

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ GABRIEL SAMPAIO BARROS

**ESTUDO DE CASO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS PILARES DE
CONCRETO ARMADO DE UM CONDOMÍNIO LOCALIZADO NO BAIRRO
MANGABEIRAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MACEIÓ

2022

JOSÉ GABRIEL SAMPAIO BARROS

**ESTUDO DE CASO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS PILARES DE
CONCRETO ARMADO DE UM CONDOMÍNIO LOCALIZADO NO BAIRRO
MANGABEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Colegiado do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Alagoas como parte dos
requisitos para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Professora Dr^a Karoline Alves de
Melo Moraes

Maceió
2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Girlaine da Silva Santos – CRB-4 – 1127

B277e Barros, José Gabriel Sampaio
 Estudo de caso das manifestações patológicas nos pilares de concreto armado de um condomínio localizado no bairro de Mangabeiras /José Gabriel Sampaio Barros. – 2022.
 65 f. : il.

Orientadora: Karoline Alves de Melo
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil: Bacharelado) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 57- 61.

Apêndices: f.62-65.

1. Patologias. 2.Concreto armado. 3. estrutura de concreto. 4.Engenharia civil. I. Título.

CDU:624.012.45(813.5)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde e força concedidas para alcançar meus objetivos e trilhar meu caminho.

A meus pais, Marcelo e Alexsandra, pela dedicação e empenho em minha educação e criação, pelo suporte nos momentos difíceis e na cobrança quando necessário.

A minha irmã Letícia e avós Nonato, Salete, Tereza e Inácio pelo carinho, amor e apoio dado, mas principalmente por serem a base de tudo.

Aos professores e técnicos que contribuíram para minha formação acadêmica, pelo conhecimento compartilhado e pelo empenho nas explicações.

Aos amigos e futuros colegas de profissão que participaram diretamente de minha formação, pelo companheirismo e momentos vividos, pelas risadas e choros, mas principalmente pelos momentos de aprendizado.

A professora Karoline Alves pela orientação no referente trabalho e pelos conhecimentos compartilhados ao longo de minha formação profissional, sempre se mostrando a disposição para auxiliar em meus questionamentos.

Aos funcionários do LEMA pelo auxílio dado na realização de todos os trabalhos acadêmicos ao longo da graduação.

Ao engenheiro Everton Mendes pelo material e tempo concedidos para a realização desse trabalho.

A professora Nadjane pelo tempo e auxílio concedidos na realização dos ensaios, bem como pela disposição do Laboratório e dos materiais.

Ao CAEC - Centro Acadêmico de Engenharia Civil, meu porto seguro na Universidade e que tive o prazer de participar durante grande parte da minha trajetória acadêmica. Agradeço pelos momentos de alegria, companheirismo e aprendizado, pelas risadas e conversas leves, mas também pelos momentos de interação e capacitação.

A EJEC – Empresa Júnior de Arquitetura e Engenharia Civil, pelos conhecimentos técnicos adquiridos e pelas amizades construídas, bem como pelos momentos de alegria e pelo crescimento profissional.

“Mas aqueles que esperam no Senhor renovam suas forças. Voam bem alto como águias; correm e não ficam exaustos, andam e não se cansam”.

Isaías 40:31

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Marcelo e Alexsandra, que sempre acreditaram em mim e me deram todo o apoio para essa conquista.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Comentários Iniciais	13
1.2. Objetivos	13
Objetivos Gerais.....	13
Objetivos Específicos.....	14
1.3. Justificativa	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Concreto armado	15
2.2. Pilares em concreto armado	17
2.3. Origens e causas de manifestações patológicas	18
2.4. Deterioração em estruturas de concreto	20
2.5. Perda de aderência ou desagregação do revestimento	22
2.6. Fissuras.....	23
2.7. Corrosão das armaduras	25
2.8. Recuperação, reparo e reforço em estruturas de concreto	28
3. METODOLOGIA.....	31
3.1. Caracterização do empreendimento	32
3.2. Procedimento para a retirada das amostras em concreto	33
3.3. Ensaio de carbonatação	38
3.4. Análise química da incidência de cloreto de amônio (NH ₄ Cl)	38
3.4.1. Preparo da amostra	39
3.4.2. Procedimento.....	40
3.5. Cloretos Totais - Método de Mohr (Argentométrico).....	40
3.5.1. Conceitos fundamentais	40
3.5.2. Preparo das soluções	41
3.5.3. Padronização da Solução de Nitrato de Prata.....	42
3.5.4. Procedimento para a Preparação da Amostra.....	43

3.5.5. Determinação da concentração de cloretos	43
3.5.6. Determinação do Branco	44
3.6. Nitrogênio Amoniacal.....	44
3.6.1. Procedimento Experimental.....	45
Cálculos:.....	46
3.6.2. Preparo da Solução	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1. Carbonatação do concreto	48
4.2. Análise química para constatação da presença de cloretos.....	51
4.3. Análise química para constatação da presença de amônio	55
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS.....	57
APÊNDICES	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação do fator água/cimento com a resistência à compressão	15
Figura 2 - Classificação dos pilares quanto às solicitações iniciais	18
Figura 3 - Origem dos problemas patológicos em construções	19
Figura 4 - Lei de evolução de custos	20
Figura 5 - Descolamento da argamassa ao substrato das pastilhas presentes em pilares em concreto armado	23
Figura 6 - Medição com régua para determinação das anomalias quanto às aberturas	24
Figura 7 - Armadura protegida com camada passivadora (à esquerda) e despassivação da camada protetora (à direita)	26
Figura 8 - Esquema de ação de carbonatação	27
Figura 9 - Corrosão por pites ocasionada pela presença de cloretos	28
Figura 10 - Fluxograma da metodologia utilizada na monografia	31
Figura 11 - Planta de situação do empreendimento	32
Figura 12 - Planta de locação dos pilares representativa de um bloco	33
Figura 13 - Análise visual dos pilares de concreto com sinais de deterioração	34
Figura 14 - Planta de locação dos pilares com incidência de manifestações patológicas do bloco 2	35
Figura 15 - Planta de locação dos pilares com incidência de manifestações patológicas do bloco 3	35
Figura 16 - Planta de locação dos pilares com incidência de manifestações patológicas do bloco 4	36
Figura 17 - Planta de locação dos pilares com incidência de manifestações patológicas do bloco 5	36
Figura 18 – Escora dos pilares	37
Figura 19 - Quebra dos pilares com furadeira martetele	38
Figura 20 – Pilares com incidência de urina	39
Figura 21 - Trituração das amostras de concreto utilizando almofariz e pistilo	39
Figura 22 – Filtração de concreto pulverizado	40
Figura 23 - Formação de precipitado marrom-avermelhado após a titulação com nitrato de prata	43
Figura 24 - Destilação da solução através do destilador de nitrogênio	45
Figura 25 - Titulação com ácido sulfúrico para identificação de nitrato de amônio	45

Figura 26 - Solução incolor antes da titulação (à esquerda) e solução rosácea após a titulação (à direita)	46
Figura 27 - Ensaio de carbonatação do pilar 9 do bloco 2	47
Figura 28 - Ensaio de carbonatação do pilar 16 do bloco 2	48
Figura 29 - Ensaio de carbonatação do pilar 3 do bloco 3	48
Figura 30 - Ensaio de carbonatação do pilar 31 do bloco 4	49
Figura 31 - Ensaio de carbonatação do pilar 20 do bloco 5	49
Figura 32 - Ensaio de carbonatação do pilar 28 do bloco 5	50
Figura 33 - Quebra da base dos pilares com furadeira martelete	62
Figura 34 - Corrosão dos estribos e armaduras longitudinais	63
Figura 35 - Substituição dos estribos corrompidos	63
Figura 36 - Pintura com fundo anticorrosivo	64
Figura 37 - Armadura e estribos restaurados	64
Figura 38 - Vedação da base do pilar	65
Figura 39 - Pilar restaurado com graute	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental	21
Quadro 2 – Classificação das anomalias conforme a abertura	24
Quadro 3 – Normas utilizadas para a realização dos ensaios nas amostras de concreto analisadas.....	31
Quadro 4 – Amostras de concreto para ensaio de carbonatação	33
Quadro 5 – Amostras de concreto para análise química	34
Quadro 6 – Profundidade de carbonatação.....	48
Quadro 7 – Constatação de cloretos nas amostras analisadas	52
Quadro 8 – Teor de cloretos nas amostras analisadas	54
Quadro 9 – Constatação de amônio nas amostras analisadas	55

RESUMO

A incidência das manifestações patológicas nas estruturas de concreto é um processo que pode ser observado quando o desempenho de uma edificação está abaixo do planejado. Suas origens são das mais diversas e atacam as estruturas de diferentes maneiras. No concreto, essas manifestações patológicas são responsáveis pela deterioração do mesmo através de processos químicos, físicos, biológicos, eletroquímicos e mecânicos. O presente trabalho busca realizar um estudo de caso para identificação das manifestações patológicas presentes nos pilares das estruturas de concreto armado, identificando os agentes químicos responsáveis por sua deterioração e elaborando um relatório técnico referente à recuperação. A recuperação das estruturas é feita para reestabelecer as condições de uso da edificação, garantindo a segurança de utilização dos usuários. As intervenções realizadas são responsáveis pela remoção de agentes agressivos e melhoria no desempenho da estrutura. A avaliação dos agentes químicos é realizada por meio de três ensaios: carbonatação, análise química de cloretos e análise química de amônio. A presença desses agentes agressivos é prejudicial a estrutura, pois os cloretos e o dióxido de carbono são os principais responsáveis pelo início do processo de corrosão. O dióxido de carbono ocasiona a carbonatação, que causa a quebra da camada protetora que reveste o concreto, já os cloretos quando em sua forma iônica, atacam a armadura em pontos específicos.

1. INTRODUÇÃO

1.1.Comentários Iniciais

Com a evolução do conhecimento humano, mudou-se também a maneira como os materiais são enxergados na engenharia civil, seja em sua utilização na construção ou até mesmo no modo como certas técnicas construtivas são empregadas. Ainda assim, com o desenvolvimento desses novos métodos, existe uma série de fatores limitantes que levam a um desempenho insatisfatório nessa área que, quando somados a falhas de projeto, execução ou manutenção, podem resultar em problemas ainda mais sérios nas edificações (SOUZA; RIPPER, 2009).

O setor da construção civil vem dando mais importância à manutenção de edificações, desconstruindo o conceito de construção limitada à entrega e uso, sem muito cuidado no pós-obra. As edificações são construídas para atender seus usuários por muitos anos e devem apresentar condições adequadas de uso, sem sofrerem alterações nas propriedades previstas inicialmente para seu desempenho (ABNT, 2012).

Baseado no conceito dado acima, tornou-se necessário a elaboração de medidas que prolongassem o uso da edificação e dos materiais utilizados em sua construção, por meio da aplicação de ações preventivas que estendam a vida útil. Surge assim, o desenvolvimento das normas técnicas, com destaque para a norma de desempenho para edificações habitacionais NBR 15575 (ABNT, 2021) e a norma de procedimento para manutenção de edificações NBR 5674 (ABNT, 2012).

Nesse contexto, a NBR 6118 (ABNT, 2014) afirma que alguns mecanismos são responsáveis pela deterioração das estruturas de concreto, como é o caso da água no processo de lixiviação e expansão. Ela é responsável pela dissolução de compostos presentes na pasta de cimento, bem como pelas reações dos álcalis do cimento e agregados reativos. Por fim, a norma também destaca o mecanismo da despassivação da armadura devido à carbonatação e a presença de cloretos como responsáveis pela deterioração e corrosão das armaduras.

1.2. Objetivos

Objetivos Gerais

O objetivo geral do Trabalho de Conclusão de Curso é um estudo de caso para a identificação das causas referentes às manifestações patológicas presentes nos pilares de concreto de um condomínio residencial, no bairro da Mangabeiras.

Objetivos Específicos

- Identificar a presença de agentes químicos deteriorantes nos elementos de concreto analisados;
- Elaborar um relatório técnico referente à recuperação das manifestações patológicas presentes.

1.3. Justificativa

Tendo em vista a importância da segurança ao utilizar-se uma edificação, é indispensável identificar os fatores que comprometam o funcionamento da sua estrutura e que ofereçam risco aos seus usuários. Dessa forma, é necessário um alto padrão de qualidade na execução de todas as etapas de uma edificação, incluindo as manutenções posteriores à sua construção. Isso garante que os materiais utilizados numa estrutura preservem as características e propriedades previstas na fase de projeto, garantindo assim, a segurança desejada para a edificação e seus usuários (ABNT, 2012).

Nesse sentido, algumas manifestações patológicas podem ser tratadas de maneira simples, caso identificadas precocemente. Entretanto, quando tardiamente constatadas, podem promover a alteração do caráter estrutural e trazer riscos construtivos. São os casos de corrosão da armadura, trincas e fissuras, que exigem um cuidado maior em sua identificação e reparo. Além disso, a presença de agentes químicos deteriorante é responsável por intensificar os processos dados anteriormente (SOUZA; RIPPER, 2009).

Por fim, a identificação de danos se faz necessária, pois é através dela que são elaborados os laudos técnicos referentes à sua recuperação. A intervenção realizada após o laudo, garantirá a tomada de medidas que prolonguem a vida útil da estrutura e dos materiais que a compõem e resultarão num reparo, reforço ou recuperação mais eficiente (ABNT, 2021).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

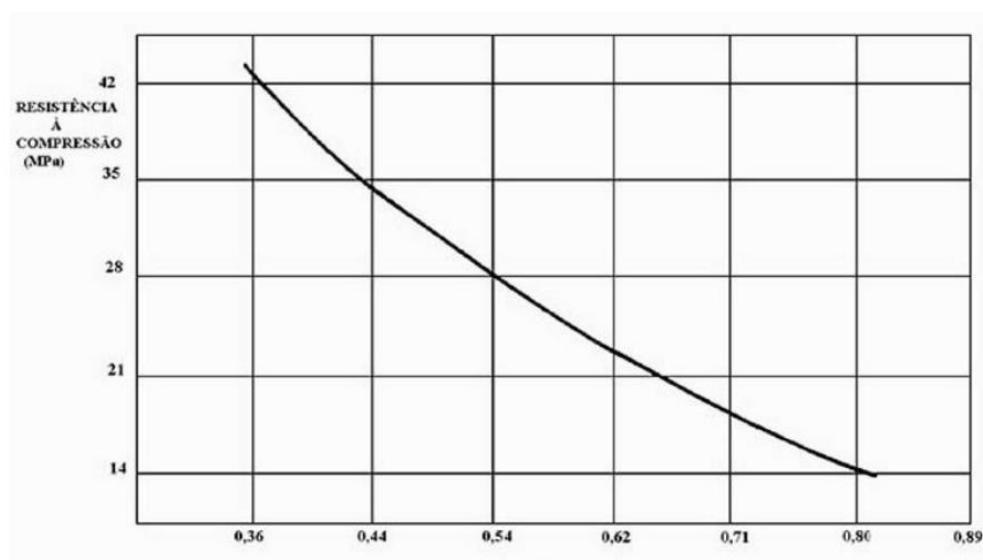
2.1. Concreto armado

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil. Ele é um composto formado pela mistura de cimento, água, agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia) e em alguns casos também são utilizados aditivos e adições minerais para melhorar sua qualidade (BASTOS, 2019).

A composição do concreto é de extrema importância, pois é através da proporção de cada componente da mistura (traço do concreto) que são estabelecidas as propriedades necessárias para sua utilização. Diante disso, pode-se destacar os agregados como uma parte indispensável pois são eles que compõem cerca de 70% do concreto. Essa composição, além de reduzir custos, possibilita uma melhor trabalhabilidade, diminuição da retração da pasta, maior resistência ao fogo e desgaste, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2019).

A presença de água no traço do concreto é responsável pelas reações de hidratação do cimento que fornecem a resistência mecânica e durabilidade necessárias. A proporção de água na mistura define o fator água/cimento (figura 1) que está diretamente ligado à resistência mecânica do concreto. Além disso, a água deve ser potável, pois caso esse fluido não tenha uma procedência conhecida é possível o desenvolvimento de manifestações patológicas como por exemplo a corrosão das armaduras pela presença de íons cloreto (SOUZA; RIPPER, 2009).

Figura 1 – Relação do fator água/cimento com a resistência à compressão



Fonte: SOUZA; RIPPER, 2009.

Outro material bastante utilizado na composição do concreto são os aditivos. Eles são responsáveis por conferir melhores características, facilitando inclusive o processo de produção e aplicação do concreto. Os aditivos são acrescentados junto aos aglomerantes em proporções adequadas durante ou ao final da mistura, junto da segunda parcela de água (CÁNOVAS, 1988).

O concreto armado é dado pela associação de concreto simples com uma armadura passiva. Esse material estrutural deve resistir aos esforços a que a peça está submetida, conferindo qualidades essenciais como resistência e durabilidade (CLÍMACO, 2016). Esse conceito é reforçado também por Bastos (2019), que define o concreto armado como a união do concreto simples com um material que confira a resistência à tração necessária para ambos trabalharem bem em conjunto.

O conceito de armadura passiva pode ser introduzido como uma armadura em que não seja aplicada protensão, ou seja, que não sofra alongamento prévio ao ser lançada. Dessa forma, as únicas ações presentes são as forças de tensão e deformação do carregamento aplicado nas próprias peças. O conjunto aço e concreto também apresenta outro fator importante ao considerar-se a utilização desses materiais na construção civil: ambos possuem coeficientes de dilatação térmica semelhantes, o que garante trabalhabilidade equivalente em temperaturas próximas. Entretanto, é preciso garantir também a correta aplicação desses produtos, sendo necessário a utilização de um concreto de qualidade que respeite a espessura mínima do cobrimento da armadura conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014).

A primeira utilização de concreto armado no Brasil ocorreu no começo do século XX, no Rio de Janeiro. Ele foi utilizado em construções habitacionais de Copacabana e passados mais de cem anos desde o primeiro relato que se tem notícias, esse sistema construtivo continua bem aceito e ainda é o tipo de estrutura mais utilizada no Brasil (BOMJARDIM; FERNANDES, 2018).

A grande utilização do concreto deve-se às suas vantagens (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014):

- Resistência às solicitações;
- Boa trabalhabilidade, adaptando-se às fôrmas;
- Aderência entre concretos lançados em períodos diferentes;
- Técnicas de aplicação bastante difundidas;
- Durabilidade, caso bem executado;
- Resistência ao fogo;
- Possibilidade de Pré-moldagem, facilitando a execução e a rapidez;

- Resistência mecânica.

Por fim, apesar de todas os pontos positivos acima, o concreto armado também apresenta alguns pontos negativos. Ainda segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014), as desvantagens são:

- Elevado peso próprio;
- Reformas ou adaptações de difícil execução;
- Condutor térmico e acústico;
- Tempo para adquirir a resistência adequada.

2.2. Pilares em concreto armado

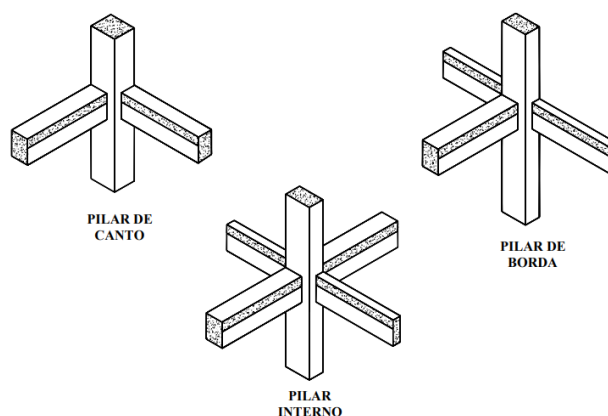
Para a execução de pilares em concreto armado, é necessário o correto posicionamento da armadura e lançamento do concreto, bem como ter um rigoroso cuidado das fases de dosagem e preparo. A NBR 14931 (ABNT, 2004) cita os cuidados preliminares necessários nas fôrmas, escoramentos e armaduras antes do lançamento do concreto e os processos para a sua execução, com destaque para as etapas de mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura.

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), a mistura do concreto deve ser realizada em betoneira ou em centrais dosadoras de modo a formar uma mistura homogênea. É importante atentar-se a sequência da colocação dos materiais, tempo de mistura e relação água e agregados. Para o transporte, o concreto deve ser levado até o local de lançamento com cuidado para não segregar o material, por carro de mão, jerrica ou caminhão betoneira. Além disso, ao lançar é fundamental utilizar pás, carros de mão ou bombas e respeitar a altura de lançamento do concreto de 2 metros (para evitar segregação). Ainda segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), o adensamento é a etapa seguinte e consiste em realizar a vibração do concreto, eliminando vazios e compactando-o, onde o excesso de vibração causa segregação e a deficiência não elimina os vazios. Por fim, a norma (ABNT, 2015) afirma que a cura é feita para evitar a perda de água do concreto por evaporação e quando mal executada pode ocasionar a retração, fissuração ou permeabilidade.

A utilização do concreto armado em conjunto com o aço é uma das técnicas construtivas mais utilizadas em sistemas estruturais no mundo. O concreto reveste a armadura, conferindo a resistência necessária à compressão, já o aço, é responsável por conferir resistência à tração. Entretanto, não basta apenas unir esses materiais, é necessário fazê-los trabalhar em conjunto de modo a resistir às tensões solicitantes, conferindo à estrutura resistência tanto à tração quanto à compressão (MARCELLINO, 2016).

Os pilares apresentam essa configuração (figura 2), sendo estruturas verticais responsáveis por conferir resistência às cargas axiais, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), e transmitir as tensões da estrutura para a fundação em contato com o solo.

Figura 2 - Classificação dos pilares quanto às solicitações iniciais



Fonte: ABNT, 2014.

Schneider (2020) define os três pilares da seguinte forma:

- **Pilar de canto:** “apresenta excentricidade inicial na direção das bordas, isso se deve pela presença de flexão composta oblíqua causada pela interrupção da laje e das vigas nas duas direções”.
- **Pilar de borda:** “conta com uma flexão composta normal, proveniente do momento fletor que atua no plano perpendicular à borda, com isso há presença de uma excentricidade inicial perpendicular à borda provocada pela interrupção das lajes e da viga, perpendiculares a ele”.
- **Pilar interno:** “não apresenta excentricidades iniciais, uma vez que está localizado no interior da edificação, de forma que as vigas e lajes nele apoiadas têm continuidades nas duas direções, sendo assim estão submetidos apenas à compressão simples”.

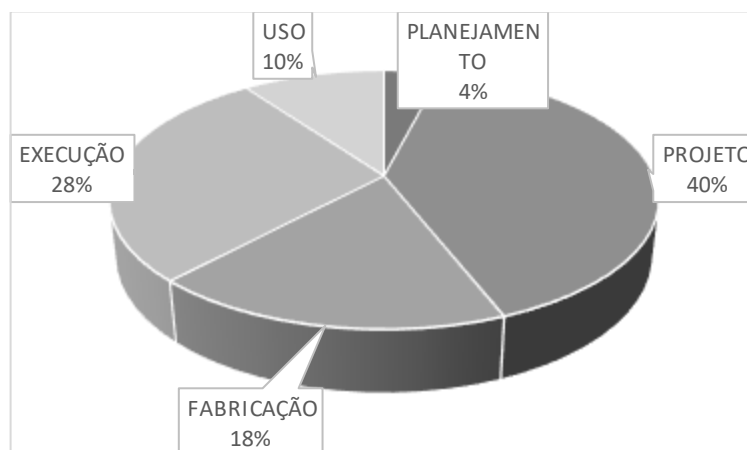
2.3.Origens e causas de manifestações patológicas

O termo patologia muitas vezes é empregado de maneira equivocada, tendo seu significado erroneamente associado como sinônimo de manifestações patológicas. De maneira geral, a patologia é a ciência responsável por estudar e definir a degradação sofrida pela edificação. Já as manifestações patológicas, podem ser ditas como o resultado de um instrumento de degradação, ou seja, são os sintomas manifestados por uma construção (SILVA, 2011).

Para Antoniazzi (2008), as manifestações patológicas podem ser observadas quando uma edificação apresenta o desempenho previsto por norma abaixo do desejado, comprometendo a segurança e exigência dos usuários. Segundo o autor, faz-se necessário investigar e entender de maneira específica as causas distintas que ocasionaram as anomalias. Fioriti (2016) complementa esse conceito ao dizer que o funcionamento adequado de uma edificação ao longo dos anos é de responsabilidade dos seus usuários, sendo necessária a realização de manutenções preventivas para garantir o desempenho desejado.

Nesse contexto, as origens das manifestações patológicas podem ser as mais diversas. Elas são provenientes de cinco etapas: planejamento, projeto, fabricação, execução e uso, sendo observadas geralmente a partir da execução (figura 3). Segundo o mesmo autor, a maior parte dessas manifestações ocorre no projeto e execução, entretanto, falhas de planejamento e projeto são tidos como mais graves que erros de fabricação e execução (GRUNAL, 1981 *apud* HELENE, 1992).

Figura 3 – Origem dos problemas patológicos em construções



Fonte: GRUNAL, 1981 *apud* HELENE, 1992.

As falhas de projeto são dadas na etapa inicial da construção da edificação e é a etapa onde mais se identificam erros que dão origem aos problemas patológicos, podendo ocorrer no estudo preliminar, anteprojeto ou projeto executivo. Para Couto (2007), esses erros estão relacionados à falta de especificações dos materiais, cálculos subdimensionados das cargas atuantes, projetos não compatibilizados, falta de um estudo do perfil do solo, entre outros.

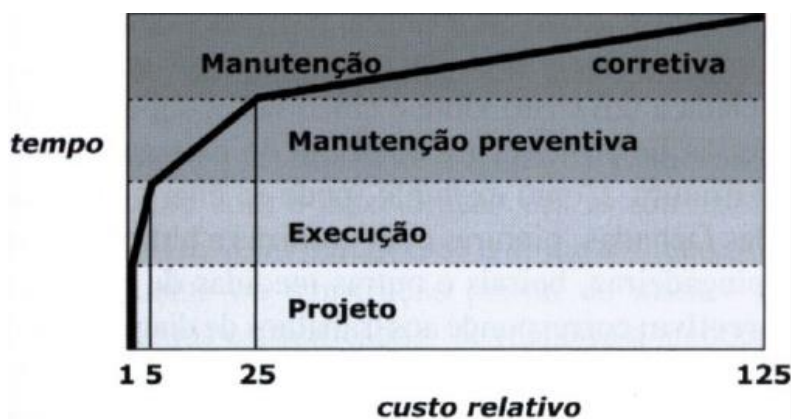
Pode-se destacar também os erros de execução como um dos principais causadores desses futuros problemas nas edificações. As falhas de execução na maioria das vezes estão relacionadas à falta de qualificação da equipe devido a problemas socioeconômicos da região. Junto a isso, é possível destacar a escassez do acompanhamento na execução de etapas como

escoramento, fôrmas, prumo, lançamento das armaduras, concretagem, entre outros (COUTO, 2007).

Por fim, Helene (1992) destaca alguns fatores, como o excesso de cargas, ação de agentes biológicos e atmosféricos, variações térmicas e de umidade, como responsáveis pelos problemas patológicos nas estruturas de concreto. À vista disso, é fundamental entender as etapas do processo construtivo para que, em caso de incidência de falhas, identifiquem-se os responsáveis, seja o projetista, fabricante ou construtora.

A constatação precoce de erros, além de evitar possíveis problemas, reduz o valor de uma futura manutenção. Através da lei de custos denominada “Lei de Sitter”, adiar uma intervenção resultará em aumentos significativos a depender da etapa (figura 4). Na manutenção preventiva, a intervenção feita na fase de uso e manutenção pode evitar um custo de 5 à 25 vezes superior. Já na manutenção corretiva, o reparo é feito sobre os problemas já manifestados, com custo até 125 vezes maior que na etapa de projeto (SITTER, 1984 *apud* FIORITI, 2016).

Figura 4 – Lei de evolução de custos



Fonte: SITTER, 1984 *apud* FIORITI, 2016.

2.4.Deterioração em estruturas de concreto

A deterioração do concreto está relacionada a incidência de processos químicos, físicos, biológicos, eletroquímicos e mecânicos, sendo os ataques químicos os mais frequentes e aqueles que causam a degradação da pasta, na maioria das vezes, ou do agregado. Isso é comprovado pelo fato do agregado possuir caráter rochoso, com maior resistência ao ataque químico (BRANDÃO, 1999). Além disso, é importante frisar o papel dos agentes naturais no envelhecimento do concreto, pois conforme citado a incidência desses processos causa a perda de desempenho estético e estrutural (ANDRADE; SILVA, 2005).

É importante considerar também a influência do ambiente como fator determinante na deterioração da estrutura. Ambientes salinos são considerados bastante agressivos para

estruturas de concreto armado, pois são os principais causadores do processo de corrosão pela presença de cloretos, água e oxigênio. A NBR 6118 (ABNT, 2014) divide a agressividade ambiental em quatro classes (quadro 1) referentes ao risco de deterioração, relacionados aos fatores químicos e físicos.

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental

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

Fonte: ABNT, 2014.

A caracterização do tipo de ambiente em que uma edificação está localizada deve ser analisada para que, ainda na fase de projeto, os agentes de degradação sejam previstos. Para Helene (1986), os ambientes estão divididos em quatro: urbano, salino, diferenciados e industriais. O meio urbano é reflexo das atividades humanas e sofre mudanças para atender as necessidades da população. São exemplos dessas alterações no meio ambiente a presença de chuva ácida e a emissão de dióxido de carbono na atmosfera. O ambiente salino é caracterizado pela proximidade ao mar, sendo áreas com a presença de umidade, cloretos e oxigênio, agentes prejudiciais às estruturas de concreto que ocasionam o processo de corrosão.

Por fim, têm-se os ambientes diferenciados e industriais que se tornam perigosos ao concreto devido à presença de compostos de enxofre e bem como de outros produtos químicos. Os derivados desses produtos ao entrar em contato com a água da chuva, podem reagir e formar a chuva ácida que é absorvida pelas estruturas de concreto (LIMA, 2005).

A durabilidade das estruturas de concreto deve-se à sua capacidade de resistir às solicitações previstas em projeto. Entretanto, com a sua utilização somada a falta de manutenção preventiva, é comum a necessidade de recuperação devido à degradação do concreto e do aço da armadura. Diante disso, é possível caracterizar os principais mecanismos de deterioração do concreto, dividindo-os em três: lixiviação, expansão por sulfato e reação álcali-agregado, conforme a NBR 6118, item 6.3.2 (ABNT, 2014). Segundo a norma, a

lixiviação é dada pelo processo de dissolução da pasta de cimento devido à entrada de água pelas fissuras. Para reduzir esse mecanismo, deve-se utilizar hidrófugos nas superfícies expostas.

A expansão por sulfato ocorre quando a pasta de cimento entra em contato com o sulfato presente na água ou solo e para evitar essa expansão é aconselhado o uso de cimentos resistentes ao sulfato, como indica a NBR 5737 (ABNT, 2018).

Por fim, a reação álcali-agregado é caracterizada pela reação dos álcalis do cimento com agregados reativos. Esse processo pode ser evitado e é de responsabilidade do técnico da obra identificar se o agregado é reativo, a presença de água, o tipo de elemento estrutural e as medidas de prevenção, conforme a NBR 15577-1 (ABNT, 2013).

Os mecanismos de deterioração da armadura também são previstos em norma pela NBR 6118, item 6.3.3 (ABNT, 2014) e são dois processos de despassivação (carbonatação ou ação de cloretos). A carbonatação ocorre pelo contato do concreto com o gás carbônico da atmosfera, ocasionando uma reação química devido à presença do hidróxido de cálcio no concreto. Já a despassivação por ação de cloretos é causada pela presença em excesso de íons de cloro (BASTOS, 2019).

2.5.Perda de aderência ou desagregação do revestimento

Os revestimentos argamassados podem ser ditos como o recobrimento de uma superfície, áspera ou lisa, coberta por uma camada de argamassa. Essas argamassas são constituídas por aglomerantes, agregados e água que ao sofrer um endurecimento da mistura, apresenta capacidade de aderência (FIORITTO, 2009). Ainda segundo o autor, ao final do processo construtivo, o revestimento de um piso ou parede deve ser tratado como um sistema único composto por todas as camadas suportes que trabalharão como uma só.

O substrato, também tido como base, é a camada onde será empregado o revestimento. Pela NBR 7200 (ABNT, 1998), a base deve atender as condições de superfície plana, prumo e nivelamento, além de cuidados na aplicação de argamassa de chapisco quando o substrato não for rugoso ou a superfície não for absorvente. O preparo do substrato é seguido da aplicação do chapisco para dar mais aderência e favorecer a absorção de água. A aderência é garantida pelo acabamento áspero, composto por argamassa, cimento e areia grossa (FIORITTO, 2009).

Após a cura do chapisco, é aplicado o emboço com a finalidade de gerar uma superfície uniforme que servirá de apoio para a aplicação de uma nova camada de acabamento, conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013). Por fim, utiliza-se o reboco para cobrimento do emboço, com espessura de até 5 mm, que receberá o revestimento ou acabamento final.

Diante disso, Santos (2014) destaca como as principais manifestações patológicas presentes nas argamassas o aparecimento de bolhas e fissuras, descolamento da argamassa do substrato, pulverulência referente a granulometria ou traço dos agregados, retração e manchas de umidade e mofo.

O descolamento da argamassa ao substrato em que está aderida (figura 5) trata-se de um processo ocasionado quando as tensões ultrapassam a capacidade suportada nas ligações, pela falha ou ruptura das camadas constituintes do revestimento ou das camadas de base e substrato (MILITO, 2009). Para a identificação dos pilares com incidência de desagregação ou perda de aderência realiza-se o teste de percussão. O teste de percussão consiste em realizar leves batidas, utilizando um martelo magnético ou de nylon para identificar barulhos cavos, indicando a perda de aderência entre o revestimento e a superfície de concreto.

Figura 5 – Descolamento da argamassa ao substrato das pastilhas presentes em pilares em concreto armado



Fonte: AUTOR, 2022.

2.6.Fissuras

As fissuras são uma das manifestações patológicas mais comuns em construções. A observação desse fenômeno possibilita um aviso acerca de um potencial perigo na estrutura e geralmente são ocasionadas por sobrecargas ou movimentação de materiais. Além disso, podem ser associadas também a recalques diferenciais de fundação, retração do concreto, alterações químicas de materiais, movimentações por variação térmica e de umidade, entre outros (THOMAZ, 1989). Sua classificação, segundo Oliveira (2012), é dada de acordo com o tamanho de suas aberturas (quadro 2) e é diferenciada quanto à magnitude.

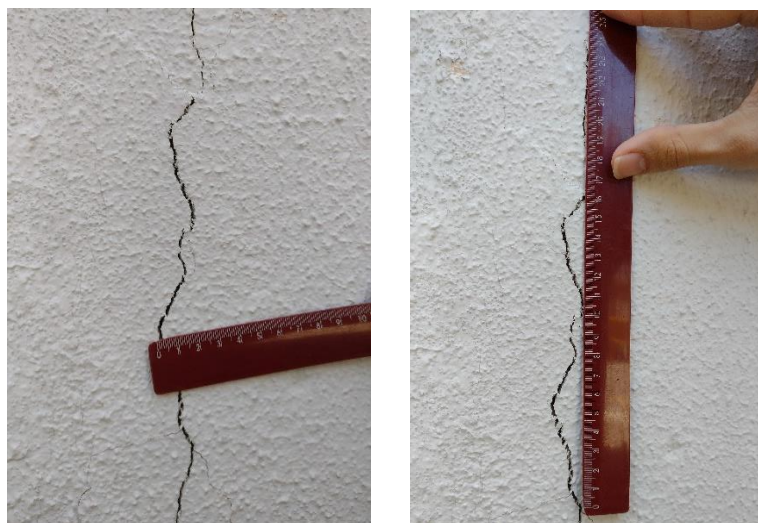
Quadro 2 – Classificação das anomalias conforme a abertura

Anomalias	Aberturas (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 2012.

Para Fioriti (2016), embora essas manifestações patológicas possuam um tratamento semelhante, elas diferem quanto à abertura (figura 6). Segundo a NBR 6118 (2014), as fissuras são consideradas agressivas ao concreto armado quando, para peças expostas, suas dimensões ultrapassam os valores de 0,2 mm em ambientes muito agressivos, 0,3 mm em ambientes moderados e agressivos e 0,5 mm em ambientes pouco agressivos.

Figura 6 – Medição com régua para determinação das anomalias quanto às aberturas



Fonte: AUTOR, 2022.

O aparecimento desse tipo de manifestação patológica no concreto armado é consequência da sua baixa resistência à tração, sendo um fenômeno que ocorre de maneira natural. Além disso, podem ocorrer devido à retração e movimentação térmica, pelos processos de contração e dilatação do concreto. A retração é caracterizada pela diminuição do volume de pastas de cimento, argamassas e concreto devido à perda de água. Para diminuir a ocorrência desse fenômeno, deve-se realizar a cura eficaz nos primeiros dias do concreto e utilizar armadura de pele (barras de aço próximas a parte externa do concreto) (BASTOS, 2019).

A contração é um processo de variação térmica negativa que provoca esforços de tração, já a dilatação é caracterizada por uma variação térmica positiva que provoca esforços de compressão (SOARES, 2015). Para evitar as movimentações térmicas, pode-se utilizar isolante térmico em lajes de concreto, tintas de cores claras em paredes externas e juntas elásticas de movimentação em paredes, apoios, coberturas e lajes (SILVA, 2002).

Outro fator responsável pelo aparecimento de fissuras no concreto é a corrosão. Esse fenômeno provoca a diminuição da seção da armadura devido aos produtos da corrosão ocuparem um espaço maior que o aço de origem (RIBEIRO, 2014). Pellizzer (2015) reforça essa definição, afirmando que as fissuras ocasionadas pelas tensões de expansão da armadura de aço ocorrem em sentido paralelo ao posicionamento das barras, aumentando com a evolução da corrosão. Quando uma estrutura está em contato com regiões contendo cloretos, as partes com incidência de fissuras servem de rota para que os cloretos iniciem o processo de corrosão. Além disso, o aumento nas dimensões dessas fissuras é responsável por elevar a taxa de corrosão das armaduras no concreto (FIGUEIREDO, 2005).

As fissuras possuem um papel fundamental na difusão de substâncias agressivas que atacam o concreto. Para Nepomuceno (2005), a penetração geralmente é feita através de seus poros, com destaque para a água associada a íons cloretos, sulfatos, dióxido de carbono (CO_2) e Oxigênio (O_2). Dessa forma, a presença dessas manifestações patológicas facilita a entrada desses agentes agressivos através do concreto por permitir um contato direto com o meio externo. Neville (2015) amplia esse conceito ao dizer que a penetração e movimentação dos desses agentes no concreto é dada pelas características físico-químicas da pasta de cimento e agregados, além da concentração de substâncias agressivas na superfície do concreto e pelo ambiente agressivo em que o meio está inserido.

2.7. Corrosão das armaduras

A corrosão das armaduras é uma das mais graves manifestações patológicas e é o principal mecanismo responsável pela deterioração das estruturas de concreto armado (AITCIN, 2000). Ela ocorre pelo aumento em até oito vezes da área afetada pelo aço que sofreu corrosão, de modo que o concreto não resiste às tensões e sofre trincas e fissuras. Além disso, a manutenção inadequada, a presença de ambientes e agentes agressivos, junto à proteção insuficiente da armadura, aceleram de forma bastante acentuada o processo de corrosão.

A proteção que o concreto fornece às armaduras dá-se através de processos físico-químicos. A proteção física é dada pela camada de cobrimento que envolve e protege o concreto, impedindo o contato com o ambiente externo. A qualidade e espessura dessa camada

são determinantes para limitar a corrosão das armaduras de aço. Já a proteção química ocorre pela formação da camada de passivação composta pela pasta de cimento que protege a armadura devido à sua alta alcalinidade (NEVILLE, 2015).

O ataque de agentes agressivos ao concreto, como os cloretos e o dióxido de carbono, são os principais responsáveis pelo início do processo de corrosão. A entrada de íons cloretos acarretará na corrosão em pontos específicos da armadura, a chamada corrosão por pites ou puntiforme, sendo bastante danoso pois pode causar perda de desempenho estrutural e a ruptura da armadura. Já o dióxido de carbono é responsável por uma corrosão generalizada ao longo de toda a armadura, provocando danos menos graves (FIGUEIREDO; MEIRA, 2013).

O gás carbônico presente na atmosfera ao entrar em contato com o concreto reduz o pH (entre 14 e 12) para um valor abaixo de 9, diminuindo a alcalinidade do concreto que protege a camada passivadora da armadura (figura 7). Com o processo de carbonatação, essa redução do pH causa uma quebra dessa camada passivadora que recobre a armadura. Com a despassivação da armadura, o aço fica mais exposto e pode sofrer o processo de corrosão. Além disso, a carbonatação pode ser relacionada ao modo de lançamento, adensamento e cura do concreto, mas após a despassivação da armadura, a corrosão só irá ocorrer caso existam fatores que estimulem esse fenômeno. São exemplos a presença de água suficiente nos poros do concreto e o oxigênio para as reações de corrosão (CARMONA, 2005).

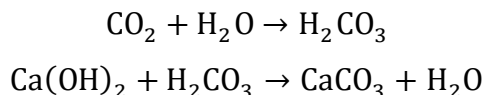
Figura 7 – Armadura protegida com camada passivadora (à esquerda) e despassivação da camada protetora (à direita)



Fonte: TULA, 2000.

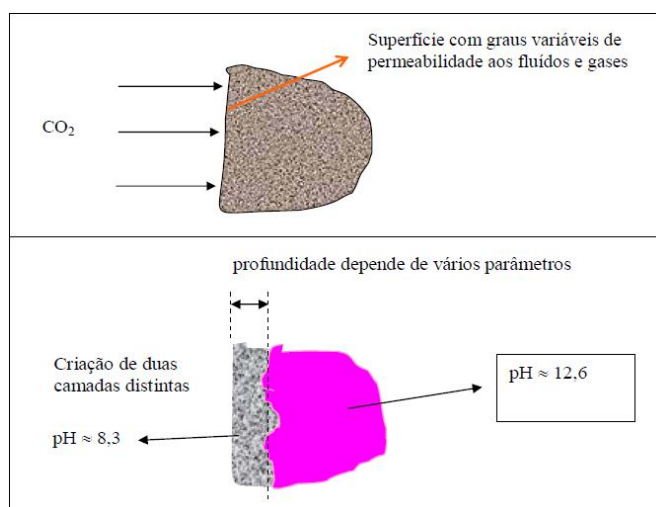
O fenômeno da carbonatação é um processo entre a pasta de cimento e o gás carbônico (CO₂) presente na atmosfera que ocorre pela presença de água (H₂O) e hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) nos poros do concreto. A água (H₂O) nos poros do concreto reage com o gás carbônico (CO₂) do meio ambiente formando o ácido carbônico (H₂CO₃). O ácido carbônico

(H_2CO_3) reage com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), gerando como produto a precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3), que reduz o pH do concreto.



Para a identificação de carbonatação do concreto (figura 8) é realizado o ensaio de carbonatação com fenolftaleína, um composto orgânico utilizado para detectar se uma substância é ácida ou básica. A aspersão da solução de fenolftaleína no concreto pode resultar em duas situações: caso a estrutura não apresente alteração em sua coloração, ela encontra-se carbonatada, caracterizada pelo contato do concreto com o dióxido de carbono da atmosfera e consequente redução do pH. Entretanto, caso haja alteração em sua coloração adquirindo tons rosáceos, o processo de carbonatação não ocorreu e a resistência do concreto não foi alterada (ANDRADE; SILVA, 2008).

Figura 8 – Esquema de ação de carbonatação



Fonte – LIBÓRIO, 1998.

Os cloretos podem ser adicionados ao concreto através de impurezas em seus constituintes, aditivos aceleradores de pega ou em contato com ambientes agressivos como o marinho (através da água salgada e maresia) e o industrial (FIGUEIREDO, 2005). Quando o cloreto se apresenta livre em sua forma iônica, eles se combinam com os íons de ferro formando o cloreto de ferro, que sofre hidrólise e libera mais íons cloretos e íons de hidrogênio que vão diminuir o pH do concreto e gerar um potencial negativo no ânodo e positivo no cátodo (figura

9) (MEIRA, 2017). As reações que ocasionam corrosão por íons cloretos são dadas de maneira simplificada:

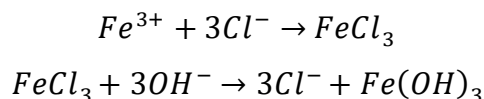
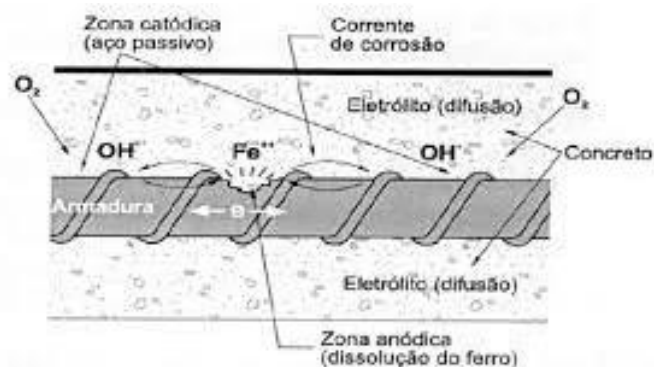


Figura 9 – Corrosão por pites ocasionada pela presença de cloretos



Fonte: CUNHA; HELENE, 2001.

A corrosão também é responsável pelo aparecimento de fissuras no concreto. Em alguns pontos ocorre a expansão da armadura devido à deposição dos produtos da corrosão, em outros há a perda de seção devido à dissolução do ferro (RIBEIRO, 2014). Pellizzer (2015) reforça essa definição, afirmando que as fissuras ocasionadas pelas tensões de expansão da armadura de aço ocorrem em sentido paralelo ao posicionamento das barras, aumentando com a evolução da corrosão. Quando uma estrutura está em contato com regiões contendo cloretos, as partes com incidência de fissuras servem de rota para que os cloretos iniciem o processo de corrosão. Além disso, o aumento nas dimensões dessas fissuras é responsável por elevar a taxa de corrosão das armaduras no concreto (FIGUEIREDO, 2005).

2.8. Recuperação, reparo e reforço em estruturas de concreto

A necessidade de segurança em uma estrutura é dada pelas condições de uso em que ela se encontra. Surge, assim, o conceito de vida útil da edificação, tido como o desgaste dos materiais que a compõem, que ao longo do tempo, perdem parte das propriedades de desempenho. Esse processo é dado de maneira natural, porém pode ser acelerado por outros fatores (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

Dessa forma, surgem meios para solucionar a deterioração e conferir as propriedades desejadas de utilização da edificação. A recuperação busca reestabelecer as condições de uso e

segurança, o reparo realiza alterações em áreas localizadas e o reforço visa ganho de resistência às estruturas de concreto. Elas são responsáveis pela remoção de agentes agressivos, como os cloretos, substituição de elementos degradados, reconstrução do cobrimento das armaduras, aplicação de produtos restauradores, entre outros fatores (COUTO, 2016).

O preparo e a limpeza no pré-tratamento da superfície dos componentes estruturais são responsáveis por mais de 50% do sucesso de uma recuperação ou reforço. Os principais produtos utilizados para recuperações, reparos e reforços são o concreto de cimento Portland, aditivos, argamassas, grautes, tintas, vernizes, selantes, adesivos. O concreto e a argamassa, quando bem projetados e executados, são passíveis apenas de envelhecimento natural. Além disso, os polímeros têm função fundamental na união de concreto com idades diferentes e entre o aço e o concreto (SOUZA; RIPPER, 2009).

Para a corrosão de armaduras, deve-se identificar e eliminar a causa do defeito antes de reparar o concreto. No caso de agentes agressivos, a lavagem faz-se necessária para remover a presença de elementos prejudiciais ao concreto e armadura. O reparo deve ser realizado com materiais que tenham características compatíveis com as do projeto original. Uma aplicação e cura bem executadas garantirão a qualidade do reparo e eficácia no desempenho da estrutura (SALIBA, 2008).

A carbonatação também é responsável por ocasionar a corrosão das armaduras. O concreto carbonatado deve ter a alcalinidade reestabelecida com a elevação do pH, não sendo necessária a remoção do concreto já carbonatado. Segundo Araújo (2009), existem três métodos de realcalinização do concreto:

- Difusão e absorção: É feita através de uma solução alcalina por meio de ação capilar e de forças hidráulicas;
- Corrente elétrica: Utiliza-se uma corrente elétrica para produzir íons pela reação catódica na superfície das armaduras;
- Fluxo eletro-osmótico: A solução alcalina é transportada ao interior dos poros capilares do concreto.

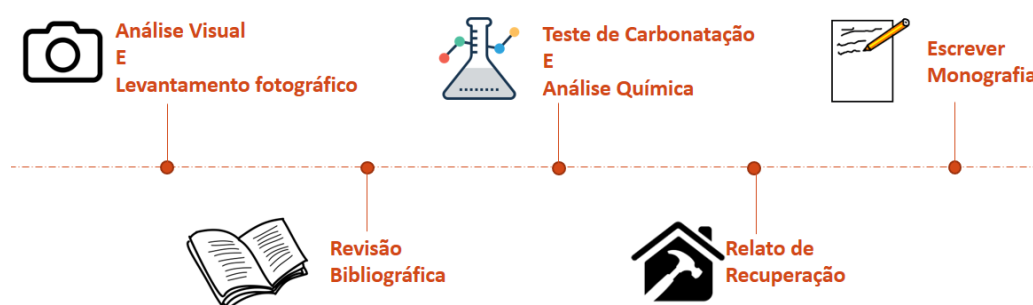
Para reparos ou reforços em lesões ocasionadas pela corrosão por cloretos, deve-se remover o concreto em pelo menos 2,5 centímetros ao redor das barras, limpar os produtos que ocasionam a corrosão e realizar o hidrojateamento em toda a superfície da armadura. Antes de aplicar o produto reparador (graute, cimento, epóxi ou poliéster), deve-se aplicar o primer na superfície da armadura e secar por 30 minutos. A seguir aplica-se epóxi na superfície do concreto para fornecer proteção e aderência em relação ao concreto contaminado. Por fim, a argamassa deve respeitar a espessura para o material adotado na recuperação (HELENE, 1992).

Ainda segundo Helene (1992), o reforço para estruturas que contenham fissuras inicia-se com a lavagem utilizando água sob pressão, secando com ar comprimido e selando com poliéster. Em seguida é injetado o epóxi e vedam-se as fissuras. Por fim, após 24 horas, o excesso de epóxi é retirado e o acabamento é dado com argamassa polimérica.

3. METODOLOGIA

Para a realização do referente trabalho de conclusão de curso, seguiu-se a sequência detalhada no fluxograma (figura 10). Foi realizada inicialmente uma análise visual e um levantamento fotográfico para identificação das principais manifestações patológicas presentes nos pilares de concreto armado das edificações estudadas. A revisão bibliográfica utilizou o conceito de autores renomados para dar embasamento ao referido tema, destacando as intervenções necessárias para identificar e tratar as manifestações patológicas presentes. O estudo de caso foi procedido com a análise das amostras retiradas para teste de carbonatação e análise química com o intuito de descobrir os agentes agressivos às estruturas de concreto. Dessa forma, utilizaram-se algumas normas para realizar esses procedimentos (quadro 3) e após identificados os responsáveis pela deterioração dos pilares de concreto, acompanhou-se a execução da intervenção necessária nas estruturas, que foi detalhada no relato de recuperação (Apêndice).

Figura 10 – Fluxograma da metodologia utilizada na monografia



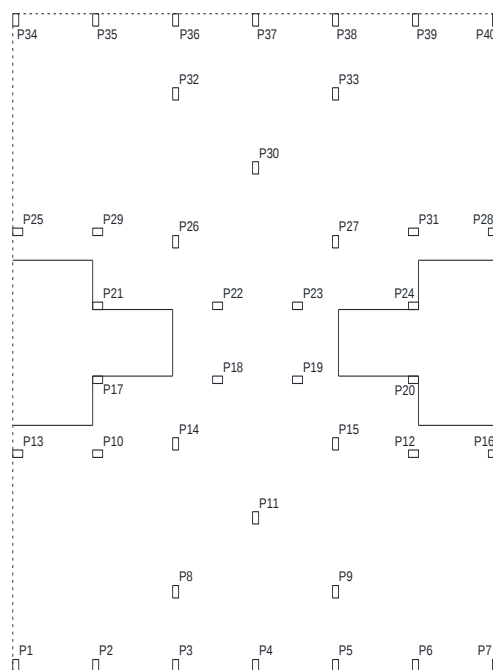
Fonte: AUTOR, 2022.

Quadro 3 – Normas utilizadas para a realização dos ensaios nas amostras de concreto analisadas

Norma	Finalidade
DIN EM 14630 (2007)	Realizar o teste de carbonatação utilizando como solução indicadora a fenolftaleína
NBR 9917 (2009)	Preparar as amostras de concreto para a análise química de cloretos e amônio
APHA (2017)	Realizar a análise química para a constatação de cloretos e amônio nas amostras analisadas

Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 12 – Planta de locação dos pilares representativa de um bloco



Fonte: Autor (dados fornecidos pelo construtor), 2022.

3.2.Procedimento para a retirada das amostras em concreto

A escolha dos pilares para a retirada de amostras deu-se pela observação das manifestações patológicas presentes, inicialmente por meio de análise visual e logo em seguida por teste de percussão. O ensaio, de caráter não destrutivo, consiste na realização de impactos leves afim de identificar sons cavos. Esses sons caracterizam deficiências na aderência do revestimento da argamassa com o revestimento da base ocasionados pelo descolamento, conforme a NBR 13749 (ABNT, 2013).

Nesse contexto, os pilares com incidência das manifestações patológicas foram marcados em vermelho na planta de locação do referente bloco (figuras 14, 15, 16 e 17). Circulados em azul encontram-se os pilares que tiveram amostras recolhidas para realização de testes de carbonatação (quadro 5) e em amarelo os que sofreram análise química em laboratório para identificação de cloretos e amônio (quadro 4).

Quadro 4 – Amostras de concreto para análise química

Bloco	Pilar
2	13
3	38
4	6
5	35

Fonte: AUTOR, 2022.

Quadro 5 – Amostras de concreto para ensaio de carbonatação

Bloco	Pilar
2	9
2	16
3	3
4	31
5	20
5	28

Fonte: AUTOR, 2022.

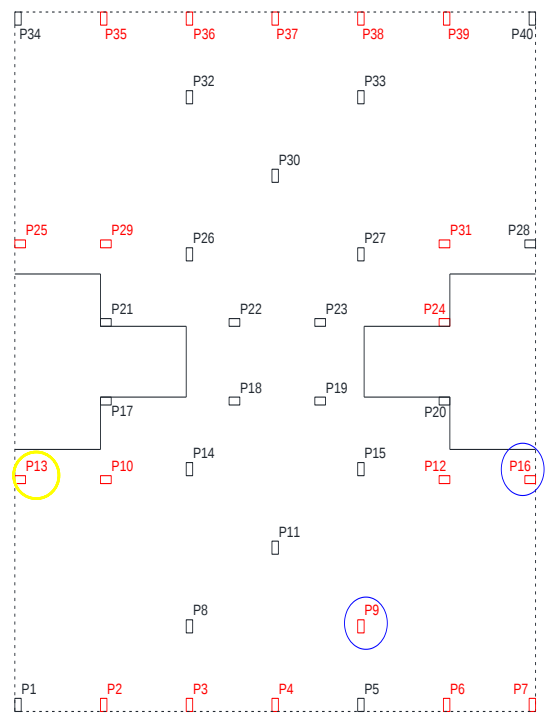
Através da análise do bloco 2, observou-se que dos quarenta pilares presentes na edificação, dezenove apresentavam sinais de deterioração (figura 13). Dessa forma, optou-se pela retirada de amostras dos pilares 9 e 16 (figura 14) para realização dos testes descritos. O bloco 3 (figura 15) possuiu alteração em treze pilares, com retirada de amostras do pilar 3. Já o bloco 4 (figura 16), teve danos em cinco pilares, onde analisou-se o pilar 31. Por fim, o bloco 5 (figura 17) que apresentou manifestações em seis pilares, teve os pilares 20 e 28 quebrados para a aplicação dos ensaios.

Figura 13 – Análise visual dos pilares de concreto com sinais de deterioração



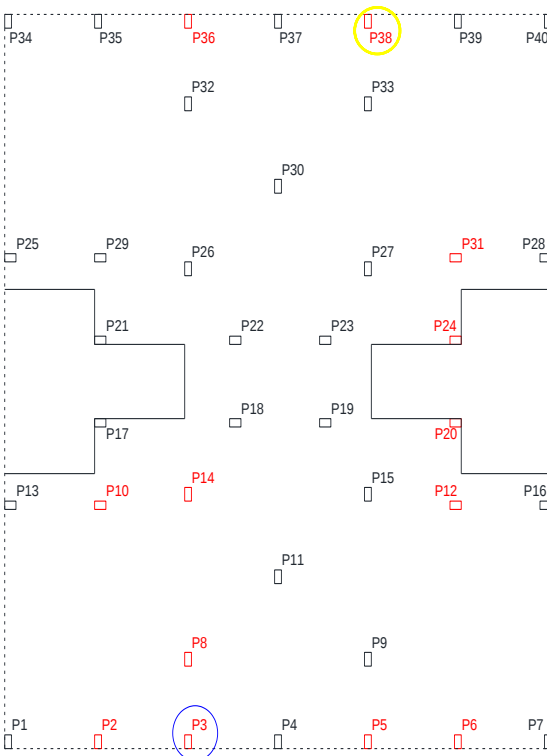
Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 14 – Planta de locação dos pilares com incidência de manifestações patológicas do bloco 2



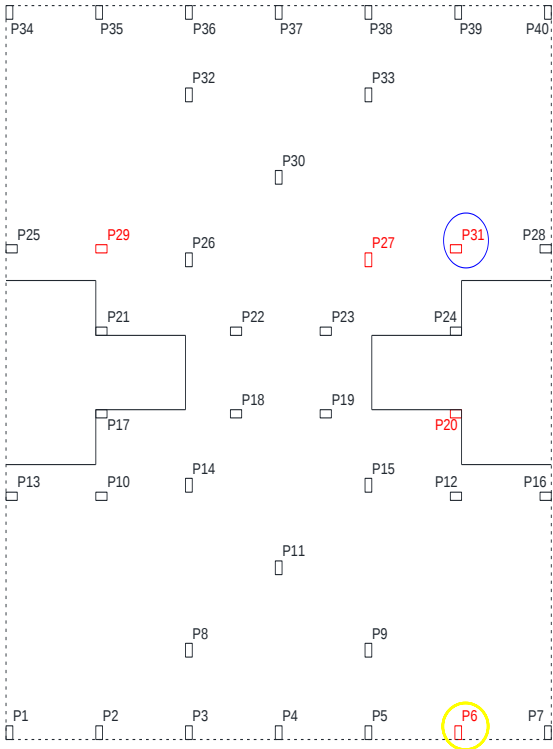
Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 15 – Planta de locação dos pilares com incidência de manifestações patológicas do bloco 3



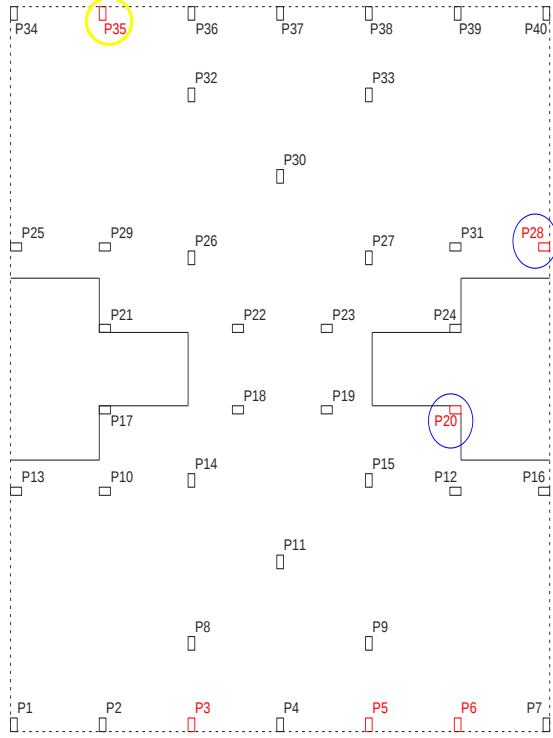
Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 16 – Planta de locação dos pilares com incidência de manifestações patológicas do bloco 4



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 17 – Planta de locação dos pilares com incidência de manifestações patológicas do bloco 5



Fonte: AUTOR, 2022.

A escora dos pilares (figura 18) foi realizada antecedendo a retirada das amostras de concreto. O sistema de escoramento absorve parte da carga distribuída aos pilares, que ao sofrerem perturbação, podem perder ou não atingir o desempenho esperado e comprometer a segurança da estrutura.

Para a realização do escoramento, são necessários cuidados na montagem e retirada dos escoramentos, seguindo os critérios apresentados na NBR 15696 (ABNT, 2009). Segundo a norma, a montagem deve ser feita sobre hastes reguláveis ou dispositivos semelhantes de fácil remoção dos escoramentos e sem causar impactos, sobrecargas ou danos à estrutura. Deve-se evitar recalques causados na base do apoio ou no solo provenientes da transmissão de cargas por meio do escoramento em pisos de concreto.

Por fim, a NBR 15696 (ABNT, 2009) prevê que a retirada do escoramento só pode ser realizada mediante a certeza de que os elementos estruturais apresentam resistência suficiente para suportar as ações de cargas a que estarão sujeitas. Além disso, a retirada do escoramento deve ser realizada após um período de 14 dias, sem choques e com a aplicação de esforços na estrutura de maneira lenta e gradual, a depender das características de resistência e deformação do concreto.

Figura 18 – Escora dos pilares



Fonte: AUTOR, 2022.

Para a retirada de amostras de concreto, realizou-se a quebra dos pilares utilizando a furadeira martelete (figura 19). Com a realização do escoramento de maneira adequada e segura, a estrutura de concreto foi rompida até o contato com as armaduras de aço. As amostras foram coletadas para a utilização em dois ensaios distintos: o ensaio de carbonatação e a análise química.

Figura 19 – Quebra dos pilares com furadeira martetele



Fonte: AUTOR, 2022.

3.3. Ensaio de carbonatação

O ensaio em questão foi realizado nas amostras de concreto (quadro 5) para determinação da ocorrência de carbonatação, seguindo as recomendações da norma DIN EM 14630 (2007). Conforme descrito na norma, deve-se utilizar, respectivamente, uma solução de fenolftaleína, álcool e água na proporção 1:50:50 que quando aspergida no concreto pode tornar-se incolor ou rosácea.

A quebra do concreto foi feita com o auxílio da furadeira martetele (figura 18) e as amostras obtidas foram colocadas em sacos, a fim de evitar o contato com o ar, antes de ser realizada a aspersão com fenolftaleína.

3.4. Análise química da incidência de cloreto de amônio (NH_4Cl)

A realização da análise química para constatação de cloreto de amônio é dada pela percepção da presença de urina de animais domésticos em diversos pilares (figura 20). Essa excreção apresenta em sua constituição o cloreto, bastante prejudicial ao concreto e à armadura no processo de corrosão.

Figura 20 – Pilares com incidência de urina



Fonte: AUTOR, 2022.

3.4.1. Preparo da amostra

A análise química realizada seguiu os parâmetros descritos na NBR 9917 (ABNT, 2009), referente à determinação de sais, cloretos e sulfatos em agregados para concreto. Utilizando as amostras retiradas dos pilares de concreto (quadro 4), deve-se separar parte delas para realizar trituração (figura 21). O processo consiste em reduzir as dimensões do concreto através da quebra no almofariz, secar a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e em seguida passar o material pulverizado na peneira de 2,38 mm.

Figura 21 – Trituração das amostras de concreto utilizando almofariz e pistilo



Fonte: AUTOR, 2022.

3.4.2. Procedimento

Após a trituração das amostras, deve-se preparar uma solução para determinar-se a presença de agentes químicos, em especial os cloretos e o amônio. Para isso, são pesados pouco mais de 10 gramas desse material, procedendo-se em seguida a secagem no forno a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ para eliminação da umidade e resfriamento em dessecador, até atingir massa constante de 10 gramas. O próximo passo é adicionar 50 mL de água à amostra resultante da etapa anterior e realizar a agitação de maneira manual por aproximadamente 10 minutos, em um balão volumétrico de 250 ml com papel filtro. A solução deve sofrer filtração (figura 22) e ter seu volume completado.

Figura 22 – Filtração do concreto pulverizado



Fonte: AUTOR, 2022.

3.5. Cloretos Totais - Método de Mohr (Argentométrico)

3.5.1. Conceitos fundamentais

A determinação do ânion cloreto (Cl^-) pode ser realizada através de métodos volumétricos, gravimétricos, potenciométricos ou colorimétricos. O método de Mohr é um método volumétrico que é caracterizado pela determinação direta do íon cloreto por meio da titulação da amostra com o nitrato de prata (AgNO_3) e utilizando como indicador o cromato de potássio (K_2CrO_4) (APHA, 2017).

A reação é dada entre o cátion Ag^+ e o ânion Cl^- e forma um sólido branco insolúvel em água, o cloreto de prata (AgCl). A titulação é feita até a formação do precipitado marrom-avermelhado, que ocorre quando todos os íons Ag^+ se depositam sob a forma de AgCl .

Os materiais utilizados para a realização do ensaio foram determinados abaixo:

- Aparato de filtração a vácuo com membrana filtrante de 1,2 μm de poro;
- Agitador magnético e barra magnética;
- Almofariz e pistilo;
- Balança analítica (precisão $\pm 0,0001$ g);
- Balão volumétrico de 1000 mL;
- Bureta de vidro de 50 mL;
- Erlenmeyer de 250 mL;
- Espátula dosadora;
- Estufas a 60°C e 103-105°C;
- Nitrato de Prata – AgNO_3 P.A;
- Cromato de Potássio – K_2CrO_4 P.A;
- Cloreto de sódio – NaCl P.A;
- Peróxido de Hidrogênio – H_2O_2 30% P.A;
- Ácido Sulfúrico concentrado – H_2SO_4 P.A;
- Hidróxido de Sódio – NaOH P.A;
- Suspensão de Hidróxido de Alumínio;
- Indicador Fenolftaleína.

3.5.2. Preparo das soluções

A realização do experimento e o preparo das soluções para detecção de cloretos por meio do método de Mohr foram feitas no LSA (Laboratório de Saneamento Ambiental) da Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões.

- Solução Padrão de Nitrato de Prata 0,0141 N:

Deve-se utilizar almofariz e pistilo para triturar 5 gramas de nitrato de prata (AgNO_3), secar em estufa a temperatura de 60°C por cerca de 24 horas e resfriar em dessecador imediatamente antes do uso. O nitrato de prata, devidamente seco e pesado em 2,395 gramas em balança analítica, é transferido para o balão volumétrico de 1000 mL com água ultrapura. A seguir, agita-se o balão para dissolver o reagente e completa-se o volume novamente com água ultrapura. Por fim, armazena-se a solução em local sem contato com a luz.

- Solução Padrão de Cloreto de Sódio 0,0141 N:

Para a obtenção da solução de cloreto de sódio pesa-se 0,824 gramas do sal, previamente seco a 105°C, e resfriado no dessecador. Em seguida, a solução é dissolvida com água ultrapura em balão volumétrico até uma concentração de cloreto de 500 mg/L.

- Solução Indicadora de Cromato de Potássio (5%):

A solução é obtida através da dissolução de 50 gramas de cromato de Potássio (K_2CrO_4) em 100 mL de água ultrapura, misturada por agitador magnético e dosada a quantidade de nitrato de prata até formação de precipitado marrom-avermelhado. A solução é deixada em descanso ao abrigo da luz por 12 horas e é filtrada em membrana de 1,2 μm para remover o precipitado. Por fim, utiliza-se o balão volumétrico para diluir 1000 mL de água ultrapura e armazena-se em recipiente ao abrigo da luz.

- Solução de Ácido Sulfúrico 1 N:

A solução é preparada cuidadosamente na capela, com o auxílio de proveta de vidro graduada para adição de 107 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) a 800 mL de água ultrapura. Após esfriar, a solução é transferida para o balão volumétrico de 1000 mL e tem seu volume completado com água ultrapura.

- Solução de Hidróxido de Sódio 1 N

Na capela, sob exaustão, o hidróxido de sódio deve ter 40 gramas cuidadosamente dissolvidos em 500 mL de água ultrapura. Após o esfriamento, transfere-se a solução para balão volumétrico de 1000 mL e completa-se o volume.

3.5.3. Padronização da Solução de Nitrato de Prata

A solução de cloreto de sódio 0,0141 N tem 10 mL transferidos para o erlenmeyer de 250 mL e tem seu volume completado em 90 mL com água ultrapura. A solução deve ter pH ajustado com indicador de fenolftaleína para um valor entre 7,0 e 10,0. É adicionado 1 mL de solução indicadora de cromato de potássio e realiza-se a homogeneização. A titulação ocorre com o nitrato de prata até a formação do precipitado marrom-avermelhado. Por fim, calcula-se a quantidade de nitrato de prata através da equação:

$$N_{AgNO_3} = \frac{V_{NaCl} \times N_{NaCl}}{V_{AgNO_3}}$$

Onde:

VNaCl = Volume de cloreto de sódio da solução padrão (mL)

NNaCl = Normalidade de cloreto de sódio da solução padrão (N)

VAgNO₃ = Volume de nitrato de prata utilizado na titulação (mL)

NAgNO₃ = Normalidade corrigida da solução de nitrato de prata (N)

3.5.4. Procedimento para a Preparação da Amostra

O preparo da amostra para a suspensão de hidróxido de alumínio utiliza apenas água ultrapura, repetidamente até não se observar a presença de íons cloreto no sobrenadante. O sobrenadante deve estar em um recipiente diferente para a adição de algumas gotas de nitrato de prata, que em caso de reação significa que ainda existem cloretos na mistura.

3.5.5. Determinação da concentração de cloretos

Para obter-se a concentração de cloretos transfere-se 100 mL da amostra filtrada com concentração de 0,25 a 0,20 miligramas de íons cloreto para um erlenmeyer de 250 mL e completa-se com água ultrafiltrada para obter 50 mL. A solução é homogeneizada com algumas gotas do indicador de fenolftaleína, adiciona-se 1 mL de cromato de potássio 5% e faz-se a mistura. A bureta é utilizada para a titulação de nitrato de prata até a formação do precipitado marrom-avermelhado (figura 23). Por fim, calcula-se a concentração de cloretos seguindo a equação abaixo:

$$mg \frac{Cl^-}{L} = \frac{V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3}}{V_{AMOSTRA}} \times 35450$$

Onde:

VAgNO₃ = Volume de nitrato de prata utilizado (mL)

NAgNO₃ = Normalidade de nitrato de prata (N)

VAMOSTRA = Volume inicial da amostra utilizada

Figura 23 – Formação de precipitado marrom-avermelhado após a titulação com nitrato de prata



Fonte: AUTOR, 2022.

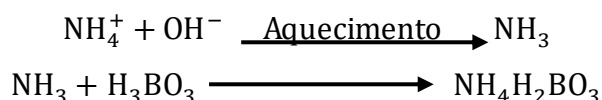
3.5.6. Determinação do Branco

Para uma maior precisão nos resultados, titula-se 100 mL de água livre de cloretos e desconta-se o volume da titulação do branco do volume de nitrato de prata utilizado na titulação das amostras. A equação é dada abaixo:

$$mg \frac{Cl^-}{L} = \frac{(V_{AgNO_3} - V_{BRANCO}) \times N_{AgNO_3}}{V_{AMOSTRA}} \times 35450$$

3.6. Nitrogênio Amoniacal

A utilização desse método seguiu os parâmetros descritos na Standard Methods of Water and Wastewater e tem como intuito levar o íon amônio a gás amoníaco através da destilação, fixando-o em solução de ácido bórico e formando um sal (APHA, 2017). A realização do experimento e o preparo das soluções para detecção de amônio foram feitas no LSA (Laboratório de Saneamento Ambiental) da Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões.



A formação do sal é precedida com a titulação com ácido sulfúrico para a recuperação do ácido bórico e formação de sulfato de amônia.



Para calcular a quantidade de íon amônio presente na solução é utiliza o cálculo do consumo de ácido gasto na titulação.

Os materiais e reagentes utilizados para a realização do ensaio foram determinados abaixo:

Materiais:

- Destilador de nitrogênio;
- Peagâmetro;
- Bureta;
- Erlenmeyer de 250 mL;
- Provetas de 100 mL;

- Papel absorvente;
- Pisseta com água destilada.

Reagentes:

- Solução padrão de ácido sulfúrico;
- Solução indicadora de fenolftaleína;
- Solução de hidróxido de sódio;
- Solução de ácido bórico a 2% + solução indicadora mista para nitrogênio amoniacal ($\text{N} - \text{NH}_4^+$).

3.6.1. Procedimento Experimental

Com uma proveta, mede-se 100 mL de água destilada e 100 mL da amostra, verificando-se o pH de ambos. O pH é corrigido com hidróxido de sódio e tem sua verificação feita pela solução indicadora de fenolftaleína. A seguir, coloca-se 100 mL de água destilada no tubo do destilador e realiza-se a destilação da amostra (figura 24). Após esse processo, coloca-se o produto num erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL da solução de ácido bórico a 2% contendo indicar para identificar a presença de nitrogênio amoniacal. Por fim, recolhe-se 100 mL de destilado e titula-se com a solução de ácido sulfúrico (figura 25) até observar-se uma coloração rosa (figura 26).

Figura 24 – Destilação da solução através do destilador de nitrogênio



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 25 – Titulação com ácido sulfúrico para identificação de nitrato de amônio



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 26 – Solução incolor antes da titulação (à esquerda) e solução rosácea após a titulação (à direita)



Fonte: AUTOR, 2022.

Cálculos:

$$N - NH_4^+ \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(V_{H_2SO_4 \text{ Amostra}} - V_{H_2SO_4 \text{ Branco}}) N_{H_2SO_4} \times 14000}{V_{\text{Amostra}}}$$

Onde:

$V_{H_2SO_4 \text{ Amostra}}$ = Volume da solução de ácido sulfúrico consumido na titulação da amostra em mL;

$V_{H_2SO_4 \text{ Branco}}$ = Volume da solução de ácido sulfúrico consumido na titulação da água destilada (branco) em mL;

NH_2SO_4 = Normalidade de ácido sulfúrico utilizada;

$V_{Amostra}$ = Volume da amostra em mL.

3.6.2. Preparo da Solução

Para a solução indicadora de ácido bórico, são dissolvidos 40 gramas de ácido bórico (H_3BO_3) em 500 mL de água destilada com o auxílio de um balão volumétrico de 2000 mL. A seguir, 20 mL da solução indicadora mista são adicionados e completados com água até a afeição do balão volumétrico de 2000 mL.

A solução indicadora mista é preparada com a dissolução de 0,2 gramas do indicador vermelho de metila em 100 mL de álcool etílico (95%) e 0,1 gramas do indicador azul de metileno em 50 mL de álcool etílico (95%), que ao final do processo são misturadas para a formação de uma única solução.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Carbonatação do concreto

Para as seis amostras aspergidas com solução de fenolftaleína (quadro 6), foi observado que em três delas (figuras 28, 29 e 30) a profundidade de carbonatação pode ser determinada, entretanto para as demais (figuras 27, 31 e 32) o concreto não apresentou mudança em sua coloração, constatando-se o processo em toda a amostra retirada.

Quadro 6 – Profundidade de carbonatação

Número	Amostra	Profundidade de carbonatação
1	Bloco 2 – Pilar 9	Todo carbonatado
2	Bloco 2 – Pilar 16	1,5 centímetros
3	Bloco 3 – Pilar 3	2 centímetros
4	Bloco 4 – Pilar 31	3 centímetros
5	Bloco 5 – Pilar 20	Todo carbonatado
6	Bloco 5 – Pilar 28	Todo carbonatado

Fonte: AUTOR, 2022.

No concreto do pilar 9 (figura 27) é possível observar que não ocorreu alteração na tonalidade do concreto, constatando-se a carbonatação. Além disso, na parte superior da amostra nota-se a corrosão no local em contato com a armadura.

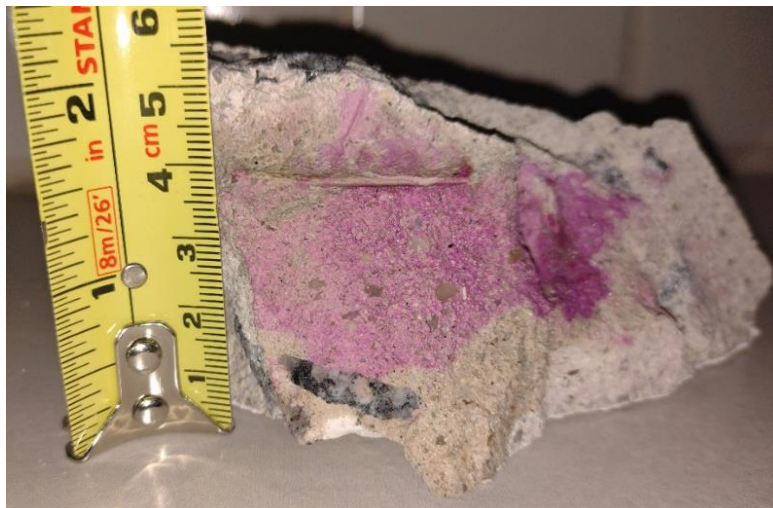
Figura 27 – Ensaio de carbonatação do pilar 9 do bloco 2



Fonte: AUTOR, 2022.

O concreto do pilar 16 (figura 28) ao sofrer aspersão de fenolftaleína teve mudança em sua coloração, a partir de uma determinada espessura. Dessa forma, mediu-se a profundidade de carbonatação com uma trena e foi anotada uma distância de 1,5 centímetros.

Figura 28 – Ensaio de carbonatação do pilar 16 do bloco 2



Fonte: AUTOR, 2022.

A análise visual do pilar 3 tornou possível constatar a frente de carbonatação do concreto como 2,0 cm. Em comparação com a amostra acima, é possível observar que houve uma pequena diferença de 0,5 cm na espessura de carbonatação e em ambas, a região carbonatada é irregular. Além disso, por terem espessura de carbonatação muito próxima, o concreto do pilar 3 (figura 29) deverá levar um tempo similar ao do concreto do pilar 16 para sofrer carbonatação (figura 28).

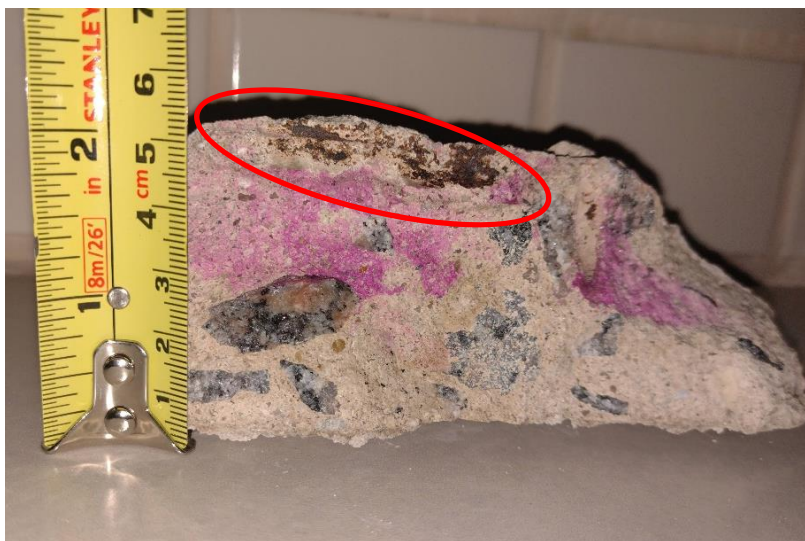
Figura 29 – Ensaio de carbonatação do pilar 3 do bloco 3



Fonte: AUTOR, 2022.

Na amostra do pilar 31 (figura 30), ocorre a mudança de coloração do concreto ao ser aspergido com fenolftaleína, não apresentando sinais de carbonatação. A espessura de carbonatação é de 3,0 cm e possui área com indícios de corrosão em sua parte superior. Essa corrosão pode ser relacionada a presença de íons cloreto que entraram em contato com a armadura do concreto.

Figura 30 – Ensaio de carbonatação do pilar 31 do bloco 4



Fonte: AUTOR, 2022.

Assim como o pilar 9 (figura 27), os pilares 20 (figura 31) e 28 (figura 32) apresentam-se totalmente carbonatados. Além disso, é possível observar a presença de ferrugem na parte superior das peças, referente a corrosão das armaduras.

Figura 31 – Ensaio de carbonatação do pilar 20 do bloco 5



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 32 – Ensaio de carbonatação do pilar 28 do bloco 5



Fonte: AUTOR, 2022.

Os resultados referentes às amostras medidas acima (quadro 6) permitem constatar que no bloco 5, embora existam poucos pilares com incidência de manifestações patológicas, as amostras retiradas apresentavam sinal de carbonatação total das peças. Já o bloco 2 foi a edificação que mais apresentou pilares com irregularidades (quase 50%), com uma das amostras retiradas também totalmente carbonatada e a outra com espessura de carbonatação de 1,5 cm. Por fim, os pilares do bloco 3 e bloco 4 apresentaram menores profundidades de carbonatação, o que pode indicar que estão menos expostos ao dióxido de carbono presente na atmosfera, principal agente causador da carbonatação, ou a outro agente agressivo, podendo indicar também, um concreto com menor porosidade.

Como forma de reduzir a carbonatação do concreto, pode-se aumentar o tempo de cura para diminuir sua porosidade e permeabilidade, visto que os poros do concreto são o meio de entrada de agentes agressivos, como o gás carbônico, principal causador da carbonatação.

4.2. Análise química para constatação da presença de cloretos

As quatro amostras retiradas para análise química (quadro 4) tiveram a concentração de cloretos medidas pelo método de Mohr e tiveram seus resultados expressos quanto a massa de cloretos constatada (quadro 7).

- Para a amostra 1 (Bloco 2 – Pilar 13):

$$mg \frac{Cl^-}{L} = \frac{(V_{AgNO3} - V_{BRANCO}) \times N_{AgNO3}}{V_{AMOSTRA}} \times 35450$$

$$mg \frac{Cl^-}{L} = \frac{(1,46 - 0,18) \times 0,0135}{47} \times 35450$$

$$mg \frac{Cl^{-}}{L} = 13,033 \text{ mg}$$

- Para a amostra 2 (Bloco 3 – Pilar 38):

$$mg \frac{Cl^{-}}{L} = \frac{(V_{AgNO3} - V_{BRANCO}) \times N_{AgNO3}}{V_{AMOSTRA}} \times 35450$$

$$mg \frac{Cl^{-}}{L} = \frac{(4,10 - 0,18) \times 0,0135}{50} \times 35450$$

$$mg \frac{Cl^{-}}{L} = 37,520 \text{ mg}$$

- Para a amostra 3 (Bloco 4 – Pilar 6):

$$mg \frac{Cl^{-}}{L} = \frac{(V_{AgNO3} - V_{BRANCO}) \times N_{AgNO3}}{V_{AMOSTRA}} \times 35450$$

$$mg \frac{Cl^{-}}{L} = \frac{(4,99 - 0,18) \times 0,0135}{50} \times 35450$$

$$mg \frac{Cl^{-}}{L} = 46,039 \text{ mg}$$

- Para a amostra 4 (Bloco 5 – Pilar 35):

$$mg \frac{Cl^{-}}{L} = \frac{(V_{AgNO3} - V_{BRANCO}) \times N_{AgNO3}}{V_{AMOSTRA}} \times 35450$$

$$mg \frac{Cl^{-}}{L} = \frac{(15,37 - 0,18) \times 0,0135}{50} \times 35450$$

$$mg \frac{Cl^{-}}{L} = 145,391 \text{ mg}$$

Quadro 7 – Constatação de cloretos nas amostras analisadas

Número	Amostra	Massa de cloretos (mg)
1	Bloco 2 – Pilar 13	13,033
2	Bloco 3 – Pilar 38	37,520
3	Bloco 4 – Pilar 6	46,039
4	Bloco 5 – Pilar 35	145,391

Fonte: AUTOR, 2022.

Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015), o concreto armado para ambientes não expostos à cloretos deve ter um teor máximo de 0,3 % dessa substância em relação à massa de cimento ou 0,05 a 0,1% em relação à massa de concreto. Para todas as quatro amostras utilizo-se uma massa de 10 gramas de concreto para filtração e titulação para identificação de cloretos. Sendo assim, considerando uma concentração máxima de 0,1% da massa de concreto, calcula-se o teor de cloretos da seguinte forma:

$$\%Cl^{-} = \frac{mCl^{-}}{mConcreto}$$

Onde:

$\%Cl^{-}$ = Teor de cloretos

mCl^{-} = Massa de cloretos (mg)

$mConcreto$ = Massa de concreto (mg)

Portanto,

- Para a amostra 1 (Bloco 2 – Pilar 13):

$$\%Cl^{-} = \frac{mCl^{-}}{mConcreto}$$

$$\%Cl^{-} = \frac{13,033}{10000}$$

$$\%Cl^{-} = \mathbf{0,130\% > 0,1\%}$$

- Para a amostra 2 (Bloco 3 – Pilar 38):

$$\%Cl^{-} = \frac{mCl^{-}}{mConcreto}$$

$$\%Cl^{-} = \frac{37,520}{10000}$$

$$\%Cl^{-} = \mathbf{0,375\% > 0,1\%}$$

- Para a amostra 3 (Bloco 4 – Pilar 6):

$$\%Cl^{-} = \frac{mCl^{-}}{mConcreto}$$

$$\%Cl^{-} = \frac{46,039}{10000}$$

$$\%Cl^{-} = 0,460\% > 0,1\%$$

- Para a amostra 4 (Bloco 5 – Pilar 35):

$$\%Cl^{-} = \frac{mCl^{-}}{mConcreto}$$

$$\%Cl^{-} = \frac{145,391}{10000}$$

$$\%Cl^{-} = 1,454\% > 0,1\%$$

Por fim, é possível observar que em todas as quatro amostras detectou-se a presença de íons cloretos no concreto, onde em todas elas o teor de cloretos (quadro 8) estava acima do valor máximo de 0,1% da massa de concreto permitido pela NBR 12655. Sendo assim, a constatação de corrosão como uma das manifestações patológicas mais observadas nesse estudo de caso pode ser justificada pela presença de cloretos em excesso no concreto próximo às armaduras, um dos principais agentes agressivos causadores da corrosão.

Quadro 8 – Teor de cloretos nas amostras analisadas

Número	Amostra	Teor de Cloretos (%)
1	Bloco 2 – Pilar 13	0,130
2	Bloco 3 – Pilar 38	0,375
3	Bloco 4 – Pilar 6	0,460
4	Bloco 5 – Pilar 35	1,454

Fonte: AUTOR, 2022.

A alternativa para reduzir a entrada de cloretos nas estruturas de concreto seria a verificação da camada de cobrimento para, em caso de necessidade, adotar uma camada mais adequada a depender do tipo de concreto e ambiente em que a edificação esteja localizada. Além disso, utilizar um concreto de qualidade superior e de baixa permeabilidade evita a entrada desses agentes agressivos. Por fim, outra opção é a pintura ou utilização de revestimentos de fundo anticorrosivo para proteger as barras de aço.

4.3. Análise química para constatação da presença de amônio

Para as quatro amostras em questão, não foi possível constatar a presença de amônio nas soluções analisadas (quadro 9). Ao realizar-se a titulação, as soluções reagiram nas primeiras gotas de ácido sulfúrico aspergidas e logo apresentaram mudança em sua coloração. A alteração da solução para um tom rosa de maneira precoce indica que não há presença relevante de amônio na solução, pois se houvesse maiores concentrações de amônio seria necessário utilizar uma quantidade significativa de ácido sulfúrico para neutralizar a solução.

Quadro 9 – Constatação de amônio nas amostras analisadas

Número	Amostra	Massa de amônio (mg)
1	Bloco 2 – Pilar 13	-
2	Bloco 3 – Pilar 38	-
3	Bloco 4 – Pilar 6	-
4	Bloco 5 – Pilar 35	-

Fonte: AUTOR, 2022.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação das manifestações patológicas é feita para determinar as intervenções necessárias à estrutura em questão. As medidas adotadas em sua recuperação são fundamentais para assegurar seu bom desempenho e a segurança dos usuários. Além disso, é imprescindível entender os agentes causadores das manifestações patológicas para que esses agressores sejam eliminados e as medidas tomadas tornem-se eficazes por um longo prazo. Sendo assim, sempre é necessário realizar uma manutenção preventiva, bem como fazer bom uso da edificação por parte dos usuários.

A análise dos pilares de concreto armado constatou a presença de manifestações patológicas como fissuras, deslocamento e corrosão pela ação de agentes agressivos (cloretos e dióxido de carbono). A recuperação removeu os revestimentos cerâmicos com deslocamento da argamassa, foi feita a quebra da base dos pilares de concreto com troca de estribos rompidos e pintura da armadura com material anticorrosivo e finalizou-se com o preenchimento dos pilares com graute.

Para a corrosão, estimava-se como composto causador a urina de animais domésticos, em especial o cloreto de amônio (NH_4Cl), substância presente na excreção da urina. Foram realizadas duas análises químicas para identificar esse composto, onde para o cloreto identificou-se a presença excessiva em todas as quatro amostras estudadas e para o amônio não se constatou a substância. Dessa forma, não foi possível comprovar que a corrosão era ocasionada pela excreção de urina de animais domésticos, onde o cloreto identificado pode ter origem de impurezas em seus constituintes, aditivos aceleradores de pega ou através do contato com gases da atmosfera oriundos do ambiente marinho que carregaram esse composto até o concreto. Entretanto, a urina pode ter sido o mecanismo responsável por aumentar a umidade dos pilares, servindo como veículo para a entrada dos agentes agressivos e depositando-se entre a argamassa e o substrato, ocasionando os problemas de perda de aderência nos revestimentos.

A carbonatação do concreto foi testada por aspersão de fenolftaleína, com constatação de exposição ao dióxido de carbono em três das seis amostras analisadas, sendo necessário realizar a realcalinização do concreto. Para a outra metade, foi possível medir a profundidade não carbonatada, comprovando que não houve carbonatação do concreto, caracterizada pela diminuição da alcalinidade do concreto pela presença de carbonato de cálcio (CaCO_3).

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros, pode-se realizar um estudo de caso nos pilares de concreto armado restantes, buscando-se a presença de outros agentes agressivos às estruturas de concreto e de manifestações patológicas não abordadas nessa monografia.

REFERÊNCIAS

- AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2000. 667p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH OF WATER AND WASTEWATER (APHA). **Standard method for the examination of water and wastewater**. 23^a ed. Washington: America Public Heath Association, Washington, D.C. 2017.
- ANDRADE, M. C., **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**, Ed. Pini, 1^a edição, São Paulo, 1992.
- ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Patologia das Estruturas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.
- ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Considerações sobre durabilidade, patologia e Manutenção das Estruturas**, Tecomat – Tecnologia da Construção e Materiais Ltda, 2008, Disponível em: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2012/04/considerac3a7c3b5es--sobredurabilidade-> Acesso em: 28/05/2022.
- ANTONIAZZI, J. P. **Patologia das construções: Metodologia para diagnóstico e estudo de caso em marquises**. 2008. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- ARAÚJO, F. W. C. **Estudo da repassivação da armadura em concretos carbonatados através da técnica de realcalinização química**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: **Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5737: **Cimentos Portland resistentes a sulfatos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Projeto de estruturas de concreto, procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7200: **Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto – Especialização**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9917: **Agregados para concreto – Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis**. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529: **Revestimento de paredes e argamassas inorgânicas – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13749: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: **Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – Parte 1: **Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577 – Parte 1: **Agregados – Reatividade álcali-agregado Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto**. Rio de Janeiro, 2013.

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

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado** – Notas de Aula. UNESP. Bauru, São Paulo, 2014.

BOMJARDIM, T.; FERNANDES, D. S. G. **A história do concreto armado no Brasil**. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/comunitexto/o-concreto-armado-no-brasil/>. Acesso em: 23/04/2022.

BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Cadernos de Engenharia de Estruturas. EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução de M. Celeste Marcondes, Beatriz Cannabrava. São Paulo: PINI, 1988.

CARMONA, A. F.; HELENE, P. R. L. **Fissuração das Peças de Concreto Armado e Corrosão das Armaduras**. Rio de Janeiro, ABRACO, 2005. p.172-95.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4. ed. São carlos: EDUFSCAR, 2014. 214 p.

CLÍMACO, J. C. T. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 2. ed Brasília: UNB, 2016. 410 p.

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

DE MILITO, J. A. **Técnicas de construção civil**. Apostila de anotações de aula da disciplina Técnicas de construções civis PUC Campinas, 2009. p. 228-243. Disponível em: <http://demilito.com.br/10-Patologia%20dos%20revest-rev.pdf> . Acesso em: 18/05/2022.

DIN - Deutsches Institut Fur Normung. (2007). DIN EN 14630: Products And Systems For The Protection And Repair Of Concrete, Structures – Test Methods – **Determination Of Carbonation Depth In Hardened Concrete By The Phenolphthalein Method**, English version, DIN. Berlin.

FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. R. **Corrosão das armaduras das estruturas de concreto**. Mérida, México: ALCONPAT Internacional, v. 6, mar 2013. 30p.

FIGUEIREDO, E. P. **Efeitos da Carbonatação e de Cloretos no Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Vol. 2. Cap. 27. São Paulo: IBRACON, p. 829-855, 2005.

FIORITI, C. F. **Estudo de patologia em estruturas de concreto armado**. 2016. 292 f. Tese (Livre Docência) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2016.

FIORITTO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2009.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed Sao Paulo: PINI, 1992. 213 p.

HELENE, P. R. L. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. Editora Rehabilitar, São Paulo, 2003.

LIBÓRIO, J. B. L. **Patologia das construções**. EESC-USP, 1998/ Notas de aula.

LIMA, M.G. **Ação do meio ambiente sobre as Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) Concreto: In.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005, V.1, Cap. 24.

MAGNAN, M. C. **Pintura na proteção anticorrosiva**. 2011. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Construção Naval, Universidade Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

MARCELLINO, N. AECWEB. **Concreto armado é solução durável e econômica**. Disponível em: <http://www.aecweb.com/cont/m/rev/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos_6412_0_1>. Acesso em: 30 jan. 2022.

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: Fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa: Editora IFPB, 2017. 127 p.

MORAIS, M. V. V.; SOBRAL, A. V. C. RESEARCHGATE. **O efeito da urina sobre as estruturas de concreto armado com e sem proteção anticorrosiva**. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/352325530_O_efeito_da_urina_sobre_as_estruturas_de_concreto_armado_com_e_sem_protecao_anticorrosiva>. Acesso em: 24 jan. 2022.

NAZAR, N. **Utilização do graute no aumento de resistência em paredes**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/graute-pode-ser-usado-para-aumentar-a-resistencia-de-paredes/15422>. Acesso em: 04 mai. 2022.

NEPOMUCENO, A. A. **Mecanismos de transporte de fluidos no concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (ed.). Concreto: Ensino, pesquisa e realizações. v. 2. Cap. 26. São Paulo: IBRACON, p. 793-827, 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª ed. São Paulo: PINI, 2015. 912 p.

PELLIZZER, G.P. **Análise mecânica e probabilística da corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Acesso em: 18 mai. 2022.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral**. Revista técnico-científica do CREA-PR, Curitiba, 1. ed., out. 2013. 14 p.

RIBEIRO, D. V. et al. **Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SALIBA, C. C. J. **Técnicas de recuperação de estruturas de concreto armado sob efeito da corrosão das armaduras**. 2008. 12 f. Pós-graduação – Curso de engenharia de minas e metalurgia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, S. S. dos. **Patologia das construções**. Curitiba, 2013. Disponível em: <https://ipog.edu.br/revista-especialize-online-busca/?autor=Silmara%20Silva%20dos%20Santos> Acesso em 25/04/2022. 14 p.

SILVA, L. K. **Levantamento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no Estado do Ceará**. 2011. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SCHNEIDER, N. **Dimensionamento de pilares – Considerações gerais**. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/dimensionamento-de-pilares/>. Acesso em: 05/02/2022.

SILVA, J. M. **Alvenaria não Estruturas - Patologias e Estratégias de Reabilitação**. 2002. 20 p. Artigo (Engenharia Civil)- Universidade de Coimbra, Porto, 2002.

SOARES, R. V. **Estudo dos Esforços Oriundo de Retração e Variação de Temperatura em Estruturas de Concreto Armado**. 2015. 14 p. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2015/relatorios_pdf/ctc/CIV/CIV-Rodrigo%20Vaz%20Soares.pdf . Acesso em: 18/06/2022.

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2009. 253p.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1. ed. São Paulo: Coedição IPT/EPUSP/Editora Pini, 1989. 194 p.

APÊNDICES

O relato de recuperação é feito como uma intervenção necessária para conferir a estrutura a funcionalidade e segurança previstas para sua correta utilização, após a identificação das manifestações patológicas presentes. Para observar a incidência de corrosão nas armaduras dos pilares é necessário realizar a quebra de pelo menos $\frac{1}{4}$ da base dos pilares. Para isso é preciso utilizar um equipamento denominado furadeira martelete (figura 33). Com os pilares escorados, é feita a quebra até ser possível analisar as armaduras.

O reforço que utiliza a substituição total do concreto da seção precisa ter um escoramento adequado, com os pilares sendo demolidos em etapas e o preenchimento com concreto equivalente ao especificado em projeto (HELENE, 2003).

Figura 33 – Quebra da base dos pilares com furadeira martelete



Fonte: AUTOR, 2022.

A presença dos estribos nas armaduras é de fundamental importância, pois eles funcionam como uma contenção lateral reduzindo a flambagem das barras longitudinais e mantem a posição da peça durante a concretagem. A flambagem é ocasionada quando existe instabilidade no equilíbrio da estrutura, o que pode provocar a ruptura da peça antes de esgotar a capacidade resistente à compressão, conforme a NBR 6118, item 15.2 (ABNT, 2014). Quando os estribos estão rompidos (figura 34), esse processo é facilitado, trazendo instabilidade para a estrutura.

Figura 34 – Corrosão dos estribos e armaduras longitudinais



Fonte: AUTOR, 2022.

A camada de cobrimento do concreto reveste e protege a armadura e os estribos. Essa camada apresenta alcalinidade entre 12,5 e 14. Quando ocorre a redução do pH, o concreto de cobrimento perde essa capacidade protetora e a armadura e os estribos ficam sujeitos à corrosão. Desse modo, deve-se realizar a troca dos estribos que estão corrompidos (figura 35) quebrando-se o concreto em pelo menos 2,5 centímetros ao seu redor e fazendo a amarração.

Figura 35 – Substituição dos estribos corrompidos



Fonte: AUTOR, 2022.

Ainda nesse sentido, após a substituição dos estribos, toda a armadura deve ser revestida com uma pintura anticorrosiva (figura 36). Essa tinta protege as estruturas, evitando desgastes, mantendo suas propriedades, reduzindo a necessidade de manutenção e expandindo a durabilidade. Além disso, a pintura anticorrosiva proporciona resistência à abrasão e à ação de raios UV, impermeabilidade e proteção contra fatores corrosivos (MAGNAN, 2011). A restauração da armadura e dos estribos (figura 37) dão à estrutura uma recuperação no seu desempenho inicial, garantindo a segurança esperada para seus usuários em sua utilização.

Figura 36 – Pintura com fundo anticorrosivo



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 37 – Armadura e estribos restaurados



Fonte: AUTOR, 2022.

A restauração utilizando graute (figura 39) é feita em fôrmas para o preenchimento de pilares e canaletas (figura 38). Esse material é um tipo de concreto de alta resistência com o objetivo de aumentar a capacidade portante. O graute é formado pela combinação de aglomerantes, sendo eles o cimento Portland ou resina epóxi, bem como aditivos, fibras, água, cal e agregados (NAZAR, 2017).

Figura 38 – Vedação da base do pilar



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 39 – Pilar restaurado com graute



Fonte: AUTOR, 2022.