajudar nessa jornada.

A Universidade Federal de Lavras - UFLA, pelos ensinamentos, qualidade de ensino e experiências de vida.

Talvez eu não tenha citado todos aqueles que fizeram parte desta fase tão importante da minha vida que foi a faculdade e o TCC, àqueles que não tiveram o nome aqui citados, saibam que com certeza estão em meu pensamento e deixo aqui meus agradecimentos.

RESUMO

Patologia do concreto armado é a ciência que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos problemas patológicos encontrados nesta tipologia estrutural. As patologias podem ocorrer por diversos fatores, como erros de projeto, de execução, mau uso da edificação, utilização de materiais de construção de baixa qualidade e falta de proteção contra agentes do ambiente. O presente trabalho apresenta algumas patologias mais comuns como problemas com umidade, infiltrações, fissuras, corrosão das armaduras, carbonatação, lixiviação, dentre outros. Para diagnosticar e propor soluções para corrigir os problemas das construções, é importante antes conhecer suas causas, possíveis consequências e reparos. Esta pesquisa ainda possui como objetivo estudar e discorrer sobre patologias em estruturas de concreto e conhecer os ensaios destrutivos e não destrutivos para averiguar as propriedades do concreto em estruturas já executadas. Em complemento, são estudadas as situações em que cada ensaio se destaca. Foram feitas pesquisas bibliográficas referentes ao tema, patologias na construção civil e ensaios utilizados para aferição da resistência do concreto em estruturas já executadas. Verifica-se a importância da contratação de um especialista para avaliação da patologia e indicação do melhor procedimento a se realizar para sua recuperação.

Palavras-chave: Propriedades, causas, fck, construção civil, estruturas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1	Patologias em estruturas de concreto	11
2.2	Identificação das patologias na estrutura.....	12
2.2.1	Patologias devido a infiltrações ou contato com água	13
2.2.1.1	Corrosão das armaduras.....	13
2.2.1.2	Carbonatação	14
2.2.1.3	Lixiviação.....	15
2.2.2	Patologias devido a umidade.....	16
2.2.3	Fissuras e trincas.....	18
2.2.4	Patologias durante a concepção de projeto e construção	20
2.2.5	Patologias devido a incêndio	21
3	METODOLOGIA	24
4	APRESENTAÇÃO DOS ENSAIOS.....	25
4.1	Considerações iniciais	25
4.2	Ensaio não destrutivos	25
4.2.1	Esclerometria	25
4.2.2	Medição de maturidade.....	27
4.2.3	Pacomtria	30
4.2.4	Resistência à penetração	32
4.2.5	Termografia infravermelha	33
4.2.6	Ultrassom.....	34
4.2.7	Inspeção visual	36
4.3	Ensaio destrutivos	38
4.3.1	Resistência à compressão	38
4.3.2	Resistência à tração	39
5	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

Um projeto seguro de uma estrutura de concreto, deve apresentar especificações e parâmetros de qualidade, que devem ser controlados durante e após a execução da obra. Os parâmetros variam de acordo com o tipo de estrutura que será executada, das cargas a qual a mesma será submetida e do meio em que a estrutura estará inserida. Por ser constituído de diversos elementos com formas, dimensões e propriedades variadas, o concreto exige um controle tecnológico constante e consistente, para que problemas sejam evitados, principalmente no seu estado endurecido.

O principal parâmetro utilizado para o controle da qualidade do concreto é sua resistência característica à compressão (f_{ck}), definida em projeto. O controle do concreto é efetivado através do rompimento dos corpos de provas que foram moldados *in loco* no dia da concretagem, com idade entre 7 e 28 dias. A resistência característica à compressão (f_{ck}) aferida aos 28 dias determina se o concreto atende ou não o f_{ck} especificado em projeto.

Nos casos em que é necessário determinar o f_{ck} de uma estrutura já executada, são utilizados ensaios para determinação do mesmo e posteriormente é feita a comparação com o dado previsto em projeto. Quando o concreto não atinge o f_{ck} esperado com os ensaios de compressão feitos nos corpos de prova moldados *in loco*, podem ser realizados ensaios destrutivos ou não destrutivos para averiguação da resistência da estrutura. Para tanto deve-se identificar o local de aplicação desse concreto, através do mapa de concretagem elaborado no dia da concretagem das estruturas. Assim, viabiliza-se a averiguação através de ensaios específicos apenas no local onde o f_{ck} foi inferior ao calculado em projeto, podendo evitar a realização de ensaios em locais em que o f_{ck} foi condizente com o projeto.

O presente trabalho possui como objetivo estudar e discorrer sobre patologias em estruturas de concreto e conhecer os ensaios não destrutivos e destrutivos para averiguar os parâmetros de resistência do concreto em estruturas já executadas, e as situações em que se aplica melhor a utilização de cada um desses. Busca-se também descrever sobre as patologias em estruturas já executadas, abordando os problemas que podem surgir durante a execução das estruturas de concreto e os tipos de ensaios utilizados nessa ocasião.

Vale destacar que esse trabalho de conclusão de curso possui grande importância para a formação do profissional da Engenharia Civil, pois é comum surgirem questionamentos em relação às patologias em construções, uma vez que tal disciplina, em alguns casos, não é de caráter obrigatório nos cursos de engenharia. Nesse cenário, o profissional recém-formado pode

não conseguir realizar a avaliação da integridade das estruturas de concreto armado afetadas por anomalias, as quais são comuns na prática da construção civil.

Assim, surgiu a motivação deste trabalho através da curiosidade e intenção em aprofundar um pouco mais nas patologias das estruturas de concreto e seus ensaios.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Patologias em estruturas de concreto

Com o surgimento do concreto armado e as vantagens que trazia em relação às demais técnicas e materiais utilizados, o mesmo foi amplamente utilizado principalmente na construção civil no Brasil. Devido à maior utilização do concreto armado, ficaram mais evidentes algumas manifestações patológicas que podem surgir devido ao desleixo, má utilização, mão de obra desqualificada ou até mesmo falta de conhecimento de como empregá-lo corretamente.

Tal conjectura na construção civil gerou no Brasil uma alta demanda de funcionários da área, levando a muitas contratações de mão de obra desqualificada devido à necessidade e falta em determinado setor. Isso pode trazer um grande prejuízo quando se trata da questão de qualidade em uma obra, podendo ser o fator que leve ao surgimento de manifestações patológicas (THOMAZ, 1989).

Entende-se por patologia do concreto armado a ciência que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos problemas patológicos encontrados nas estruturas de concreto armado. Lembra-se que para um dano qualquer, existe a possibilidade de vários fatores serem responsáveis. Estes danos podem vir apenas a causar incômodos para aqueles que irão utilizar a obra segundo o fim para que foi feita, tais como pequenas infiltrações até grandes problemas que podem levar a estrutura ao colapso (HELENE, 1988).

Segundo Trindade (2015), as manifestações patológicas que tenham sua causa na concepção do projeto são aquelas oriundas de um mau planejamento ou falhas técnicas, sejam por desconhecimento ou negligência. Podem se originar de uma incorreta concepção estrutural, erro em execução de anteprojeto ou até mesmo na elaboração do projeto de execução.

Quando é iniciada uma construção, esta já está suscetível à ocorrência de falhas das mais diversas naturezas, associadas a causas variadas. As causas de ocorrência dos fenômenos patológicos podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento natural, acidentes, irresponsabilidade de profissionais e usuários que optam pela utilização de materiais fora das especificações ou não realizam a manutenção correta da estrutura, muitas vezes por razões econômicas, dentre outras (SOUZA; RIPPER, 1998).

Pode-se citar como exemplos de patologias geradas por erros na execução de estruturas de concreto armado: trincas em vigas devido à falta de barras de aço, trincas de elementos estruturais relacionadas ao escoramento inadequado das formas, falhas no concreto provenientes da precária vibração do concreto (TAKATA, 2009).

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), que traz informações sobre o desempenho estrutural das edificações habitacionais, essas edificações precisam ter uma vida útil de no mínimo 50 anos, entretanto, é comum a constatação de problemas nas estruturas muito antes deste prazo. Isso provavelmente surge, na maioria dos casos, em decorrência do atraso ou da não realização da manutenção preventiva indicada após a entrega da obra.

O estudo das patologias nas construções é de grande importância na busca de qualidade dos processos construtivos e na melhoria da habitabilidade e durabilidade das edificações. Para se evitar o surgimento de manifestações patológicas, é necessário fazer um estudo detalhado das origens para melhor entendimento do fenômeno e auxiliar nas decisões de definição de conduta e planos de ação contra os problemas (NAZARIO; ZANCAN, 2011).

As edificações estão sujeitas a perda de desempenho durante sua vida útil de projeto, tal processo pode avançar de forma natural ou ser acelerado por diversas razões externas de origem em qualquer uma das etapas do processo construtivo, dentre as mais variadas formas de manifestações patológicas (CREMONINI, 1988).

2.2 Identificação das patologias na estrutura

Para entender os fenômenos patológicos que ocorrem em uma edificação, normalmente busca-se a origem do problema exposto (uma relação de causa e efeito que possa ter gerado tal manifestação). Os problemas patológicos normalmente têm origem em algum erro ou falha cometida em ao menos uma das fases do projeto. As fases onde podem acontecer as causas que têm como efeito possíveis defeitos futuros, são: planejamento, projeto, fabricação das matérias primas, execução e uso, porém, das etapas previamente listadas, algumas são mais contundentes quando se aborda o surgimento de patologias, podendo ressaltar as fases de execução, controle de materiais e uso (HELENE, 2003).

Helene (2003) relata que o concreto armado foi considerado durante muitos anos um material perene, que não necessitava de cuidados ao longo de sua vida, dispensando a manutenção. Recentemente este conceito passou a ser revisto, levando em consideração a grande quantidade de edificações com problemas de degradação em componentes estruturais.

Segundo Cremonini (1988) “Os defeitos podem ter origem em qualquer etapa do processo construtivo e sua incidência está relacionada com o nível de controle de qualidade executado nas diversas etapas”.

As causas das patologias da construção civil podem ser externas, quando os agentes

causadores não são gerados por erros humanos, decorrência de agentes nocivos do meio ambiente, ou internas, que são as que têm origem durante o processo construtivo (CREMONINI, 1988) e podem ser subdivididas em:

- Congênitas: originárias na fase de planejamento e projeto;
- Construtivas: originárias na etapa de construção, por falta de qualidade de materiais ou mão de obra qualificada;
- Uso: decorrentes do uso inadequado da estrutura projetada e da falta de realização de manutenção.

O diagnóstico das patologias pode ser definido como a identificação da natureza e origem dos defeitos, este processo caracteriza-se por não ser de fácil concepção. Descobrir as principais causas dos problemas não é tarefa fácil tendo em vista o número de processos apresentados pelas diversas etapas construtivas (CREMONINI, 1988).

O diagnóstico é o entendimento dos fenômenos. Trata-se das múltiplas relações de causa e efeito e entendimento dos principais motivos de ocorrência a partir de dados conhecidos, tentando-se determinar a possível origem do problema através do seu efeito (DO CARMO, 2003).

Após a formulação do diagnóstico e das hipóteses causadoras dos problemas deve estar explícito nas conclusões e recomendações, a necessidade do projeto de recuperação dos elementos que tiveram seu desempenho comprometido. Deve-se especificar os processos e materiais utilizados para realização dos reparos, muitas vezes este projeto requer a formatação de plantas e memoriais descritivos, fato este, que dependerá diretamente do nível e complexidade dos problemas patológicos apresentados (HELENE, 2003).

O diagnóstico da manifestação patológica permite estabelecer parâmetros quanto ao estado de conservação do edifício, auxiliando na tomada de decisão quanto ao tipo de intervenção adequada a cada situação (HELENE, 2003).

2.2.1 Patologias devido a infiltrações ou contato com água

2.2.1.1 Corrosão das armaduras

Uma das patologias que pode ser observada em estruturas de concreto armado é a corrosão das armaduras. A corrosão é a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica, que ocorre em meio aquoso. A corrosão de armadura no concreto armado é um fenômeno que só acontece quando as condições de proteção

proporcionadas pelo cobrimento desse concreto são insuficientes. O fenômeno da corrosão das armaduras é um dos mais frequentes de deterioração das estruturas de concreto armado, comprometendo-as tanto do ponto de vista estético quanto do ponto de vista da segurança.

No interior do concreto, o aço está protegido por uma camada passivadora que envolve o metal. Esta camada é formada e mantida devido ao elevado pH na solução dos poros do concreto. Dessa forma, para que haja corrosão é necessário que a camada passivadora seja destruída (despassivação) (Figura 1). Agentes agressivos como os íons cloretos e a carbonatação podem promover a despassivação, deixando o aço suscetível ao processo corrosivo (HELENE, 1997).

Figura 1 - Processo de corrosão da armadura em um pilar



Fonte: Tecnosil (2022)

Helene (1997) relata que no concreto armado a corrosão é considerada eletroquímica, ocorrendo em meio aquoso, necessitando de um eletrólito, uma diferença de potencial, oxigênio e agentes agressivos. A corrosão afeta diretamente a durabilidade, pois diminui a seção do aço, reduzindo a vida útil da estrutura. A deterioração de inúmeras obras devido à corrosão da armadura é um dos principais problemas associados à durabilidade do concreto.

2.2.1.2 Carbonatação

A carbonatação do concreto é uma patologia desencadeada a partir de um composto químico comum nas grandes cidades. O processo costuma ocorrer em túneis e viadutos, por exemplo, e decorre de fissuras que permitem a entrada de água no interior do concreto armado. Mais especificamente, a carbonatação do concreto pode ser definida como um processo físico-químico entre o gás carbônico CO_2 presente na atmosfera e os compostos da pasta de cimento. A partir daí, tem-se como resultado principal a precipitação do carbonato de cálcio CaCO_3 em uma região do cobrimento, com a constituição de uma camada que passa a ter uma alcalinidade

significativamente menor do que aquela não afetada por esse fenômeno (FIGURA 2).

Figura 2 - Processo de carbonatação



Fonte: Orguel (2018)

Helene (1997) pontua que a carbonatação avança de fora para dentro no concreto, por meio de uma frente carbonatada. Se caracteriza pela formação de uma frente homogênea de avanço, que promove a formação de zonas de pH distintas. Desse modo, quando a frente de pH mais baixa atinge a região da superfície do aço, ocorre um ataque à película passivadora da armadura, deixando esse material suscetível à corrosão. O principal ponto da carbonatação é a despassivação do aço, o que acarreta na corrosão da armadura. O concreto armado (concreto + aço) são muito bons quando combinados, o concreto com o pH elevado protege o aço, ou seja, quando ocorre a carbonatação, o pH do concreto diminui, isso possibilita a corrosão do aço.

2.2.1.3 Lixiviação

A lixiviação do concreto é uma das manifestações patológicas mais comuns. É causada basicamente pelo contato da estrutura com a água. Durante o processo de hidratação do cimento é formado um composto chamado hidróxido de cálcio — Ca(OH)_2 . Essa substância, quando em contato com a água, pode ser dissolvida e carregada para fora da superfície de concreto e essa remoção do hidróxido de cálcio recebe o nome de lixiviação.

A lixiviação do concreto pode ocorrer em qualquer tipo de peça de concreto, seja nas recém-executadas ou naquelas com vida útil avançada. A principal causa do surgimento do problema é a utilização de cimentos mais puros (sem nenhum tipo de adição). A presença de adições, como escórias e pozolanas na mistura, faz com que o hidróxido de cálcio seja consumido e transformado em outros compostos que não sofrem lixiviação.

Essa manifestação patológica sozinha não causa maiores problemas para a peça de

concreto, sendo que a maior preocupação é com a estética da estrutura. Quando a infiltração da água dissolve e transporta os cristais de hidróxidos de cálcio, são formados depósitos de sais que surgem como manchas brancas na superfície de concreto (FIGURA 3). O material branco é o carbonato de cálcio resultante da reação entre o hidróxido de cálcio lixiviado e o CO_2 da atmosfera.

Figura 3 - Processo de lixiviação



Fonte: Orguel (2018)

Apesar de parecer que o concreto está se desfazendo, geralmente, a resistência da estrutura não é alterada pela lixiviação. Porém, quando o fenômeno atinge estágios avançados, acaba criando problemas mais sérios para a peça. A remoção de elevadas quantidades de sólidos da estrutura abre caminhos para a entrada de substâncias nocivas às armaduras e ao próprio concreto. A penetração de CO_2 , por exemplo, tem o potencial de causar a corrosão das armaduras de concreto armado. Se elementos como cloretos ou sulfatos atacarem a peça, podem criar situações bem mais graves do que a lixiviação. (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

2.2.2 Patologias devido a umidade

Conforme Perez (1985), a umidade nas construções representa um dos problemas mais difíceis de serem corrigidos dentro da construção civil. Essa dificuldade está relacionada à complexidade dos fenômenos envolvidos e à falta de estudos e pesquisas. Essa carência ainda é percebida hoje, mais de 37 anos após a elaboração do trabalho do autor citado.

Com a utilização do concreto armado, as paredes passaram a ter como função principal a de vedação, deixaram de serem estruturais, resultando assim em paredes mais esbeltas. Há também a utilização de pré-fabricados e de novos materiais que trouxeram consigo as juntas. Esse conjunto de materiais de diferentes tipos nas fachadas e coberturas apresenta o problema de desgaste diferencial, pois cada um tem uma durabilidade específica (PEREZ, 1985).

As técnicas de realizar projetos e trabalhos de manutenção continuaram as mesmas, é dada uma importância maior por parte dos interessados na construção civil, apenas ao projeto estrutural e o das instalações elétricas e hidráulico-sanitárias, no caso de edificações, por exemplo. Essa postura já está sendo modificada atualmente, surgindo a cultura de realizar manutenções e investir em novas técnicas para as outras áreas.

Os problemas mais comuns decorrentes da umidade na construção civil são decorrentes da penetração de água ou devido à formação de manchas de umidade. Esses defeitos geram problemas bastante graves e de difíceis soluções, tais como:

- Prejuízos de caráter funcional da edificação;
- Desconforto dos usuários e prejuízos a saúde dos moradores devido a proliferação de mofo;
- Danos em equipamentos e bens presentes nos interiores das edificações;
- E diversos prejuízos financeiros.

Os problemas de umidade podem se manifestar em diversos elementos das edificações – paredes, pisos, fachadas, elementos de concreto armado, etc. Podem ser gerados por mais de uma causa.

Segundo Verçozza (1991) a umidade não é apenas uma causa de patologias, ela age também como um meio necessário para que grande parte das patologias em construções ocorra. Ela é fator essencial para o aparecimento de eflorescências, ferrugens, mofo, bolores, perda de pinturas, de rebocos e até a causa de acidentes estruturais (FIGURA 4).

Figura 4 - Patologias causadas por umidade



Fonte: Ibda (2022)

Têm-se as seguintes origens as umidades nas construções(VERÇOZA, 1991):

- Trazidas durante a construção;

- Trazidas por capilaridade;
- Trazidas por chuva;
- Resultantes de vazamentos em redes hidráulicas;
- Condensação.

Verçoza (1991) e Klein (1999) afirmaram que a umidade oriunda pela execução da construção é aquela necessária para a obra, mas que desaparece com o tempo (cerca de seis meses). Elas se encontram dentro dos poros dos materiais, como as águas utilizadas para concretos e argamassas, pinturas, etc.

No caso da umidade por capilaridade, os autores supracitados, expuseram que se trata da umidade que sobe do solo úmido (umidade ascensional). Ela ocorre nos baldrame das edificações, devido às próprias condições do solo úmido, assim como a falta de obstáculos que impeçam a sua progressão. Também ocorre devido aos materiais que apresentam canais capilares, por onde a água passará para atingir o interior das edificações. Têm-se como exemplos destes materiais os blocos cerâmicos, concreto, argamassas, madeiras, etc.

A chuva é o agente mais comum para gerar umidade, tendo como fatores importantes a direção e a velocidade do vento, a intensidade da precipitação, a umidade do ar e fatores da própria construção (impermeabilização, porosidade de elementos de revestimentos, sistemas precários de escoamento de água, dentre outros). Este tipo de umidade pode ocorrer ou não com as chuvas. O simples fato de ocorrer precipitação, não implica em patologias de umidade com esta causa.

Sobre a origem devido aos vazamentos de redes de água e esgoto, Verçoza (1991) comentou que é difícil a identificação do local e de sua correção. Isso se deve ao fato destes vazamentos estarem na maioria das vezes encobertos pela construção, sendo bastante danosos para o bom desempenho esperado da edificação.

Já a umidade de condensação possui uma forma bastante diferente das outras já mencionadas, pois a água fica depositada na superfície da edificação e não infiltrada.

2.2.3 Fissuras e trincas

Trincas e fissuras em construções estão entre as mais perceptíveis patologias e indicam que problemas mais sérios podem estar ocorrendo com a estrutura. Thomaz (1992) afirma que o problema das trincas e fissuras é importante por três fatores:

“[...] o aviso de um eventual estado perigoso

para a estrutura, o comprometimento do desempenho da obra em serviço (estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústica, etc.), e o constrangimento psicológico que a fissuração do edifício exerce sobre seus usuários” (THOMAZ, 1992, p.15).

Ainda segundo o mesmo autor, as trincas e fissuras mais comuns nas construções são as causadas pelos seguintes fatores:

- Movimentações devidas a variações de temperatura ou umidade;
- Atuação de sobrecargas ou concentração de tensões;
- Deformação excessiva das estruturas;
- Recalques diferenciais das fundações;
- Retração de produtos à base de ligantes hidráulicos;
- Alterações químicas de materiais de construção.

De acordo com Thomaz (1992), as fissuras e trincas podem ser classificadas como:

- Trincas e fissuras provocadas por deformabilidade excessiva;
- Trincas e fissuras por recalques diferenciais;
- Trincas e fissuras provocadas por erros de projeto ou de execução;
- Trincas e fissuras horizontais representadas na Figura 5.

Figura 5 - Fissuras Horizontais



Fonte: Orguel (2018)

2.2.4 Patologias durante a concepção de projeto e construção

A etapa de idealização do edifício engloba dois sub processos, o planejamento e o projeto. Na etapa de planejamento é definida a função da edificação a partir das necessidades determinadas pelo usuário. Já na etapa de projeto, a função e o desempenho da edificação relacionam-se com o âmbito técnico, sendo esta uma etapa muito importante, pois é nesta que serão escolhidos os métodos e materiais a serem utilizados, bem como o projeto da estrutura como um todo e gerenciamento do processo construtivo (HELENE, 2003).

Durante a fase de concepção, pode-se dizer que a edificação é gerada, sendo base para todo o restante do processo construtivo. Assim, esta é uma das etapas mais importantes à contribuição do não surgimento de problemas patológicos. Na fase de concepção serão definidas as características esperadas dos produtos empregados na construção, as condições de exposição previstas para o ambiente exterior, o comportamento em uso projetado do edifício construído, e principalmente a viabilidade da construção (PINA, 2013).

Estudos mostram que um elevado percentual das manifestações patológicas nas edificações é originado nas fases de planejamento e projeto. Essas falhas são geralmente mais graves que as relacionadas à qualidade dos materiais e aos métodos construtivos (HELENE, 2003). Podemos perceber na Figura 6, a segregação do concreto durante a etapa de concretagem.

Figura 6 - Falha durante a etapa de construção



Fonte: Engenheiro de estruturas (2022)

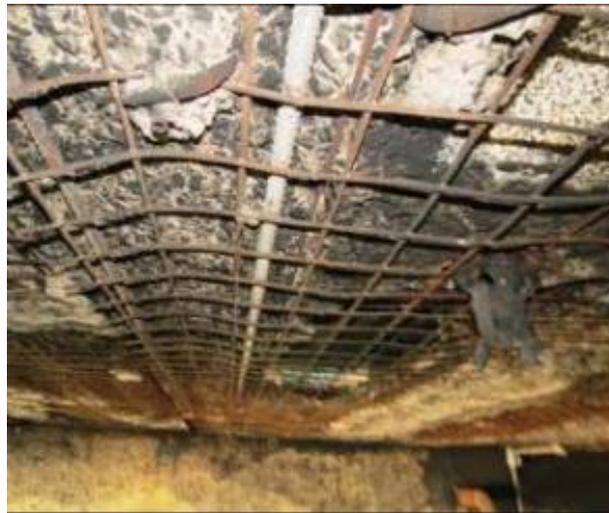
Nesta etapa, é incisiva a necessidade do controle de qualidade e dos processos construtivos para haver a não prorrogação dos problemas patológicos no futuro, pois cabe aos profissionais fazer o controle dos materiais utilizados durante a execução, bem como fiscalizar

se eles estão de acordo com o especificado no projeto e se sua utilização está sendo feita de forma correta e gerando o mínimo de perdas e insumos (CREMONINI, 1988).

2.2.5 Patologias devido a incêndio

O aumento da temperatura em um elemento estrutural provoca o surgimento de esforços que não foram previamente calculados no projeto. Estes esforços surgem devido às deformações térmicas da estrutura e reduzem a resistência dos elementos construtivos como pode ser visto nas Figuras 7 e 8 (DIAS, 2009).

Figura 7 - Patologia em laje causada por incêndio



Fonte: Vespasiano (2016)

Figura 8 - Patologia em pilar causada por incêndio



Fonte: Vespasiano (2016)

Quando expostas ao fogo, as estruturas de concreto armado são submetidas a diferentes fenômenos prejudiciais ao material. Um desses fenômenos é denominado *spalling*, representado na Figura 9 e consiste no processo de fissuração e lascamento do concreto, devido à poropressão gerada pelo vapor d'água em seu interior, o que reduz a área da seção transversal e expõe as armaduras de aço ao calor.

Figura 9 - Exemplo de spalling no concreto



Fonte: Hager e Tracz (2015)

Diferentes mecanismos podem causar esse efeito, como: pressão nos poros devido à umidade, gradiente térmico, fissuração térmica interna, fissuração em torno das barras de aço e diminuição da resistência do concreto devido à fissuração e reações químicas (CALDAS, 2008).

Caldas (2008) comenta que as fibras de polipropileno aliviam a pressão devido ao vapor de água e os materiais de proteção térmica reduzem os gradientes térmicos, o que pode retardar a elevação da temperatura. O autor destaca ainda que uma combinação entre fibras de polipropileno e materiais de proteção térmica podem evitar o *spalling*, porém, seria uma solução antieconômica.

Segundo Breunese e Fellingner (2004), três tipos de *spalling* podem ser definidos: *violent spalling*, *progressive gradual spalling (falling off)* e *explosive spalling*.

Violent spalling é o fenômeno onde pequenas partes ou faixas do concreto são separadas da seção com certa velocidade e ruído, liberando energia. É causado por gradientes térmicos e a poropressão devido à umidade, com a fissuração também influenciando o processo. Essa pressão nos poros depende da taxa de aquecimento, taxa de umidade, permeabilidade e porosidade.

O *progressive gradual spalling* é caracterizado pela perda de resistência devido à fissuração interna e deterioração química do concreto. Está associado às altas temperaturas que o concreto atinge e não à taxa de aquecimento. Esse tipo de *spalling* é mais propício de ocorrer em lajes, em sua face inferior.

Por fim, o *explosive spalling* ocorre devido à combinação de poropressão e gradientes térmicos na seção. Esse fenômeno apresenta uma região com alta pressão nos poros devido à umidade que migra para o interior da seção, sendo esse o motivo que o difere do *violent spalling* e é mais provável de ocorrer em seções com aquecimento a partir de mais de um lado, como em vigas e pilares.

A norma europeia EN, 1992 apresenta prescrições relativas ao *spalling*, o qual é dividido em *explosive spalling* e *falling off* do concreto. O primeiro engloba tanto o próprio *explosive spalling* quanto o *violent spalling* descritos acima. Essas prescrições normativas estão relacionadas a medidas de segurança, a fim de evitar tais fenômenos, durante a fase de execução das estruturas de concreto. Maiores detalhes podem ser vistos na própria norma citada e em Caldas (2008).

Para a consideração do *spalling* na análise de estruturas de concreto em situação de incêndio é necessário determinar a pressão que ocorre nos poros do material devido ao vapor de água, após atingir a temperatura de 100 °C. Assim, para estruturas expostas à elevadas temperaturas, uma análise termo-hidro-mecânica deve ser realizada para levar em conta esse fenômeno.

O concreto armado quando exposto a um incêndio está submetido a elevadas temperaturas e a um calor considerável. Ao combater o incêndio com água ocorre um choque térmico que acarreta o surgimento de fissuras (BAUER, 2008).

Uma das principais características do concreto é sua grande resistência quando exposto ao fogo. Esta é maior até do que a de elementos de aço, fazendo com que o concreto muitas vezes seja utilizado para proteção de estruturas de aço (LIMA *et al.*, 2004).

3 METODOLOGIA

Para realização do trabalho foram feitas pesquisas bibliográficas referentes ao tema, patologias na construção civil e ensaios utilizados para aferição da resistência do concreto em estruturas já executadas. Utilizou-se normas, livros, teses, dissertações e artigos acerca dos vários tipos de manifestações patológicas, buscando entender as suas origens e mecanismos.

Foram enviados emails para empresas e professores da área de patologias em estruturas de concreto e realização de ensaios. Foi realizada uma vídeo conferência com o professor José Eduardo Aguiar, professor da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde este pôde repassar parte de seu conhecimento acerca de patologias e quais ensaios são mais utilizados nos dias atuais e quais não são tão precisos em alguns casos. Também foi realizada uma conversa com o Engenheiro Civil Ricardo Boni, indicado pelo professor Paulo Helene da Universidade de São Paulo (USP), onde foram repassadas informações acerca de seu conhecimento na área de patologias na construção civil e indicados artigos e livros importantes relacionados ao tema.

Em conversa com o professor José Eduardo Aguiar foi dito que um dos ensaios mais utilizados nos dias atuais é o ensaio não destrutivo de esclerometria, possui baixo custo para realização e rapidez para geração dos resultados.

4 APRESENTAÇÃO DOS ENSAIOS

4.1 Considerações iniciais

Toda patologia deve ser avaliada por um especialista, existem diferentes tipos de ensaios para estimar a resistência da estrutura, de acordo com a avaliação do especialista será utilizado o ensaio que melhor se adequar ao caso. Esse capítulo tem como objetivo a realização de uma revisão bibliográfica dos ensaios não destrutivos e destrutivos, que são mais utilizados quando se encontram patologias em estruturas novas ou com mais idade.

4.2 Ensaio não destrutivos

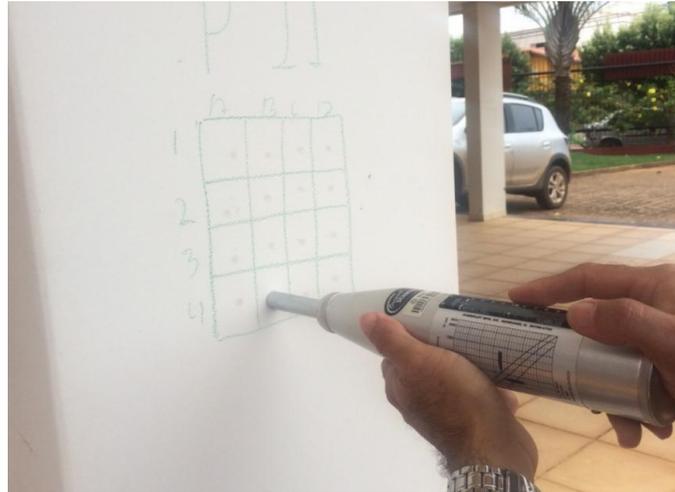
Ensaio não destrutivos (ENDs) surgiram para estimar a resistência do concreto e verificar a necessidade de reparos ou reforços na estrutura. Esses métodos foram desenvolvidos para avaliar a qualidade do concreto na estrutura e são “aqueles que não causam nenhum dano no elemento ensaiado, ou deixam pequenos danos para serem reparados após o ensaio. Eles não provocam perda na capacidade resistente do elemento” (EVANGELISTA, 2002), se apresentam como uma alternativa eficaz e de baixo custo.

Os ensaios não destrutivos são utilizados com maior recorrência nos dias atuais para poder se avaliar uma estrutura de concreto, com a intenção de não causar danos e problemas nas estruturas. Cada vez mais as estruturas vêm passando por avaliações e inspeções prediais. A seguir, alguns ENDs são descritos de forma detalhada.

4.2.1 Esclerometria

O Ensaio de Esclerometria é um END (FIGURA 10), definido pela NBR 7584 (ABNT, 2012) como o “método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido”. O ensaio necessita de mão de obra especializada para sua realização, pois durante a execução pode-se ocasionar erros assim como na análise de resultados, a falta de conhecimento do profissional que executa o ensaio pode apresentar uma falsa resistência do concreto e atrapalhar a avaliação.

Figura 10 – Realização de ensaio de esclerometria



Fonte: Concreto engenharia (2015)

De acordo com Evangelista (2002) esse método pode ser utilizado em estruturas recentes, em execução ou já finalizadas, pois a peça estrutural avaliada não sofre danos e é possível realizar maior quantidade de ensaios. Em estruturas novas, eles podem ser aplicados para monitoramento da evolução da resistência ao longo do tempo ou para aferir a qualidade do concreto. O surgimento de patologias em elementos de concreto não está vinculado somente com a idade da obra, mas também com a mão de obra e materiais utilizados, já os ensaios em estruturas existentes têm por finalidade avaliar a integridade estrutural e a capacidade de resistir às solicitações (ESCOBAR, 2011).

Há diversas normas técnicas que orientam a realização do ensaio esclerométrico, sendo que grande parte delas é internacional e, de uma forma geral, descrevem métodos bem similares, com algumas distinções. No Brasil, a norma que define e direciona o ensaio esclerométrico é a NBR 7584 (ABNT,2012). Entre as modificações realizadas entre a versão anterior (1995) e a atual, destacam-se a determinação de 16 pontos de impacto que antes era de no mínimo 9 e máximo 16 pontos, e a inclusão dos anexos: A - campo de aplicação, B - aplicação do esclerômetro e C - fatores que influenciam os resultados do ensaio. Neste último anexo, alguns dos fatores listados são os tipos de cimento, tipos de agregados e tipos de superfície, além da carbonatação, operação do esclerômetro, entre outros.

Existe também a Norma Mercosul NM 78 (1996), elaborada pelo CSM 05 - Comitê Setorial de Cimento e Concreto, que é bem similar à norma brasileira. A principal diferença é a orientação para obtenção de curvas de correlação entre o ensaio de esclerometria e a resistência à compressão do concreto, apresentada no anexo C da norma. Como ressalta

Evangelista (2002), as normas Mercosul além da metodologia de ensaio, também apresentam o procedimento para realizar curvas de correlação, enquanto que as normas brasileiras para esclerometria apresentam apenas a metodologia de execução dos ensaios.

Diversos motivos podem causar interferência no ensaio de esclerometria, entretanto os erros humanos são os mais relevantes, pois são possíveis de serem evitados. Outros fatores se devem ao meio e às condições às quais a estrutura está submetida, sejam quais forem as causas, as manifestações patológicas existentes devem ser cuidadosamente inspecionadas e levadas em conta no ensaio pois podem interferir nos resultados. A NBR 7584 (ABNT, 2012) orienta que para a realização de um ensaio esclerométrico, devem ser evitadas superfícies irregulares, ásperas, curvas ou talhadas, pois podem não fornecer valores homogêneos, superfícies úmidas ou carbonatadas também devem ser evitadas.

O ensaio de esclerometria precisa de um profissional qualificado para sua execução, além de medir somente a resistência superficial do concreto. Por este motivo, em estruturas de concreto já construídas a mais tempo esse ensaio não funciona bem, pois a resistência no interior da peça pode ser diferente dos resultados da resistência superficial.

4.2.2 Medição de maturidade

O método de maturidade fornece um meio simples e útil para estimar o ganho de resistência do concreto nas primeiras idades (geralmente inferiores a 14 dias). É necessário ter a curva de maturidade da dosagem a ser utilizada, porque a curva é própria do conjunto dos materiais utilizados.

O norma ASTM C 1074 (1998) sugere que testes complementares devem ser realizados antes das operações críticas, como a remoção da fôrma ou o pós-tensionamento. Embora estes testes adicionais não são sempre necessários, é uma boa ideia verificar periodicamente se a relação resistência-maturidade estabelecida para a mistura de concreto específica ainda é válida.

Algumas das limitações do método de maturidade que pode levar a uma estimativa errada da resistência no local são:

- O tipo de concreto - devido a mudanças em materiais, precisão da dosagem, etc.;
- Altas temperaturas iniciais, irão resultar em previsão incorreta da resistência a longo prazo.

Este método reconhece o efeito combinado do tempo e da temperatura, fornecendo uma base para estimar o desenvolvimento de resistência do concreto "*in loco*" através do controle da temperatura e do tempo (TAYLOR, *et al.*, 2007).

A função de Nurse-Saul, desenvolvida na década de 50 e a mais amplamente aceita para medir a maturidade, é o produto acumulado do tempo e temperatura.

$$M(t) = \sum (T_a - T_0) \Delta t \quad (1)$$

onde:

$M(t)$ = maturidade (fator temperatura-tempo) na idade t , em °C.dias ou °C.horas;

Δt = intervalo de tempo, em dias ou horas;

T_a = temperatura média do concreto durante o intervalo Δt , em °C;

T_0 = temperatura de referência, em °C.

A temperatura de referência é a temperatura em que cessa o ganho de resistência do concreto; portanto, os períodos em que as temperaturas estão dentro ou abaixo desta temperatura de referência, não contribuem para o aumento da resistência. Geralmente, se utiliza um valor de -10°C (14°F) para a temperatura de referência na equação Nurse-Saul (ACI 325.11R-01, 2001).

A maturidade também pode ser determinada utilizando o método de Arrhenius, que considera a não linearidade da taxa de hidratação do cimento. O método de Arrhenius produz um índice de maturidade em termos de uma "idade equivalente", que representa o tempo de cura equivalente a uma temperatura de referência, geralmente 20°C. A temperatura de referência é necessária para produzir uma maturidade igual à alcançada durante um período de cura a temperaturas diferentes da temperatura de referência.

$$te = \sum e^{-Q(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s})} \Delta t \quad (2)$$

onde:

te = idade equivalente a uma temperatura de referência T_s , em dias ou horas;

Q = energia de ativação dividida pela constante geral dos gases, em K;

T_a = temperatura média do concreto durante o intervalo Δt , em K;

T_s = temperatura de referência, em K e

Δt = intervalo de tempo, em dias ou horas.

Segundo Barreda, *et al* (2003) a equação de Arrhenius é uma melhor representação da função temperatura-tempo que a função Nurse-Saul, quando se espera uma grande variação na

temperatura do concreto. Além disso, o foco de Nurse-Saul está limitado em função de assumir que a taxa de ganho de resistência é uma função linear. No entanto, a fórmula Nurse-Saul é mais amplamente utilizada, principalmente devido a sua simplicidade. Ambas as funções de maturidade são consideradas na norma técnica ASTM C 1074 (1998).

Devido a maturidade ser dependente apenas do desenvolvimento do tempo e da temperatura do concreto, os requisitos mais básicos de equipamentos para determinar a maturidade são um termômetro e um relógio (FIGURA 11). No entanto, ao longo dos anos, têm sido desenvolvidos vários dispositivos de maturidade que monitoram e registram automaticamente as temperaturas do concreto em função do tempo (FIGURA 12). Estes dispositivos se conectam a termopares embutidos no concreto e podem calcular a maturidade pela equação Nurse-Saul e a equação de Arrhenius, em intervalos definidos (ASTM C 1074, 1998).

Figura 11 – Utilização de termômetro digital na superfície para leituras



Fonte: Sota *et al* (2016)

Figura 12 – Sensores que ficam ligados ao termômetro



Fonte: Sota *et al* (2016)

O método da maturidade utiliza o conceito fundamental de que as propriedades do concreto são desenvolvidas a partir do tempo de hidratação do cimento e consequente liberação de calor. A taxa de desenvolvimento da resistência em idades precoces está relacionada com a taxa de hidratação do cimento. O calor gerado a partir da reação de hidratação será registrado como um aumento de temperatura no concreto.

A principal vantagem do método da maturidade é que este utiliza a temperatura real do concreto na estrutura para estimar a sua resistência no local, sendo um método não destrutivo e com a possibilidade de fornecer várias medições por dia. Além disso, extingue-se a necessidade de gerar corpos de prova no canteiro a cada concretagem para serem curados e rompidos à compressão nos tempos determinados, contribuindo para a redução do desperdício de concreto, evitando que corpos de prova sejam descartados como resíduos. Reduz também custos, pois não há a necessidade de gastos com ensaios laboratoriais pós concretagem.

O ensaio de termografia infravermelha vem sendo muito utilizado em fachadas, principalmente em casos com descolamento de pastilhas, devido à diferença de temperatura entre as áreas em que as pastilhas estão coladas e as áreas que as pastilhas estão descoladas. No caso de uso nas estruturas de concreto é um ensaio pouco utilizado, devido a ter baixa precisão.

4.2.3 Pacometria

Segundo Andrade (2017) os ensaios de pacometria são utilizados para medir o cobrimento das barras de aço, pois os cobrimentos são as principais fontes de proteção alcalinas das mesmas, podendo evitar a corrosão das armaduras. Também é uma ferramenta que pode determinar as bitolas do aço, em função disso, é um ensaio que é largamente utilizado por profissionais da área de patologias com a intenção de elaborar laudos técnicos presenciais para dar um diagnóstico de como está a estrutura de concreto armado. E é possível determinar também a posição das armaduras e o espaçamento que existe entre elas.

Tais resultados, além de mostrarem a situação em que o concreto armado se encontra, auxiliam no ensaio de Esclerometria, já que este deve ser executado em locais com baixa armação. Porém, o ensaio possui uma relevante desvantagem, a qual pode não apresentar valores tão precisos, devendo o responsável pela realização do ensaio, estar atento a valores

possivelmente incorretos. Estes ensaios são realizados através de um aparelho chamado pacômetro (ANDRADE, 2017).

Para utilizar o aparelho, deve-se posicioná-lo sobre a superfície da estrutura que deseja identificar a barra, (FIGURA 13), e movimentá-la no sentido perpendicular onde as barras se encontram, fazendo o caminho de ida e volta lentamente, sem remover o aparelho da superfície da estrutura até que termine o procedimento. Quando o aparelho detectar uma barra de aço, ele emitirá um alerta sonoro, e também visual, fazendo uma leitura no visor digital do aparelho, correspondente ao eixo da armadura (ANDRADE, 2017).

Figura 13 – Ensaio de pacometria



Fonte: Ultra lab engenharia (2022)

O princípio da medição do recobrimento por pacometria consiste em medir as perturbações provocadas pela presença de um objeto metálico colocado num campo eletromagnético emitido por um sistema de bobinas. O aparelho analisa os sinais induzidos por este campo e calcula o recobrimento e o diâmetro dos aços situados no aprumo do sensor. O pacômetro pode não trazer resultados satisfatórios quando a estrutura contém uma grande quantidade de armadura, o aparelho não consegue fazer a leitura corretamente por causa da interferência magnética da barra de aço próxima a outra. Além disso, o aparelho também não detecta barras sobrepostas (ANDRADE, 2017).

Segundo Santos (2008), as medidas podem ser obtidas em milímetros para o recobrimento, para distância horizontal entre armaduras e para o diâmetro da armadura para a estrutura.

Algumas características do pacômetro são:

- O aparelho é eficiente até a profundidade de 7 cm;
- É influenciado pela proximidade das barras;

- Não identifica barras sobrepostas ou feixes;
- O sensor deve operar paralelamente às barras;
- Emite sinal sonoro quando localiza as barras, sinal progressivo à medida que se aproxima e permite a gravação dos dados.

Com as informações coletadas com o pacômetro, pode-se prever se é possível construir mais um pavimento na edificação, medir o cobrimento para ver qual o grau de deterioração da barra de aço e a insuficiência do cobrimento e para utilização em *softwares*.

4.2.4 Resistência à penetração

A aplicação do método torna-se muito ágil, quando se deseja determinar a variação da qualidade do concreto por localização, por elemento estrutural, para uma série de elementos estruturais, onde uma mesma mistura tenha sido empregada. Segundo Malhotra (1991), os resultados dos ensaios de penetração de pinos são influenciados pela dureza dos agregados, na escala de Mohs de Dureza e pela potência da cápsula (espoleta).

Os métodos de penetração inicialmente não tiveram muita aceitação devido ao pequeno número de estudos aplicados. Além disso, a introdução do método de esclerometria no mercado também influenciou na baixa aceitação do ensaio de penetração. Os métodos de penetração existentes utilizados no ensaio não destrutivo do concreto, são aplicáveis ao controle de qualidade e análise da resistência do concreto (EVANGELISTA, 2002).

Segundo Evangelista (2002) o ensaio de penetração de pinos é semelhante ao ensaio de esclerometria, pois também é utilizado na avaliação da uniformidade do concreto na estrutura. Porém, quando o ensaio de penetração de pinos é utilizado na estimativa da resistência, recomenda-se construir uma curva de correlação empregando-se o tipo de concreto a ser investigado.

Um dos ensaios de penetração de pinos apresentados na literatura é proposto por Al-Manaseer e Nasser, que consiste no uso de uma pistola com sistema de molas semelhante ao esclerômetro. Todavia, o método mais conhecido é o ensaio penetração com a pistola de *Windsor*, que faz uso de cargas explosivas para projeção dos pinos no concreto. Este método envolve o uso de uma arma para a cravação do pino de aço no concreto endurecido, medindo-se, posteriormente, o comprimento exposto, como é exposto na Figura 14 (DA SILVA; PRUDENCIO; DE OLIVEIRA, 2012)

Diferentemente do ensaio de esclerometria, o ensaio de penetração de pinos não é fortemente afetado pelas condições superficiais do concreto. Todavia, assim como no ensaio de esclerometria, a dureza e dimensão do agregado graúdo pode afetar os resultados do ensaio.

Figura 14 – Ensaio de penetração de pinos



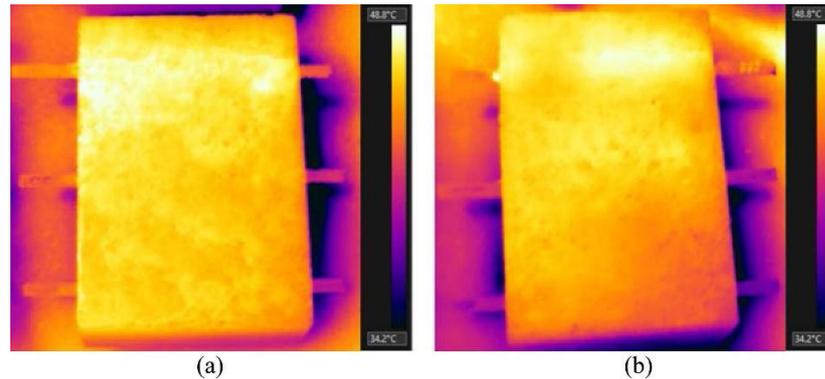
Fonte: Correia (2016)

4.2.5 Termografia infravermelha

A aplicação da termografia infravermelha pode ser dividida em duas categorias: ativa e passiva, dependendo dos recursos empregados de calor (KEE *et al.*, 2012; REHMAN *et al.*, 2016). A termografia passiva não requer fontes de estimulação externa (OH *et al.*, 2013), usa a energia solar e a temperatura ambiente como principais recursos de aquecimento. Em contraste, a termografia ativa requer fontes externas de estimulação de calor (KEE *et al.*, 2012; REHMAN *et al.*, 2016), pode até ser subdividida de acordo com a natureza da estimulação como: *Pulsed*, *Lock-in*, *Pulsed-Phase*, entre outros (MALDAGUE, 2001).

A termografia infravermelha tem dois tipos de medições e análises, a primeira é a quantitativa, a qual consiste em obter a temperatura do objeto com precisão (FIGURA 15). A segunda é a qualitativa que é a obtenção de valores relativos de pontos quentes em relação a outras partes do mesmo objeto, utilizando-as como referência. Em uma análise qualitativa, algumas aplicações não exigem a determinação da temperatura exata, apenas temperaturas relativas, recolhendo dados para serem interpretados de uma forma mais rápida; no entanto, a análise pode ter falhas de precisão. Em uma análise quantitativa, o procedimento é mais rigoroso e serve para aplicações específicas (JADIN e TAIB, 2012).

Figura 15 – Ensaio de termografia infravermelha



Fonte: Percon (2022)

A termografia infravermelha é apresentada como uma técnica: rápida, não-invasiva, sem contato, que permite o registo das variações dinâmicas em tempo real, que pode ser aplicada a grandes distâncias. Também pode analisar e inspecionar grandes áreas em pequenos intervalos de tempo, de resultados fáceis e de rápida interpretação (WATASE *et al.*, 2015). Além de ter uma instrumentação simples, na maior parte dos casos, só é necessária uma câmara termográfica, o apoio da câmara e uma saída de vídeo para observar imagens térmicas (BAGAVATHIAPPAN *et al.*, 2013).

Apesar das muitas vantagens oferecidas pelo método na inspeção, o equipamento pode ser caro, não é sensível para detectar a profundidade dos defeitos e anomalias no concreto, e o ensaio é altamente influenciado pelas condições ambientais, tais como: vento, radiação solar, umidade e emissividade da superfície (WASHER; FENWICK; BOLLENI, 2009)

A termografia infravermelha tem sido extensivamente usada em combinação com outros ensaios não destrutivos a fim de confirmar ou complementar informação, para a obtenção de uma análise mais completa da qualidade da estrutura. Aggelis, *et al.*(2010) descrevem a caracterização de fissuras subsuperficiais no concreto. Utilizou a termografia infravermelha para detectar a sua posição, subsequentemente, usou o ensaio de ultrassom para um estudo mais detalhado da profundidade.

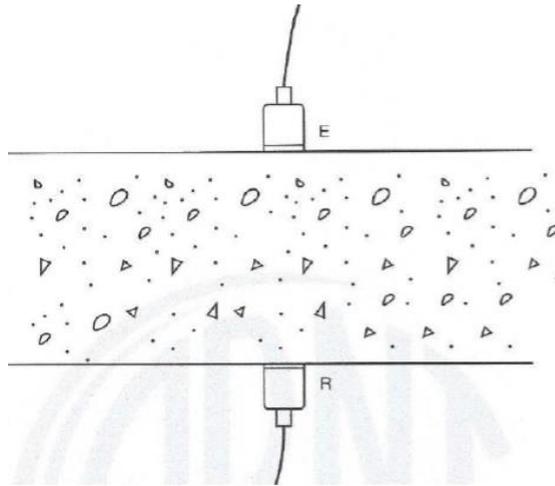
4.2.6 Ultrassom

Este ensaio é realizado de acordo com a NBR 8802 (ABNT, 2013), para determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais através do concreto, além de permitir a verificação da homogeneidade, monitorar variações e detectar possíveis falhas e imperfeições

na peça.

Para execução correta do ensaio faz-se necessário medir com auxílio de trena as distâncias entre as faces e arestas da superfície para que os transdutores sejam posicionados frente a frente, em faces opostas do material, com precisão de $\pm 1,0\%$ através de uma transmissão direta (FIGURA 16). NBR 8802 (ABNT, 2013)

Figura 16 – Transmissão direta



Fonte: NBR 8802 (ABNT, 2013)

Após determinação dos locais onde serão posicionados os transdutores, deve-se aplicar à superfície do concreto e às faces daqueles uma camada de acoplante que permite o contato contínuo entre as superfícies. Feito isso, o circuito medidor de tempo (aparelho utilizado), devidamente calibrado, após posicionamento dos transdutores, indicará o tempo em que a onda levará para percorrer a distância existente entre a emissão e a recepção da onda (FIGURA 17).

Figura 17 – Ensaio de Ultrassonografia



Fonte: Pereira (2016)

Vale ressaltar que a distância entre os transdutores, presença de armadura, densidade, idade, adensamento do concreto, características dos agregados utilizados e tipo de cimento são alguns fatores que influenciam nos resultados do ensaio NBR 8802 (ABNT 2013). Quanto maior a quantidade de poros, por exemplo, maior será o tempo que a onda levará para percorrer a distância entre os transdutores, diminuindo assim a qualidade do concreto.

O método baseia-se no fato de que a velocidade de propagação das ondas é influenciada pela qualidade do concreto. O ensaio consiste na medição, por meio eletrônico, do tempo de propagação de ondas ultra-sônicas através do concreto, entre o emissor e o receptor. O comprimento percorrido entre os transdutores dividido pelo tempo de propagação, resulta na velocidade média de propagação da onda (MALHOTRA, 1984).

O método possibilita estimar a uniformidade e a resistência à compressão (quando correlacionada previamente) do concreto. Também pode ser usado para investigar danos provocados pelo fogo, congelamento e agentes químicos (CHUNG E LAW, 1983, SELLECK ET AL, 1998).

As descontinuidades (vazios) no interior do concreto podem ser detectadas devido às diferenças da velocidade de propagação das ondas (ACI-364,1993) . As curvas de correlação entre velocidade da onda e resistência do concreto obtidas nas idades iniciais (3 dias) não se aplicam para idades mais avançadas (28 dias, 91 dias). Para uma dada composição de concreto, quando a resistência à compressão aumenta com a idade, há um pequeno aumento da velocidade, porém não na mesma proporção. Desta forma, ao atingir-se uma determinada idade, a velocidade não é mais sensível ao aumento de resistência (ACI 228,1989).

O ensaio de ultrassom mede a compacidade do concreto, através do valor gerado para a compacidade é analisada uma tabela padrão que acompanha o equipamento para que a análise seja avaliada.

4.2.7 Inspeção visual

A inspeção visual é uma inspeção preliminar feita nas edificações que pode identificar patologias como umidade, trincas e fissuras. Após a inspeção visual deve-se utilizar as normativas vigentes para identificar as causas das patologias observadas e classificá-las de acordo com seu grau de periculosidade para a estrutura (SANTOS; GUERRA; DONATO, 2021)

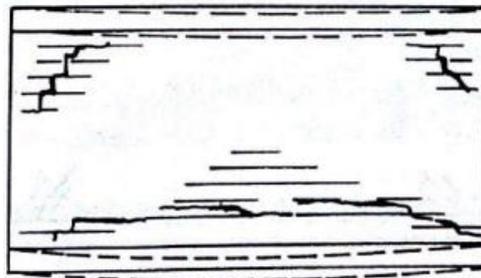
Thomaz (1992) afirmou que os componentes do edifício mais suscetíveis à flexão de

vigas e lajes são as alvenarias. Para paredes de vedação sem abertura de portas e janelas existem 3 configurações típicas de trincas a saber:

- O componente de apoio deforma-se mais que o componente superior;
- O componente de apoio deforma-se menos que o componente superior;
- O componente de apoio e componente superior apresentam deformações aproximadamente iguais.

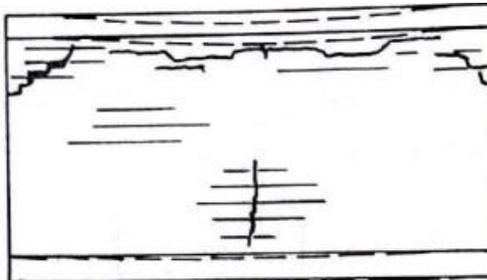
Algumas condições patológicas em alvenaria, em função da deformação do elemento estrutural de concreto armado podem ser vistas nas Figuras 18, 19 e 20.

Figura 18 - Componente de apoio deforma-se mais que o componente superior.



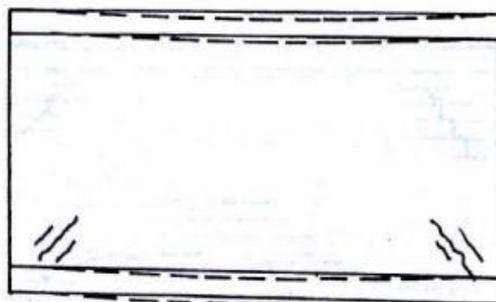
Fonte: Thomaz (1992)

Figura 19 - O componente de apoio deforma-se menos que o componente superior.



Fonte: Thomaz (1992)

Figura 20 - O componente de apoio e componente superior apresentam deformações aproximadamente iguais.



Fonte: Thomaz (1992)

4.3 Ensaios destrutivos

A extração de testemunhos de estruturas acabadas é feita quando há dúvidas quanto à resistência e o desempenho do concreto lançado, seja por resultados de ensaios laboratoriais com valores abaixo do esperado, durante o controle tecnológico, ou por sinais de deterioração do concreto, ao longo de sua vida útil. Em muitos casos a adoção deste método se dá sob disputa judicial, decorrente da não conformidade de lotes de controle ($f_{ck,est} < f_{ck}$), de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), utilizando-se do ensaio de compressão axial para averiguar qual o valor de resistência do concreto efetivo na obra (NEVILLE, 2008), a partir de um método normalizado de moldagem NBR 5738 (ABNT, 2015) e ruptura NBR 5739 (ABNT, 2007). Nesses casos, a NBR 6118 (ABNT, 2014) recomenda a verificação da resistência do concreto *in loco*, por meio de testemunhos NBR 7680-1 (ABNT, 2015), balizada pelas diretrizes da NBR 12655 (ABNT, 2015).

Como pode ser visto na NBR 7680 (ABNT, 2015), quando a resistência característica à compressão do concreto não é atingida a partir do resultado negativo dos corpos de prova moldados, é aplicável o planejamento da extração de testemunhos (ensaio destrutivo) de estruturas já executadas. A extração de testemunhos consiste em retirar amostras cilíndricas de concreto de uma estrutura que apresenta dúvidas quanto à resistência e o desempenho (CASTRO, 2009; MEDEIROS *et al.*, 2017).

Segundo Medeiros *et al.* (2017) e Vieira Filho (2007), o método de extração de testemunhos além de avaliar a resistência da peça estrutural em estudo, pode fornecer outras informações, tais como: qualidade do concreto, teor de cloretos, homogeneidade, verificação de aderência das armaduras, entre outras. Entretanto, para a realização deste método existe a desvantagem de se atentar a possíveis restrições, tais como: barras de aço próximo a superfície de extração, retiradas de peças de sustentação, geração de volume de entulho, dentre outros; acarretando em custos adicionais à obra, além de retrabalho para consertar uma peça caso a mesma seja danificada (SANTANA; MIRANDA, 2016).

4.3.1 Resistência à compressão

Dentre vários métodos utilizados para a avaliação de resistência do concreto de uma estrutura, o ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos como descrito pela norma técnica NBR 5739 (ABNT, 2007) pode ser visto na Figura 19, realizado em testemunhos

extraídos, é reconhecidamente o mais confiável e preciso entre os métodos de inspeção (ACI 214.4R-10/2010 e BS 6089/2010). No Brasil, o processo de extração é normalizado pela NBR 7680-1 (ABNT,2015), servindo para avaliar se o concreto lançado adequa-se à resistência de aceitação dos ensaios normalizados NBR 12655 (ABNT, 2015).

Figura 19 – Ensaio de Resistência à compressão



Fonte: Laudotec engenharia (2022)

De acordo com Helene (2011), para uma análise confiável dos testemunhos extraídos devem-se utilizar máquinas de extração adequadas e sem folga no eixo, adequadamente fixadas à estrutura, para que não trepidem durante a extração. Além disso, é aconselhado evitar a extração de mais de um testemunho por pilar. Caso seja necessária a extração no mesmo elemento, recomenda-se extraí-los na mesma face do testemunho anterior e em posição vertical.

A NBR 7680-1 (ABNT,2015) padroniza o procedimento de extração de testemunhos, estabelecendo limites de desempenho para o equipamento de extração e o diâmetro dos testemunhos, preferencialmente, acima de três vezes o diâmetro do agregado graúdo, buscando-se sempre não cortar armadura e sazoadando os testemunhos em laboratório ao ar por 48 h antes da ruptura, sempre que a estrutura não vá estar submersa.

4.3.2 Resistência à tração

Grande parte das peças feitas de concreto é projetada com a premissa de que o concreto resiste às tensões de compressão mas não às tensões de tração (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Em determinadas estruturas, as solicitações predominantes são de tração na flexão (pavimentos de rodovias e de aeroportos, lajes e vigas) ou tração pura (tirantes). Em geral, fissuras só podem ocorrer depois que a capacidade de tração do concreto tiver sido esgotada, o que faz desta uma

importante propriedade no que diz respeito à durabilidade de membros estruturais (OLUOKUN, 1991).

A resistência à tração de um concreto pode ser obtida através de três tipos de ensaio: tração direta, tração por compressão diametral e tração na flexão (FIGURA 20). No entanto, esses diferentes métodos de ensaios fornecem diferentes valores de resistência à tração para um mesmo material. Todavia, dos três tipos de resistência à tração existentes, Mier e Vliet (2002) citam que a tração direta é a mais adequada, principalmente no que diz respeito à análise de fissuração, pois se trata de um valor que mais se aproxima do valor real da resistência à tração do concreto. Dessa forma, essa propriedade é fundamental na aparência e na durabilidade das estruturas. Um bom conhecimento da resistência à tração certamente ajudaria a minimizar os problemas de fissuração e de falhas nas estruturas de concreto (OLUOKUN, 1991).

Figura 20 – Ensaio de resistência à tração



Fonte: Vieira (2011)

A tração do concreto é uma propriedade mecânica que não tem significado absoluto. Esse parâmetro é sempre expresso em termos do procedimento específico do ensaio. Métodos diretos e indiretos de ensaio para a determinação da tração fornecem um resultado característico (OLUOKUN, 1991). Dessa forma, é considerado que a tração direta do concreto corresponde a, aproximadamente, 10% de sua resistência à compressão. Para a tração por compressão diametral é considerada, praticamente, a mesma relação, 1% maior e, para a tração na flexão, cerca de 15% da resistência à compressão (RAPHAEL, 1984).

Além dos ensaios citados anteriormente, também podem ser utilizados os ensaios de resistência ao impacto, resistência à torção e dureza, porém nos dias atuais são ensaios pouco utilizados e não são objetos de estudos neste trabalho.

5 CONCLUSÃO

Algumas situações de patologias nas estruturas de concreto armado complementares aos conteúdos correntes da graduação podem ser vivenciadas por engenheiros recém formados ou em períodos de estágio.

Surge assim a necessidade de questionar e aprender mais sobre as patologias do concreto, suas causas, sintomas e consequências, de modo a prevenir seu aparecimento e propor soluções. Além de procurar entender mais sobre os tipos de ensaios existentes, principalmente os não destrutivos.

As patologias são problemas evolutivos e se nada for feito para recuperar, tendem a se agravar com o passar do tempo, além de poder acarretar outros problemas associados. Muitas vezes as sensações geradas nas pessoas quando observam edificações com manifestações patológicas, trazem questionamentos em relação à segurança da edificação. Essas se sentem incomodadas em entrar em quaisquer edificações com patologias, isto gera uma imagem negativa e acaba desvalorizando o imóvel.

Quando as patologias surgem é necessária a contratação de um especialista para averiguar as causas, consequências e possível solução para o problema. Através dessa análise pode-se identificar qual o melhor ensaio para ser realizado no local caso o mesmo seja necessário.

Em peças de concreto armado já executadas há mais tempo, o ensaio mais preciso para determinação da resistência é o ensaio destrutivo de resistência à compressão, onde devem ser extraídos testemunhos de concreto para realização do ensaio em laboratório.

Outro ensaio bastante utilizado o ensaio de ultrassom é um ensaio mais caro, devido ao aluguel do aparelho e a necessidade de contratação de mão de obra qualificada para sua execução.

Conclui-se a importância de um Engenheiro Civil conhecer as principais patologias que podem ocorrer nas obras, de modo a reconhecer rapidamente o problema e conseguir avaliar junto a um especialista quais soluções podem ser aplicadas. Assim o Engenheiro pode projetar e construir obras que sejam mais resistentes contra os diversos agentes causadores de anomalias nas construções, e caso estas venham a ocorrer saber como proceder.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão.** Rio de Janeiro, 1995. 9 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, 2012. 10 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR8802: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Moldagem e cura de corpo-de-prova de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2007.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680 – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953 – Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575/2013 - Edificações habitacionais - Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos.** Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI - 228 - 1R - 89. **In place methods for determination of strength of concrete.** Detroit, 26pp, 1989.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 364.1R. **Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation.** ACI Material Journal, Sep/Oct., pp.479-498, 1993.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 325.11R-01, American Concrete Institute. **Accelerated Techniques for Concrete Paving,** 2001.

AGGELIS, D. *et al.* “**Combined use of thermography and ultrasound for the characterization of subsurface cracks in concrete**”, *Constr. Build. Mater.*, V.24, No. 10, pp. 1888-1897, 2010.

AL-MANASEER, A.A.; NASSER, K.W. **Laboratory and field tests with a new non-destructive apparatus**. *Canadian Journal of Civil Engineering* 17 (6) 904-910, 1990.

ANDRADE, G. M. R. D. **Avaliação do desempenho da precisão de diferentes equipamentos para realização dos ensaios não destrutivos de pacometria**. Trabalho de conclusão de curso, curso de Engenharia Civil, centro universitário de Brasília – UniCEUB, 2017.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NM 78: **Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**. 1996. 13 p.

ASTM C 1074. **Standard practice for estimating concrete strength by the maturity method**, 1998.

BAGAVATHIAPPAN, S. *et al.* “**Infrared thermography for condition monitoring – A review**”, *Infrared Physics & Technology*, V.60, No. 1, pp. 35-55, 2013.

BARREDA, M. F. *et al.* “**Fisuras de contracción en pavimentos de hormigón y el aserrado de juntas**”, XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción. CONPAT 2013. Octubre de 2013. Cartagena de Indias, Colombia, 2013.

BAUER, F.. **Materiais de Construção**. 5 ed revisada, v.1. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BREUNESE, A.J.; FELLINGER, J.H.H. **Spalling of concrete – an overview of ongoing research in the Netherland**. Third International Workshop “Structures in Fire”, Ottawa, 2004.

CALDAS, R.B., 2008. **Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, EE/UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

CASTRO, E. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade federal de Uberlândia. Uberlândia, 2009.

CHUNG, H. W.; LAW, K.S. “**Diagnosing in situ concrete by ultrasonic pulse technique**”, *Concrete International*, October, pp.42-49, 1983.

CONCRETO ENGENHARIA. Ensaio de Esclerometria. 20 de Março de 2015. Disponível em: <<http://www.concretoengenharia.com/artigo-detallhes/ensaio-de-esclerometria>>. Acesso em: 30 de Março de 2022.

CREMONINI, R. A. **Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares da região de Porto Alegre: Recomendações para projeto, execução e manutenção**. Porto Alegre, 1988. Disponível em:<<http://www.lume.ufrgs.br/>>. Acesso em: 30 de Março de 2022.

DA SILVA, W. R. L.; PRUDENCIO JR, L. R.; DE OLIVEIRA, A. L. **Ensaio de penetração de pino aplicado na avaliação da resistência à compressão de concreto projetado.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 5, p. 362-387, 2012.

DE MEDEIROS, M. H. F. *et al.* **Resistência à compressão em testemunho de concreto: influência do fator de esbeltez, diâmetro da amostra e método de extração.** Reec-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 13, n. 1, 2017.

DIAS, L. A. de M. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem.** 7 ed. São Paulo: Zigurate, 2009.

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

DUTRA, C. B. **Ensaio de penetração de pinos em concreto: comparação entre equipamentos.** Universidade Federal Fluminense. Niterói-RJ, 2005.

ENGENHEIRO DE ESTRUTURAS. **Patologias em Pilares de Concreto Armado.** [s.d]. Disponível em: <<https://www.engenheirodeestruturas.com.br/patologia-pilar-concreto>>. Acesso em: 30 de Março de 2022.

ESCOBAR, C. J.; CRUZ, D. A.; FABRO, G. **Avaliação de desempenho do ensaio de esclerometria na determinação da resistência do concreto endurecido.** Ibracon. Anais do 50º congresso brasileiro do concreto - cbc2008 – 50cbc0636. São Paulo, SP, Brasil, 2011.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: **Design of Concrete Structures.** Part 1-2: General rules, Structural Fire Design.

ESTACECHEN, T. A. C.. **Comparativo da resistência à compressão do concreto através de ensaios destrutivos e não destrutivos.** CONSTRUINDO, v. 12, n. 2, p. 23-37, 2020.

EVANGELISTA, A. C. J.. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.

GOMIDE, K. A. **Contribuição ao projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.** 2005. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil – Universidade São Francisco. Itatiba, 2005.

HAGER, I., TRACZ, T., 2015. **Parameters influencing concrete spalling severity - intermediate scale tests results.** Leipzig, IWCS - 4th International Workshop on Concrete Spalling due to Fire Exposure.

HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto.** PINI, 1988.

HELENE, P. R. L. Vida útil das estruturas de concreto. In: **IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções. Anais. Porto Alegre, 1997.v.1.p.1-30.**

HELENE, P. R. L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, Red Rehabilitar, 2003.

HIASA, S.; BIRGUL, R.; CATBAS, F. (2016), “**Infrared thermography for civil structural assessment: demonstrations with laboratory and field studies**”, J Civil Struct Health Monit, V.6, No. 3, pp. 619-636.

IBDA- Instituto brasileiro de desenvolvimento da arquitetura, Fórum da discussão. **Falha humana predomina nas patologias do concreto**. [s.d].Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=17&Cod=1670>>. Acesso em: 30 de Março de 2022.

JADIN, M.; TAIB, S. (2012), “**Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography**”, Infrared Physics & Technology, V.55, No. 4, pp. 236–245.

JUNIOR, O. K. **Pilares de concreto armado em situação de incêndio submetidos à flexão normal composta**. 2011. 211f. Tese de Mestrado – Engenharia Civil – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

KEE, S. *et al.* “**Nondestructive bridge deck testing with air-coupled impact-echo and infrared thermography**”. Journal of Bridge Engineering, V.17, No. 6, pp. 928-939, 2012.

KLEIN, D. L. **Apostila do Curso de Patologia das Construções**. Porto Alegre, 1999 - 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias.

LAUDOTEC ENGENHARIA. **A importância dos ensaios de resistência do concreto**. [s.d]. Disponível em: < <https://www.laudotecengenharia.com.br/exemplo-2/>>. Acesso em: 30 de Março de 2022.

LIMA R. C. A. *et al.* **Efeito de Altas Temperaturas no Concreto**. Artigo – Grupo de Pesquisas LEME – UFRGS. In: II Seminário de patologia das Edificações. Porto Alegre, 2004.

LIMA, R. C. A. de. **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas**. 2005. 257f. Tese de Doutorado – Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

MALDAGUE, X. “**Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing**” (New York, United States: John Wiley and Sons), p. 704. ISBN: 978-0-471-18190-3, 2001.

MALHOTRA, V. M.; CARETTE, G. G. **Penetration Resistance Method. CRC Handbook on Nondestructive Testing of Concrete**. Editor V. M. Malhotra, Boca Raton, 1991.

MALHOTRA, V. M. “ **In Situ / Nondestructive Testing of Concrete - A Global Review**”, **In Situ/Nondestructive Testing of Concrete**. Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit, pp. 1-16, 1994.

MEDEIROS, M. H. F. ; GOBBI, A. ; RÉUS, G. C. ; HELENE, Paulo . **Reinforced concrete**

in marine environment: Effect of wetting and drying cycles, height and positioning in relation to the sea shore. *Construction & Building Materials*, v. 44, p. 452-457, 2013.

MENEZES, M. A. M. *et al.* **Análise das diretrizes técnicas para elaboração de laudo de inspeção predial e estudo de caso das manifestações patológicas.** laboratório de engenharia civil da UFERSA/Angicos. 2020.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo – SP, Editora PINI, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete – Microstructure, properties and materials.** New York: McGraw-Hill, 2006.

MIER, J. G. M.; VLIET, M. R. A. **Uniaxial tension test for the determination of fracture parameters of concrete: state of the art.** *Engineering Fracture Mechanics* 69, páginas 235-247, 2002.

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

NEVILLE, A.M. **Properties of Concrete.** Fourth and final edition, Prentice hall, London, 2008, 269-592.

OH, T.; KEE, S.; ARNDT, R.; POPOVICS, J.; ZHU, J. **“Comparison of NDT Methods for Assessment of a Concrete Bridge Deck”**, *Journal of Engineering Mechanics*, V.139, No. 3, pp. 305-314, 2013.

OLUOKUN, F.A; BURDETTE, E.G.; DEATHEARAGE, J.H. **Splitting Tensile Strength and Compressive Strength Relationship at Early Ages.** *ACI Materials Journal*. March-April 1991. pp. 115-121.

ORGUEL. **Patologias do concreto.** 16 de Maio de 2018. Disponível em: <<https://orguel.com.br/blog/patologias-do-concreto/>>. Acesso em: 30 de Março de 2022.

PAIVA, M.V.; FREITAS, M.V.P.; SOARES, C,E. **Uma revisão bibliográfica dos fatores de influência no ensaio esclerométrico,** 2021. V. 7

PEDROZA, L. F. M.. **Avaliação do desempenho do ensaio não destrutivo de pacometria para verificação do cobrimento e posicionamento de barras de aço.** Trabalho de conclusão de curso, curso de Engenharia Civil, centro universitário de Brasília – UniCEUB, 2018.

PERCON. **Termografia com infravermelho em inspeções de edifícios.** [s.d]. Disponível em: <<https://acessorpercon.com.br/percon/termografia-com-infravermelho/>>. Acesso em: 30 de Março de 2022.

PEREZ, A. R. **Umidade nas Edificações: recomendações para a prevenção de penetração de água pelas fachadas.** Tecnologia de Edificações, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de

Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT. 1985. p.571-78.

PINTO, R.C.A.; BAGGIO, D. **Estudo da Variabilidade do Ensaio Brasileiro de Penetração de Pinós**. 46º IBRACON - Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis, (2004).

RAPHAEL, J. M. **Tensile Strength of Concrete**. ACI Journal, nº 2, Proceedings V.81, Março-Abril 1984, páginas 158-165.

REHMAN, S.; IBRAHIM, Z.; MEMON, S., JAMEEL, M. (2016), *“Nondestructive test methods for concrete bridges: A review”*, Construction and Building Materials, V.107, No. 15, pp. 58-86.

ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, Yêda Vieira. **A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo para a inspeção de pontes de concreto armado: Revisão do estado da arte**. Revista Alconpat, v. 7, n. 3, p. 200-214, 2017.

SANTANA, Caio Henrique Santos; MIRANDA, Rodrigo Manzan. **Análise comparativa da resistência à compressão aferida por métodos não destrutivos**. Ucb, Brasília, v. 1, n. 1, p.1-35, 17 jun. 2016. Disponível em: . Acesso em: 22 maio 2018.

SANTOS, B. M.; AGUILAR, M. T. P.; CHAHUD, E. **O método da maturidade para determinar resistência à compressão em concretos: revisão de literatura**. [s.d]

SANTOS, D. D. C.; GUERRA, F. A. P.; DONATO, M.. **Análise visual e estudo das manifestações patológicas de uma edificação de concreto armado** *Visual analysis and study of pathological manifestations of a reinforced concrete building*. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 7, p. 73798-73810, 2021.

SELLECK. *et al.* **"Ultrasonic investigation of concrete with distributed damage"**, ACI Materials Journal, January-February, pp. 27-36, 1998.

SOTA, J.D.; AVID, F.A.; MOREIRA, P.; CHURY, M. **Medida de maturidade do concreto in situ numa estrutura**. Revista ALCONPAT, v. 6, n. 3, p. 216-224, Setembro – Dezembro 2016.

SOUZA, Marcos Ferreira de. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações**. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <https://minascongressos.com.br/sys/anexo_material/63.pdf>. Acesso em: 30 de Março de 2022.

SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1a ed. São Paulo, Pini, 1998.

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

TAYLOR, P. C. *et al* , **Integrated materials and construction practices for concrete pavement: a state-of-the-practice manual**, FHWA Publication No. HIF - 07 – 004, 2007.

TECNOSIL SOLUÇÕES ESPECIAIS. **Corrosão de armadura: o que causa e como amenizar esse dano?**. [s.d] Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/corrosao-de-armadura-o-que-cao-e-como-amenizar-esse-dano/>> Acesso em: 30 de março de 2022

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1992

TRINDADE, Diego dos Santos da. **PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. 2015. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

ULTRA LAB ENGENHARIA. **Identificador de armaduras**. [s.d]. Disponível em: <<https://ultralabengenharia.com.br/equipamentos-ultralab>>. Acesso em: 30 de Março de 2022.

VALENTE, Leonam d. S. Artigo: **Patologias estruturais causadas por efeitos de sismo, explosão e exposição ao fogo**. Revista Engenharia Estudo e Pesquisa, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 8-19, jul/dez. 2014. Disponível em: <http://www.revistaep.com/v14n2_jul_dez_2014.html>. Acesso em 30 de Março de 2022.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991.172p.

VIEIRA FILHO, J. O. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento**. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

WASHER, G.; FENWICK, R.; BOLLENI, N. (2009), *“Development of Hand-held Thermographic Inspection Technologies”* (Jefferson City, United States: MODOT), p. 120.

WATASE, A. *et al.* *“Practical identification of favorable time windows for infrared thermography for concrete bridge evaluation”*, Construction and Building Materials, V.101, No. 1, pp. 1016-1030, 2015.