

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCCA VALENÇA LYRA MARQUES FARIAS

**ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PRÉDIO ANTIGO
DO NÚCLEO DE PESQUISA TECNOLÓGICA (NPT)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MACEIÓ-AL

2023

Lucca Valença Lyra Marques Farias

**ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PRÉDIO ANTIGO
DO NÚCLEO DE PESQUISA TECNOLÓGICA (NPT)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof. Dr^a. Cássia Vanessa Albuquerque de Melo.

Coorientadora: Prof. Dr^a. Karoline Alves de Melo Moraes.

MACEIÓ-AL

2023

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

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

F224e Farias, Lucca Valença Lyra Marques.
Estudo das manifestações patológicas do prédio antigo do Núcleo de Pesquisa Tecnológica (NPT) / Lucca Valença Lyra Marques Farias. – Maceió, 2023.
[58] f. : il., grafs. e tabs. color.

Orientadora: Cássia Vanessa Albuquerque de Melo.
Coorientadora: Karoline Alves de Melo Moraes.
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. [55]-[58].

1. Manifestações patológicas. 2. Estruturas de concreto. 3. Revestimento de fachadas. I. Título.

CDU: 624.012.3/4

Folha de Aprovação

LUCCA VALENÇA LYRA MARQUES FARIAS

ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PRÉDIO ANTIGO DO NÚCLEO DE PESQUISA TECNOLÓGICA (NPT)

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil,
do Centro de Tecnologia da Universidade
Federal de Alagoas, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Documento assinado digitalmente
 CASSIA VANESSA ALBUQUERQUE DE MELC
Data: 18/05/2023 16:09:14-0300
Verifique em <https://validar.j6.gov.br>

Profª Drª. Cássia Vanessa Albuquerque de Melo (Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 KAROLINE ALVES DE MELO MORAES
Data: 24/05/2023 07:42:57-0300
Verifique em <https://validar.j6.gov.br>

Profª Drª Karoline Alves de Melo Moraes (Coorientadora)

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ALINE CALHEIROS ESPINDOLA
Data: 19/05/2023 09:47:47-0300
Verifique em <https://validar.j6.gov.br>

Mestra Profª Aline Calheiros Espíndola - Universidade Federal de Alagoas

Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE NASCIMENTO DE LIMA
Data: 19/05/2023 09:16:22-0300
Verifique em <https://validar.j6.gov.br>

Mestre Prof. Alexandre Nascimento – Universidade Federal de Alagoas

MACEIÓ-AL
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha noiva Ingrid, pelo amor, apoio e compreensão ao longo desta jornada. Seu amor incondicional e incentivo constante foram fundamentais para que eu pudesse concluir este trabalho. Sua paciência, compreensão e incentivo foram um verdadeiro suporte emocional durante todo o processo.

À minha família, em especial aos meus pais Adriana e Felipe, e ao meu irmão Felipe Filho, que sempre acreditaram em mim e me apoiaram em todas as etapas da minha vida acadêmica. Seu amor, encorajamento e suporte financeiro foram essenciais para a minha formação.

À minha orientadora Cássia de Melo, pela sua dedicação, paciência e valiosas orientações ao longo deste trabalho. Seu profissionalismo, expertise e entusiasmo pela área contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste projeto. Sou imensamente grato por sua disponibilidade em esclarecer minhas dúvidas e por me incentivar a buscar a excelência em cada etapa do trabalho.

Agradeço também aos professores Karoline Moraes, Aline Espindola e Alexandre de Lima, pelo conhecimento transmitido e pelas contribuições relevantes em discussões e sugestões para este TCC. Suas experiências e ensinamentos foram fundamentais para a minha formação acadêmica e pessoal.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meu mais sincero agradecimento. Vocês fizeram parte de uma etapa importante da minha vida, e sou imensamente grato por todo o suporte, incentivo e contribuições que recebi.

RESUMO

O presente trabalho objetiva realizar um estudo de caso das manifestações patológicas presentes no prédio antigo do Núcleo de Pesquisa Tecnológica (NPT), localizado na Universidade Federal de Alagoas, Maceió. O estudo visa identificar e descrever os vários tipos de patologias presentes no edifício, as suas causas e as consequências na estrutura e funcionalidade do edifício. O estudo foi realizado por meio de uma inspeção abrangente do edifício, incluindo observação visual, medições e testes laboratoriais. Os resultados do estudo revelam a presença de vários tipos de manifestações patológicas, incluindo fissuras, deslocamentos, presença de bolor, corrosão, entre outras. Verificou-se que as causas destas manifestações patológicas estão relacionadas com fatores como o envelhecimento, as condições ambientais e as técnicas construtivas utilizadas na construção do edifício. Foram também analisadas as consequências destas patologias na estrutura e funcionalidade do edifício, tendo sido propostas recomendações de reparação e manutenção. O estudo fornece informações valiosas sobre o diagnóstico, tratamento e prevenção de patologias em edifícios antigos, que podem ser úteis para proprietários de edifícios, arquitetos e engenheiros na preservação e manutenção de diversas estruturas.

Palavras-chave: manifestações patológicas; estruturas de concreto; revestimento exterior de fachada.

ABSTRACT

The present work aims to carry out a case study of the pathological manifestations present in the old building of the Technological Research Center (TRC), located at the Federal University of Alagoas, Maceió. The study aims to identify and describe the various types of pathologies present in the building, their causes and consequences on the structure and functionality of the building. The study was carried out through a comprehensive inspection of the building, including visual observation, measurements and laboratory tests. The results of the study reveal the presence of several types of pathological manifestations, including cracks, displacements, presence of mold, corrosion, among others. It was verified that the causes of these pathological manifestations are related to factors such as aging, environmental conditions and construction techniques used in the construction of the building. The consequences of these pathologies on the structure and functionality of the building were also analyzed, with recommendations for repair and maintenance being proposed. The study provides valuable information on the diagnosis, treatment and prevention of pathologies in old buildings, which can be useful for building owners, architects and engineers in the preservation and maintenance of various structures.

Keywords: pathological manifestations; concrete structures; exterior coating.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Fluxograma genérico para diagnóstico de uma estrutura	23
FIGURA 2 - Processo de lixiviação do concreto	26
FIGURA 3 - Localização do prédio antigo do núcleo de pesquisa tecnológica	28
FIGURA 4 - Variação de calor por radiação térmica na fachada principal do prédio	40
FIGURA 5 - Cerâmicas que apresentaram som cavo. (a) Região direita da fachada. (b) Região esquerda da fachada	42
FIGURA 6 - Medição da espessura da fissura no pilar	43
FIGURA 7 - Utilização de marteleto para expor a armadura do pilar - a) antes da remoção do cobrimento; b) após a remoção do cobrimento	44
FIGURA 8 - Medição da espessura do cobrimento da armadura	44
FIGURA 9 - Alteração de coloração de parte da armadura exposta	45
FIGURA 10 - Aspersão de solução de fenolftaleína na armadura exposta	46
FIGURA 11 - Alteração de coloração de parte da armadura exposta	50

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal	20
TABELA 2 - Cobrimento mínimo para estruturas de concreto armado	47
TABELA 3 - Cobrimento mínimo para estruturas de concreto armado segundo a classe de agressividade	48

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Principais causas das manifestações patológicas no Brasil	15
GRÁFICO 2 - Evolução do custo de acordo com a etapa de intervenção	16

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Identificação das principais manifestações patológicas presentes na edificação e memorial fotográfico (continua)	33
QUADRO 2 - Checklist de condutas gerais tratadas na inspeção predial de edificações	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
NBR	NORMA BRASILEIRA
NPT	NÚCLEO DE PESQUISA TECNOLÓGICA
CTEC	CENTRO DE TECNOLOGIA
IBAPE	INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA
CBIC	CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
LEMA	LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS E MATERIAIS
ART	ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA
BS EN	<i>BRITISH STANDARDS</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Comentários iniciais	10
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivos gerais	11
1.2.2 Objetivo específico	11
1.3 Justificativa	11
1.4 Delimitação do trabalho	12
2.1 Patologia das construções e manifestações patológicas	13
2.2 Anomalias e falhas construtivas	13
2.3 Causa das manifestações patológicas	14
2.4 Origem das manifestações patológicas	15
2.5 Realização da anamnese	16
2.6 Recomendações normativas aplicáveis ao estudo de patologia das construções	17
2.7 Carbonatação do concreto	20
2.8 Principais etapas executadas em serviços de reparo, recuperação e reforço	21
2.8.1 Serviços de reparo, recuperação e reforço	24
2.9 Manifestações patológicas em edificações antigas	25
3 METODOLOGIA	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1 Descrição do prédio	31
4.2 Etapa de anamnese	31
4.3 Inspeção visual e memorial fotográfico	31
4.4 Análise termográfica do revestimento externo	40
4.5 Inspeção da cerâmica	41
4.6 Ensaio de carbonatação	43
Fonte: Autor (2023)	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 Comentários iniciais

A ausência de um planejamento adequado para as obras, o uso inadequado de materiais, aliado à falta de cuidados na execução e mesmo adaptações quanto ao seu uso, adicionado à carência de manutenção, fazem com que haja a aparição de manifestações patológicas, o que acaba criando despesas extras às edificações de gestão pública (IANTAS, 2010).

Segundo a Norma NBR 15575 (ABNT, 2021), o tempo de vida útil de uma edificação é definido como o período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento aos níveis de desempenho previstos em norma, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção. Esse tempo de vida útil está diretamente relacionado com o aparecimento de manifestações patológicas nas estruturas edificações, como pilares, vigas, lajes, paredes etc. Essas manifestações patológicas podem se manifestar na forma de trincas, rachaduras, fissuras, manchas, descolamentos de revestimentos, deformações, rupturas, corrosão, oxidação, entre outros.

Apesar do concreto ser considerado um material de extrema durabilidade, desde que receba manutenção sistemática e programada, muitas construções apresentam manifestações patológicas com incidência e intensidade significativas, que tendem a se expandir ao longo do tempo de vida útil da edificação. Frente a essas manifestações patológicas observa-se, em geral, um descaso inconsequente que leva a simples reparos superficiais ou, inversamente, a demolições ou reforços injustificados (HELENE, 1992).

O problema se agrava quando se trata de edificações de gestão pública. Verifica-se que apesar da orientação técnica existente, inúmeros prédios públicos sofrem com escassez de manutenção, seja por falta de recursos financeiros ou de funcionários, aquisição de materiais ou contratação de serviços a partir de licitações pautadas pelo menor preço ao invés da qualidade, além do que enfrentam excesso

de procedimentos para realização de atividades de manutenção, tornando simples rotinas em tarefas pouco produtivas e demoradas (CARLINO, 2012).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos gerais

O objetivo do presente trabalho é realizar um estudo de manifestações patológicas presentes no prédio antigo do Núcleo de Pesquisa Tecnológica (NPT) do Centro de Tecnologia (CTEC), para determinar a extensão e gravidade destas anomalias e quais os melhores procedimentos para sua correção.

1.2.2 Objetivo específico

Propor um quadro de condutas gerais de inspeção predial, relacionando-os às normas vigentes tratadas neste estudo.

1.3 Justificativa

A presença de manifestações patológicas em construções, na área de engenharia civil, é um problema que se alastra por todos os tipos de obras, desde as mais simples até as mais complexas; das mais antigas às mais recentes. Diversas podem ser as causas das manifestações patológicas em uma construção, e os seus efeitos vão desde o aumento do custo para o empreendedor/consumidor, com a necessidade da realização de reparos e restaurações nas estruturas danificadas, até os riscos que essas avarias podem causar à saúde dos usuários destas edificações (OLIVEIRA, 2013). Fatores naturais, como radiação solar e fenômenos físicos, como infiltrações, podem somar uma série de deteriorações em construções (SOUZA, 2008).

O conhecimento de recomendações normativas, que tratam de definições e procedimentos a serem tomados numa avaliação preventiva, preditiva e corretiva, deve ser interesse de todos os profissionais da engenharia, a fim de que seja constantemente revisado de forma a monitorar as estruturas, bem como acompanhar a empregabilidade de materiais e execução de serviços e intervenção adequados. É uma realidade que estudos tenham sido aprimorados, devido à importância que a problemática apresenta, destacando-se, muitas das vezes,

descasos de manifestações patológicas em detrimento de outras atividades, relegando-as por não ser uma prioridade (HELENE, 1992).

Assim, o presente trabalho se propõe a realizar um estudo de caso das manifestações patológicas presentes no prédio do Núcleo de Pesquisa Tecnológica (NPT) da Universidade Federal de Alagoas, com o intuito de obter uma melhor compreensão dos diversos aspectos que podem gerar esses tipos de manifestações patológicas.

1.4 Delimitação do trabalho

Estão dentro do escopo do trabalho o estudo da origem, as causas, os procedimentos que podem ser adotados para minimizar a aparição de anomalias e os processos e materiais que podem ser utilizados para reparar/restaurar aquelas estruturas já afetadas. Foram focalizadas estruturas de concreto, como pilares, vigas e calçamento, e da fachada de placas cerâmicas.

Além disso, foram realizados o ensaio de carbonatação, nos pilares, a análise termográfica e teste de percussão na fachada do prédio.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Patologia das construções e manifestações patológicas

O termo patologia das construções é diversas vezes confundido com a expressão “manifestação patológica”. Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021), manifestações patológicas são irregularidades que se manifestam no produto em função de falhas no projeto, na fabricação, na instalação, na execução, na montagem, no uso ou na manutenção, bem como problemas que não decorram do envelhecimento natural.

O termo patologia, utilizado no âmbito da construção civil, é definido como o estudo sistemático das manifestações patológicas que afetam uma estrutura, com o objetivo de determinar as suas causas, sintomas e possíveis tratamentos (WATT, 2013).

Ainda segundo Watt (2013), esta é uma área do conhecimento que necessita de uma abordagem multidisciplinar, requerendo o entendimento detalhado de como o produto foi projetado, construído, usado e alterado ao longo dos anos, e os vários mecanismos pelos quais os seus materiais e as condições ambientais podem interagir entre si para alterá-lo.

2.2 Anomalias e falhas construtivas

Segundo a NBR 16747 (ABNT, 2020) as anomalias caracterizam-se pela perda de desempenho de um elemento, subsistema ou sistema construtivo e são ainda divididas em:

- endógena ou construtiva: quando perda de desempenho decorre das etapas de projeto e/ou execução;
- exógena: quando a perda de desempenho relaciona-se a fatores externos à edificação, provocados por terceiros;
- funcional: quando a perda de desempenho relaciona-se ao envelhecimento natural e consequente término da vida útil;

As falhas caracterizam-se pela perda de desempenho de um elemento, subsistema ou sistema construtivo, decorrentes do uso, operação e manutenção (ABNT, 2020).

2.3 Causa das manifestações patológicas

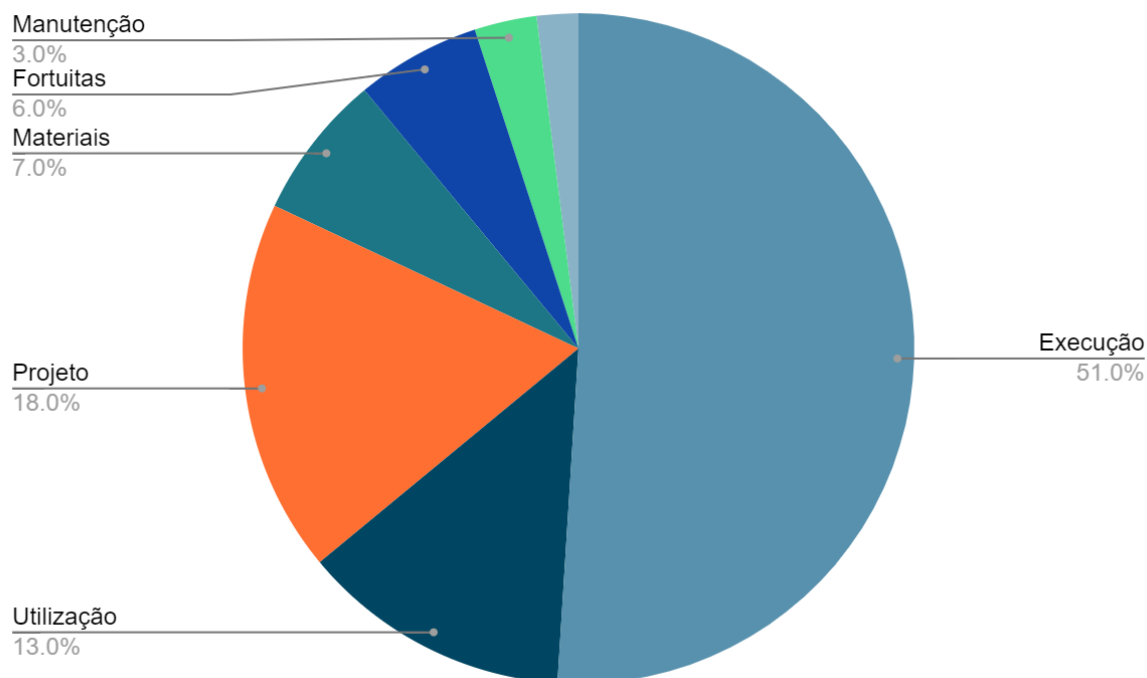
A causa das manifestações patológicas é definida como o fator, ou fatores, que venham a provocar de forma direta ou indireta uma ou mais manifestações patológicas (BERTI *et al.*, 2019). Segundo estes autores, elas podem ser classificadas em causas intrínsecas e causas extrínsecas:

- causas intrínsecas: ocorrem quando os processos de deterioração das estruturas são inerentes às próprias estruturas, ou seja, todas as que têm sua origem nos materiais e peças estruturais durante as fases de execução e/ou de utilização das obras, por falhas humanas, por questões próprias ao material concreto e por ações externas.

- causas extrínsecas: são as que independem do corpo estrutural em si, assim como da composição interna do concreto, ou de falhas inerentes ao processo de execução, podendo, de outra forma, ser vistas como os fatores que afetam a estrutura "de fora para dentro", durante as fases de concepção ou ao longo da vida útil desta (SOUZA; RIPPER, 1998).

No Gráfico 1 apresenta as principais causas de manifestações patológicas em construções no Brasil.

GRÁFICO 1 - Principais causas das manifestações patológicas no Brasil



Fonte: Silva e Jonov (2011)

2.4 Origem das manifestações patológicas

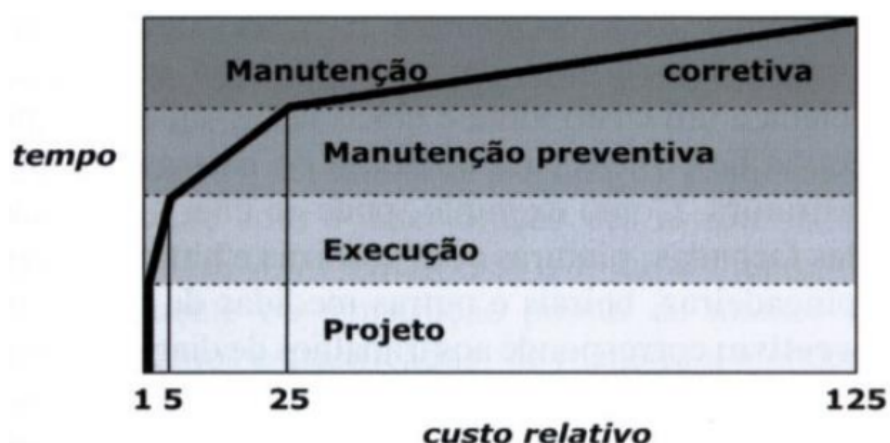
A origem se caracteriza na etapa, ou etapas, do processo construtivo onde ocorreram erros, ou falhas, que originaram os problemas patológicos posteriores. Estas etapas podem ser divididas em planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes fora do canteiro, execução propriamente dita e uso (BERTI *et al.*, 2019).

Segundo Helene (1992), a maioria dos problemas patológicos têm origem nas fases de planejamento e projeto da obra, no entanto, muitos dos seus efeitos só se tornam perceptíveis anos após a conclusão da mesma. Ainda segundo Helene, os danos resultantes das reações álcalis-agregados só aparecem com intensidade após seis a doze anos do fim da obra. Há casos em que a corrosão da armadura de lajes de forro e piso de apartamentos se manifestaram após treze anos do “Habite-se”, causando até colapso parcial da estrutura.

Portanto, é importante que haja uma atenção especial às fases preliminares da construção propriamente dita da obra, para evitar possíveis falhas e corrigir, o

quanto antes, aquelas que forem detectadas ao longo das fases construtivas da edificação. Quanto antes forem feitas as manutenções preventivas, menos oneroso será ao gestor para corrigi-las. Segundo a lei de Sitter (1984) *apud* Fioriti (2016), há um aumento progressivo dos custos de uma modificação, ou intervenção, de acordo com a etapa em que ela é feita, como mostrado no gráfico 2.

GRÁFICO 2 - Evolução do custo de acordo com a etapa de intervenção



Fonte: SITTER, 1984 *apud* FIORITI (2016)

É importante ressaltar ainda, que a definição da origem das manifestações patológicas ajuda a determinar, para fins legais, quem foi o responsável pelos danos causados à edificação, para que estes possam ser julgados legalmente pelas suas condutas.

2.5 Realização da anamnese

A anamnese dentro da engenharia civil consiste no levantamento do histórico da construção, método que faz uso de entrevistas com usuários, construtores e projetistas da edificação, mostrando-se uma maneira altamente humana e empírica de análise do problema e pré-diagnóstico (DO CARMO, 2003). Para um diagnóstico adequado da estrutura, o responsável deve estar ciente de como o edifício foi construído, como foi usado, quais as alterações do escopo original e como tem sido o processo de manutenção e reparo (WATT, 2013).

2.6 Recomendações normativas aplicáveis ao estudo de patologia das construções

Recentemente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a NBR 16747 (ABNT, 2020), para embasar os laudos de inspeção predial, sendo esta focada em construções habitacionais. Antes da publicação desta norma, contava-se com o IBAPE (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia). De forma positiva, é uma norma técnica que padroniza a avaliação das condições técnicas, de uso, operação, manutenção e funcionalidade da edificação e de seus sistemas e subsistemas construtivos, de forma sistêmica e predominantemente sensorial, considerando os requisitos dos usuários.

No campo da engenharia diagnóstica, a inspeção predial se destaca com importantes definições e finalidades que precisam ser de conhecimento dos profissionais. A realização do acompanhamento de edificações ao longo dos anos é um processo que não ocorre com tanta eficiência, seja por conta de fatores econômicos ou, até mesmo, por falta de mão de obra especializada. A norma NBR 16747, publicada em 2020, trata-se de uma norma prática, que traz etapas da metodologia da inspeção predial, podendo ser aplicada em quaisquer tipos de edificações. Esta norma fornece diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos relativos à inspeção predial, visando uniformizar metodologia, estabelecendo métodos e etapas mínimas da atividade. Aplica-se a edificações de qualquer tipo, públicas ou privadas, orientando uma avaliação global, fundamentalmente, por meio de exames sensoriais por profissional habilitado.

Para a realização de inspeções prediais, profissionais de outras formações podem atuar em conjunto (engenheiros e arquitetos), de forma multidisciplinar, como aponta a NBR 16747, portanto a metodologia desta norma busca tornar mais prático e padronizado o processo de inspeção predial.

Como todo trabalho parte de uma vistoria, segundo esta norma devem ser levadas em consideração: i) características construtivas; ii) Idade das instalações e da construção e vida útil prevista; iii) exposição ambiental da edificação; iv) agentes (e processos) de degradação (atuantes); v) expectativa sobre o comportamento em uso.

A seguir são apresentados os patamares de urgência, contidos no item 5.3.7 da referida norma técnica, os quais servirão como embasamento nas considerações feitas neste estudo:

- “a) prioridade 1: ações necessárias quando a perda de desempenho compromete a saúde e/ou a segurança dos usuários, e/ou a funcionalidade dos sistemas construtivos, com possíveis paralisações; comprometimento de durabilidade (vida útil) e/ou aumento expressivo de custo de manutenção e de recuperação. Também devem ser classificadas no patamar ‘Prioridade 1’ as ações necessárias quando a perda de desempenho, real ou potencial, pode gerar riscos ao meio ambiente;
- b) prioridade 2: ações necessárias quando a perda parcial de desempenho (real ou potencial) tem impacto sobre a funcionalidade da edificação, sem prejuízo à operação direta de sistemas e sem comprometer a saúde e segurança dos usuários;
- c) prioridade 3: ações necessárias quando a perda de desempenho (real ou potencial) pode ocasionar pequenos prejuízos à estética ou quando as ações necessárias são atividades programáveis e passíveis de planejamento, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor da edificação. Neste caso, as ações podem ser feitas sem urgência porque a perda parcial de desempenho não tem impacto sobre a funcionalidade da edificação, não causa prejuízo à operação direta de sistemas e não compromete a saúde e segurança do usuário.” (ABNT NBR 16747:2020 p. 8-9).”

Como se pode observar, depende do direcionamento do profissional que estiver avaliando, justamente pela vistoria ser sensorial, para que possa apresentar a definição de algumas dessas prioridades. Portanto, em toda edificação se faz necessário contar com um administrador/ gestor de manutenção para que possa atuar de forma mais eficiente na investigação de causas de falhas e corrigi-las com ações imediatas e corretas. Embora, muitas das vezes, edificações não tenham todas as documentações, é possível fazer um *checklist* dos possíveis elementos a serem observados.

No que tange a NBR 15575 (ABNT, 2021), esta norma é responsável por determinar os requisitos de desempenho necessários para um bom funcionamento da construção habitacional.

Segundo a Câmara brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2021), a última versão da NBR 15575 traz como novidade em relação às outras versões o conceito de comportamento em uso dos componentes e sistemas das edificações, sendo que a construção habitacional deve atender e cumprir as exigências dos

usuários ao longo dos anos, promovendo o amadurecimento e melhoria da relação de consumo no mercado imobiliário, na medida em que todos os partícipes da produção habitacional são incumbidos de suas responsabilidades; projetistas, fornecedores de material, componente e/ou sistema, construtor, incorporador e usuário.

Em relação a manchas de umidade, a parte 4 da NBR 15575 (ABNT, 2021), recomenda uma série de condições para o ensaio de estanqueidade, os quais se estendem ao seu anexo F, para os sistemas de vedação vertical externa da edificação habitacional, incluindo a junção entre a janela e a parede. Estas devem permanecer estanques e não deve apresentar infiltrações que proporcionem borrifamentos, escorrimentos ou formação de gotas de água aderentes na face interna, podendo ocorrer pequenas manchas de umidade.

Segundo a Norma NBR 6118 (ABNT, 2014) às estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

Assim, todo o projeto de concreto deve levar em conta a classe de agressividade ambiental local e a partir dela definir parâmetros importantes como, a largura do cobrimento da armadura, relação água/cimento e a classe do concreto, para evitar assim, que as ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto comprometam a qualidade da estrutura. Discutida no item 6.4.1, da ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), nas estruturas de concreto pode ocorrer a agressividade do meio ambiente relacionada às ações físicas e químicas. Esta agressividade pode ocorrer, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica, entre outras no dimensionamento das estruturas.

TABELA 1 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

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

Fonte: ABNT NBR 611 (2014)

A NBR 5674 (ABNT, 2012) define os métodos e pré-requisitos necessários para a implementação do sistema de manutenção de edificações. Este consiste no conjunto de procedimentos organizados para gerenciar as intervenções na edificação e seus sistemas, elementos ou componentes constituintes, e é essencial para garantir uma maior vida útil para a construção.

2.7 Carbonatação do concreto

Segundo Andrade (1992) a durabilidade do aço nas estruturas de concreto armado depende da ação que o concreto exerce sobre ele: por uma parte, o cobrimento de concreto é uma barreira física, e por outro, a elevada alcalinidade do concreto desenvolve sobre o aço uma camada passiva que se mantém inalterada por um tempo indefinido.

No item 6.3.3.1, da NBR 6118 (ABNT, 2014), é tratada a ação do gás carbônico sob o aço da armadura. É necessário tomar medidas para dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. Portanto, a norma NBR 6118 (ABNT, 2014) ressalta a questão do cobrimento das armaduras e recomenda um concreto de baixa porosidade.

A carbonatação do concreto é entendida como a reação química do Ca(OH)_2 , que é produto da hidratação do cimento com o CO_2 presente na atmosfera. Como resultado, forma-se o carbonato de cálcio (CaCO_3), o qual reduz o valor do pH do concreto para cerca de 8,3 (PAPADAKIS *et al.*, 1996).

2.8 Principais etapas executadas em serviços de reparo, recuperação e reforço

Segundo Couto (2016), a recuperação é o processo que busca restabelecer as condições de uso e segurança, já o reparo consiste em alterações em áreas localizadas, e por fim, o reforço visa o aumento da resistência das estruturas.

O ciclo de vida de uma estrutura é definido durante a etapa de projeto, e a sua conservação depende diretamente da execução das manutenções preventivas e corretivas. O primeiro caso está relacionado com a manutenção periódica a qual é feita para prevenir a ocorrência de manifestações patológicas. Já o segundo, está relacionado com a correção realizada com a intenção de “curar” danos já existentes na estrutura (PINHEIRO & BARBOSA, 2019).

A determinação de qual tipo de intervenção será implementada em cada estrutura e a sua amplitude depende de fatores que variam do ponto de vista técnico, econômico e sócio-ambiental. Sendo assim, é preciso que haja um estudo detalhado de cada caso para se deliberar o melhor procedimento a ser aplicado.

Segundo Souza e Ripper (1998) esses são os passos a serem seguidos para essa determinação:

- i) classificação analítica do meio ambiente, em particular da agressividade à estrutura em questão;
- ii) levantamento visual e medições expeditas da estrutura - consiste na observação normal, com anotações, e medições nos principais elementos;
- iii) estimativa das possíveis consequências dos danos e, caso necessário, tomada de medidas de emergência, tais como o escoramento de parte ou do todo da estrutura, alívio do carregamento, instalação de instrumentos para medidas de deformações e recalque e interdição da estrutura;

iv) levantamento detalhado dos sintomas patológicos, inclusive com documentação fotográfica, medidas de deformações (se necessário, com aparelhos topográficos), avaliação da presença de cloretos ou de outros agentes agressores, de carbonatação, medidas de trincas e fissuras (posição, extensão, abertura), medidas de perda de seção em barras de aço etc.;

v) identificação de erros quanto à concepção da estrutura (projeto), à sua execução, ou ainda quanto à sua utilização e manutenção;

vi) análise do projeto original e dos projetos de modificações e ampliações, caso existam, de forma a poder determinar possíveis deficiências na concepção ou no dimensionamento dos elementos estruturais danificados;

vii) instrumentação da estrutura e realização de ensaios especiais, inclusive em laboratório, compreendendo:

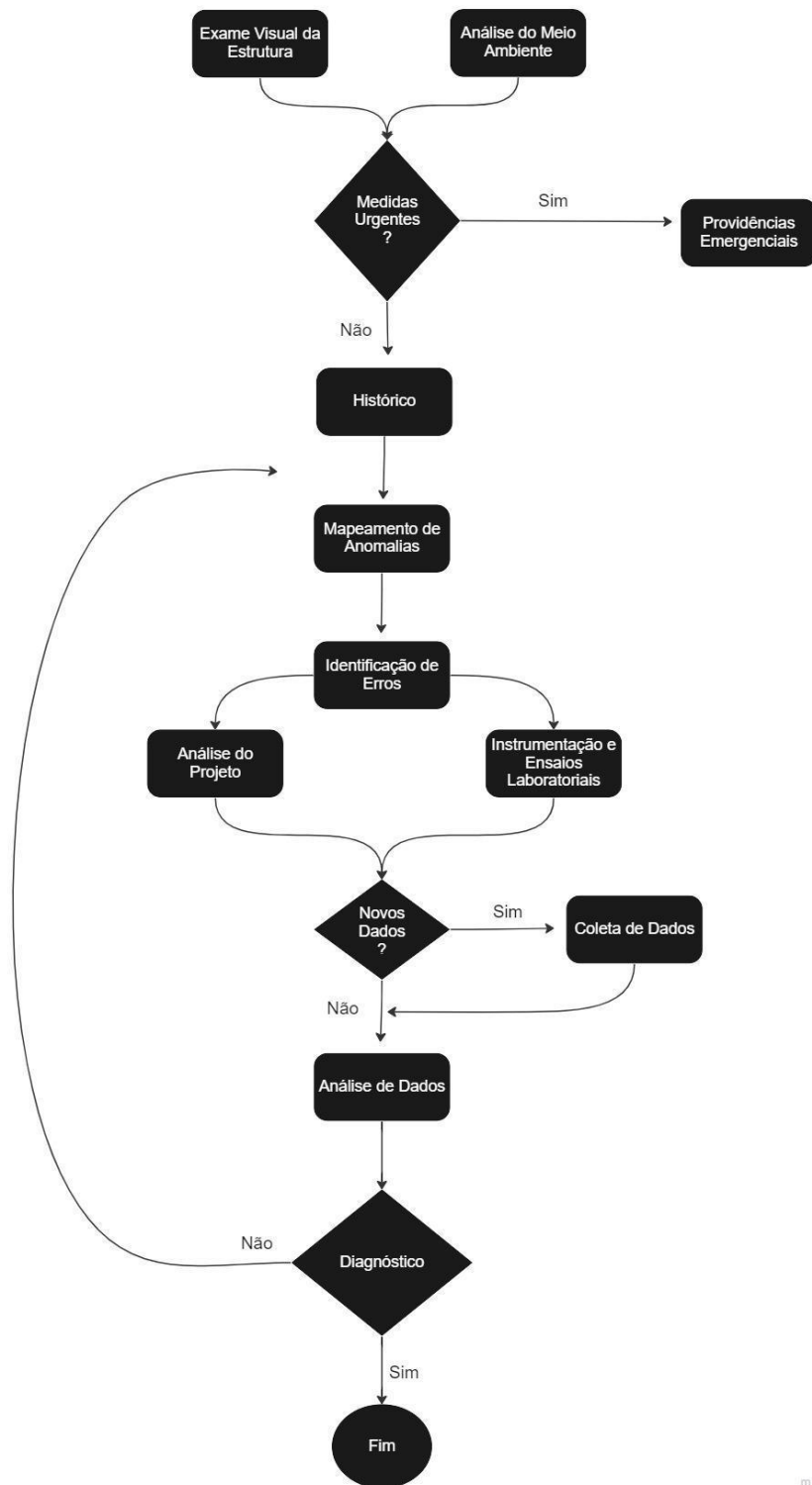
- tipologia e intensidade dos sistemas de deterioração e dos agentes agressores;

- medições: geometria, nível, prumo e excentricidades; mapeamento das fissuras; determinação de flechas residuais; evolução da abertura de fissuras e de deformações etc.;

- estudos e ensaios: verificação dimensional dos elementos (seção transversal do concreto; armaduras; cobrimento etc.) investigação geotécnica; avaliação da resistência do concreto e das características do aço etc.

Na Figura 1, resumem-se os procedimentos para a diagnose de uma estrutura qualquer:

FIGURA 1 - Fluxograma genérico para diagnóstico de uma estrutura



Fonte: Souza (1998)

2.8.1 Serviços de reparo, recuperação e reforço

Para a execução de serviços de reparos e recuperação os autores Pinheiro e Barbosa (2019) recomendam a utilização de argamassa à base de cimento, epóxi ou poliéster, aumentando a cobertura da seção quando estiver abaixo do especificado pela norma. Dentre os casos que apresentem comprometimento de elementos estruturais, os autores recomendam reforço com maior seção do componente. Em ambos os casos é recomendado a aplicação de revestimento protetor na estrutura.

Antes da aplicação do material em si, é preciso preparar o substrato para que haja uma melhor coesão entre a substância a ser empregada e a área a ser corrigida, garantindo uma maior eficácia e durabilidade para a intervenção.

Resumo das etapas de preparação do substrato:

- i) Delimitação da área a ser reparada com a utilização de ferramenta adequada de corte;
- ii) Remoção do concreto deteriorado e de todos os resíduos de agregado e pó, deixando a superfície limpa;
- iii) Uso de jato d'água para remoção mais eficiente das impurezas;
- iv) Caso haja resíduos de óxidos (ferrugem) nas barras de aço, esses deverão ser removidos totalmente com uso de escova de aço;
- v) Tratamento prévio das armaduras por pintura de proteção específica, caso necessário, as barras deverão ser substituídas ou reforçadas.
- vi) Montar a fôrma necessária de maneira a permitir o lançamento do material de reparo sem vazamento, ou seja, que não haja escoamento do produto para fora da fôrma (SILVA, 2006).

Os principais materiais utilizados em intervenções em estruturas de concreto são: a argamassa, o graute e o concreto.

A recuperação com argamassa é utilizada, geralmente, para áreas de superfícies tanto pequenas quanto grandes, mas que não atingem grandes profundidades. Segundo Souza e Ripper (1998) não devem atingir mais do que 5 centímetros. A argamassa pode ser combinada com polímeros, resinas epoxídicas

ou outros aditivos para melhorar algumas de suas características, como, resistência à impactos e adesão.

A utilização de graute é recomendada quando necessita de liberação rápida da estrutura, isso ocorre, pois o graute atinge altas resistências rapidamente, sendo que 24 horas após a concretagem já é possível a retirada da fôrma. Ele é um dos materiais mais utilizados atualmente devido ao seu baixo custo e eficiência (SILVA, 2006).

Por fim, o concreto é utilizado principalmente quando são identificadas falhas de concretagem, também conhecidas como bicheiras, ou em estruturas deterioradas, sendo necessário que a extensão do reparo ultrapasse a seção do elemento estrutural, ou pelo menos que ele vá além das armaduras. O concreto pode ser aplicado tanto de forma manual quanto na forma de concreto projetado (SILVA, 2006).

2.9 Manifestações patológicas em edificações antigas

Segundo Arendt (1997), para a recuperação de edificações antigas, são válidos os mesmos princípios da física e da química bem como a boa técnica construtiva das instalações, como nos prédios novos. Porém, as edificações antigas impõem restrições ao uso de materiais, técnicas e detalhes pela incompatibilidade com os materiais e técnicas usados antigamente.

As manifestações patológicas em edificações antigas recaem na maior parte das vezes em problemas de umidade, conforme evidenciam Oliveira e Azevedo (1994). Segundo o estudo, foi possível verificar que 74% das construções ecléticas da área central de Pelotas apresentam bolor; 20% apresentam descascamento com empolamento; 3,44% apresentam eflorescência e 2,5% apresentam outros problemas. De certa forma, a eflorescência é resultante do fenômeno conhecido como lixiviação. A lixiviação é um problema estético que ocorre no concreto, causando o surgimento de eflorescência. No item 6 da Norma 6118 (ABNT, 2014), este termo significa “o mecanismo responsável por dissolver e carregar os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras”. A ocorrência da lixiviação pode ser evitada restringindo

a fissuração, de forma a minimizar a infiltração de água, e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como os hidrófugos.

Ainda segundo o estudo de Oliveira e Azevedo (1994), os tipos de umidade mais frequentes são a umidade de infiltração presentes em 64,63% das edificações estudadas, umidade proveniente do solo presente em 22,00%, umidade accidental presente em 14,65% e por fim, a umidade de condensação, presente em 1,72%.

Com relação às manifestações patológicas de fissuras e trincas em edificações antigas, percebe-se o baixo índice destas devido a alguns fatores, como grande massa e inércia, vãos pequenos e elementos com grande seção transversal (Peres, 2001). Segundo Silveira *et al.* (2022), em seus estudos, quando da observância de trincas, ainda que elas não comprometam a estrutura, deve ser realizado o acompanhamento de modo a evitar possíveis danos mais sérios à edificação.

Em relação às manifestações patológicas observadas em fachadas, Madureira *et al.* (2017) observaram que, ao longo de sua vida útil, as fachadas das edificações estão sujeitas a um processo complexo de degradação. Esse processo envolve diversos fatores, cuja compreensão é imprescindível no sentido de controlar os seus efeitos e as possíveis manifestações patológicas deles resultantes. Dentre as manifestações patológicas, nas fachadas podem apresentar problemas de natureza estética, de segurança, entre outros (MADUREIRA *et al.*, 2017).

FIGURA 2 - Processo de lixiviação do concreto



Fonte: ECiViL (2021)

3 METODOLOGIA

Neste trabalho serão realizados estudos qualitativos do estado de conservação da estrutura do prédio antigo, Núcleo de Pesquisas Tecnológicas (NPT), localizado no Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas.

A pesquisa classifica-se como exploratória, por ter como objetivo proporcionar maior familiaridade com o objeto de estudo ou problema, com vista a torná-lo mais explícito”, descritiva, por “descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou então, o estabelecimento de relações entre as variáveis” (manifestações patológicas no prédio do NPT), e bibliográfica, isto é, “elaborada a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos” (GIL, 2010).

Trata-se de um estudo de caso que, segundo Lüdke e André (1986), como modalidade de pesquisa, é entendido como uma metodologia ou como a escolha de um objeto de estudo definido pelo interesse em casos individuais. Visa à investigação de um caso específico, bem delimitado, contextualizado em tempo e lugar para que se possa realizar uma busca circunstanciada de informações.

O objeto de estudo, definido neste estudo, faz parte de uma construção da década de 60, sendo escolhido por apresentar grande incidência de manifestações patológicas e em estado avançado de perda do cobrimento. Sua localização é apresentada na Figura 3.

As visitas foram realizadas com a colaboração de um engenheiro civil, responsável pelos trabalhos de reforma. Tais visitas permitirão definir separadamente a natureza e as causas dos problemas patológicos e coleta de dados com anotações das patologias detectadas nas instalações.

Realizou-se identificação da agressividade do ambiente, contando com a análise visual das armaduras já expostas em componentes estruturais, manchas esverdeadas em paredes, em outras informações.

Será realizado um memorial fotográfico do prédio antigo do LEMA, juntamente com o apoio do engenheiro civil que auxiliou no fornecimento de informações da estrutura. Esta etapa é conhecida como *anamnese*. Após a *anamnese* apresentada, assim como o uso de referências da literatura, foi levantado o diagnóstico, juntamente com a realização de ensaios *in situ* (*carbonatação, teste de percussão e*

De um modo geral, a fenolftaleína é o indicador de pH mais utilizado no meio científico, devido à facilidade de uso, rapidez na realização do ensaio, custo baixo e, relativamente, boa precisão. Deve-se lembrar que a cor vermelha pode indicar a presença de CH (hidróxido de cálcio), mas não a ausência total de carbonatação. A frente de carbonatação não pode ser considerada rígida, mas gradual (VILLAIN *et al.*, 2007).

- TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (ASTM D4788-88, 2001)

Baseia-se na percepção do perfil de temperatura superficial pelo mecanismo de transferência de calor, uma vez que todo o corpo com temperatura acima de zero absoluto (0 K ou -273,15°C) emite radiação devido à agitação térmica de seus átomos e moléculas. É utilizado um equipamento chamado câmera termográfica para converter a radiação infravermelha em imagens digitais passíveis de análise.

Dentro da inspeção predial é utilizado com o intuito de detectar agentes ocultos responsáveis por manifestações patológicas visíveis, mas, principalmente, como instrumento de engenharia preventiva. Neste caso, é possível localizar anomalias não aparentes em fase inicial e definir as intervenções necessárias para evitar danos maiores às edificações (MENDONÇA, 2005).

A termografia por infravermelho apresenta como principais vantagens a rapidez de inspeção, a possibilidade de interpretação das imagens em tempo real e o fato de a técnica ser não destrutiva. Entre as desvantagens do método pode-se citar a necessidade de os componentes inspecionados possuírem pequena espessura e o custo relativamente alto para a aquisição dos equipamentos (TARPANI *et al.*, 2019).

- ENSAIO DE PERCUSSÃO

Este ensaio visa avaliar a aderência dos revestimentos. É um ensaio muito utilizado devido a sua praticidade e por não ser um ensaio destrutivo, servindo como ensaio complementar ao ensaio de termografia. Segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013), o ensaio de percussão é realizado por meio de impactos leves, que não comprometam a aderência do sistema de revestimento, com martelo de madeira ou demais instrumentos rijos. A avaliação deve ser realizada em uma área de cerca de 1 m² a cada 100 m² de paredes, e os revestimentos que apresentarem o som

cavo/oco, devem ser integralmente percutidos para se estimar a área total com falha de aderência.

O ensaio de percussão é o recomendado pela ABNT NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que destaca uma tolerância de 0,10 m² da área individual descolada ou área total correspondente a 5% do plano de fachada. O ensaio foi realizado até uma altura de 2 m, a partir da base da fachada, com o auxílio de andaimes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Descrição do prédio

O prédio antigo está compreendido em três partes: a primeira para produção, armazenamento e tratamento de materiais convencionais e não convencionais; a segunda para ensaios mecânicos, contando com prensas, uma laje de reação, pórticos que permitem a realização de ensaios de elementos estruturais e uma ponte rolante com capacidade de 50 kN para movimentação de peças; a terceira para ensaios de caracterização de materiais, estudos de durabilidade e reologia.

4.2 Etapa de anamnese

A partir de conversas com técnicos do NPT, foi constatado que grande parte das manifestações patológicas encontradas dentro do prédio foi resultado de infiltrações e acúmulo de água dentro das dependências do edifício. Ainda segundo os relatos, o problema com infiltrações é crônico e vem se estendendo a pelo menos 5 anos, sendo necessário, inclusive, uma reforma parcial do telhado do prédio, realizada em 2021, mas que, no entanto, não solucionou por completo o problema de infiltração.

Outra problemática descrita é a falta de manutenção no prédio. Segundo a Norma NBR 5674 (ABNT, 2012), a omissão em relação à necessária atenção para a manutenção das edificações pode ser constatada nos frequentes casos de edificações retiradas de serviço muito antes de cumprida a sua vida útil projetada (pontes, viadutos, escolas), causando muitos transtornos aos seus usuários e um sobrecusto em intensivos serviços de recuperação ou construção de novas edificações.

Por último, foi relatado a falta de celeridade nas intervenções corretivas em situações que foram necessárias estes tipos de procedimentos. Segundo os técnicos, a alta burocracia, falta de prioridade pelos responsáveis e falta de recursos financeiros são as principais causas para esse tipo de problemática.

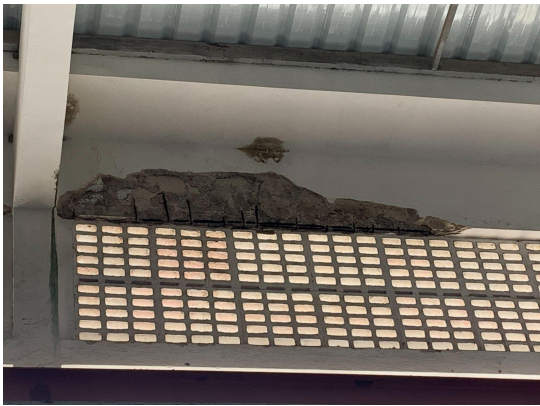
4.3 Inspeção visual e memorial fotográfico

Segundo os procedimentos indicados pela Norma NBR 16747 (ABNT, 2020), foi realizada a vistoria da edificação para constatação das anomalias e falhas de

manutenção, uso e operação (e de suas eventuais repercussões em termos de sinais e sintomas de deterioração), considerando os requisitos dos usuários. O memorial fotográfico está representado no Quadro 1.

QUADRO 1 - Identificação das principais manifestações patológicas presentes na edificação e memorial fotográfico (continua)

ELEMENTO	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO	PROBLEMÁTICA	NORMAS APLICÁVEIS	IMAGENS
Fachada lateral para acesso de carga/descarga	Fachada da entrada do prédio, com revestimento feito de placas de quartzo com dimensões de 20 x 40 cm.	Apresenta intensas manchas de bolor. Processo de deterioração e/ou descolamento de algumas placas. Falta de rejunte entre as placas. Situa-se próximo a uma área arborizada.	NBR 13755 – revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante. NBR 15575 - Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas.	

ELEMENTO	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO	PROBLEMÁTICA	NORMAS APLICÁVEIS	IMAGENS
Viga de sustentação	Viga de concreto armado, concreto C20	Deterioração intensa do concreto com deslocamento do concreto e exposição da armadura e início do processo de corrosão. Presença de manchas de bolor na parte superior da viga.	NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto. NBR 15575 - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.	 

ELEMENTO	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO	PROBLEMÁTICA	NORMAS APLICÁVEIS	IMAGENS
Junta de dilatação	Junta de dilatação de concreto com 4cm de espessura.	Presença de manchas de bolor ocasionadas pela água da chuva. Falta de material de preenchimento da junta de dilatação, gerando infiltração da água da chuva nas paredes internas do prédio.	NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto. NBR 15575 - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.	

ELEMENTO	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO	PROBLEMÁTICA	NORMAS APLICÁVEIS	IMAGENS
Pilar interno	Pilar de concreto armado, concreto C20.	Infiltração de água da chuva na superfície do pilar gerando a aparição de manchas. Formação de fissuras.	NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto. NBR 15575 - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.	

ELEMENTO	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO	PROBLEMÁTICA	NORMAS APLICÁVEIS	IMAGENS
Viga central	Viga de concreto armado, concreto C20	Presença intensa de manchas de bolor ocasionados pela água da chuva	NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto. NBR 15575 - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.	
Viga lateral	Viga de concreto armado, concreto C20	Presença de manchas de bolor e descascamento da cobertura de tinta comum. Encontra-se em contato direto com a junta de dilatação do prédio.	NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto. NBR 15575 - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.	

ELEMENTO	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO	PROBLEMÁTICA	NORMAS APLICÁVEIS	IMAGENS
Piso externo	Piso da área externa localizado na parte de trás do prédio. Feito de blocos cerâmicos de alvenaria e uma camada de concreto.	Grande presença de vegetação. Deterioração avançada com presença de fissuras por quase toda extensão do piso e destacamento de parte do concreto.	NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto. NBR 15575 - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos.	 

QUADRO 1 - Identificação das principais manifestações patológicas presentes na edificação e memorial fotográfico (conclusão)

ELEMENTO	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO	PROBLEMÁTICA	NORMAS APLICÁVEIS	IMAGENS
Pilares externos	Pilar de concreto armado, concreto C20 Localizado na parte de trás do prédio	Manchas de bolor ocasionadas pela água da chuva. Falta de solidarização do pilar com a fundação do prédio. Presença de vegetação e fissuras no pilar.	NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto. NBR 15575 - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.	 

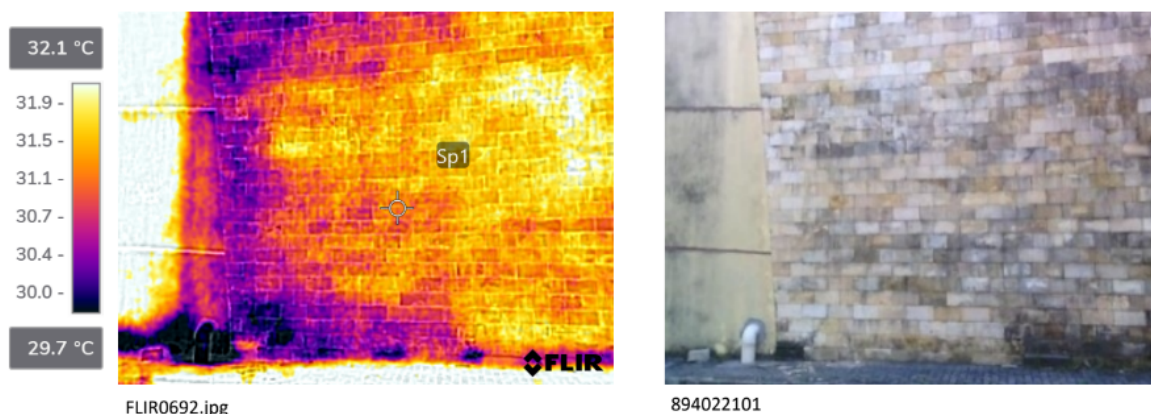
Fonte: Autor (2023)

4.4 Análise termográfica do revestimento externo

Na construção civil não se dispõe de documento normativo nacional específico, voltado para a aplicação da técnica por infravermelho para o processo de inspeção de estruturas de concreto, evidenciando a necessidade de desenvolvimento científico na área. Assim, foram utilizados os estudos de Nascimento (2022), como base para análise dos parâmetros desse teste.

Por meio da utilização de câmera termográfica foi possível constatar uma variação considerável de temperatura na superfície da fachada do prédio, saindo de 29,7°C na região mais fria e indo até 32,1°C na região mais quente da superfície (como mostrado na Figura 4, onde as cores mais claras do espectro representam uma maior incidência de calor e as cores mais escuras uma menor incidência).

FIGURA 4 - Variação de calor por radiação térmica na fachada principal do prédio



Fonte: Autor (2023)

A falta de rejuntamento observada entre as placas de quartzo é o principal causador dessa infiltração, gerando um acúmulo de água entre o revestimento e a parede da fachada. Esse fator, além de causar problemas estéticos com a presença de bolores pela fachada, pode causar o descolamento de placas, gerando riscos aos usuários do prédio.

São necessários experimentos como ensaio de percussão e ensaio de arrancamento para melhor determinar a gravidade do problema e o melhor procedimento para corrigi-lo.

4.5 Inspeção da cerâmica

Analisando uma das fachadas laterais do prédio, o presente estudo embasou-se na norma NBR 13755 (ABNT, 2017).

- **REJUNTAMENTO**

Foi observada a completa falta de rejuntamento das placas cerâmicas do revestimento externo fazendo assim com que o pano da fachada seja reprovado. Segundo a Norma NBR 13755 - 2017 o procedimento a se seguir nesse caso seria refazer toda a área sob análise.

- **ENSAIO DE PERCUSSÃO**

A primeira ação realizada no pano de fachada de cerâmicas foi realizar o ensaio de percussão, considerando a área compreendida até 2 metros de altura. Cerca de 70% do revestimento ensaiado apresentou som cavo, e segundo a norma NBR 13755 (ABNT, 2017), essas placas devem ser removidas e reassentadas.

O som cavo indica o descolamento do revestimento cerâmico ou à falta de aderência em algumas camadas do sistema de revestimento, sendo ela no chapisco, o emboço ou na argamassa colante, representando resistência à aderência à tração igual a zero (CORREA *et al.*, 2021).

A Figura 5 mostra a distribuição das placas cerâmicas que apresentaram som cavo.

Pode-se inferir que não houve a aplicação da melhor técnica de assentamento do revestimento cerâmico, possivelmente devido à falta de projeto de revestimento de fachada, ou seja, o conhecimento do método executivo, os materiais especificados e quantidade desses materiais, contar com profissionais qualificados e executar o serviço com ART (Anotação de responsabilidade técnica).

Observou-se, também, que não só a marreta utilizada foi importante no ensaio, mas o uso do contato com as mãos, ou seja, o procedimento tátil, para se certificar da colagem das placas cerâmicas. Na oportunidade, verificou-se que foi usada uma argamassa comum.

Foi possível verificar a ausência de junta de dilatação vertical e horizontal, bem como de assentamento.

FIGURA 5 - Cerâmicas que apresentaram som cavo. (a) Região direita da fachada. (b) Região esquerda da fachada



(a)



(b)

Fonte: Autor (2023)

4.6 Ensaio de carbonatação

O ensaio foi realizado nos pilares presentes na região anterior do prédio. Antes de partir para a exposição da armadura para o ensaio de carbonatação em si, foi realizada a medição da fissura presente no pilar com um fissurômetro, constatando-se uma fissura de, aproximadamente, 1,4 mm (Figura 6).

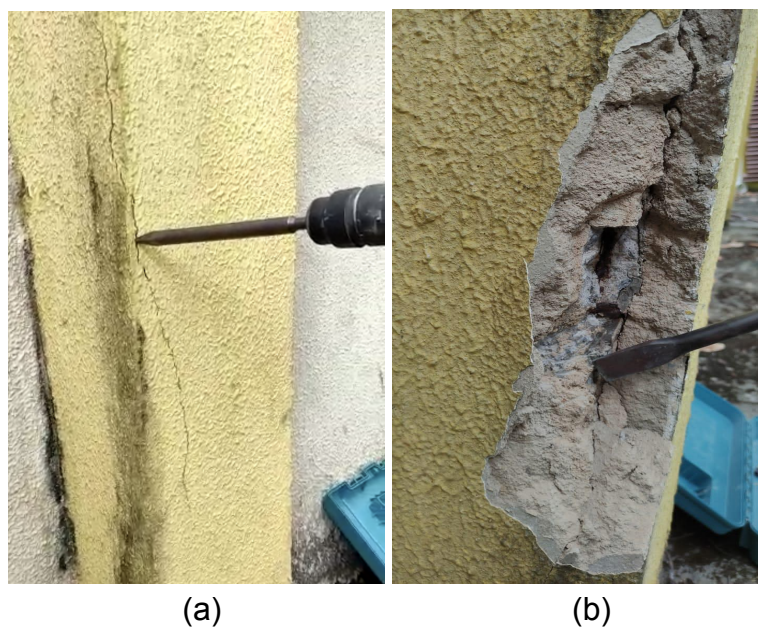
FIGURA 6 - Medição da espessura da fissura no pilar



Fonte: Autor (2023)

Utilizando o marteleto, foi feita uma abertura na superfície do pilar para haver a exposição da armadura a ser estudada, como mostrado nas Figuras 7 e 8. Assim, com o auxílio de um fissurômetro foi possível realizar a medição do revestimento presente na armadura e o revestimento externo de argamassa.

FIGURA 7 - Utilização de martelete para expor a armadura do pilar - a) antes da remoção do cobrimento; b) após a remoção do cobrimento



Fonte: Autor (2023)

FIGURA 8 - Medição da espessura do cobrimento da armadura



Fonte: Autor (2023)

O cobrimento da armadura principal do pilar encontrado foi de 2 cm (Figura 9). No entanto, na região onde se encontra o estribo da armadura constatou-se a presença de uma fina camada irregular de pasta (de um possível processo de restauração anterior) e nenhuma presença de cobrimento (Figura 10).

FIGURA 9 - Alteração de coloração de parte da armadura exposta



Fonte: Autor (2023)

FIGURA 10 - Aspersão de solução de fenolftaleína na armadura exposta



Fonte: Autor (2023)

Os cobrimentos mínimos para estruturas de concreto armado segundo a Norma NBR 6118 (ABNT, 1960) são mostrados na Tabela 2. Para o caso de vigas, pilares e arcos ao ar livre, o cobrimento mínimo é de 2 cm. Sendo assim, pode-se definir que o pilar analisado não está em conformidade com a norma vigente na data de sua construção.

TABELA 2 - Cobrimento mínimo para estruturas de concreto armado

Cobrimento mínimo para estruturas de concreto armado (NBR 6118, 1960)*	
Característica	Espessura (cm)
Lajes e paredes no interior do edifício*	1,0
Lajes e paredes ao ar livre	1,5
Vigas, pilares e arcos no interior do edifício	1,5
Vigas, pilares e arcos ao ar livre	2,0
Peças em contato com o solo**	2,0
*Em lajes no interior do edifício, permite-se que 0,5 cm do cobrimento exigido seja feito em emboço. **Exige-se, junto à armadura calculada para resistir a esforços de tração, se o solo não for rochoso, a interposição de uma camada de concreto simples, não computada no cálculo, com espessura mínima de 5 cm.	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118 (1960)

Vale ressaltar ainda que, para a versão da NBR 6118 (2014), o cobrimento mínimo é determinado considerando a classe de agressividade do ambiente e o risco de deterioração gerado à estrutura. Na Tabela 3 estão apresentadas as classes de agressividade ambiental determinadas pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e os respectivos cobrimentos mínimos para estruturas de concreto armado.

TABELA 3 - Cobrimento mínimo para estruturas de concreto armado segundo a classe de agressividade

Classe de agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura	Componente ou elemento	Cobrimento nominal (mm)
I	Rural	Insignificante	Laje	20
	Submersa		Viga/pilar	25
			Elementos estruturais em contato com o solo	30
II	Urbana	Pequeno	Laje	25
			Viga/pilar	30
			Elementos estruturais em contato com o solo	30
III	Marinha	Grande	Laje	35
	Industrial		Viga/pilar	40
			Elementos estruturais em contato com o solo	40
IV	Industrial	Elevado	Laje	45
	Respingos de maré		Viga/pilar	50
			Elementos estruturais em contato com o solo	50

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118 (2014)

Assim, segundo a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), considerando a região onde o laboratório se encontra com classe de agressividade ambiental II (urbana), a espessura mínima do cobrimento seria de 2,5 cm para os pilares de concreto armado.

Após a análise do cobrimento, foi utilizado a norma britânica BS EN 14630:2006 para determinação da profundidade de carbonatação no concreto, pois

não há norma nacional para esse tipo de teste. Utilizando um pulverizador foi preenchida toda a região a ser estudada com uma solução de fenolftaleína dissolvida em álcool etílico a 1% (Figura 11). Dentro de poucos segundos uma pequena porção do material exposto apresentou uma alteração de coloração para vermelho carmim, indicando um pH superior a 9,5 e nenhuma presença de reação de carbonatação. Enquanto a maior parte da região exposta não apresentou qualquer alteração de coloração, indicando pH inferior a 9,5 e consequente a presença de reação de carbonatação,

Vale ressaltar que a edificação foi construída de acordo com normas técnicas existentes na época (1960), com outras exigências quanto à espessura de cobrimento que, possivelmente, a agressividade do ambiente não era a mesma dos dias atuais. Agentes efeitos deletérios como, carbono e enxofre de grandes cidades, podem penetrar no concreto, oxidar e corroer as armaduras, podendo até acarretar o surgimento de fissuras na superfície do concreto.

Portanto, é fundamental a realização de manutenções periódicas das estruturas de concreto armado para prevenir tais manifestações patológicas. A Figura 11 mostra detalhes da menor espessura do cobrimento.

FIGURA 11 - Alteração de coloração de parte da armadura exposta



Fonte: Autor (2023)

4.7 Conduitas gerais de manutenção de edificações com fachada de placas cerâmica e estruturas de concreto armado

É imperativo considerar o que versa a normalização técnica a respeito de procedimentos de manutenção em fachadas com revestimentos cerâmicos, NBR 13755 (ABNT, 2021), e estruturas de concreto armado, NBR 6118 (ABNT, 2014), como também o que trata a NBR 15575 ABNT (2021) quanto ao desempenho de edificações. É imprescindível que sejam contempladas as mínimas exigências observadas em cada norma. Estas foram, então, as normas direcionadas ao assunto.

Deve-se sinalizar a observância do manual de operação e manutenção, conforme NBR 5674, que a edificação precisará contratar. Isso permitirá que seja realizado o serviço de manutenção, além da frequência e avaliação do cumprimento da manutenção (manutenibilidade). O Quadro 2 contém os checklists de condutas gerais sobre as observâncias comumente tratadas no estudo de patologia de edificações, em destaque a inspeção predial.

QUADRO 2 - Checklist de condutas gerais tratadas na inspeção predial de edificações

Pontos observados	Normas técnicas	Itens observados
Placas cerâmicas com som cavo	NBR 13755:2017	7.2.3
Planeza das placas	NBR 13755:2017	7.2.4
Alinhamento das placas	NBR 13755:2017	7.2.5
Limites para fissuração e proteção das armaduras quanto à durabilidade	NBR 6118:2014	13.4.2
Controle da fissuração quanto à aceitabilidade sensorial e à utilização	NBR 6118:2014	13.4.3
Teste de carbonatação	BS EN 14630:2006	-
Lixiviação	NBR 6118:2014	6.3.2.1
Despassivação por carbonatação	NBR 6118:2014	6.3.3.1
Agressividade do ambiente	NBR 6118:2014	6.4.1
Manchas de umidade em fachadas externas	NBR 15575-4:2021	10.1.1 e 10.2 Anexo F
Redação e emissão do laudo técnico, contendo: descrição dos sistemas avaliados, descrição das anomalias, irregularidades constatadas, organização das prioridades, assinatura dos profissionais e registro no Conselho de classe, entre outros.	NBR 16747:2020	5.3.9

Fonte: Autor (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Partir do que foi exposto, é importante ressaltar que as irregularidades constatadas podem se tratar de anomalias endógena ou construtiva, exógenas (fatores externos provocados por terceiros) e funcional (envelhecimento natural). Para toda análise de uma inspeção predial, precisa-se atentar às recomendações das ações necessárias para restaurar o desempenho dos elementos construtivos da edificação.

É imprescindível a organização das prioridades em patamares de urgência. Para o presente estudo, a prioridade 2 é considerada, pois impacta sobre a funcionalidade da edificação, sem comprometer a segurança e a saúde dos usuários. Não é prioridade 3, pois não é apenas uma questão estética.

A inspeção preditiva é realizada de forma constante, de forma a ser possível estabelecer prioridades, ações de curto, médio e longo prazo.

Recomenda-se que haja a continuidade dos estudos no prédio antigo do NPT, de modo que possa investigar a resistência de adesão das placas cerâmicas da fachada (aderência, umidade, impactos), umidade da alvenaria de vedação, verificação dos elementos estruturais quanto ao processo de carbonatação e corrosão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, ALONSO, BACLE. C.C.B. **Accelerated testing methodology for evaluating carbonation and chloride resistance of concrete coatings**. In: FIP Symposium, [s. ed.], Israel (Jerusalém), setembro, 1988.

ARAÚJO, Carla Cavalcante. **Estudo de correlações entre propriedades do concreto e ensaios não destrutivos**. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para obtenção do grau de Mestre, João Pessoa, 2018.

ARENDT, Claus. **O Exaustivo Caminho da Recuperação**. In: CONGRESSO IBERO AMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4., 1997, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1997.

ARRIVABENE, Antonio Cesar. **Patologias em estruturas de concreto armado: Estudo de caso**. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, v. 3, n. 10, p. 1-22, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755** - Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante — Projeto, execução, inspeção e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2021.

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 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Projeto de estruturas de concreto, procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

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 16747**: - Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologias e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

BERTI, J. V. M., JÚNIOR, G. P. da; AKASAKI, J. L. Estudo da origem, sintomas e incidências de manifestações patológicas do concreto, **Revista Científica ANAP**, Brasil, v.12, n. 26, 2019.

BRITISH STANDARD BS EN 14629:2007 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test Methods; Determination of Chloride Content in Hardened Concrete; **British Standards Institute**: London, 2007.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Editora Pini, 1988. 522 p.

CARLINO, A. E. **Improvement of the Processes of Maintenance in Public**. 2012. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

CLÍMACO, J. C. T. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 2ª Edição, Brasília: UNB, 2008. 410 p.

CORREA, Guilherme Alves; DOS SANTOS, Marcus Daniel Friederich; TATIM FILHO, Yuri Dos Santos. **Utilização da injeção de resina epóxi como método de correção do som cavo em fachadas com revestimento cerâmico**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 5, p. 43829-43840, 2021.

COUTO, T.; BARRIOS, S. K. M. Análise da Flexão e das Manifestações Patológicas em Laje Maciça na Cidade de Foz do Iguaçu. **Revista Plêiade**, v. 13, n. 28, p. 79-92, 2019.

ECiViL descomplicando a Engenharia. Disponível em: <
www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-lixiviacao.html> Acesso em: Maio de 2022.

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

FERREIRA, C. E.; FERREIRA, A. F.; CAMARGO, A. V. R.; NEVES, J. V.; OLIVEIRA, J. R. de. **Análise da resistência do concreto a partir da verificação do ensaio de pacometria, esclerometria e testemunho**. 2022.

FERREIRA, M. B. **Estudo da carbonatação natural de concretos com diferentes adições minerais após 10 anos de exposição**. 2013. 197 f. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

GALLETTO, A.; ANDRELLO, J. M. **Patologia em fachadas com revestimentos cerâmicos**. In: CINPAR–IX Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, João Pessoa (Brasil). 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. Atlas. São Paulo, 2010. Disponível em:
https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf. Acesso em 26 de fevereiro de 2023.

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

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

INTAS, L. C. **Estudo de caso: análise de patologias estruturais em edificação de gestão pública**. Universidade federal do Paraná. Novembro, 2010

MENGA, L.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU;1986

MENDONÇA, Luís Viegas. Termografia Por Infravermelhos: inspecção de betão. **Engenharia e Vida**, v. 1, n. 16, p. 53-57, 2005.

MORAIS, COUTO, HELENE; Rachel, Douglas, Paulo. Inspeção e manutenção - Procedimentos, normas e estudos para inspeção, diagnóstico e reforço de estruturas de concreto. **Concreto & Construções**, Brasil, Ed. 91, setembro, 2018.

OLIVEIRA, D. F. **Levantamento de causas de patologias na construção civil**. 2013. Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PAPADAKIS, V. G.; FARDIS, M. N.; VAYENAS, C.G. Physicochemical processes and mathematical modeling of concrete chlorination, **Chemical Engineering Science**, v. 51, n. 4, p. 505-513, 1996.

PESSOA, K. Q.; SILVEIRA, G. **Mapeamento das armaduras expostas em edifício acadêmico e proposta de conduta - Estudo de Caso em Rio Branco (AC)**. XVII Congresso internacional sobre patologia e reabilitação das construções, Fortaleza (Brasil), Junho, 2021.

PINHEIRO, C. N. P. BARBOSA, A. R. Analysis of Pathological Manifestations in Buildings at the University City Prof. José da Silveira Netto, Located in Belém-PA. **Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng. (IJITEE)**, v. 8, p. 1016-1020, 2019.

SHELMAN, C.; FERNANDES, K.; COSTA, S.; SILVA, E. **A Importância dos Ensaios Não Destrutivos para Diagnóstico de Corrosão nas Estruturas de Concreto Armado**. COMPAR 2017, Recife, agosto, 2017.

SILVA A. P. JONOV C. M. P. **Curso de especialização em construção civil**. Departamento de engenharia de materiais e construção. Minas Gerais, 2011. (Notas de Aula). Disponível em: <http://www.demc.ufmg.br/adriano/Manifest_%20Pat_2016.pdf> . Acesso em: Outubro de 2022.

SILVA, E. A. da, **Técnicas de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Anhembí Morumbi. São Paulo, 2006

SILVA, L. H. P; TAMASHIRO, J. R.; ANTUNES, P. A. Identificação e análise de patologias construtivas em unidade educacional pública de Presidente Epitácio, SP. **Colloquium Exactarum**, v.12, n.1, p.53-61, 2020.

SILVEIRA, C. R.; SOUZA, S. A.; QUADRELI, C. R. **Estudo sobre patologias da construção civil originárias de fundações**. GETEC, v.11, n.35, p.50-77, 2022.

SOUZA, M. F. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações**. 2008. Monografia (Especialização em Construção Civil: Avaliações e Perícias), Departamento de Engenharia de Materiais de Construção, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

TARPANI, J. R.; ALMEIDA, E. G. R.; SIMÊNCIO, E. C. A.; MOTA, L. P.; PAZ, J. H. A. A.; GUALBERTO, A. R. M.; CARDOSO, F. L. A.; GATTI, C. A. Inspeção termográfica de danos por impacto em laminados de matriz polimérica reforçados por fibras de carbono. **Polímeros**, v. 19, p. 318-328, 2009.

VILLAIN, G.; THIERY, M.; PLATRET, G. Measurement methods of carbonation profiles in concrete: Thermogravimetry, chemical analysis and gammadensimetry. **Cement and concrete research**, v. 37, n. 8, p. 1182-1192, 2007.

WATT, D. S. **Building pathology: Principles and practice**. John Wiley & Sons, 2009.

ZINI, A.; BERSCH, J. D.; BIANCHETTI, L.; GUERRA, F. L.; SOCOLOSKI, R. F.; MASUERO, A.B. **Diagnóstico e caracterização do revestimento das fachadas do anexo I do campus da saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)**. Congresso Brasileiro de Patologia das Construções (CBPAT), p.1740-1751, 2020.

ZUCCHETTI, P. A. B. **Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari/RS**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, Novembro, 2015.