

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção

Gabriel Rodrigues Gomes

**RECUPERAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR NA CIDADE DE VIÇOSA - MG: um estudo de
caso**

Belo Horizonte
2024

Gabriel Rodrigues Gomes

**RECUPERAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR NA CIDADE DE VIÇOSA - MG: um estudo de
caso**

Monografia de especialização
apresentada à Escola de Engenharia da
Universidade Federal de Minas Gerais,
como requisito parcial à obtenção do título
de Especialista em Construção Civil.

Área: Recuperação Estrutural

Orientador(a): Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte
2024

G633r

Gomes, Gabriel Rodrigues.

Recuperação de elementos estruturais de um edifício residencial de multifamiliar na cidade de Viçosa - MG [recurso eletrônico] ; um estudo de caso / Gabriel Rodrigues Gomes. – 2024.

1 recurso online (37 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Aldo Giuntini Magalhães.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.

Bibliografia: f. 37.

1. Construção civil. 2. Estruturas de concreto (Construção civil)
3. Edifícios - Manutenção. 4. Estudo de casos. 5. Diagnóstico. 6. Patologia de construção. I. Magalhães, Aldo Giuntini. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: GABRIEL RODRIGUES GOMES

MATRÍCULA: 2022693900

RESULTADO

Aos 06 dias do mês de setembro de 2024 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“RECUPERAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR NA CIDADE DE VIÇOSA-MG: UM ESTUDO DE CASO”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 83

CONCEITO: B

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães



Documento assinado digitalmente

ALDO GIUNTINI DE MAGALHAES

Data: 10/09/2024 16:09:08-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Nome

Profª. Drª. Danielle Meireles de Oliveira

Assinatura

Danielle Meireles de
Oliveira:048975766
95

Assinado de forma digital por

Danielle Meireles de

Oliveira:04897576695

Dados: 2024.09.10 17:27:25

-03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E AVALIAÇÕES NAS CONSTRUÇÕES"

Antônio Neves
de Carvalho
Júnior

Assinado de forma digital

por Antônio Neves de

Carvalho Júnior

Dados: 2024.09.12 02:32:15

-03'00'

Belo Horizonte, 06 de setembro de 2024

Coordenador do Curso

RESUMO

Este estudo aborda a recuperação de elementos estruturais da garagem de um edifício residencial multifamiliar em Viçosa, MG. Devido à falta de impermeabilização das áreas molhadas (banheiros) das unidades acima do subsolo, pilares, vigas e lajes foram afetados por infiltrações de água, causando manifestações patológicas como corrosão e desagregação do concreto. O trabalho descreve a metodologia de diagnóstico, avaliação e recuperação dessas estruturas, destacando a importância de materiais adequados e técnicas específicas para proteger contra intempéries e ações externas. A pesquisa inclui inspeções visuais, documentação fotográfica das patologias e detalhamento dos processos de recuperação realizados, evidenciando a necessidade de manutenção contínua para garantir a durabilidade e a segurança das edificações.

Palavras-chave: construção civil; diagnóstico; elementos estruturais; manifestações patológicas; recuperação estrutural; manutenção.

ABSTRACT

This study deals with the restoration of structural elements in the garage of a multi-family residential building in Viçosa, MG. Due to the lack of waterproofing in the wet areas (bathrooms) of the units above ground, pillars, beams and slabs were affected by water infiltration, causing pathological manifestations such as corrosion and crumbling of the concrete. The work describes the methodology for diagnosing, assessing and restoring these structures, highlighting the importance of suitable materials and specific techniques to protect against the weather and external actions. The research includes visual inspections, photographic documentation of the pathologies and details of the restoration processes carried out, highlighting the need for ongoing maintenance to ensure the durability and safety of the buildings.

Keywords: construction; diagnosis; structural elements; pathological manifestations; structural recovery; maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Madeira danificada por fungos	14
Figura 02 – Corrosão na estrutura de aço	16
Figura 03 – Patologias em armaduras afetadas por corrosão.....	20
Figura 04 – Corrosão de armadura por íons cloreto	22
Figura 05 – Grautes como forma de preenchimento em concreto	28
Figura 06 – Corrosão da armadura e despassivação do concreto do pilar	30
Figura 07 – Corrosão da armadura e despassivação do concreto da viga	30
Figura 08 – Aferição da seção transversal da viga com corrosão	31
Figura 09 – Limpeza da peça estrutural	32
Figura 10 – Lixamento da armadura	33
Figura 11 – Aplicação de primer inibidor de corrosão	33
Figura 12 – Reconstituição da seção de concreto	34

SUMÁRIO

Capítulo 1: INTRODUÇÃO	08
Capítulo 2: OBJETIVOS	10
Capítulo 3: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS	11
3.1 Estruturas de Concreto Armado.....	11
3.2 Estruturas de Madeira.....	14
3.3 Estruturas de Aço.....	16
Capítulo 4: CORROSÃO DAS ARMADURAS	19
4.1 Despassivação por carbonatação.....	20
4.2 Despassivação por cloretos.....	22
Capítulo 5: TÉCNICA DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	24
5.1 Reparo com Argamassa.....	25
5.2 Reparo com Argamassa de Cimento e Areia.....	26
5.3 Reparo com Argamassa Polimérica.....	26
5.4 Reparo com Graute.....	27
Capítulo 6: RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6.1 Relato da Pesquisa.....	29
6.2 Metodologia de obtenção de dados.....	29
6.3 Resultados obtidos.....	31
Capítulo 7: Considerações finais	35
Referências Bibliográficas	37

1 INTRODUÇÃO

Os pilares, vigas e lajes do subsolo de uma garagem de um Condomínio Residencial Multifamiliar, na cidade de Viçosa – MG, vinham sofrendo com manifestações patológicas causadas por infiltração de água, devido à falta de impermeabilização das áreas molhadas (banheiros) das unidades autônomas imediatamente acima do subsolo. Com o passar dos anos, essas infiltrações foram aumentando, e trazendo danos visíveis a toda estrutura dos pilotis da garagem. Este processo de infiltração constante fez com que a estrutura entrasse em um processo de corrosão, deixando-os vulneráveis a carbonatação e por consequência a expansão da armadura e desagregação do concreto estrutural.

Manifestações patológicas são anomalias que ocorrem nas edificações, resultantes de diversos fatores como falhas no projeto, execução inadequada, materiais de baixa qualidade, ou falta de manutenção preventiva. Essas manifestações diminuem a capacidade de serviço e o desempenho da estrutura ao comprometer sua resistência, estabilidade e durabilidade. Com o tempo, essas anomalias podem evoluir para problemas mais graves, como fissuras, corrosão de armaduras, deslocamento de concreto, e até mesmo o colapso parcial ou total da estrutura, colocando em risco a segurança dos usuários e exigindo intervenções corretivas complexas e dispendiosas, como foi o caso do Condomínio Residencial Multifamiliar sob estudo.

A infiltração é uma patologia significativa na construção civil, contribuindo para o surgimento de diversas manifestações patológicas. A identificação dos sinais é crucial para estabilizar e resolver esses problemas. Eles podem ser evidenciados por manchamentos ou mofo, o que resulta em uma estética desagradável e desconforto para os usuários. No entanto, a infiltração não é apenas um problema visual ou estético, ela pode indicar questões estruturais mais sérias que afetam o desempenho da edificação.

A utilização de materiais adequados muitas vezes requer procedimentos específicos para protegê-los contra intempéries e ações externas. O concreto armado, amplamente utilizado no Brasil por sua resistência à compressão e custo-

benefício, é um exemplo. Devido à sua relativa alta porosidade, este material necessita de cuidados especiais contra fatores climáticos, como a ação da água, dióxido de carbono e outros contaminantes que podem reduzir drasticamente sua durabilidade.

A infiltração é uma patologia séria porque pode causar corrosão da armadura, carbonatação ou eflorescências, todas manifestações patológicas induzidas por ações externas. Quando há penetração de água no concreto, atinge as armaduras, que são feitas de metais propensos à oxidação. Por isso, é essencial evitar que as barras metálicas entrem em contato com água, ar ou qualquer ambiente que facilite a corrosão. Se a armadura for exposta a tais condições, a estrutura fica comprometida, já que o aço é vital para resistir a forças que o concreto, por si só, não suportaria.

No Condomínio, foram observados bolor, desagregação do concreto e corrosão nas armaduras, especialmente nas áreas sujeitas à infiltração contínua. Essas manifestações patológicas são indicativos claros de que a estrutura está comprometida, uma vez que a corrosão das armaduras leva à perda de seção do aço e à consequente redução da capacidade de suporte da estrutura. Além disso, o bolor é um sinal de umidade persistente, que pode agravar ainda mais o processo de deterioração, causando fissuras e comprometendo a integridade do concreto.

Dada a gravidade desses problemas, está planejada uma intervenção abrangente que incluirá a limpeza minuciosa das áreas deterioradas para remover o bolor e as partes do concreto desagregado. Em seguida, será feita uma inspeção detalhada das armaduras para avaliar o grau de corrosão, seguida pela aplicação de técnicas de proteção, como a passivação ou o revestimento com materiais anticorrosivos. Tanto nos pilares quanto nas vigas e lajes, as armaduras serão tratadas e, se necessário, reforçadas para garantir a estabilidade estrutural. Todos os processos de recuperação e os métodos específicos que serão utilizados serão detalhados posteriormente neste trabalho, incluindo a escolha dos materiais, as técnicas de aplicação e as etapas de monitoramento pós-intervenção.

2 OBJETIVOS

Este capítulo apresenta os objetivos gerais e específicos do presente trabalho

2.1 Objetivo Geral

Analisar e propor soluções para a recuperação estrutural da superestrutura do pavimento de garagem de um edifício residencial multifamiliar, visando garantir a segurança, funcionalidade e durabilidade da construção.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar as condições atuais da estrutura, diagnosticar as causas das patologias, elaborar propostas de intervenção e definir o plano de execução das obras de recuperação.

3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS

3.1 Estruturas de Concreto Armado

As estruturas de concreto armado, amplamente utilizadas na construção civil, estão sujeitas a inúmeras alterações ao passar do tempo, em função de interações entre os elementos que o constituem (cimento, areia, brita, água e aço) e agentes externos do meio o qual está inserido, tais como ácidos, bases, sais, gases, vapores, variações térmicas, entre outros (Santos e Interlandi, 2016), conforme Quadro 1.

Quadro 1: Origens das manifestações patológicas

MANIFESTAÇÃO	ORIGEM
Congênitas	Fase de projeto.
Construtivas	Fase de execução.
Adquirida	Agressividade do meio.
Acidentais	Fenômenos atípicos como erosão, inundações ou cargas excessivas.

Fonte: Monteiro, 2018.

Se o projeto de engenharia não for adequadamente detalhado, a construção não for planejada e controlada de maneira suficiente, os profissionais envolvidos não possuírem a qualificação necessária e se os prazos de execução forem muito curtos, é altamente provável que a estrutura de concreto resultante seja de baixa qualidade e se degrade precocemente. Isso acarretará custos elevados para reparos e reforços, a fim de manter a estrutura em condições de uso (SOUZA E RIPPER, 2009).

No Quadro 2, é detalhado de forma relacionada, patologia, causa e consequência.

Quadro 2: Tipos de manifestações patológicas

PATOLOGIAS	CAUSAS	CONSEQUÊNCIAS
Carbonatação	Poluição (CO ₂)	Acidez no concreto
Calcinação	Incêndio	Redução do F _{ck}
Lixiviação e eflorescência	- Infiltrações, porosidade, - Trincas, - Juntas de dilatação sem estanqueidade	Redução do calcário no concreto
Nichos de concretagem	Vibração ineficaz	Redução da seção transversal do concreto
Ruptura brusca do concreto comprimido	Falta de controle estatístico do concreto	Colapso parcial ou total
Trincas em estruturas de cobertura	- Falta de juntas de dilatação, - Ausência de telhado, - Não consideração dos momentos volventes	Trincas e corrosão da armadura
Corrosão da armadura	- Infiltrações, - Pequeno cobrimento, - Porosidade, - Fissuração, - Poluição (CO ₂), - Chuva ácida (H ₂ SO ₄), - Presença de cloretos, - Falta de manutenção preventiva	Perda de seção transversal da armadura

Fonte: Santos e Interlandi, 2016.

Para identificar as manifestações patológicas nas estruturas, é importante analisar as evidências visíveis em sua superfície, como fissuras, manchas de umidade, eflorescências, e sinais de corrosão das armaduras. Essas indicações externas podem revelar problemas internos mais graves que estão ocorrendo dentro do concreto ou nas armaduras. No entanto, em estruturas enterradas, como fundações, ou em ambientes como piscinas e caixas d'água, onde o acesso é restrito, a inspeção se torna significativamente mais complexa. Nesses casos, métodos não destrutivos, como a utilização de ultrassom, termografia infravermelha, ou ensaios de penetração de líquidos, são frequentemente empregados para detectar anomalias ocultas, mas, mesmo assim, há limitações, e alguns problemas podem permanecer ocultos até que já tenham causado danos substanciais.

Os requisitos mínimos de desempenho e durabilidade de uma estrutura estão diretamente ligados a projetos bem detalhados, excelência na execução e constância na manutenção, conforme preconiza a NBR 15575 – 1 Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais. Um projeto bem elaborado deve considerar fatores como a escolha adequada dos materiais, as condições

ambientais a que a estrutura será submetida, e as cargas que a estrutura deverá suportar ao longo do tempo. A excelência na execução garante que o projeto seja realizado conforme especificado, evitando falhas como segregação do concreto, descontinuidade das armaduras ou inadequação das impermeabilizações. Além disso, a manutenção regular é essencial para identificar e corrigir problemas precocemente, antes que se transformem em manifestações patológicas graves que comprometam a segurança e a longevidade da edificação.

A manutenção das edificações é um processo contínuo que envolve ações corretivas, preventivas e preditivas, visando garantir a conservação, segurança e eficiência das estruturas e sistemas construtivos (Machado, 2013). Uma estratégia de manutenção eficaz pode contribuir significativamente para a prolongar a vida útil das edificações e reduzir os custos de operação e manutenção ao longo do tempo. As ações corretivas são implementadas após a identificação de falhas ou danos já ocorridos, exigindo intervenções que podem variar desde pequenos reparos até grandes obras de restauração. Por outro lado, a manutenção preventiva é realizada de maneira periódica, com o objetivo de evitar o surgimento de problemas, por meio de inspeções regulares, limpeza, e ajustes necessários para manter a estrutura em boas condições.

Além disso, a manutenção preditiva, que se baseia no monitoramento constante do desempenho da edificação e na análise de dados históricos e tendências, permite prever com maior precisão quando e onde a manutenção será necessária, otimizando os recursos e minimizando interrupções no uso da edificação. Essa abordagem inclui o uso de tecnologias avançadas, como sensores para monitoramento de vibrações, umidade e corrosão, bem como *software* de gestão que auxilia na tomada de decisões baseadas em dados concretos. A integração dessas três estratégias de manutenção – corretiva, preventiva e preditiva – é fundamental para garantir a longevidade das edificações, mantendo-as seguras e funcionais ao longo do tempo, e evitando custos inesperados e elevados associados a falhas estruturais ou degradação prematura.

3.2 Estruturas de Madeira

As manifestações patológicas em estruturas de madeira são comumente associadas a fatores biológicos, mecânicos e ambientais. Um dos problemas mais frequentes é o ataque por organismos xilófagos, como fungos e insetos, que degradam a celulose e a lignina, componentes essenciais da madeira, comprometendo sua resistência e integridade. Fungos como os do tipo podridão parda e podridão branca podem destruir a madeira de forma acelerada, enquanto insetos como cupins e brocas perfuram e consomem o material, criando galerias internas que enfraquecem a estrutura. A presença de umidade é um fator crítico, pois cria um ambiente propício para a proliferação desses organismos, especialmente em regiões tropicais e úmidas. Em estruturas que não foram tratadas adequadamente com agentes preservativos, esse processo de degradação biológica pode ser ainda mais rápido, levando a uma redução significativa da vida útil da madeira, conforme demonstra-se na Figura 1.

Figura 1: Madeira danificada por fungos



Fonte: MORENO (2013).

Além dos fatores biológicos, a madeira é altamente suscetível a danos mecânicos. Esses danos podem surgir devido a esforços excessivos, como cargas

que ultrapassam a capacidade de suporte da madeira, ou esforços mal distribuídos, resultando em tensões concentradas que causam fraturas ou deformações. Em madeiras que foram mal dimensionadas ou em peças com defeitos naturais, como nós ou fendas preexistentes, os riscos de falhas mecânicas são ainda maiores. Com o passar do tempo, a fadiga do material e o envelhecimento natural também contribuem para a redução da resistência mecânica da madeira, podendo resultar em colapsos estruturais, especialmente em ambientes onde a manutenção é negligenciada.

Além disso, as condições ambientais desempenham um papel fundamental na longevidade das estruturas de madeira. Variações de temperatura e umidade podem causar dilatações e contrações na madeira, conhecidas como movimentações higroscópicas, que resultam em empenamentos, fissuras e rachaduras. A madeira é um material anisotrópico, o que significa que suas propriedades variam em diferentes direções; isso faz com que as movimentações sejam desiguais, causando deformações indesejadas. A exposição contínua a ciclos de umidade e secagem pode levar à perda de coesão entre as fibras da madeira, aumentando a suscetibilidade a ataques biológicos e a danos mecânicos. A secagem inadequada da madeira antes do uso em construções, por exemplo, pode causar deformações posteriores que comprometem a estabilidade da estrutura.

Para mitigar esses problemas, é essencial que as estruturas de madeira sejam submetidas a uma manutenção adequada e a um monitoramento constante das condições ambientais. Tratamentos preventivos, como a aplicação de preservativos químicos que protejam a madeira contra a ação de fungos e insetos, são fundamentais para prolongar a durabilidade do material. Além disso, o uso de técnicas de construção que minimizem a exposição da madeira à umidade, como o uso de barreiras de vapor e a escolha de locais de construção com boa drenagem, pode prevenir muitos dos problemas relacionados às variações ambientais. Inspeções periódicas devem ser realizadas para identificar sinais precoces de degradação e permitir intervenções corretivas antes que os danos se tornem severos.

3.3 Estruturas de Aço

As estruturas de aço são frequentemente relacionadas à corrosão, que é a principal causa de danos neste material. A corrosão ocorre devido à exposição do aço a ambientes agressivos, como atmosferas marítimas ou industriais, onde a presença de umidade, sais e poluentes acelera a formação de óxidos e outros compostos corrosivos. Esse processo resulta na perda de seção transversal dos elementos estruturais, comprometendo sua resistência e capacidade de suportar cargas. A corrosão também pode causar o desprendimento de camadas externas do aço, expondo novas superfícies ao ambiente agressivo, o que acelera ainda mais o processo de degradação, conforme é ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Corrosão na estrutura de aço



Fonte: MARTINELLI (2021).

Existem diferentes tipos de corrosão que podem afetar as estruturas de aço. A corrosão uniforme é a forma mais comum, onde a perda de material ocorre de maneira relativamente uniforme em toda a superfície exposta. Já a corrosão localizada, como a corrosão por pites, causa pequenas áreas de intensa degradação, que podem levar à perfuração do material. A corrosão galvânica ocorre quando dois metais diferentes estão em contato em presença de um eletrólito, resultando na corrosão acelerada de um dos metais.

Além da corrosão, as estruturas de aço estão sujeitas à fadiga, um fenômeno que ocorre devido à aplicação repetida de cargas cíclicas ao longo do tempo. A fadiga pode levar ao desenvolvimento de microfissuras, que, se não forem detectadas e reparadas, podem crescer e resultar em falhas catastróficas. Esse tipo de falha é particularmente perigoso porque pode ocorrer sem sinais externos evidentes, até que a estrutura já esteja comprometida. A análise de fadiga é essencial em projetos de estruturas de aço sujeitas à vibração ou variações frequentes de carga, como pontes e estruturas industriais, onde a segurança depende da integridade contínua do material.

Outro aspecto crítico é a deformação excessiva, que pode ocorrer devido a sobrecargas, erros de projeto ou montagem incorreta. A deformação plástica, que é permanente, pode comprometer a geometria e a funcionalidade da estrutura, além de aumentar a vulnerabilidade a outras patologias, como a instabilidade estrutural. A deformação pode resultar em problemas como encurvamento de colunas, deflexão excessiva de vigas, ou deslocamento lateral de componentes estruturais, cada um dos quais pode comprometer seriamente a segurança da edificação.

As estruturas de aço também podem sofrer de instabilidade estrutural, como a flambagem, que ocorre quando um componente estrutural é submetido a uma carga compressiva que excede sua capacidade de resistência. A flambagem pode levar ao colapso repentino de elementos esbeltos, como colunas ou tirantes, mesmo que o aço ainda não tenha atingido seu limite de escoamento. Esse tipo de falha é particularmente perigoso porque pode ocorrer sem aviso prévio, resultando em colapsos catastróficos.

A interação entre esses diferentes tipos de patologias pode exacerbar os problemas nas estruturas de aço. Por exemplo, a corrosão localizada pode acelerar a fadiga ao comprometer áreas específicas, enquanto deformações excessivas podem agravar a corrosão ao expor novas superfícies ao ambiente agressivo. A compreensão dessas interações é crucial para uma abordagem eficaz na inspeção e manutenção de estruturas de aço.

A inspeção regular e a manutenção preventiva são fundamentais para identificar e mitigar esses problemas, garantindo a segurança e a resistência das

estruturas de aço. Técnicas de inspeção, como ensaios não destrutivos (END), incluindo ultrassom, radiografia e inspeção visual, são utilizadas para detectar precocemente sinais de corrosão, fadiga e deformações. Além disso, a aplicação de revestimentos protetores, como tintas anticorrosivas, e a utilização de proteções catódicas são medidas eficazes para prevenir a corrosão.

Finalmente, a manutenção de estruturas de aço envolve não apenas a reparação de danos existentes, mas também a implementação de medidas que prolonguem a vida útil da estrutura. Isso inclui a substituição de componentes críticos, o reforço de áreas vulneráveis, e a atualização das proteções anticorrosivas. A adoção de uma abordagem proativa à manutenção ajuda a garantir que as estruturas de aço permaneçam seguras e funcionais ao longo de sua vida útil prevista.

4 CORROSÃO DAS ARMADURAS

A corrosão de armaduras é um dos principais problemas que afetam a durabilidade das estruturas de concreto armado. Esse fenômeno pode comprometer significativamente a integridade estrutural e a vida útil das construções, resultando em altos custos de manutenção e reparo. Neste trabalho científico, será explorado as causas, mecanismos e métodos correção de processos corrosivos em armaduras, baseando-nos em estudos científicos recentes e clássicos.

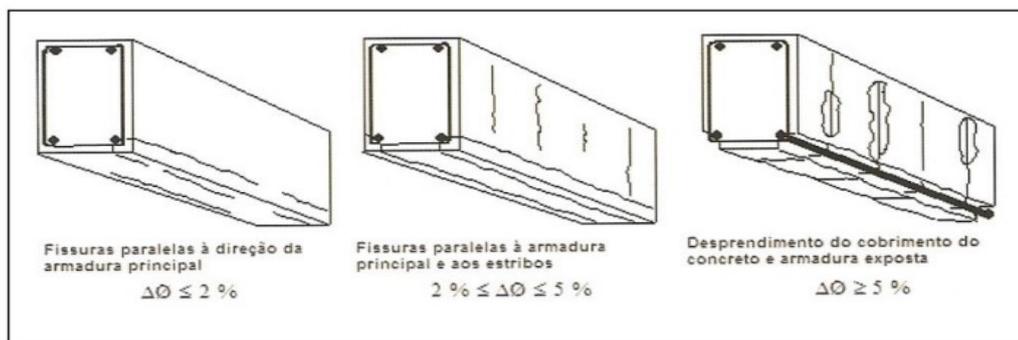
A corrosão das armaduras pode ser desencadeada por vários fatores, incluindo a penetração de cloretos provenientes de descongelantes ou ambientes marinhos, a carbonatação do concreto e a presença de umidade. A carbonatação ocorre quando o dióxido de carbono presente na atmosfera reage com o hidróxido de cálcio do cimento, reduzindo o pH do concreto e desprotegendo as armaduras contra a corrosão. Já a penetração de cloretos pode provocar uma corrosão eletroquímica acelerada, especialmente em regiões onde o concreto é exposto a ambientes agressivos. A identificação precoce desses fatores e a aplicação de técnicas adequadas de proteção e reabilitação são essenciais para garantir a longevidade e a segurança das estruturas de concreto armado.

Segundo Figueiredo e Meira (2013), o processo corrosivo que age nas armaduras tem como etapa inicial a mudança das características e condições do concreto no entorno da barra por conta da ação de agentes agressivos, despassivando (desagregando) a armadura e, posteriormente, formando a corrosão, propagando assim no aço. Os danos causados pela corrosão de armaduras, geralmente, manifestam-se através de fissuras no concreto paralelas à direção do esforço, de laminação e/ou desprendimento do cobrimento, conforme apresentado na Figura 3. E em componentes estruturais que apresentam um elevado teor de umidade, os primeiros sintomas de corrosão evidenciam-se por meio de manchas de óxido na superfície do concreto.

A compreensão detalhada desses processos é importante para a formulação de estratégias de intervenção eficazes. Estudos recentes têm explorado métodos avançados de monitoramento e diagnóstico, como a utilização de sensores eletrônicos e técnicas de imageamento para avaliar a extensão da corrosão e a

integridade das armaduras, cujas abordagens permitem uma detecção mais precisa e uma resposta mais ágil, contribuindo para a manutenção e a reparação de estruturas de concreto armado de forma mais eficiente e econômica.

Figura 3: Representação esquemática das patologias típicas observadas em vigas de concreto armado afetadas por corrosão



Fonte: HELENE, 2005.

A corrosão do aço em concreto armado é um processo eletroquímico que envolve a formação de células galvânicas. Nesse processo, o aço atua como anodo e catodo em diferentes regiões, resultando na dissolução do metal (anodo) e na formação de produtos de corrosão, como óxidos e hidróxidos de ferro, que ocupam um volume maior do que o aço original. Este aumento de volume gera tensões internas no concreto, levando à formação de fissuras e à delaminação do recobrimento de concreto.

A corrosão de armaduras é um desafio significativo para a durabilidade das estruturas de concreto. Compreender os mecanismos e causas da corrosão, bem como empregar métodos eficazes de mitigação, é crucial para garantir a longevidade e a segurança das construções. Estudos contínuos e avanços tecnológicos são essenciais para desenvolver novas estratégias de prevenção e controle da corrosão, minimizando os custos de manutenção e aumentando a sustentabilidade das infraestruturas.

4.1 Despassivação por Carbonatação

A carbonatação é o resultado da ação em que o dióxido de carbono (CO_2), presente na atmosfera, reage com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presente no cimento hidratado, formando após algumas outras reações o carbonato de cálcio (CaCO_3). Com isso há

a redução do pH do concreto para valores inferiores a 9, retirando a proteção alcalina que o mesmo exerce sobre a armadura. A corrosão localizada nas armaduras tem início quando a frente de carbonatação consegue penetrar todo o cobrimento do concreto e atinge a armadura, despассивando-a.

Uma das maneiras de avaliar o fenômeno da carbonatação do concreto é feita por meio da verificação do pH utilizando fenolftaleína, onde as regiões não carbonatadas apresentam coloração rosa, enquanto que as partes carbonatadas não tem alteração de cor.

A carbonatação além de reduzir o pH do concreto, também compromete significativamente a durabilidade da estrutura. A diminuição da proteção alcalina permite que íons cloreto presentes no ambiente possam iniciar o processo de corrosão das armaduras. A corrosão das armaduras reduz a resistência estrutural e pode causar expansão do aço devido à formação de produtos de corrosão, levando a fissuras e deterioração do concreto.

Para mitigar os efeitos da carbonatação, é necessário adotar medidas preventivas durante a construção. O uso de concretos com aditivos que aumentem a densidade e a resistência à penetração de CO₂ pode retardar a carbonatação. Além disso, é importante garantir um cobrimento adequado das armaduras para proteger contra a penetração de CO₂. Inspeções periódicas e manutenção preventiva também são essenciais para identificar e tratar precocemente os sinais de carbonatação e corrosão.

Quando a carbonatação já comprometeu a estrutura, técnicas de reparo e reabilitação devem ser aplicadas. Isso pode incluir a remoção do concreto carbonatado, a limpeza das armaduras expostas e a aplicação de revestimentos protetores para evitar novas penetrações de CO₂. Em casos mais graves, pode ser necessário reforçar a estrutura com novos elementos de aço ou adotar técnicas de reforço externo para garantir a segurança e a funcionalidade da edificação.

4.2 Despassivação por Cloretos

A presença de íons cloretos no concreto pode ocasionar corrosão por pites. Estes íons podem ser adicionados acidentalmente na preparação do concreto através de água de emassamento contaminada, utilização de agregados miúdos ricos em cloretos, como areia de praia, e também a utilização de aceleradores de pega (endurecimento). De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015) o teor de cloretos com relação a massa de cimento deve ser de 0,05% para concreto protendido; 0,15% para concreto armado exposto a íons cloreto; 0,4% para concreto armado em condições não severas e 0,3% para concreto armado em outras condições.

Em ambientes de classe de agressividade III ou IV, onde há contato com áreas marinhas, é possível encontrar cloretos que penetram em forma de névoa salina, contato direto com a água e respingos de maré no concreto através de sua porosidade ou incidência de fissuras.

Nas reações com cloretos as armaduras podem ser despassivadas mesmo diante de alto valor de pH para o concreto. Porém seu efeito mais danoso se relaciona ao fato de que durante as reações há liberação final de íons cloretos, que novamente ficam livres para reagir com o Ferro presente no aço das armaduras. Na figura 4 é possível observar uma estrutura localizada à beira mar que sofreu corrosão por ataque de íons cloreto e carbonatação.

Figura 4: Corrosão em armaduras de estruturas de concreto armado, por íons cloreto



Fonte: <http://sasolucoes.com.br/ataque-do-cloreto-no-concreto/>.

A presença de íons cloreto e a profundidade de penetração pode ser comprovada pela aspensão de nitrato de prata (AgNO_3). Quando a presença dos cloretos é confirmada há a formação de uma área esbranquiçada no local.

5 TÉCNICA DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A recuperação estrutural é um campo vital na engenharia civil, focado na restauração da integridade e funcionalidade das estruturas danificadas. Este processo é essencial para prolongar a vida útil das edificações, pontes e outras infraestruturas, garantindo a segurança e a sustentabilidade. Neste texto, serão abordadas as principais técnicas de recuperação estrutural, os desafios enfrentados e as melhores práticas, com base em literatura científica relevante.

Segundo Aguiar (2016), antes de executar uma obra de recuperação estrutural, deve-se seguir uma metodologia de diagnósticos, cujo primeiro passo é efetuar inspeções preliminares para avaliação, detalhamento das patologias e monitoramento de fissuras. A partir da identificação da origem e causa da patologia é que são definidas as técnicas de reparo. É importante definir se a estrutura passará por intervenções para recuperação ou se será necessário também um reforço, uma vez que os processos são diferentes para cada tipo de anomalia (RESENDE, 2018).

A recuperação de uma estrutura afetada por manifestações patológicas não segue um protocolo rígido; em geral, existem diversos métodos ou sistemas de reparo que podem ser empregados, dependendo da gravidade e do tipo de dano. A escolha do método mais adequado depende de fatores como o acesso ao local de reparo, considerações econômicas e condicionantes técnicas, que variam conforme o caso.

O procedimento de recuperação para estruturas de concreto armado, com incidência de corrosão de armadura, consiste basicamente em 5 (cinco) etapas, obrigatoriamente realizadas por mão-de-obra especializada e acompanhada por engenheiro civil, sendo elas:

- 1) Avaliar e eliminar a causa do dano precedendo o início de execução reparo;
- 2) Fazer a escolha de um material de qualidade, levando em consideração a compatibilidade das características físico-químicas do projeto de origem;

- 3) Em busca do melhor desempenho para o material supracitado, deve-se observar e definir o método de aplicação mais adequado;
- 4) Executar a preparação da região que irá receber o reparo, livrando-o de todos os resíduos que possam dificultar a coesão com o novo material (óleos, graxas, concreto solto). Saturar o substrato com água, caso os materiais sejam de base mineral;
- 5) Execução da recuperação – aplicação do material - de forma cuidadosa, permitindo uma cura eficiente, resultando em um reparo com excelente vida útil, podendo se tornar até mais eficaz do que a original.

Após essas etapas, será possível restaurar a integridade estrutural de forma eficaz, assegurando que a estrutura reparada tenha uma vida útil prolongada e uma performance adequada. A execução cuidadosa de cada passo garantirá que os danos sejam devidamente tratados, evitando a reincidência dos problemas e proporcionando uma base sólida para o uso contínuo da estrutura.

5.1 Reparo com Argamassa

Esta técnica pode ser utilizada em reparos estruturais em pequenas profundidades e em qualquer tamanho, sendo válido manter uma boa relação entre profundidade/área. Segundo Souza e Ripper (1998) não deve atingir mais do que 5 centímetros.

A utilização deste método é muito comum quando é necessário recuperar a camada de proteção superficial do concreto, deteriorado pela ação da carbonatação ou cloretos. A utilização desta forma de recuperação é bem prática, sendo bem utilizada quando após o processo de elementos estruturais se observe as famosas “brocas” ou falhas de concretagem, sendo um excelente material para recuperação destas falhas.

A escolha do material de reparo deve ser feita com base no tipo específico de dano identificado. A argamassa utilizada deve ser selecionada conforme suas propriedades e compatibilidade com o concreto original, garantindo que o reparo atenda às exigências estruturais e ambientais.

Além da escolha apropriada dos materiais, o sucesso da recuperação depende significativamente do processo de execução e da preparação da superfície. É essencial preparar a área danificada adequadamente, garantindo a remoção de resíduos e a preparação da superfície para uma aderência adequada. Esse cuidado é crucial para assegurar que o material de reparo se una efetivamente ao concreto existente, proporcionando uma recuperação duradoura e eficaz.

5.2 Reparo com Argamassa de Cimento e Areia

A argamassa comum de cimento, areia e água, confeccionada no traço 1:3 em volume e com fator água cimento de 0,45, é utilizada para preencher cavidades de profundidade superior a 2,5 centímetros, provocada pelo desgaste da estrutura. Ela pode ser aplicada diretamente sobre a superfície tratada, ou sobre uma ponte de aderência que pode ser epóxi, acrílica ou a base de PVA. A argamassa deve ser aplicada por faixas de no máximo 1 m de largura e com uma espessura máxima de 1 cm, para diminuir os efeitos da retração.

Além disso, a argamassa de cimento e areia é valorizada por sua capacidade de fornecer uma reparação robusta e durável para cavidades profundas. Seu uso corrige falhas estruturais e restaura a continuidade da superfície do concreto, promovendo a resistência necessária para suportar as cargas e condições a que a estrutura está exposta. A aplicação em camadas finas e o uso de uma ponte de aderência adequada garantem uma ligação sólida entre a argamassa e o concreto original, melhorando a durabilidade e a performance do reparo.

5.3 Reparo com Argamassa Polimérica

A argamassa polimérica estrutural representa um avanço significativo na construção civil, incorporando polímeros em sua formulação para melhorar as propriedades do material em comparação com as argamassas tradicionais à base de cimento. Os polímeros adicionados conferem à argamassa características superiores, como uma aderência excepcional a uma variedade de substratos, incluindo concreto, metal, madeira e cerâmica. Esta versatilidade faz da argamassa polimérica uma escolha preferencial para reparos em ambientes com diferentes tipos de superfícies e condições.

Além de sua excelente aderência, a argamassa polimérica oferece notável resistência mecânica, o que contribui para uma maior durabilidade das reparações realizadas. Sua composição permite que a argamassa seja altamente impermeável, o que é crucial para proteger as estruturas contra a penetração de água e outros agentes corrosivos. Outro benefício significativo é a flexibilidade, especialmente quando a argamassa contém componentes como fibras, que ajudam a absorver e distribuir tensões, reduzindo a probabilidade de fissuração. Esses atributos tornam a argamassa polimérica uma solução eficiente e duradoura para uma ampla gama de reparos estruturais, garantindo um desempenho superior e uma vida útil prolongada.

5.4 Reparo com Graute

O graute é composto pelos mesmos materiais usados na produção de concreto convencional, mas se diferencia pelo tamanho do agregado (mais fino, com 100% passando pela perfuração de 12,5 mm) e pela relação água/cimento. Os materiais constituintes do graute são cimento, areia, pedra e água. Segundo alguns autores, cimentos modificados por pozolanas não devem ser utilizados, pois são muito retentivos, aumentando a relação água/cimento e, assim, testando a resistência.

Na literatura técnica em inglês, o termo "grout" define uma argamassa ou um micro concreto fluido usado para preencher vazios. No Brasil, engenheiros e o mercado de construção fazem distinções claras entre uma argamassa e um graute.

Para que uma argamassa ou concreto seja considerado graute, é necessário que:

- Apresente consistência fluida, dispensando o adensamento;
- Alcançar altas resistências inicial e final;
- Apresentar expansão controlada.

A escolha do tipo de graute está relacionado em função de cada tipo de aplicação. Este tipo de reparo é executado quando necessita de liberação rápida da estrutura, isso ocorre, pois, a fluidez do graute permite que haja um preenchimento total da seção, sem a necessidade de adensamento. Além da alta resistência inicial que possibilita maior agilidade no processo de fixação de equipamentos, e rápida

colocação da estrutura reparada ou reforçada em carga, maior agilidade no processo de fixação de equipamentos, conforme figura 5.

Figura 5: Grautes como forma de preenchimento e reparos estruturais em concreto



Fonte: www.construtec.ind.br

6 ESTUDO DE CASO

6.1 Relato da pesquisa

Para a elaboração deste trabalho científico, foram realizadas inspeções visuais em um edifício residencial multifamiliar, com idade aproximadamente de 50 anos, localizado em Viçosa - MG. A estrutura foi executada toda em concreto armado, com fechamento em alvenaria de vedação. Sua fundação foi executada em estacas escavadas e blocos de coroamento de fundação ligados entre si por cintas. Tanto as principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas quanto os reparos efetuados foram registrados por meio de documentação fotográfica.

Os resultados da inspeção revelaram a presença de várias manifestações patológicas, como fissuras, eflorescências e degradação do concreto, que são comuns em estruturas com a idade e condições do edifício analisado.

A documentação fotográfica forneceu um registro detalhado do estado das estruturas e das falhas observadas, permitindo uma análise mais precisa das causas e da extensão dos danos.

Os reparos realizados incluíram a aplicação de argamassa polimérica para áreas de alta deterioração e o uso de técnicas de recuperação específicas para cada tipo de patologia.

A análise dos resultados mostrou que as técnicas empregadas foram eficazes na restauração da integridade estrutural, mas também destacou a necessidade de manutenção contínua e monitoramento regular para garantir a longevidade dos reparos e a preservação da estrutura a longo prazo.

6.2 Metodologia de obtenção dos dados

O imóvel objeto deste estudo, apresentava inúmeras manifestações patológicas, do tipo despassivação por carbonatação com consequente desagregação do concreto estrutura do elemento, conforme figura 6.

Figura 6: Corrosão de armadura e desagregação do concreto encontrado no pilar



Fonte: Autor, 2024.

Foram averiguados também pontos de corrosão de grande significância na armadura de uma viga, conforme figura 7, inclusive com redução na seção maior que 15%.

Figura 7: Corrosão de armadura e desagregação do concreto encontrado na viga



Fonte: Autor, 2024.

Após a constatação do processo de despassivação da armadura, foi necessário realizar a conferência da seção transversal das barras, conforme figura 8.

Figura 8: Aferição da seção transversal da armadura, após avançado processo corrosivo



Fonte: Autor, 2024.

6.3 Resultados obtidos

Para recuperação dos elementos estruturais onde havia corrosão de armaduras, foi especificada a técnica de reparo tradicional. Esta técnica segue a seguinte sequência:

- Todo o concreto desagregado é removido, descobrindo a armadura em todo seu perímetro, conforme figura 9;

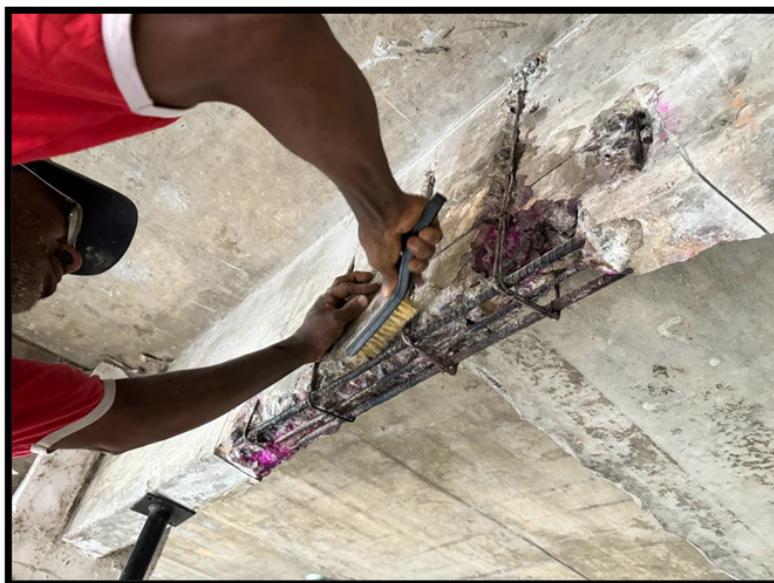
Figura 9: Limpeza da peça estrutural, retirando todo material desagregado para iniciar o procedimento de recuperação estrutural



Fonte: Autor, 2024.

- A ferragem é lixada, removendo-se assim toda a crosta de óxido de ferro formada ao seu redor, conforme figura 10;

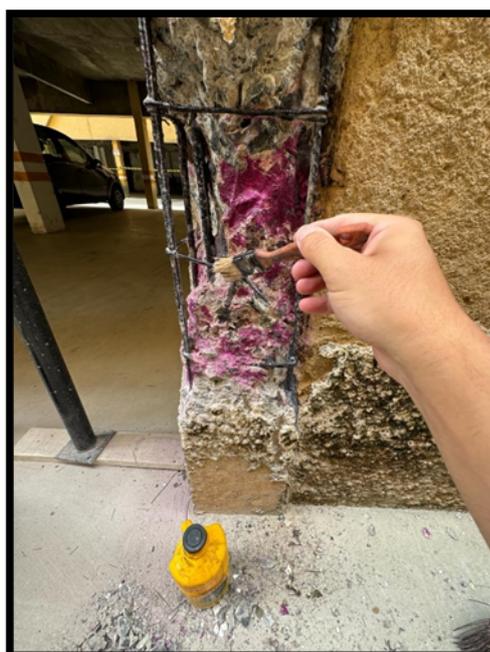
Figura 10: Lixamento da ferrugem, removendo assim toda a crosta de óxido de ferro formada ao seu redor



Fonte: Autor, 2024.

- Aplicação de primer inibidor de corrosão em toda a área de aço recuperada conforme figura 11;

Figura 11: Aplicação de primer inibidor de corrosão em toda a área de aço recuperada



Fonte: Autor, 2024.

- Reconstituição da seção de concreto com aplicação de argamassa polimérica estrutural, com propriedades tixotrópicas, conforme representado pela figura 12.

Figura 12: Reconstituição da seção de concreto com aplicação de argamassa polimérica estrutural, com propriedades tixotrópicas



Fonte: Autor, 2024.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A infiltração é um problema significativo na engenharia civil, contribuindo para o surgimento de diversas manifestações patológicas. A identificação dos sinais é crucial para estabilizar e resolver esses problemas. Eles podem ser evidenciados por manchas ou vestígios de mofo, o que resulta em uma estética desagradável e desconforto para os usuários. No entanto, a infiltração não é apenas um problema visual ou estético; ela pode indicar questões estruturais mais sérias que afetam o desempenho da edificação.

A utilização de materiais adequados muitas vezes requer procedimentos específicos para protegê-los contra intempéries e ações externas. O concreto armado, amplamente utilizado no Brasil por sua resistência à compressão e custo-benefício, é um exemplo. Devido à sua relativa alta porosidade, este material necessita de cuidados especiais contra fatores climáticos, como a ação da água, dióxido de carbono e outros contaminantes que podem reduzir sua durabilidade.

A infiltração é perigosa porque pode causar corrosão da armadura, carbonatação ou eflorescências, todas manifestações patológicas induzidas por ações externas. Quando a água penetra no concreto, atinge as armaduras, que são feitas de metais propensos à oxidação. Por isso, é essencial evitar que as barras metálicas entrem em contato com água, ar ou qualquer ambiente que facilite a corrosão. Se a armadura for exposta a tais condições, a estrutura fica comprometida, já que o aço é vital para resistir a forças que o concreto, por si só, não suportaria.

A infiltração pode comprometer a resistência e a estabilidade das edificações, provocando um ciclo contínuo de degradação se não for tratada de forma adequada. Além dos danos estéticos e funcionais, a presença de umidade pode criar um ambiente favorável ao crescimento de fungos e bactérias, que podem causar problemas de saúde para os ocupantes e afetar a qualidade do ar interno. A abordagem para resolver esses problemas deve ser abrangente, envolvendo a reparação dos danos visíveis e a identificação e correção das causas subjacentes da infiltração.

A recuperação eficaz das estruturas deve considerar tanto a reabilitação dos elementos comprometidos quanto a implementação de soluções preventivas para evitar a recorrência dos problemas. As técnicas de recuperação, como o uso de argamassas específicas e sistemas de impermeabilização, são essenciais para restaurar a integridade estrutural e prolongar a vida útil das edificações. No entanto, a eficácia dessas intervenções depende da execução correta e da aderência às especificações técnicas estabelecidas.

Além dos reparos realizados, é importante ressaltar a necessidade de um plano de manutenção contínua para garantir a preservação da estrutura a longo prazo. Inspeções regulares e a monitorização das condições da edificação são fundamentais para identificar precocemente novos problemas e implementar medidas corretivas antes que se agravem. A educação dos proprietários e gestores sobre os cuidados preventivos e a importância da manutenção também desempenha um papel crucial na preservação da integridade estrutural.

No imóvel onde foi realizado a inspeção e posterior recuperação estrutural, foram observadas desagregação do concreto e corrosão na armadura. Qualquer tipo de manifestação patológica causa prejuízos à estrutura. Portanto, a recuperação dos elementos estruturais foi altamente recomendada para este imóvel, a fim de reestabelecer o desempenho e a segurança da edificação, que estavam comprometidos.

Em suma, a recuperação e a manutenção de edificações afetadas por infiltração e outras patologias exigem uma abordagem integrada e proativa. A combinação de técnicas de reparo adequadas, medidas preventivas e um plano de manutenção contínua são essenciais para garantir a segurança e a longevidade das estruturas, protegendo o investimento realizado e assegurando um ambiente seguro e saudável para os usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J. E. Metodologia de Diagnósticos de Patologias. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. Boletim Técnico 6 – Corrosão das Armaduras das Estruturas de Concreto, Alconpat Brasil, 2013.

MACHADO, R. Manutenção de edifícios hospitalares: uma abordagem prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

MARTINELI, R. Patologia em estruturas metálicas – Estudo de caso utilizando termografia. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/patologia-em-estruturas-metalicas-estudo-de-caso-ronaldo-martineli>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

MONTEIRO, E. C. B. Fundamentos da corrosão. Notas de aula do Curso de Especialização. Escola Politécnica de Pernambuco. Universidade de Pernambuco, Recife, 2018. 5p. **MONTEIRO, E. C. B.** Manifestações patológicas em estruturas de concreto. Notas de aula do Curso de Especialização. Escola Politécnica de Pernambuco. Universidade de Pernambuco, Recife, 2018. 5p.

MORENO, J. Blog Deck Universal. 2013. Disponível em: <http://deckuniversal.blogspot.com/2013/>. Acesso em: 02 de agosto de 2024.

RESENDE, G. A. Recuperação de Estruturas de Concreto Armado: Técnicas e Materiais para Prolongar a Vida Útil. 6ª CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS - PATORREB. Rio de Janeiro, 2018.

SANTOS, B.; INTERLANDI, C. Estruturas de Concreto Armado Patologias e suas Consequências Estudo de Caso. Engenharia Estudo e Pesquisa, ABPE, v. 16, n. 2, p.40-47, jul./dez. 2016. Disponível em: www.revistaeeep.com/imagens/volume16_02/cap05.pdf. Acesso em: 09/05/2019. p 41.