

RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS À CORROSÃO

Daniela Fernandes Cardoso

Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Augusto Mota – UNISUAM.
danielafernandes_rj@yahoo.com.br

Luana Carla da Silva

Graduada em Engenharia Civil no Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM.
luanakasil@icloud.com

Rachel Cristina Santos Pires

Mestre em Desenvolvimento Local, Engenheira Civil e Professora Universitária no
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM.
rachelpireseng@gmail.com

RESUMO

O trabalho relata sobre métodos de recuperação de estruturas de concreto armado afetadas pela corrosão. Neste estudo, é abordado sobre o funcionamento e caracterização do concreto armado, explicando o que é a corrosão, a carbonatação do concreto, a ação dos cloretos, definindo métodos de recuperação estrutural, técnicas de monitoramento e avaliação, como aumentar a durabilidade do concreto armado e métodos de proteção. A corrosão é uma manifestação patológica que atinge diversas construções, seja de forma natural ou sofrendo ataques de agentes químicos. Essa recuperação é realizada por profissionais especializados nesses casos. Há duas possibilidades para a solução do problema: recuperação da capacidade da estrutura ou demolição da peça contaminada. A melhor opção é escolhida conforme a gravidade e intensidade da corrosão na estrutura. A estrutura deve passar pelas seguintes etapas para recuperação: delimitação, remoção, limpeza, preparação, revestimento, recomposição e proteção. Este trabalho tem o objetivo de demonstrar técnicas de recuperação da estrutura e técnicas para o monitoramento da corrosão, foi realizado através de pesquisa bibliográfica. Conclui-se com este trabalho, a importância de meios para a recuperação das estruturas de concreto armado, utilizando a forma mais adequada e que proporcione maior durabilidade à estrutura.

Palavras – Chave: Manifestação; Métodos; Técnicas.

ABSTRACT

The work reports on methods of recovery of reinforced concrete structures affected by corrosion. In this study, it will be addressed on the functioning and characterization of reinforced concrete, explain what is corrosion, concrete carbonation, the action of chlorides, define structural recovery methods, monitoring and evaluation techniques, increase the

durability of reinforced concrete and protection methods. Corrosion is a pathology that affects several constructions, either naturally or suffering attacks from chemical agents. This recovery is performed by professionals specialized in these cases. There are two possibilities for solving the problem: recovering the capacity of the structure or demolishing the contaminated part. The best option is chosen according to the severity and intensity of corrosion in the structure. The structure must go through the following steps for recovery: delimitation, removal, cleaning, preparation, coating, recomposition and protection. This work aims to demonstrate techniques of structure recovery and techniques for monitoring corrosion, it was carried out through bibliographic research. We conclude with this work, the importance of means for the recovery of reinforced concrete structures, using the most appropriate form and providing greater durability to the structure.

Keyword: Manifestation; Methods; Techniques.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é altamente resistente às tensões de compressão e tem baixa resistência em relação à tração. Com a junção do concreto a um material altamente resistente à tração, com a finalidade de resistir às tensões que irão atuar quando ocorre a tração, que, em geral é o aço, surge o “concreto armado”, são absorvidas as tensões de tração e de compressão. No concreto armado tem que haver uma ligação solidária, que os dois materiais trabalhem em conjunto (BOTELHO & MARCHETTI, 2002).

A ABNT NBR 6118/2003, item 3.1.3, define:

Elementos de concreto armado: 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”. Armadura passiva é “qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de propensão, isto é, que não seja previamente alongada”.

Na armadura pode ser utilizado o aço, a fibra de carbono, o bambu, etc. É de fácil análise, observar uma viga de concreto simples, que rompe, aparecendo a primeira fissura, após a tensão de tração alcançar e ultrapassar a resistência do concreto. Porém, se for colocado na região das tensões de tração uma armadura, ocorre o aumento da capacidade de resistência da viga (SOUZA, 1996).

A união do aço com o concreto ocorre, pelo fato dos coeficientes de dilatação térmica serem praticamente iguais. A durabilidade da junção é garantida porque o concreto protege o aço da oxidação (corrosão), a qualidade do concreto também é um aspecto que influencia na durabilidade (BOTELHO & MARCHETTI, 2002).

Dentre as manifestações patológicas que acontecem nas estruturas, se encontra a corrosão. A corrosão pode ocorrer de forma natural ou através de ataques químicos, afetando a durabilidade da estrutura. A carbonatação é um processo químico causado pelo dióxido de carbono, que provoca a redução de pH. Outro fator corrosivo é a presença de água, que ocasiona a oxidação da estrutura. A corrosão é uma manifestação patológica, considerada grave, que pode abalar a estrutura, vindo abaixo, por isso a preocupação de meios para a recuperação da mesma (TECNOSIL, 2018).

O concreto armado é bastante utilizado nas construções, tanto no Brasil, quanto ao redor do mundo, para construção de pilar, vigas, marquises, laje, ponte, túnel. É essencial a manutenção dessas estruturas para ter durabilidade e qualidade e não ter a necessidade de recuperação.

Para a elaboração deste artigo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para demonstrar as formas mais apropriadas de recuperação de acordo com a gravidade e intensidade da corrosão, além da pesquisa as normas atuais da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnica), para melhor desempenho da estrutura e aumento da vida útil da construção.

A pesquisa tem o objetivo de verificar as principais causas da corrosão no concreto armado, visando métodos que possam ser eficientes na recuperação dessas estruturas e métodos para evitar a corrosão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Funcionamento e Caracterização do Concreto Armado

O concreto tem sido utilizado como elemento de construção: composto de água, areia, brita e cimento, que se tornou o bloco construtor da civilização, um material amplamente utilizado na construção civil. Com o advento do mundo moderno, o desenvolvimento deste material vem permitindo novos avanços na área, com edificações cada vez mais inovadoras e duráveis (MAIA, 2018).

A descoberta do concreto armado aconteceu de maneira bastante peculiar. Em 1949, um francês, que morava em uma fazenda no interior de seu país, resolveu um dia criar um barco utilizando cimento e ferro para testar em um de seus tanques, registrando sua criação em 1955. Sua criação não teve grande sucesso, porém chamou atenção de outro francês, Joseph Monier (MUHTA& MONTEIRO, 1994).

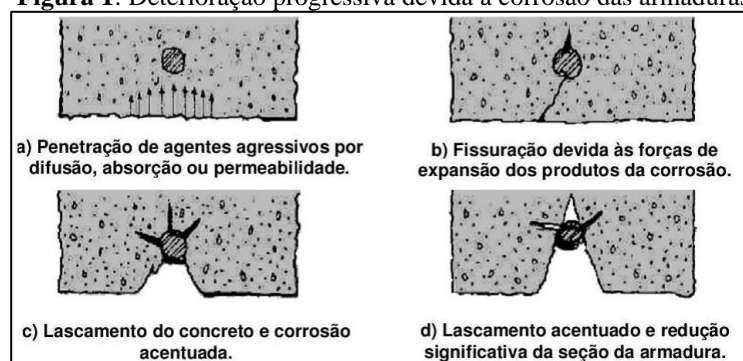
É um material utilizado por apresentar duas características básicas de um bom material: durabilidade e resistência. Comparado à pedra – resistente à compressão e durável; com o aço – resistente com as vantagens de ter qualquer forma, com facilidade e rapidez. É ainda o melhor, mais durável e sustentável material estrutural, de acordo com a Declaração Ambiental de Produto (EPD), introduzida na ISO 14025:2010. Apresenta, porém, algumas desvantagens, se sua fabricação e sua montagem não forem bem realizadas e com a ação do tempo sobre a mesma. Um destes problemas é a corrosão no interior das armaduras.

A ABNT NBR 15575 trata sobre o desempenho das edificações habitacionais, informa características que vão garantir e manter, a vida útil da construção, a qualidade e a segurança da estrutura. É uma das normas seguidas para que possam ser evitadas as manifestações patológicas, além das técnicas e métodos que são utilizados para se manter a qualidade dessa construção. (ABNT, 2021).

2.2. Corrosão

A corrosão é definida por danificação de um material (Figura 1), por ação química ou por ação eletroquímica do meio ambiente, composto por esforços mecânicos ou não. Existe a corrosão seca ou oxidação, originada por uma reação gás metal, formando uma película de óxido. De forma lenta, não provoca danificação considerável das superfícies metálicas, somente quando causado por gases agressivos. Na corrosão eletroquímica ou aquosa acontece devido a criação de uma pilha ou de uma célula de corrosão, com eletrólito e desigualdade de potencial entre espaços da superfície do aço. O eletrólito é formado devido a umidade no concreto onde ocorre desgaste, variações ou modificações. As principais causas que dão origem à corrosão são pelo meio aquoso, pela carbonatação e pela ação de cloretos (NOGUEIRA, 1986).

Figura 1: Deterioração progressiva devida à corrosão das armaduras



Fonte: COMIM & ESTACECHEN (2017)

Na corrosão ocorre a produção de compostos ferrosos, onde o volume é maior que o material original. O aumento frequente de volume, ocasiona pressões internas no concreto. Como a armadura, geralmente, é colada próxima às faces de um elemento, surgirá fissuras ao longo da barra afetada. A fissuração segue a armadura principal, é raro seguir os estribos, e ocorre o rompimento direto do concreto. As fissuras podem dar entrada na carbonatação e a entrada de agentes agressivos, o que piora o problema (NOGUEIRA, 1986).

2.2.1. Carbonatação do concreto

A carbonatação do concreto, é um processo deletério, ocorre quando há exposição de agentes agressivos, o principal é o dióxido de carbono. A intensidade vai variar se os poros estão ou não saturados. O concreto possui alta alcalinidade, por causa da hidratação do cimento. O elemento perde a passividade. A carbonatação é dependente de alguns fatores, por exemplo: transporte, lançamento, adensamento e cura, ambiente, cimento e umidade. Esses concretos são identificados com o uso de fenolftaleína. A parte carbonatada

permanece com a mesma cor, e a parte que não está, fica rosada. A carbonatação tem um benefício, pode proteger a estrutura da penetração de íons cloreto, pois há a redução da porosidade do concreto (SILVA, 2011).

2.2.2. Ação de cloretos

É o agente mais agressivo e com potencial de corrosão. A inclusão se dá quando adicionado aceleradores de pega, agregados e águas contaminadas. Agem atacando a película passivadora da armadura e, por hidrólise, juntam-se com os átomos de ferro das barras. Outra reação que ocorre é o aparecimento da ferrugem (SILVA, 2011).

2.3 Recuperação Estrutural

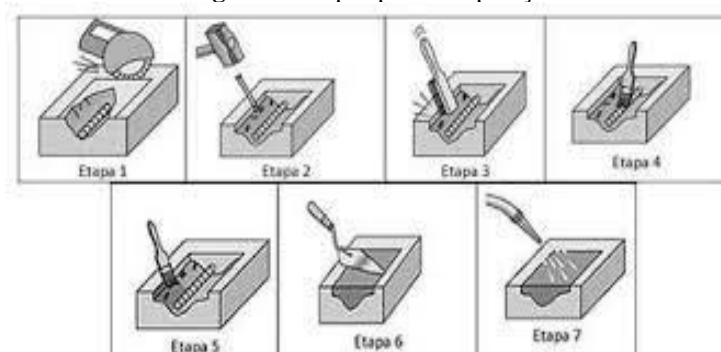
Segundo Andrade (1992):

A recuperação de uma estrutura afetada por alguma manifestação patológica não é realizada de maneira rígida, ou seja, normalmente existem vários métodos ou sistemas de reparo para se utilizar, dependendo da gravidade e do tipo de manifestação. A escolha do método ideal dependerá de alguns fatores como a possibilidade de acesso

ao local de reparo, fatores econômicos e condicionantes técnicas, que variam de caso a caso. No caso de estruturas deterioradas por corrosão de armaduras, a situação se torna um pouco mais complicada, à medida que o reparo deverá atuar em um ambiente que é, comprovadamente, agressivo.

A manutenção preventiva é uma forma de garantir que a estrutura tenha durabilidade, se realizadas intervenções rotineiras, maior a chance da estrutura permanecer com boa qualidade. Se não ocorrer de forma rotineira irão aparecer as manifestações patológicas de forma mais rápida e será necessário a reparação. A recuperação e o reforço são os métodos utilizados para a correção (Figura 2), com o objetivo de devolver as condições necessárias de desempenho estrutural. Na recuperação ocorre a intervenção para garantir o retorno da integridade das peças estruturais. No reforço há o ganho da resistência, é feito a elaboração dos cálculos estruturais, levando em consideração a necessidade de alteração da estrutura (SOUZA, 1998).

Figura 2: Etapas para recuperação



Fonte: COMIM & ESTACECHEN (2017)

As etapas de recuperação são referentes ao tratamento da reconstituição do concreto deteriorado e a limpeza das partes corroídas. Com o objetivo de restaurar a proteção à armadura restabelecendo as propriedades e características do componente de concreto (SOUZA, 1998).

Segundo Souza (1998), as etapas de recuperação são:

- Delimitação
- Remoção
- Limpeza
- Preparação
- Revestimento

- Recomposição
- Proteção

2.3.1. Delimitação

O corte do concreto serve para delimitar a área a ser reparada. A estrutura remanescente deve ser preservada. Deve ser feita a correta demarcação da linha de corte, para que não ocorra comprometimento na estrutura, e outras danificações. A definição das áreas é baseada por análise detalhada da estrutura (SOUZA, 1998).

2.3.2. Remoção

O concreto protege a armadura, mas quando o aço já está em processo de deterioração ele não tem mais funcionalidade. É feita a desobstrução do caminho até as barras de aço da estrutura, onde o concreto degradado é retirado. Após a remoção do concreto deteriorado (Figura 3), é feita a preparação da superfície. Ocorre o apicoamento e remoção de partícula que possa estar adicionada ao substrato. É umedecido desse substrato, nos casos em que os concretos não apresentam alta resistência à compressão, para ajudar na ponte de aderência (HELENE, 1992).

Figura 3: Remoção do concreto degradado



Fonte: RIBEIRO (2014)

2.3.3. Limpeza

A limpeza pode ser realizada por ação mecânica, ação química, solubilização e detergência. A solubilização e detergência são usados na existência de óleos e sujeira aderida, ou seja, quando o metal não é visto. A ação química consiste na retirada de oxidações e impurezas inorgânicas destes elementos. São aplicadas soluções ácidas ou alcalinas para a decapagem química. O mais usado é a limpeza mecânica. Ela está baseada na abrasão e

eliminação dos elementos da corrosão na superfície do aço. É feita escovação (Figura 4), lixamento ou jateamento. A escovação e o lixamento usam escova de cerdas de aço e lixa manual ou lixadeira elétrica para a limpeza (HELENE, 1992).

Figura 4: Escovação



Fonte: MAIA (2018)

2.3.4. Preparação

É feita a preparação da superfície em estruturas que precisam de tratamento, onde o concreto é limpo, de forma adequada, para receber camadas de selantes, reforço ou pintura (LAPA, 2008).

Principais métodos:

- a) **Abrasivo:** Utiliza discos de polimento, onde é feita a aplicação de forças de abrasão. Esse método produz uma superfície áspera e plana.
- b) **Apicoamento:** É utilizado em áreas muito pequenas o apicoamento manual e em áreas grandes são utilizadas ferramentas elétricas. Esse método causa pequenas fraturas para deixar a superfície áspera.
- c) **Jateamento:** expulsa e limpa resíduos e poeiras; jateamento de ar: remove detritos e jateamento de água: remove e limpa materiais aderentes em superfície de aço e concreto e de pinturas (Figura 5).

Figura 5: jateamento



Fonte: SOLEPOXY REVESTIMENTOS INDUSTRIAIS (2016)

2.3.5. Revestimento

É feito o uso de barreiras físicas para isolar a estrutura do contato com agentes agressivos, controlando a umidade e oxigênio. A pintura (Figura 6) é a proteção de componentes metálicos. Tinta é um produto líquido, ou em pó, que, aplicado, forma uma película protetora. Pinturas epoxídicas são as mais indicadas para o tratamento superficial. Adicionado tem a função de atuar como ânodo de sacrifício, para a durabilidade do aço (HELENE, 1992).

Figura 6: Pintura



Fonte: NOGUEIRA (1986)

2.3.6. Recomposição

É feita com o objetivo apenas de recomposição da estrutura, não tem a função de aumentar a capacidade. Os reparos podem ser classificados em rasos, semi profundos e profundos. As medidas são de zero até 2 cm, de 2 cm até 5 cm e a partir de 5 cm. A ação da água, do oxigênio e de cloretos, contribui para a corrosão na estrutura. Uma das soluções para essa patologia é a redução da permeabilidade do material que cobre a armadura. Limites para a relação água/cimento, que é o responsável pela permeabilidade e resistência do concreto, e a

concentração máxima de cloretos permitidos na sua dosagem. O cobrimento de armadura também tem influência na permeabilidade, o que varia de acordo com agressividade do ambiente. A partir daí, são determinados limites máximos de fissuras (SOUZA, 1998).

São utilizados os concretos e as argamassas para a recomposição. É retirado o concreto danificado e substituído por concreto sadio. Também pode ser alterada a composição das argamassas e concretos do reparo, porém o cimento Portland, sem adições, é o que fornece maior quantidade de reserva alcalina. Grande concentração de cimento gera elevada diminuição de volume, pode ser usado alguns tipos de fibras, desde que mantenha a essência do reparo. Aditivos plastificantes podem ser adicionados para obter uma maior trabalhabilidade (SOUZA, 1998).

Também podem ser utilizados para a recomposição os polímeros, sílica ativa ou pozolanas. O polímero mais usado é o epóxi, onde ocorre a fluidez da mistura, aumento da resistência, impermeabilização e aderência. A sílica ativa e as pozolanas atribuem resistência a ataques químicos, na permeabilidade, porosidade e absorção, porém diminui o pH. A aplicação de concretos e argamassas é por projeção (Figura 7) ou por concretos e argamassas auto adensáveis. A projeção tem como característica a compactação simultânea e compacidade aderente, permite facilidade na entrada do composto em locais de difícil acesso. Na técnica por concretos e argamassas auto adensáveis, a utilização de aditivos plastificantes deve ser baixa, devido à permeabilidade (COMIM& ESTACECHEN, 2017).

Figura 7: Recomposição com argamassa por projeção



Fonte: COMIM & ESTACECHEN (2017)

2.3.7. Proteção

Para a proteção da estrutura é criada uma camada de isolamento para que não haja a entrada dos agentes que provocam a corrosão, como água, íons cloreto, oxigênio e gás carbônico, o objetivo é proteger o aço. São utilizadas as tintas orgânicas, concreto de elevada densidade, argamassa polimérica de cimento Portland, e até mesmo materiais cerâmicos. A

superfície deve estar limpa de impurezas e polida, para boa fixação. Quando revestido por tintas orgânicas, o desempenho para a proteção da estrutura é bastante satisfatório, atrasando por mais tempo, a entrada de substâncias no concreto (CÁNOVAS, 1988).

3. TÉCNICAS DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA CORROSÃO

3.1. Inspeção visual

A inspeção visual é uma das formas mais usuais de avaliação de como se encontra o estado de corrosão em estruturas de concreto armado. Na inspeção visual são observadas e registradas as manifestações patológicas no concreto, tais como, porosidade superficial ou manchas de oxidação, perda de concreto por ataque químico, perdas da integridade do concreto devido atuação de forças internas e externas, armaduras expostas e falta de cobrimento adequado (ARAUJO & PANOSSIAN, 2011).

3.2. Potencial de corrosão

Auxilia no monitoramento de corrosão e teve início nos Estados Unidos. É feito à medida dos potenciais em corpos de prova ou em estruturas de concreto. É o método mais usado para o monitoramento e verificação da corrosão na armadura de concreto armado. Ocorre a medição do potencial entre o aço da estrutura de concreto armado e o eletrodo de referência. Une o eletrodo de referência e o de trabalho e é usada uma esponja saturada e feito o mapeamento dos potenciais (MORESI, 2016)

Fatores que podem influenciar:

- Camadas superficiais
- Espessura do cobrimento e qualidade do concreto
- Teor de umidade
- Cloretos
- Carbonatação

3.3. Resistência à Polarização

Surgido na Espanha, o método que determina a velocidade de corrosão em argamassas e nos concretos, indica a resistência de um material exposto a eletrólito. É aplicado o potencial

na ferrugem, medido, registrados os incrementos causados pela polarização. É feita a divisão do incremento potencial pelo incremento de corrente. Se o valor for elevado, o material é suscetível à corrosão; quando o valor é baixo, há alto potencial de corrosão (MORESI& BELLAGUARDA, 2016).

3.4 Técnicas de avaliação da qualidade do concreto

3.4.1 Ensaio de compressão de corpo de prova

O controle da resistência à compressão do concreto é parte integrante da construção, sendo necessária a comprovação da resistência efetiva real. Avaliar se o que está sendo produzido corresponde ao que foi previamente adotado, por ocasião do dimensionamento da estrutura, faz parte da própria concepção do processo construtivo como um todo (HELENE, 1986).

O ensaio de compressão consiste na aplicação de carga compressiva em um corpo de prova. Os resultados obtidos nesse ensaio consistem na relação entre deformação linear em função da carga de compressão aplicada em cada momento.

Segundo a NBR 5738, os corpos de prova a serem ensaiados têm a finalidade de verificar a qualidade e a uniformidade do concreto utilizado na obra ou para decidir a sua aceitação, estará de acordo com o estabelecido na NBR 12655, devem ser demonstrados após o período de cura inicial.

3.4.2 Extração de testemunho

Ocasionalmente existe a necessidade de determinar a resistência do concreto na estrutura, ou seja, podemos ter um concreto que obteve um resultado não significativo nos corpos de prova no laboratório. Portanto, teremos que analisar qual é a resistência real desse concreto na própria estrutura para possível adequação e verificar se será preciso reforçar ou não o concreto, dependendo do que será encontrado na estrutura. (ORLANDO, 2007)

Quando se tem uma estrutura com sinais de deterioração ou até mesmo para saber a resistência do concreto em uma estrutura antiga, é muito comum ser realizada a extração de testemunhos (ORLANDO, 2007).

A ABNT NBR 5738:2015, prescreve o procedimento para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos que necessitam obedecer a alguns critérios para atingir um resultado satisfatório. Veremos a seguir;

- Devem ter altura igual ao dobro do diâmetro;
- O diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20, 25 cm, 30 cm ou 45 cm;
- Quando a relação $h/d < 2^\circ$ diâmetro tem que ser igual ou maior três vezes a dimensão máxima do agregado graúdo que foi utilizado no concreto;
- Quando a relação $h/d < 2$, são usados fatores de correção para corrigir os valores da resistência;
- Quanto menos a relação h/d , menor a precisão dos fatores de correção.

3.4.3 Esclerometria

O ensaio de esclerometria é um método indireto de determinação da resistência à compressão do concreto. A resistência é determinada a partir da relação de calibração entre o parâmetro de teste não destrutivo e a resistência do concreto (CASTRO, 2011).

Para a realização do ensaio de esclerometria deve-se preparar a área a ser ensaiada com polimento energético com pedra de desbaste em movimentos circulares e o número de impactos deve ser de, no mínimo, nove em cada área individual (CASTRO, 2011).

Não é recomendável sua utilização isolada para determinar a resistência do concreto e os resultados podem ser influenciados por diversos fatores, tais como:

- Posições do aparelho;
- Experiência do operador;
- Esbeltez da peça a ser ensaiada;
- Cura do concreto.

3.4.4 Ensaio de ultrassom

É um ensaio bastante eficaz e não destrutivo para o controle de qualidade do concreto e detecção de danos nos componentes estruturais. Isso foi possível, devido aos recentes avanços da tecnologia dos transdutores. O conceito por trás da tecnologia é medir o tempo de viagem de ondas ultrassônicas em um meio e correlacioná-las às propriedades elásticas e à densidade do material. Em geral, para uma determinada trajetória, o maior tempo de deslocamento é

correlacionado com o concreto de baixa qualidade, com anomalias e deficiências, no entanto, em menor tempo o concreto é de alta qualidade com menos anomalias. (EVANGELISTA, 2002).

3.4.5 Ensaio de migração de cloreto

Ensaio de migração de cloretos são usados para mensurar a capacidade do concreto em inibir o ataque por cloretos. Muitos pesquisadores realizam esse ensaio em uma pequena quantidade de concreto extraída da parte central dos corpos de prova cilíndricos, descartando cerca de 75% do concreto usado para moldar os corpos de prova (CALÇADA, 2000)

Esse tipo de ensaio permite a determinação do coeficiente efetivo de difusão, porém, não é possível considerar o período em que os íons cloretos estão se combinando aos hidratos de cimento (CALÇADA, 2000).

3.4.6 Ensaio de profundidade de carbonatação.

Entre as manifestações patológicas que podem acometer as estruturas de concreto armado, a carbonatação é uma das mais estudadas e preocupantes. O problema, que resulta em mudanças na microestrutura e na diminuição do pH do concreto, é capaz de reduzir a proteção passiva das armaduras, aumentando a vulnerabilidade à corrosão e comprometendo a durabilidade da estrutura (ROCHA, 2015).

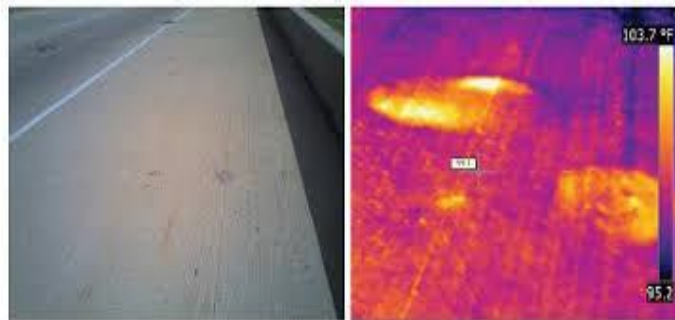
No início do processo da carbonatação, tem-se, como resultado principal, a precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3) em uma região do revestimento, com a origem de uma camada que passa a ter uma alcalinidade menor do que outra região afetada por esse fenômeno. Na estrutura interna do concreto em que essa precipitação ocorre, o material altera-se fisicamente e do ponto de vista químico, havendo uma redução da alcalinidade (HELENE, 1986).

Como as reações de carbonatação dependem da presença de água e de oxigênio, o fenômeno tende a avançar mais rapidamente quando os poros são parcialmente ocupados por ar e por água. De modo que a carbonatação é o processo químico de redução do pH do concreto, podendo ocorrer um ataque da película apassivadora da armadura, tornando o material vulnerável e propício a de passivação do aço (ROCHA, 2015).

3.5. Técnica de Termografia por Infravermelho

Esse método é pouco usado no Brasil, essa técnica detecta causas de manifestações patológicas. Essa radiação vai além da capacidade humana de visão (Figura 8). É captada temperatura superficial e convertida em imagem ou termograma. Entre o meio e o corpo precisa ter um diferencial térmico, para que possa ser feito essa análise (MORESI & BELLAGUARDA, 2016).

Figura 8: Identificação de falhas na estrutura



Fonte: MORESI & BELLAGUARDA (2016)

4. CONCLUSÃO

A corrosão de armaduras de concreto armado é uma das principais patologias encontradas nas estruturas. O conhecimento das origens, formas de manifestação e tratamento é de suma importância para avaliação, tratamento e recuperação adequada a ser realizada na estrutura.

As normas e procedimentos de avaliação podem fundamentar técnicas eficientes para esse tipo de patologia. A inspeção visual preventiva precisa ser realizada efetivamente de modo rotineiro para diagnóstico precoce não somente da corrosão, como também para outros tipos de manifestações patológicas e desempenho da estrutura como um todo, havendo, assim, uma considerável economia nos custos de tratamento da patologia, recuperação ou proteção da estrutura.

Quando a corrosão se torna um grande problema para a estrutura, os estudos para tratamento serão mais aprofundados e poderão ser utilizadas técnicas modernas in loco e de ensaios de laboratório (sendo eles destrutivos ou não), de fácil acesso que oferecem informações interessantes sobre as condições das armaduras e do concreto, como o exemplo apresentado da técnica de ultrassom e extração de testemunhos.

O trabalho apresentou diversas técnicas e ensaios eficientes realizados em laboratório para diferentes tipos de agressão que a corrosão pode causar na estrutura e apresentou métodos para a recuperação dessa estrutura.

Desse modo, a revisão bibliográfica apresentada para este trabalho utiliza materiais e métodos de autores renomados, o ramo de pesquisa pela comunidade acadêmica, além de materiais de estudos recentes que trazem o que há de mais moderno no campo de tratamento, recuperação e proteção das estruturas de concreto armado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5378. **Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 12.655. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 15.575-1. **Desempenho de edificações habitacionais.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003, 221p.

ANDRADE, C.M.P. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras.** São Paulo: PINI, 1992.

ARAÚJO, PANOSSIAN, Z. **Inspeção rotineira de estruturas de concreto armado expostas a atmosferas agressivas.** Técnica, São Paulo, v. 1, n. 177, janeiro 2021.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu Te Amo**, 7ª edição, Volume 1. São Paulo: Blucher, 2002.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu Te Amo**, 4ª edição. Volume 2. São Paulo: Blucher, 2002.

CALÇADA, L.M.L. **Estudo de eficácia do ensaio de migração de cloretos na previsão da durabilidade dos concretos.** Florianópolis, 2000. 84p. Exame de qualificação (doutorado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

CÁNOVAS, F.M. **Patologia e terapia do concreto armado.** São Paulo: PINI, 1988.

CASTRO, E. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2009.

COMIM, K. W.; ESTACECHEN, T. A. C. **Causas e alternativas de reparo da corrosão em armaduras para concreto armado.** Belo Horizonte - Revista Construindo, v. 9, Ed. Esp. de Patologia, 2017.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos.** 219p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2002.

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

HELENE, P.R.L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1992.

LAPA, S. J. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto.** Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

MAIA, V. **Edificações – Concreto Armado.** 2018. Disponível em: <https://maquinadeaprovacao.com.br/engenharia/edificacoes-concreto-armado/>. Acesso em: 17 de março de 2019.

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

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3.Ed. São Paulo, Brasil. IBRACON, 2008.

MORESI, C. C.; BELLAGUARDA, L. I. **Metodologia eficiente para a detecção de corrosão em estruturas de concreto armado.** Curso de Engenharia, Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2016.

NOGUEIRA, R.P. **A corrosão do aço em concreto: influência do pH.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Resumo. Rio de Janeiro: 112p. 1986.

ORLANDO, J. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento.** 82p. Dissertação (Mestrado), São Paulo, 2007.

ROCHA, I. **Corrosão em estruturas de concreto armado.** v. 01, p. 1–26, 2015.

RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUSA, C. A. C. DE; ALMEIDA, F. do C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z., HELENE, P. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SILVA, L. K. DA. **Levantamento de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado no Estado do Ceará.** 51 f. Monografia de final de curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

SOLEPOXY REVESTIMENTOS INDUSTRIAIS. **Preparação de superfícies,** 2016. Disponível em: <http://www.brpisos.com.br/index.php/category/preparo-de-superficie/>. Acesso em: 03 de maio de 2019.

SOUZA, A. L. R. **O Projeto para Produção das Lajes Racionalizadas de Concreto Armado de Edifícios.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica - Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

TECNOSIL, M. **Corrosão de armadura.** São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/corrosao-de-armadura-o-que-cao-e-como-amenizar-esse-dano/>. Acesso em: 02 de abril de 2019.