



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

VICTOR MATHEUS SILVA FIALHO

**AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS BLOCOS 1, 2 & 3 DA
UNIDADE II, UNIFESSPA, MARABÁ-PA**

MARABÁ
JULHO, 2019

VICTOR MATHEUS SILVA FIALHO

**AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS BLOCOS 1, 2 & 3 DA
UNIDADE II, UNIFEPPA, MARABÁ-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil como exigência para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, submetido à banca examinadora da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, do Instituto de Geociências e Engenharias e elaborado sob a orientação da Prof^a. Dr^a. Lygia Maria Policarpio Ferreira.

MARABÁ
JULHO, 2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UNIFESSPA. Marabá, PA

Fialho, Victor Matheus Silva

Avaliação das manifestações patológicas nos blocos 1, 2 & 3 da unidade 2, Unifesspa, Marabá-Pa / Victor Matheus Silva Fialho ; orientadora, Lygia Maria Policarpio Ferreira. — Marabá : [s. n.], 2019.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia Civil, Curso de Engenharia Civil, Marabá, 2019.

1. Construção civil – Análise. 2. Concreto armado - Estruturas.
3. Edifícios - Análise. I. Ferreira, Lygia Maria Policarpio, orient.
II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 692

VICTOR MATHEUS SILVA FIALHO

AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS BLOCOS 1, 2 & 3 DA
UNIDADE II, UNIFESSPA, MARABÁ-PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil como exigência para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, submetido à banca examinadora da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, do Instituto de Geociências e Engenharias e elaborado sob a orientação da Prof^a. Dr^a. Lygia Maria Policarpio Ferreira.

Aprovado em: 27 / 06 / 19
Conceito: EXCELENTE

Banca Examinadora composta por:

Lygia M. Policarpio Ferreira

Prof^a. Dr^a. Lygia Maria Policarpio Ferreira (Orientadora)

Alan Monteiro Borges

Prof. MSc. Alan Monteiro Borges

Rudimylla da Silva Septímio
Prof^a. Dr^a Rudimylla da Silva Septímio

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar aqui os meus sinceros agradecimentos, em primeiro lugar ao meu Deus, que me concedeu vida, a oportunidade de ingressar no curso que eu tanto almejava, e hoje estar prestes a concluí-lo de forma satisfatória. Pois sei que nenhum passo de toda essa jornada poderia ter sido dado sem Seu Divino auxílio.

Quero também agradecer à minha mãe, que durante todos esses anos se dedicou e deu tudo de si para me proporcionar as melhores condições possíveis, em todos os aspectos da vida, que de sol a sol se dispôs a me ajudar a alcançar meus objetivos, muito obrigado, mãe.

Agradeço também ao meu pai, que durante a minha infância me ensinou a amar os números e a exatidão da matemática, que foi um fator preponderante para minha escolha pela faculdade de engenharia civil. Em especial, quero agradecer pelo presente mais incrível que ganhei durante minha graduação, minha calculadora que amo de paixão e me ajudou muito durante as provas e atividades do curso (rsrsrs).

Um agradecimento mais que especial à minha orientadora Prof^a. Dr^a. Lygia Maria, que foi sempre muito atenciosa, disposta a ajudar de todas as formas possíveis, a fim de construir o melhor trabalho possível. Muito obrigado, professora, sem a sr^a nenhuma dessas páginas teria sido escrita.

Agradeço à minha amiga Anna Caroline, que participou de uma das etapas mais complicadas desses 5 anos e sempre foi muito solícita e compreensiva comigo, agradeço de coração todas as vezes que me ajudou.

Agradeço aos meus amigos de turma, em especial ao 6 guerreiros que estiveram comigo durante todo o percurso. Agradeço a cada um pela amizade e companherismo ao longo dessa árdua jornada.

E a cada pessoa que participou, direta ou indiretamente, ao longo do caminho, deixo aqui meu Muito Obrigado.

“Se não fossem os sonhos, o que as pessoas realizariam?”

(Frances M. Doss)

RESUMO

Este trabalho aborda o tema das patologias das construções, buscando analisar os fenômenos patológicos observados em três edificações específicas da Unidade 2, no Campus da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará em Marabá. O estudo tem o objetivo de analisar os problemas encontrados, identificando as causas de sua origem e propor soluções adequadas à sua reparação. O trabalho foi desenvolvido com base na pesquisa bibliográfica, nas inspeções *In loco*, na comparação das patologias encontradas com as apresentadas pelos autores utilizados como referência e na análise laboratorial do comportamento do concreto (através da fabricação de corpos de prova). A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida priorizando a utilização de referências atuais (2008-2019) que tenham sido publicadas em revistas (nacionais ou internacionais). As inspeções *In loco* foram feitas em quatro datas, e em cada uma foram feitos registros fotográficos das patologias encontradas. Os resultados obtidos foram construídos através da análise, em primeira instância, da comparação entre as patologias encontradas e do que foi apresentado na bibliografia, somado a isso, foram desenvolvidos ensaios de laboratório, para fornecer uma base mais sólida na busca pelas melhores soluções possíveis. Durante a fase laboratorial, as características do concreto foram observadas através de ensaios destrutivos (compressão e compressão axial) e não destrutivos (capilaridade, exsudação, permeabilidade e outros). Os resultados obtidos nos ensaios, somados àquilo que foi constatado na bibliografia, tornaram possível a identificação da solução mais adequada a cada problema estudado. Por fim, com esse trabalho, buscou-se que as patologias encontradas fossem melhor entendidas e, assim, se pudesse propor ao setor responsável pela manutenção das edificações as mais eficazes soluções para seu tratamento.

Palavras chave: Patologias. Análise. Proposta de solução.

ABSTRACT

This work discusses the theme of the construction pathologies, seeking to analyze the pathological phenomena observed in three specific buildings of Unit 2, on the Campus of the Federal University of South and southeast of Pará in Marabá. The study aims to analyze the problems encountered, identifying the causes of its origin and proposing appropriate solutions to its repair. The work was developed based on the bibliographic research, in loco inspections, in the comparison of pathologies found with those presented by the authors used as reference and, in the laboratory analysis of the behavior of concrete (through Manufacturing of specimens). The bibliographic research was developed prioritizing the use of current references (2008-2019) that have been published in journals (national or international). In loco inspections were made on four dates, and in each one were made photographic records of the pathologies found. The results obtained were constructed through the analysis, in the first instance, of the comparison between the pathologies found and what was presented in the bibliography, added to this, laboratory tests were developed to provide a more Solid in the search for the best possible solutions. During the laboratory phase, the concrete characteristics were observed through destructive assays (compression and axial compression) and non-destructive tests (capillarity, exsudation, permeability and others). The results obtained in the tests, together with what was found in the bibliography, made it possible to identify the most appropriate solution for each problem studied. Finally, with this work, it was sought that the pathologies found were better understood and, thus, could propose to the sector responsible for maintaining the buildings the most effective solutions for their treatment.

Keywords: pathologies. Analysis. Solution proposal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Algumas configurações genéricas de fissuras em função do tipo de solicitação predominante.....	32
Figura 2 - Configurações típicas das fissuras por contração plástica do concreto.	33
Figura 3 - Formação de fissuras por assentamento plástico do concreto.	33
Figura 4 - Fissura formada por possível perda de aderência da armadura do pilar.	34
Figura 5 - Fissuras ocasionadas pela retração do concreto.....	35
Figura 6 - Tipos de corrosão de uma barra de aço imersa em meio concreto.	36
Figura 7 - Fases do processo de corrosão em uma barra de armadura.	37
Figura 8 - Bolor negro no revestimento da parede.....	39
Figura 9 - Deslocamento do revestimento argamassado.	40
Figura 10 - Mancha decorrente de umidade.....	41
Figura 11 - Formação de eflorescência no concreto.	43
Figura 12 - Deslocamento do revestimento argamassado.	44
Figura 13 - Lei de evolução dos custos.	48
Figura 14 - Etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	51
Figura 15 - Caracterização da pesquisa.....	53
Figura 16 - Delimitação da área geral de estudo.....	55
Figura 17 - Delimitação das edificações alvo do estudo.	55
Figura 18 - Visão geral do prédio do ICE.	56
Figura 19 - Visão geral do prédio da FAGEO.....	56
Figura 20 - Visão geral do prédio da FAFIS.	57
Figura 21 - Curva de abrams para obtenção da relação água/cimento.....	60
Figura 22 - Posicionamento do local de cura dos corpos de prova.	64
Figura 23 - Grupo posicionado ao lado do prédio do ICE.	64
Figura 24 - Grupo posicionado ao lado do prédio da FAGEO.....	65
Figura 25 - Representação do modelo de prensa utilizada.	66
Figura 26 - Trinca no encontro entre alvenaria e revestimento cerâmico do piso do banheiro: (a) vista geral; (b) vista aproximada.	74
Figura 27 - Fissuras a 45° no canto da esquadria: (a) fissura no canto superior de uma porta; (b) fissura no canto inferior de uma janela.	74
Figura 28 - Fissura inclinada em canto de porta.	75
Figura 29 - Conjunto de fissuras em laje: (a) visão geral da laje; (b) detalhe aproximado da fissura.....	76

Figura 30 - Fissura horizontal na junção entre rodapé e alvenaria da face externa da parede do banheiro: (a) vista geral; (b) vista aproximada.	77
Figura 31 - Formação de eflorescências em fachada: (a) vista geral das eflorescências; (b) vista aproximada.	83
Figura 32 - Deslocamento de revestimento.	84
Figura 33 - Deslocamento de revestimento.	84
Figura 34 - Manchas na face inferior da laje.	84
Figura 35 - Manchas na face inferior da laje.	84
Figura 36 - Configuração de absorção por capilaridade das amostras do prédio do ICE.	86
Figura 37 - Configuração de absorção por capilaridade das amostras do prédio da FAGEO.	86
Figura 38 - Visão geral do material encontrado na edificação.	88
Figura 39 - Análise microscópica das manchas observadas na estrutura.	89
Figura 40 - Visão aproximada da composição da eflorescência analisada.	89
Figura 41 - Corrosão apresentando armadura exposta: (a) vista geral; (b) detalhe aproximado.	90
Figura 42 - Deslocamento de revestimento.	95
Figura 43 - Deslocamento de revestimento.	95
Figura 44 - Execução de barreira química: (a) princípio de execução dos furos; (b) introdução por difusão e injeção.	96
Figura 45 - Cobertura do prédio do ICE: (a) antes da pintura; (b) após a pintura.	97

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição das patologias mais comuns em edificações	46
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto.	30
Tabela 2 - Classificação das fissuras, de acordo com a espessura de abertura.....	49
Tabela 3 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova ^a	62
Tabela 4 - Classes de consistência.....	63
Tabela 5 - Tolerância para a idade de ensaio	65
Tabela 6 - Força de compressão aplicada para rompimento do corpo de prova.....	78
Tabela 7 - Força de compressão diametral aplicada para rompimento do corpo de prova.	80
Tabela 8 - Valor de absorção de água das amostras.....	81
Tabela 9 - Índice de vazios encontrados.....	81
Tabela 10 - Valor de absorção de água por capilaridade.....	85
Tabela 11 - Composição química da amostra de eflorescência.	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA).	18
Quadro 2 - Principais origens de manifestações patológicas na construção civil.....	20

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	Justificativa.....	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Patologia das Construções	16
2.2	Durabilidade e desempenho.....	17
2.3	Agressividade do meio	18
2.4	Patologias e suas origens	19
2.4.1	Projeto	20
2.4.2	Execução.....	22
2.4.3	Materiais	25
2.4.4	Manutenção.....	27
2.5	Tipos de Patologias.....	29
2.5.1	Fissuras	31
2.5.2	Patologias ligadas à umidade.....	38
2.6	Investigação e tratamento de patologias	45
2.6.1	Levantamento de Dados	46
2.6.2	Diagnóstico.....	47
2.6.3	Intervenções e Reparo	48
3.	MATERIAIS E METODOLOGIA	51
3.1	Caracterização da pesquisa	52
3.2	Caracterização da área de estudo.....	54
3.3	Inspeções e Registros	57
3.4	Ensaios.....	57
3.4.1	Determinação da absorção de água (Agregado miúdo).....	58
3.4.2	Preparação do Concreto.....	59
3.4.2.1	<i>Moldagem dos corpos de prova</i>	<i>61</i>
3.4.3	Caracterização dos corpos de prova fabricados.....	64
3.4.3.1	<i>Determinação da resistência à compressão.....</i>	<i>65</i>
3.4.3.2	<i>Determinação da resistência à tração por compressão diametral.....</i>	<i>67</i>

3.4.3.3	<i>Determinação da absorção de água por imersão</i>	67
3.4.3.4	<i>Determinação da absorção por capilaridade</i>	69
3.4.4	Determinação da Exsudação.....	70
3.4.5	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	72
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
4.1	Fissuras	73
4.1.1	Análise visual das patologias presentes nos edifícios	73
4.1.2	Análise experimental e caracterização das patologias	77
4.1.2.1	<i>Compressão uniaxial</i>	77
4.1.2.2	<i>Compressão diametral</i>	79
4.1.2.3	<i>Determinação da absorção de água por imersão</i>	81
4.2	Patologias ligadas à umidade	82
4.2.1	Análise visual das patologias presentes nos edifícios	82
4.2.2	Análise experimental e caracterização das patologias	85
4.2.2.1	<i>Absorção de água por capilaridade</i>	85
4.2.2.2	<i>Absorção de água – Agregado miúdo</i>	87
4.2.2.3	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura</i>	88
4.3	Corrosão	90
4.3.1	Análise visual das patologias presentes nos edifícios	90
4.3.2	Análise experimental e caracterização das patologias	90
4.3.2.1	<i>Determinação da exsudação</i>	91
5.	PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO	92
5.1	Propostas de intervenção para regiões com Fissuras	92
5.2	Propostas de intervenção para patologias ligadas à umidade	94
5.3	Propostas de intervenção para regiões com Corrosão	98
6.	CONCLUSÃO	99
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	100
	REFERÊNCIAS	101

1. INTRODUÇÃO

As patologias não são uma novidade no ramo da engenharia civil, sua presença é notória seja por causa da umidade, pelo aparecimento de trincas e fissuras, deslocamento de pintura e revestimentos, além de outras. Notadamente, na atualidade, são raras as edificações que não apresentam nenhuma forma de manifestação patológica.

De acordo com os dicionários, patologia é a área da Medicina que estuda as doenças. O termo Patologia vem do grego *phatos*, que remete a doença, sofrimento, e de *logia*, que significa ciência, estudo. Dessa forma, o dicionário (“Patologia”, 2018) define o termo como “a ciência que trata da origem, sintomas e natureza das doenças”.

Dentro da engenharia, o termo patologia das construções é usado para definir a ciência que busca estudar os defeitos dos materiais, componentes, elementos ou da edificação como um todo, diagnosticando suas causas e determinando seus mecanismos (PRESOTTO *et al.*, 2017). O estudo das manifestações patológicas possibilita o diagnóstico precoce dos problemas que as edificações podem apresentar, a resolução desses problemas e, também, criar mecanismos de prevenção para que os defeitos não voltem a ocorrer.

Sabe-se que grande parte das manifestações patológicas poderiam ser evitadas havendo um maior cuidado com cada uma das etapas do processo de construção, ou seja, se houvesse um detalhamento maior do projeto, se fossem escolhidos materiais apropriados e qualidade na execução da obra, e, também, se existisse uma maior preocupação com a realização de manutenções regulares dos elementos que compõem as edificações.

Pensando nisso, este trabalho tem o intuito de avaliar as manifestações patológicas existentes em algumas edificações da Unidade 2 do Campus da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará em Marabá.

Essa análise será fundamentada sobre dois pilares principais. O primeiro deles será a análise visual das patologias existentes, com base na comparação das situações encontradas com àquelas apresentadas pelos autores utilizados como referência neste trabalho. O segundo será a análise laboratorial do comportamento do concreto, com base em ensaios específicos que permitirão o entendimento das origens das patologias encontradas. Essas duas etapas subsidiarão a escolha e apresentação das mais adequadas possibilidades de tratamento dos problemas

estudados, a fim de prolongar a vida útil dessas edificações, pois sempre se espera que as edificações perdurem por vários anos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar e caracterizar as manifestações patológicas apresentadas em 3 edificações específicas da Unidade II da Unifesspa, estudar as possíveis causas, e sugerir soluções adequadas às patologias constatadas.

1.1.2 Objetivos Específicos

A fim de alcançar o objetivo geral do trabalho foram definidos objetivos específicos que nortearão o desenvolvimento da pesquisa, são eles:

- Inspecionar os locais a serem estudados, fazendo o levantamento das patologias existentes e criando o seu registro fotográfico;
- Analisar, em primeiro momento, as patologias encontradas com base nas referências utilizadas no trabalho;
- Fabricar corpos de prova de concreto e, com base no conhecimento teórico das prováveis causas das patologias encontradas, ensaiá-los em laboratório para tornar possível a constatação dos fatores originários destas patologias;
- Expor os resultados dos ensaios que comprovem a origem dessas patologias;
- Propor as soluções mais apropriadas à cada patologia estudada.

1.2 Justificativa

O desenvolvimento da engenharia civil proporciona dia-a-dia novas técnicas, cada vez mais arrojadas de construção, e esse desenvolvimento é subsidiado pelo conhecimento a respeito dos erros que precisam ser evitados para que os processos se tornem cada vez mais eficientes.

Desta forma, se percebe que o estudo das patologias nas construções é de grande importância na busca de qualidade e para que esses problemas possam ser evitados. Sendo assim, é necessário estudar as origens para eliminar manifestações patológicas que levam à degradação das edificações.

A ideia de desenvolvimento a partir do entendimento dos erros justifica esse trabalho, pois o objetivo maior é encontrar as manifestações patológicas existentes nas edificações de concreto armado, estudá-las e entender sua origem. E, conhecendo as origens, indicar as soluções mais adequadas a cada problema.

Além disso, os resultados apresentados ao fim deste trabalho poderão subsidiar a atuação do setor responsável pela manutenção dos edifícios estudados, para que esses edifícios recebam os reparos necessários à sua melhor conservação, aumentando assim sua vida útil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Patologia das Construções

O homem tem se comportado como um construtor desde as mais remotas civilizações, estando sempre preocupado com a necessidade de criar estruturas que atendam às suas necessidades (sejam elas, habitacionais, laborais ou, de infraestrutura). Dessa forma, segundo Souza e Ripper (1998), o arcabouço de conhecimentos científicos cresceu muito ao longo dos séculos, permitindo um grande desenvolvimento de tecnologias da área da construção, englobando desde cálculos, análises e detalhamentos estruturais, quanto materiais e técnicas de construção.

O desenvolvimento rápido apresentado pela construção civil estabelece que sejam aceitos novos e maiores riscos a fim de promover a evolução do setor e, dessa forma, produzir estruturas de forma mais eficiente. Com a aceitação dos riscos, o desenvolvimento tecnológico tem sucedido de forma natural, e, assim, cresceu o “conhecimento sobre estruturas e materiais, em particular através do estudo e análise dos erros acontecidos” (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 13).

Estes “erros acontecidos” são, majoritariamente, a causa da existência das patologias das construções, embora tenha-se o conhecimento de que o tempo é, também, um importante causador de degradação nas edificações. Enquanto os erros estão ligados a fatores humanos e, portanto, controláveis; o tempo é um fator natural que é capaz de reduzir o desempenho e a vida útil das edificações (BAUER *et al.*, 2015; SANTOS; SILVA; NASCIMENTO, 2017).

Entretanto, conforme Farias e Evangelista (2018, p. 166) o domínio de técnicas mais avançadas e aprimoradas não extinguiu a ocorrência de erros em diversos

setores da construção civil. Erros estes que interferem na qualidade das obras, reduzindo o seu desempenho e causando transtornos e desconfortos aos usuários.

O campo da engenharia que estuda esses erros é comumente designado Patologia das Estruturas, e trata-se de um campo que visa estudar as origens, as formas de manifestação, as consequências, os tipos de ocorrência das falhas e os sistemas de degradação sofridos pelas estruturas (ARIVABENE, 2015; PAULA; FELTEN, 2016).

O estudo das patologias se mostra muito importante por conta do alto custo dos prejuízos gerados por erros cometidos durante o processo construtivo e durante a ocupação dos edifícios (SILVA; CREPALDI, 2017).

2.2 Durabilidade e desempenho

As edificações tornam-se diferentes de outros produtos pelo fato de serem projetadas e construídas visando a sua permanência e utilização por longos períodos (CARVALHO *et al.*, 2014). Mas é natural que essas edificações sofram algum tipo de degradação ao longo do tempo, e esse desgaste da estrutura proporciona a diminuição do desempenho (e da vida útil) dessas estruturas.

A NBR 6118/14 define desempenho como sendo a capacidade que uma estrutura tem de se manter em plenas condições de uso durante a sua vida útil, sem apresentar danos que impossibilitem total, ou parcialmente, a sua utilização para a finalidade a qual foi projetada.

Quando se trata da durabilidade das estruturas, entende-se que essa característica está relacionada à vida útil delas. Sendo assim, a NBR 6118/14 apresenta durabilidade como a “capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto” (ABNT, 2014, p. 13).

Tendo esses dois conceitos em mente, a importância do estudo das patologias torna-se claro, uma vez que, esse estudo leva à compreensão da atuação dos agentes responsáveis pela degradação das estruturas, e, isso possibilita que sejam feitas intervenções adequadas diante das falhas diagnosticadas.

2.3 Agressividade do meio

Vilasboas e Machado (2010) apresentam a agressividade ambiental como sendo a potencialidade do meio para propiciar o desenvolvimento dos agentes deflagradores de degradação nas edificações.

Dentro desse contexto, é importante ressaltar que cada um dos fatores de influência ambiental que recairá sobre a estrutura deve ser previsto e definido pelo responsável do projeto, junto ao proprietário da obra (VILASBOAS; MACHADO, 2010). Diante disso a NBR 6118/14 apresenta uma tabela de classificação da agressividade ambiental a qual as estruturas estarão expostas, que norteará o desenvolvimento de um projeto adequado às situações impostas pelo meio. O Quadro 1 é a representação da tabela 6.1 apresentada na normativa.

Quadro 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a,b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a,b}	
IV	Muito Forte	Industrial ^{a,c}	Elevado
		Respingos de maré	
a	Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).		
b	Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.		
c	Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.		

Fonte: ABNT, 2014.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 17), a agressividade ambiental está associada “às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto”, sem relação com ações mecânicas, variações de volume decorrentes de variações de temperatura, retração do concreto, além de outras ações previstas em projeto.

Vilasboas e Machado (2010, p. 235) ainda comentam que, para projetos atuais, essa classificação pode “ser avaliada, simplificada, através das condições de exposição da estrutura ou de suas partes”.

2.4 Patologias e suas origens

Espera-se sempre que as edificações, especialmente as de concreto, funcionem de forma adequada aos fins a que são destinadas, sem que seja deixada de lado a relação segurança-economia. Sendo assim, essas estruturas devem ser consideradas de alta complexidade, uma vez que, cada edificação apresenta uma infinidade de características que estão diretamente relacionadas à forma como a estrutura se adequará aos fins estabelecidos no projeto.

O fato de as estruturas serem feitas para perdurar por muitos anos faz com que elas precisem resistir aos mais diversos tipos de degradação. Quando se tem o objetivo de entregar um produto que alcance o nível de qualidade esperado, é necessário que sejam cumpridos os parâmetros de qualidade ao longo de todo o seu desenvolvimento, e, no caso das edificações, não é diferente.

Sendo assim, quando uma estrutura não atinge o nível de desempenho esperado, ou seja, não consegue resistir às diferentes formas de degradação a que está sujeita (seja o tempo, as intempéries, os esforços gerados pela utilização, etc.) ocorrem as patologias, que são justamente o reflexo desse baixo desempenho da edificação quanto à sua estabilidade, estética e a durabilidade (FELTEN; GRAHL; LONDERO, 2013).

É claro que existem os casos especiais que são resultado de catástrofes naturais, que associam solicitações violentas e de forma imprevisível (SOUZA; RIPPER, 1998), como é o caso das inundações, que afetam as estruturas de forma intensa e geram inúmeras consequências (JONOV *et al.*, 2013). Todavia, em sua grande maioria, as patologias são consequências de falhas ocorridas durante alguma das fases do processo construtivo, processo este que se divide em três etapas básicas: concepção (projeto), execução e utilização (manutenção) (ALVES; THOMÉ;

TOSTA, 2017; FELTEN; GRAHL; LONDERO, 2013; PAULA; FELTEN, 2016; SANTOS; SILVA; NASCIMENTO, 2017).

Basicamente, a formação de problemas patológicos nas estruturas aponta para a existência de um, ou mais, erros ocorridos em uma das etapas de construção. Dentro desse contexto, inúmeros trabalhos foram realizados com o objetivo de entender a incidência dos problemas patológicos na construção civil, e essas pesquisas apontaram para um quantitativo maior de erros provenientes da fase de concepção (projeto) das estruturas (VIEIRA, 2016). O Quadro 2, baseado no trabalho de Sacchi e Souza (2016), apresenta valores a respeito da proporção de falhas para cada etapa do processo de construção.

Quadro 2 - Principais origens de manifestações patológicas na construção civil.

Fontes de anomalias na construção	
Etapas	Ocorrência (%)
Projeto	42%
Execução	28,4%
Materiais	14,5%
Uso	9,5%
Outros	5,6%

Fonte: Sacchi e Souza, 2016.

Sacchi e Souza (2016) ainda ressaltam que essas falhas/patologias podem ter sua origem ligadas a qualquer uma das atividades que compõem o processo de construção de um edifício.

2.4.1 Projeto

A primeira fase de uma construção (ou, do processo construtivo) é, para Vieira (2016, p. 4), “a FASE DE PROJETO ou CONCEPÇÃO, que tem por objetivo definir os critérios gerais a serem seguidos no desenvolvimento do empreendimento”.

O projeto pode ser definido como a junção de todas as informações que se fazem necessárias à execução da obra. Como afirmam Silva e Crepaldi (2017), esta etapa pode ser dividida nas três seguintes fases:

- I. Estudo preliminar – localização, principais requisitos, limitações, viabilidade, custos;

- II. Anteprojeto – é o rascunho do projeto, que inclui a discussão dos sistemas que serão aplicados com algumas dimensões básicas e cálculos simples, sem grande precisão; e
- III. Projeto detalhado – inclui o dimensionamento final de todos os elementos, com todos os detalhes necessários para a leitura correta do projeto, cálculos completos e precisos.

Sabe-se que existe uma gama de falhas possíveis durante esta etapa de planejamento da estrutura, sendo que, estas podem ocorrer no desenvolvimento do estudo preliminar (lançamento da obra), durante a implementação do anteprojeto, ou no desenvolvimento do projeto executivo (conhecido como projeto final) (SOUZA; RIPPER, 1998).

Dessa forma, é papel do projetista executar o detalhamento completo da estrutura do projeto, deixando claro todos os dados necessários à boa execução do empreendimento. Sendo assim, o primeiro passo a ser tomado pelo projetista é conhecer as características do meio em que a construção estará inserida para que o projeto seja completo (VIEIRA, 2016).

Em ambientes agressivos, onde existe uma grande variação de temperatura durante o dia, volumes intensos de chuva e poluição propiciam o surgimento de patologias que estão associadas a uma ou mais formas de deterioração (SACCHI; SOUZA, 2016), que se não forem previstas e mitigadas desde a fase de concepção, causarão perdas de desempenho consideráveis nas edificações.

De maneira geral, tratando das três etapas de construção (projeto, execução e manutenção), existem fatores determinantes para que as patologias ocorram (ou não), o nível de controle e planejamento que será aplicado no desenvolvimento de cada etapa (ALVES; THOMÉ; TOSTA, 2017). Pode-se dizer que, esse controle deve ser mais intenso na etapa de projeto, uma vez que, segundo Souza e Ripper (1998, p. 24), “as dificuldades técnicas e o custo para solucionar um problema patológico originado de uma falha de projeto são diretamente proporcionais à ‘antiguidade da falha’”, isto é, uma falha ocorrida durante os estudos preliminares acarretará em problemas mais complexos do que uma falha ocorrida durante o anteprojeto, por exemplo.

Segundo Alves *et al.* (2017), a falta de níveis adequados de detalhamento desses projetos tem sido o grande vilão da história por ser um erro que, dificilmente, será consertado durante a execução da obra.

Essa etapa tem papel de extrema importância para o bom desempenho das estruturas, pois, como afirma Sacchi e Souza (2016, p. 23), “a vida útil de uma estrutura nasce no projeto e se consolida na execução, mas os conceitos do projeto devem chegar até a conclusão da execução”. Sendo assim, é preciso estar atento a qualquer falha presente no estudo preliminar, anteprojeto e/ou no projeto final. Pois estes produtos formam o “alicerce” do empreendimento como um todo, dessa forma, qualquer erro que ocorra aqui, prejudicará o andamento das fases subsequentes (ALVES; THOMÉ; TOSTA, 2017).

Vieira (2016) aponta os principais erros presentes durante a fase de projeto e, que podem acarretar manifestações patológicas. Estes erros estão associados, principalmente, a um estudo preliminar deficiente, ou anteprojetos equivocados. Os erros citados são:

- Divergências entre projetos;
- Especificação inadequada de materiais;
- Detalhamento insuficiente ou inadequado;
- Detalhes construtivos inexecutáveis;
- Erro de dimensionamento;
- Falta de padronização das convenções;
- Sobrecargas não previstas;
- Não consideração de efeitos térmicos;
- Especificação de concreto ineficiente e cobrimento inadequado.

2.4.2 Execução

Vieira (2016, p. 4) define a fase de execução (ou construção) como sendo a etapa “onde podem ser destacadas as atividades de execução das fundações e a escolha e utilização dos materiais, os quais podem influenciar no desempenho da estrutura”.

Seguindo a estrutura lógica do processo construtivo, apenas após o término da fase de concepção é que deve ser iniciada a fase de execução da obra, uma vez que, estejam completos todos os projetos e estudos inerentes à obra (SOUZA; RIPPER, 1998).

Esta é uma premissa básica, que deveria nortear a execução de todas as obras de construção, entretanto, é prática comum que as etapas se desenvolvam de forma concomitante, como afirmam Souza e Ripper (1998, p. 25);

Existe o critério de que só seja iniciada a etapa de execução após estar concluída a de concepção. Isto, embora seja o lógico e o ideal, raramente ocorre, mesmo em obras de maior vulto, sendo prática comum, por exemplo, serem feitas adaptações - ou mesmo modificações de grande monta - no projeto já durante a obra, sob a desculpa, normalmente não válida, de serem necessárias certas simplificações construtivas, que, na maioria dos casos, acabam por contribuir para a ocorrência de erros.

Esta é uma prática bastante arriscada, tendo em vista que o processo natural já exige bastante cuidados para que sejam evitados os erros que acarretarão possíveis patologias. Sendo assim, muito mais difícil, será planejar e controlar as duas etapas quando desenvolvidas simultaneamente.

No processo de concepção da estrutura, durante a execução da obra, podem ocorrer erros dos mais variados tipos e naturezas, ligados a fatores como: condições inadequadas de trabalho, falta de capacitação dos colaboradores, ausência de mecanismos de controle da qualidade de execução, materiais de baixa qualidade, irresponsabilidade técnica, má execução do projeto, falhas no processo de dosagem dos componentes agregados, etc. (ALVES; THOMÉ; TOSTA, 2017).

Vieira (2016) ressalta que, a falta de conhecimento técnico adequado durante a fase de execução pode ocasionar o surgimento de inúmeros tipos de patologias e, sendo assim, o construtor deve ter a preocupação de escolher as soluções construtivas mais adequadas, assegurando que sejam executadas boas medidas de controle durante todas as etapas do processo de construção.

Infelizmente, no Brasil não foi observada a evolução tecnológica dos métodos executivos da construção civil, vista em outros países. Por aqui, com o passar do tempo, não se buscou o aprimoramento dos processos construtivos, a fim de torná-los mais eficientes, haja visto que, como afirma Milani *et al.* (2012, p. 82), “a mão de obra, até então abundante e barata, compensava os gastos com desperdícios e processos com baixo controle”.

A respeito das obras de edificação habitacionais, Souza e Ripper (1998) apontam para alguns erros que são notórios e característicos desta etapa do processo;

Quando se trata de uma obra de edificação habitacional, alguns erros são grosseiros e saltam à vista. Casos como falta de prumo, de esquadro e de alinhamento de elementos estruturais e alvenarias, desnivelamento de pisos, falta de caimento correto em pisos molhados, ou execução de argamassas

de assentamento de pisos cerâmicos demasiado espessos, e flechas excessivas em lajes, são exemplos de erros facilmente constatáveis. Outros erros, no entanto, são de difícil verificação e só poderão ser adequadamente observados após algum tempo de uso, como é o caso de deficiências nas instalações elétricas e hidráulicas, por exemplo (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 25).

Sendo assim, cada etapa concluída deve estar sob fiscalização do construtor, pois um erro, por mais simples, pode desencadear vários problemas no futuro. Como exemplo, pode-se observar a fase de execução das fundações de um edifício, pois erros cometidos durante essa etapa podem gerar “problemas relacionados a recalques, que contribuem para o aparecimento de fissuras nas peças componentes da estrutura” (VIEIRA, 2016, p. 7).

Entretanto, e pode-se dizer, “felizmente”, uma boa parcela dos erros ocorridos durante a fase de execução das construções são percebidos no próprio canteiro (durante a execução, ou logo após) e, assim podem ser mitigados de forma rápida, dentro dessa mesma etapa. Entretanto, muitas vezes, a forma como o erro é “reparado” não é a mais adequada do ponto de vista da restauração da integridade estrutural, o que pode comprometer o desempenho e a vida útil da edificação (VIEIRA, 2016).

Vieira (2016, p. 7), aponta os principais erros que podem ocorrer durante a fase de execução, podendo causar manifestações patológicas:

- Erro de interpretação dos projetos;
- Falta de controle tecnológico;
- Uso de concreto vencido;
- Falta de limpeza ou estanqueidade das formas;
- Falta de saturação das formas;
- Armadura mal posicionada;
- Falta de espaçadores e pastilhas para garantir o cobrimento;
- Falta de cuidado com os ferros superiores das lajes, permitindo o seu rebaixamento;
- Segregação do concreto por erro de lançamento;
- Falta de cura ou cura mal executada;
- Cimbramentos mal executados e desformas antes do tempo terminado;
- Erros de vibração;
- Juntas de concretagem mal posicionadas ou mal executadas;

- Falta de fiscalização;
- Erro no dimensionamento ou no posicionamento das formas.

Tendo em vista o que já foi comentado, sabe-se que são muitos os problemas que podem ocorrer nas estruturas. Souza e Ripper (1998) afirmam que uma fiscalização ineficiente e pouco comando de equipe, por parte do engenheiro e/ou mestre de obra, podem desencadear falhas graves em atividades importantes, como a implementação da obra, fôrmas, qualidade do concreto etc.

Portanto, de acordo com Sacchi e Souza (2016), para que a obra seja executada de maneira mais eficiente é importante a implementação de um sistema de controle de qualidade ao longo das várias etapas do projeto, e assim, evitar a aplicação de ações improvisadas no canteiro.

2.4.3 Materiais

Além de um bom trabalho de execução, para que uma edificação apresente a qualidade esperada, é necessário que os materiais, e os equipamentos, utilizados sejam de boa qualidade. Nas palavras de Souza e Ripper (1998, p. 26):

Os sistemas construtivos, e a própria qualidade do produto final, seja ele uma casa, um edifício, uma ponte ou uma barragem, ficam bastante dependentes do grau de evolução técnica alcançado pela indústria de materiais e componentes.

Reafirmando o que foi dito por Souza e Ripper, Silva e Crepaldi (2017) afirmam que, mesmo que sejam elaborados projetos minuciosos, e que propiciem todas as condições para uma excelente execução da obra, o emprego de materiais de qualidade inferior (ou a má gestão de materiais de qualidade), podem prejudicar o desempenho dos sistemas do empreendimento, além de possibilitar o surgimento de manifestações patológicas a curto, médio ou longo prazo.

Somados à falta de evolução técnica, o problema econômico e a irresponsabilidade dos que comandam o processo de produção se apresentam como agentes produtores desses materiais de baixa qualidade (SOUZA; RIPPER, 1998). A baixa qualidade tem papel fundamental sobre os problemas e falhas ocorridos na construção civil do país, estando atrelada ao mau costume de não se atender às exigências das normas técnicas e, certificações de qualidade por parte das indústrias que produzem os materiais (SILVA; CREPALDI, 2017).

Por isso, torna-se muito importante a realização de um sistema de controle de qualidade, desde a chegada dos materiais, para que se confirme se o produto recebido é condizente com àquele que foi comprado, avaliando suas características básicas e definindo os limites e tolerâncias para a aceitação destes materiais. Segundo Silva e Crepaldi (2017, p. 11), é preciso proceder com a verificação do material recebido para “constatar se há defeitos ou não, quantas peças apresentam defeitos em relação ao total, quando foi produzido, qual o prazo de validade” e, assim, definir se os materiais serão aceitos ou não.

Além da verificação da qualidade dos materiais e componentes industrializados, outro ponto muito importante é o controle de qualidade do concreto, que, devido à sua grande utilização no processo construtivo, precisa receber especial cuidado. Esse concreto pode ser produzido *in loco*, ou industrialmente, como afirmam Silva e Crepaldi (2017, p. 11), entretanto, deve-se ter em mente que seu controle “não deve ser confundido com sua resistência e que os dois fatores influem em sua qualidade, o preparo e a aplicação”.

Argamassas de má qualidade, que possuam contaminantes advindos de sua própria matéria-prima (saís, por exemplo), se utilizadas, podem causar graves anomalias, principalmente em estruturas antigas, pelo fato de favorecerem a formação de eflorescências, que podem ocorrer, como afirma Loureiro *et al.* (2015, p. 73), “por higroscopicidade dos ditos saís, entre os quais se destaca o cloreto de sódio”.

Sobre isso, Souza e Ripper (1998, p. 33), apresentam uma listagem dos erros mais comuns quando se trata do emprego equivocado dos materiais no processo construtivo;

- I. Utilização de concreto com f_{ck} (Resistência característica do concreto à compressão) inferior ao especificado, quer por encomenda errada ou de erro no fornecimento de concreto pronto, quer por erro em concreto virado na própria obra;
- II. Utilização de aço com características diferentes das especificadas, quer em termos de categorias, quer de bitolas;
- III. Assentamento das fundações em camadas de solo com capacidade resistente - ou características, de uma maneira geral - inferior à requerida;

- IV. Utilização de agregados reativos, instaurando, desde o início, a possibilidade de geração de reações expansivas no concreto, potencializando os quadros de desagregação e fissuração;
- V. Utilização inadequada de aditivos, alterando as características do concreto, em particular as relacionadas com resistência e durabilidade;
- VI. Dosagem inadequada do concreto, seja por erro no cálculo, seja pela utilização incorreta de agregados, do tipo de cimento ou de água.

Diante disso, fica evidente a necessidade de uma melhor gestão dos materiais empregados na construção civil, a fim de garantir que, além de uma boa execução, sejam utilizados materiais de qualidade. Segundo Silva e Crepaldi (2017, p. 12), materiais de baixa qualidade “podem interferir de forma negativa nos processos de produção, ocasionando retrabalhos, desperdícios e falhas que podem comprometer a vida útil do edifício, tal como seu desempenho”.

De forma especial, há de se falar em relação às obras públicas, que estão sujeitas a licitações, onde muitas edificações têm seu desempenho prejudicado por conta da utilização de materiais de qualidade questionável, em virtude de processos de licitação, onde opta-se pela utilização de materiais com o preço mais baixo.

Nesse ponto, cumpre-nos salientar que os materiais que chegam à obra por pedidos licitatórios podem não atender às necessidades mínimas especificadas em projeto e aos requisitos de desempenho e durabilidade, comprometendo diretamente a qualidade global das edificações, aumentando a ocorrência de manifestações patológicas e, concomitantemente, apresentando risco aos usuários (SILVA; CREPALDI, 2017, p. 12).

2.4.4 Manutenção

A última fase do processo construtivo, é apresentada por Vieira (2016, p. 4), como a “FASE DE UTILIZAÇÃO E MANUNTEÇÃO, onde a obra é concluída e entregue ao proprietário, o qual fará o uso do empreendimento, cabendo a ele cuidar para que as características da estrutura sejam mantidas”.

Depois de vencidas as duas primeiras etapas (projeto e execução), ainda é possível que as estruturas apresentem manifestações patológicas originadas por má utilização, ou ausência de manutenção. Essas patologias podem ocorrer mesmo em casos onde o padrão de qualidade das etapas anteriores tenha sido satisfatório (SOUZA; RIPPER, 1998).

Após a execução, a utilização do empreendimento é papel do proprietário, e cabe a ele zelar para manter as características das estruturas ao longo de sua vida útil. Essa utilização/manutenção deve funcionar, segundo Vieira (2016, p. 8):

Do mesmo modo que as obras públicas, as quais possuem planos de inspeção e manutenção periódica para que sejam programados meios de correção caso ocorra danos provenientes do uso, da ação agressiva do meio ambiente e de eventuais impactos acidentais.

Os maiores causadores de patologias durante a fase de manutenção das estruturas são, por exemplo, criação de novas aberturas, aplicação de sobrecargas de utilização além do previsto, o aumento do vão entre peças, entre outros (MARTINS; FIORITI, 2016b). Com isso, o maior interessado na conservação da estrutura, que seria o usuário, tornar-se-á, por ignorância ou desleixo, o agente causador da deterioração da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

Alves *et al.* (2017) apresenta, também, alguns fatores que são geradores de patologias durante a fase de utilização do empreendimento, como: reformas não previstas em projeto, falta de inspeções periódicas e das manutenções adequadas, uso de produtos agressivos no processo de limpeza e outros. Como o próprio autor afirma:

Uma prática que constantemente gera manifestações patológicas devido ao uso, é a limpeza inadequada da edificação, isto deve-se ao uso de equipamentos e produtos impróprios que tendem a afetar o desempenho da construção (ALVES; THOMÉ; TOSTA, 2017, p. 272).

Geralmente, aqueles que utilizarão as edificações, proprietários e usuários, não possuem grande conhecimento acerca das patologias das construções, dessa forma, Enami *et al.* (2010, p. 149) afirma que “há grande questionamento em relação ao direito de reivindicação à resolução dos problemas iniciais verificados”.

Apesar do fato das manifestações patológicas provenientes de mau uso e pouca manutenção não serem raros, mas preocupantes, a definição de formas de manutenção periódica torna possível evitar inúmeras patologias e, até a própria ruína da estrutura. Afinal, assim como o corpo humano precisa ser acompanhado e bem cuidado, as estruturas necessitam de cuidados e manutenções periódicas, a fim de que, se mantenha o nível de desempenho adequado durante sua vida útil (VIEIRA, 2016).

2.5 Tipos de Patologias

Quando se analisa uma estrutura de concreto “doente” é fundamental que se entenda a causa que levou ao surgimento e ao desenvolvimento da doença a fim de entender os motivos do problema antes de determinar a metodologia de tratamento adequada. Esse conhecimento é imprescindível na escolha do melhor método de atuação que visa garantir que a reparação seja eficaz o suficiente e também evitar que a estrutura volte a se deteriorar (SOUZA; RIPPER, 1998).

É comum que os pontos mais vulneráveis das estruturas sejam os primeiros a sofrerem com os resultados da ação dos agentes de degradação das estruturas. Para Souza e Ripper (1998), grande parte dos casos têm causas evidentes e que não seria muito difíceis de evitar se a escolha dos materiais e dos métodos de execução for mais cuidadosa, se o projeto for elaborado com níveis de detalhamento adequados ou utilizar um planejamento de manutenção adequado.

Pois, uma vez situadas em ambientes que favoreçam a degradação, a “saúde” das estruturas de concreto estará vulnerável às mais diversas formas de agressão. Dessa maneira, entende-se que, fatores como: a execução da obra sem completo conhecimento do ambiente onde será desenvolvida, ou seja, sem estudo prévio das condições do meio; a ausência de detalhamento adequado nos projetos; a ousadia dos projetos arquitetônicos e estruturais; a deficiência na definição dos materiais que serão usados, podem desencadear as situações que acarretarão na sensível diminuição de desempenho e da vida útil das edificações.

Corroborando com isso, Souza e Ripper (1998, p. 57) afirmam que;

Se a todas estas deficiências forem somados os erros de execução, como métodos construtivos inadequados, mão-de-obra tecnicamente deficiente, falhas na fiscalização etc., ter-se-á, inevitavelmente, o enfraquecimento da estrutura, com a consequente criação das facilidades para a atuação dos agentes deteriorantes, que levam à oxidação das armaduras e à degradação do concreto.

Sendo assim, a tentativa de encontrar a melhor solução e o melhor método, a serem utilizados na recuperação ou reforço de uma estrutura só será bem-sucedida se as condições físicas, químicas, ambientais e mecânicas, às quais a edificação está submetida, forem conjunta e minuciosamente estudadas e compreendidas (SOUZA; RIPPER, 1998).

A seguir é apresentada uma tabela, retirada do trabalho de Souza e Ripper (1998, p.56), que apresenta uma listagem dos processos físicos de deterioração das estruturas.

Tabela 1 - Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto.

FISSURAÇÃO	Deficiências de Projeto Contração Plástica Assentamento do Concreto Movimentação de Escoramentos e/ou Fôrmas Retração Deficiências de Execução Reações Expansivas Corrosão das Armaduras Recalques Diferenciais Variação de Temperatura Ações Aplicadas
DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO	Fissuração Movimentação das Fôrmas Corrosão do Concreto Calcinação Ataque Biológico
CARBONATAÇÃO DO CONCRETO	
PERDA DE ADERÊNCIA	
DESGASTE DO CONCRETO	

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

A seguir são apresentados alguns efeitos (manifestações patológicas) comumente encontrados e as possíveis causas para o seu surgimento.

2.5.1 Fissuras

Segundo Torres e Silva (2015, p. 46), “fissuras são pequenas aberturas que podem surgir nas estruturas, revestimentos ou no substrato de uma edificação”.

Para Souza e Ripper (1998, p. 57), “as fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto”, sendo assim, a forma mais comum de patologia e, quando presentes em dimensões acentuadas são, também as que mais alarmam os “leigos” (por trazer a sensação de que algo anormal está acontecendo).

É importante ressaltar que, apesar do incômodo gerado pela observação de uma fissura, a sua caracterização como deficiência na estrutura está ligada à sua origem, intensidade e proporção das fissuras existentes (SOUZA; RIPPER, 1998). As fissuras podem estar ligadas a vários tipos de problemas, como “movimentações higroscópicas, movimentações térmicas, as causadas pela atuação de sobrecargas, por recalques das fundações e as causadas por retração de produtos à base de cimento” (PAZ *et al.*, 2016, p. 177).

Então, fica claro que o processo de identificação das causas e efeitos de fissuras precisa ser desenvolvido com base em análises consistentes, que busquem determinar desde a configuração das fissuras, até a extensão (e profundidade) das mesmas, avaliando a sua variação no decorrer do tempo (SOUZA; RIPPER, 1998). Toda estrutura está sujeita a diversas formas de movimentação que são fruto de tensões mecânicas, térmicas, fadiga, expansão (devido à umidade), infiltrações, dentre outras, que podem interferir no desempenho da estrutura, de forma global, ou em partes (BAUER *et al.*, 2015).

Por isso, essas análises devem ser feitas sempre com atenção e competência, posto que, um processo de identificação mal feito provavelmente acarretará a utilização de métodos e técnicas inadequadas, que, dependendo do caso, não trarão bons resultados ou, até mesmo, agravarão os problemas já existentes.

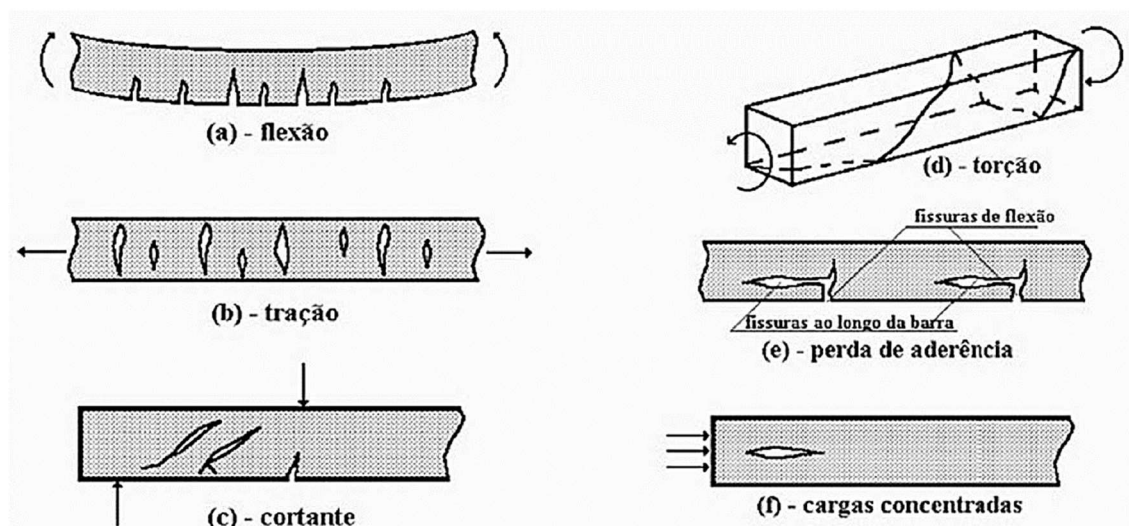
Um exemplo simples seria a utilização de grampeamento para o tratamento de fissuras que, devido ao processo ineficaz de identificação, não foram classificadas como ativas. Durante o processo de identificação, as fissuras encontradas devem ser classificadas em ativas ou inativas. As fissuras “denominadas passivas, são aquelas que não se movimentam com o tempo e as ativas ou vivas, aquelas que apresentam movimentação ao longo do tempo” (FILHO; CARMONA, 2013, p. 14).

Serão apresentadas a seguir, informações a respeito de algumas das configurações das fissuras de acordo com as várias causas que possam motivar o desenvolvimento destas manifestações patológicas.

- Deficiências de Projeto

Podem ser vários os erros de projeto estrutural que reflitam diretamente na formação de fissuras sendo que, as fissuras geradas apresentarão configurações próprias, de acordo com o tipo de esforço que incide sobre as peças da estrutura (NASCIMENTO, 2015). A Figura 1 exemplifica alguns desses problemas e as características das fissuras geradas.

Figura 1 - Algumas configurações genéricas de fissuras em função do tipo de solicitação predominante.



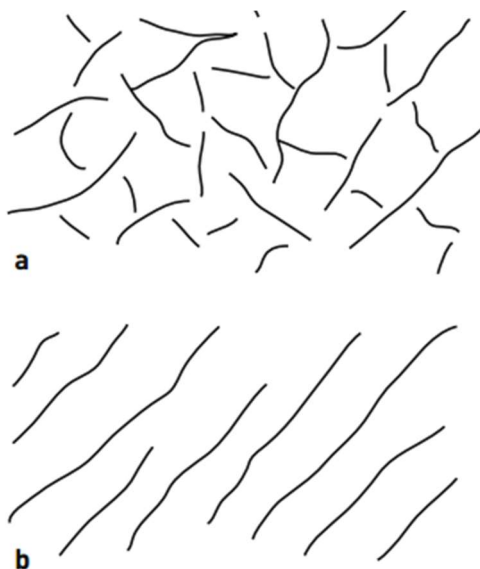
Fonte: Nascimento, 2015.

- Contração Plástica do concreto

Segundo Souza e Ripper (1998, p. 61), “este é o primeiro dos casos em que a fissuração, no processo de execução de uma determinada peça estrutural, ocorre ainda antes da pega do concreto”. Pois, a água presente na massa evapora muito rápido, fazendo com que essa mesma massa se contraia abrupta e irreversivelmente.

Este tipo de fissuração ocorre, principalmente, em superfícies extensas (lajes e paredes), apresentando fissuras em 45° (com o canto) normalmente paralelas entre si; e, geralmente, são superficiais. A Figura 2 apresenta as configurações desse tipo de fissura.

Figura 2 - Configurações típicas das fissuras por contração plástica do concreto.



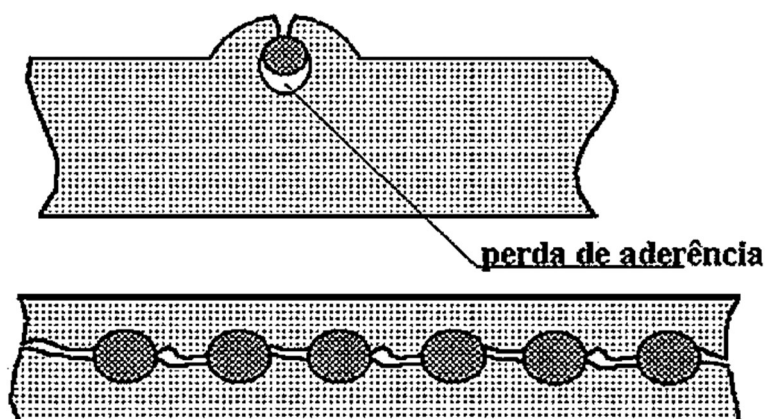
Fonte: Igor Dantas, 2012.

- Assentamento do concreto / Perda de aderência das barras da armadura

As fissuras causadas pelo assentamento do concreto ocorrem sempre que as fôrmas ou as barras da armadura, restringem o movimento natural do material (massa de concreto), movimento este, que é causado pela gravidade e, será maior, quanto mais espessa for a camada de concreto (NASCIMENTO, 2015).

A Figura 3, apresenta a ilustração do processo de formação de uma fissura por assentamento do concreto.

Figura 3 - Formação de fissuras por assentamento plástico do concreto.



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

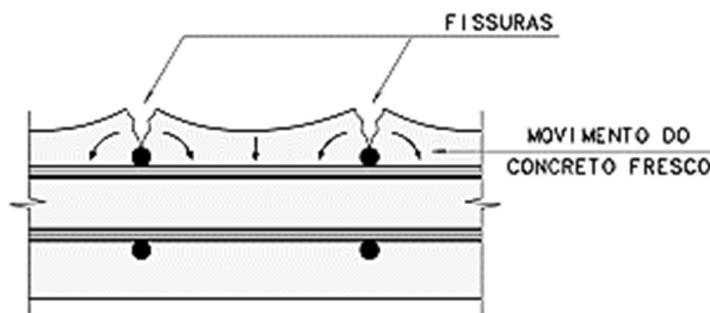
Souza e Ripper (1998) mencionam que, fissuras causadas pelo assentamento do concreto tendem a se desenvolver seguindo o alinhamento das armaduras,

provocando um resultado denominado efeito de parede, ou de sombra, que consiste na redução da aderência entre a barra e o concreto por conta da formação de vazios na parte inferior da barra. Quando se trata de armaduras mais densas, essas fissuras podem interagir entre elas e ocasionar situações mais preocupantes.

É importante ressaltar que, tratando-se de durabilidade, as fissuras que se desenvolvem seguindo as armaduras são o tipo mais complicado, porque facilitam o acesso direto às armaduras, por parte dos agentes degradantes (SOUZA; RIPPER, 1998). Com a fissuração do concreto, agentes como a água, principalmente, tem fácil acesso ao aço, facilitando a corrosão das armaduras (AGUIAR; BAPTISTA, 2011).

Na Figura 4 pode ser percebida uma fissura ocorrida por conta da perda de aderência entre o concreto e a armadura.

Figura 4 - Fissura formada por possível perda de aderência da armadura do pilar.



Fonte: Filho e Carmona, 2013.

- Retração do concreto

Stuckert e Júnior (2016) apontam que grande parte das fissuras associadas à retração estão ligadas ao fato de que, a retração sofrida pelos elementos de concreto não é “acompanhada” pela alvenaria, que acaba fissurando.

A retração do concreto é um movimento natural da massa que, no entanto, é contrariado pela existência, também natural, de restrições opostas por obstáculos internos (barras de armadura) e externos (vinculação a outras peças estruturais) (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 63).

Quando não se considera a incidência desse comportamento reológico, a nível de projeto (ou, execução), existem grandes chances para o desenvolvimento de um quadro de fissuração, que pode desencadear o surgimento de trincas que transpassem toda a espessura das peças mais esbeltas, como lajes e paredes (SOUZA; RIPPER, 1998). A Figura 5 apresenta os efeitos desse comportamento do concreto.

Figura 5 - Fissuras ocasionadas pela retração do concreto.



Fonte: Grupo Tecnosil, 2018

- Corrosão das armaduras

Para Fernandes e Nóbrega (2019, p. 50), corrosão é “deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente juntamente ou não com esforços mecânicos (tração, compressão, flexão e torção)”.

Quando se trata da armadura utilizada no concreto, a deterioração apresentada na definição abordada está associada à destruição da camada passivante (pH básico) que envolve toda a superfície externa das barras. Sendo que, esta película é formada “como resultado do impedimento da dissolução do ferro pela elevada alcalinidade da solução aquosa que existe no concreto” (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 65).

Sabe-se que o pH encontrado no interior do concreto (meio aquoso) apresenta grandes níveis de alcalinidade (de 12.6 a 14) por conta da reação que ocorre entre a água e os sais que formam o cimento. Dessa forma, a existência de pH maior que 9, no interior do concreto, garantirá a formação da película passivante pela interação da água com a ferrugem superficial das barras (SOUZA; RIPPER, 1998).

Sendo assim, quando se trata de concreto armado, “a conservação de um meio alcalino no concreto é um dos requisitos fundamentais para a preservação das estruturas de aço embutidas” (VILASBOAS; MACHADO, 2010, p. 234).

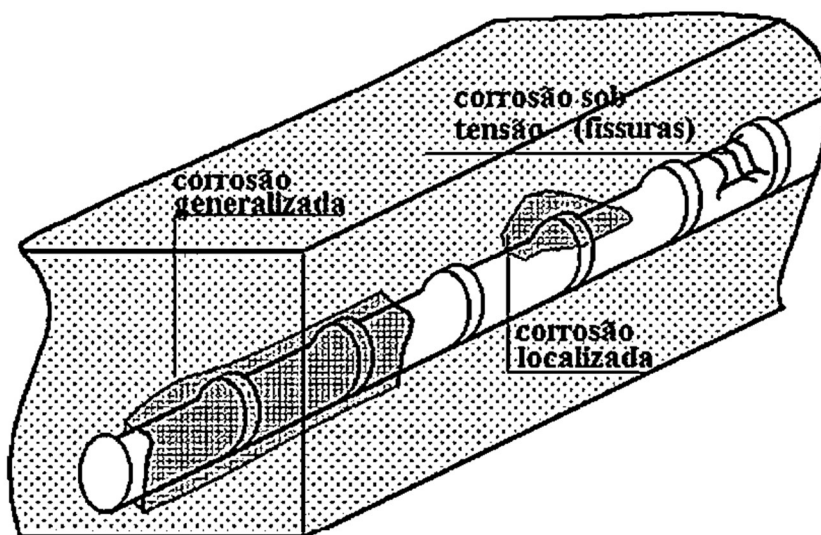
Quando o ambiente estiver assim configurado, a interação entre a armadura e o concreto será harmoniosa (sem corrosão). Entretanto, existem mecanismos capazes de destruir a camada passivante que envolve as barras, causando, assim, a

sua corrosão, Souza e Ripper (1998, p. 66) apresentam esses mecanismos como sendo:

- I. Corrosão por tensão fraturante: aços colocados sob grandes esforços mecânicos (protensão), que podem sofrer fratura frágil, quando expostos a ambientes agressivos;
- II. Corrosão pela presença de hidrogênio atômico, que fragiliza e fratura os aços;
- III. Corrosão por pite,
 - a. Localizada, caracterizada pela ação de íons agressivos (cloretos, em especial), sempre que haja umidade e presença de oxigênio;
 - b. Generalizada, função da redução do pH do concreto para valores inferiores a 9, pela ação dissolvente do CO_2 existente no ar atmosférico - transportado através dos poros e fissuras do concreto sobre o cimento hidratado.

A Figura 6, retirada de Souza e Ripper (1998), torna clara a visualização destes três tipos de corrosão.

Figura 6 - Tipos de corrosão de uma barra de aço imersa em meio concreto.

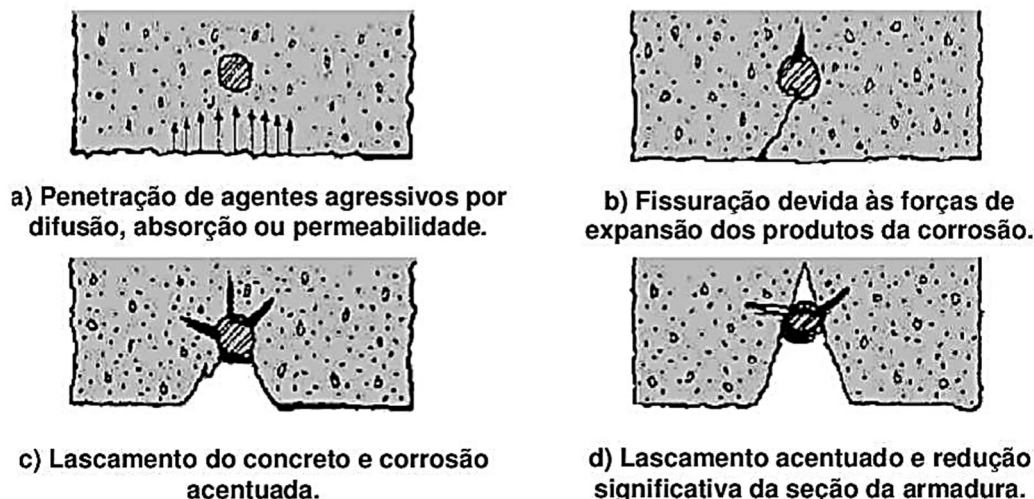


Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Portanto, entende-se que a corrosão das armaduras se desenvolve da periferia para o interior da barra, fazendo a “substituição” de aço resistente por ferrugem. Dessa forma, a diminuição da resistência dessa armadura será a primeira consequência do processo patológico da corrosão, por conta da diminuição da seção das barras.

Entretanto, esse processo desencadeia o aparecimento de outros mecanismos de degradação, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Fases do processo de corrosão em uma barra de armadura.



Fonte: Helene, 1986.

Como consequência da corrosão das armaduras, podem ser observados, segundo Souza e Ripper (1998, p. 68):

- I. Perda de aderência entre o aço e o concreto, com alteração na resposta da peça estrutural às solicitações às quais está submetida;
- II. Desagregação da camada de concreto envolvente da armadura. Tal fato acontece porque, ao oxidar-se, o ferro vai criando o óxido de ferro hidratado ($\text{Fe}^{2+}\text{O}^{3-} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), que, para ocupar o seu espaço, exerce uma pressão sobre o material que o confina da ordem de 15 MPa, suficiente para fraturar o concreto. Para se ter uma ideia do que esta força representa, refira-se que a expansão volumétrica das barras de aço, quando sob corrosão, pode significar aumento correspondente a dez vezes o seu volume original;
- III. Fissuração, pela própria continuidade do sistema de desagregação do concreto. Neste caso, como em qualquer caso em que haja fissuração, o processo é agravado, pois o acesso direto dos agentes agressivos existentes na atmosfera multiplica e acelera a corrosão, combinando situações de ataque localizado com outras de ataque generalizado. As fissuras formadas acompanham o comprimento das armaduras.

Dentro do que foi apresentado, percebe-se que para evitar a corrosão, necessita-se, basicamente, que o concreto proporcione um meio alcalino às barras e não permita o contato dos agentes agressores com a armadura.

Portanto, a obtenção de um concreto mais “impermeável”, resultará na diminuição dos danos causados por ataques químicos às estruturas, uma vez que, as reações se desenvolverão mais lentamente. Isso realça a necessidade de um bom trabalho de adensamento do concreto a fim de que ele seja mais resistente aos ataques químicos (NEVILLE, 2015).

A utilização da sílica ativa, segundo Aguiar e Baptista (2011), proporciona a diminuição da porosidade do concreto, tornando a entrada de água nos poros mais difícil. Por consequência, quanto menos permeável e poroso o concreto for, mais resistente se tornará.

Por fim, além da tentativa de tornar o concreto menos permeável, é importante empregar os valores de cobrimento adequado ao meio em que a estrutura estará inserida, pois este terá papel fundamental na boa qualidade do concreto (AGUIAR; BAPTISTA, 2011; VILASBOAS; MACHADO, 2010).

2.5.2 Patologias ligadas à umidade

Tratando-se das construções, um dos maiores problemas que se pode tentar corrigir são os problemas relacionados à presença de umidade (PAZ *et al.*, 2016).

Sendo assim, quando se pretende evitar problemas decorrentes da presença de umidade nas edificações, pode-se dizer que é muito importante tratar assuntos como: impermeabilização, dimensionamento de instalações hidro sanitárias e a utilização de materiais de boa qualidade, de forma muito cuidadosa. Pois, a prevenção desse tipo de patologia é feita durante a etapa de projeto.

Para Fachin e Rivelini (2018) os problemas ocorridos por conta de umidade, são frequentes, mas não só isso, são também os piores problemas que podem ocorrer à uma edificação durante sua vida útil. Essa frequência têm relação direta com alguns fatores, como: a idade da construção, o clima, os materiais e as técnicas utilizadas e, o nível de controle de qualidade utilizado durante o processo construtivo (JONOV; NASCIMENTO; SILVA, 2013).

Dentro desse contexto, Paz *et al.* (2016) afirma que a umidade existente nos materiais empregados no processo construtivo origina e propicia o desenvolvimento

de diversos tipos de patologias (como fissuras, por exemplo) em uma edificação. E, essas patologias funcionarão como o caminho para que ocorra o transporte de água na edificação, pois como afirmam (FARIAS; EVANGELISTA, 2018, p. 167), para que a água possa percorrer a estrutura, “é necessária a presença das fissuras presentes em revestimento ou poros abertos”.

Um exemplo de patologias decorrentes da presença de umidade é a expansão de elementos cerâmicos, que se manifesta “em um elemento específico do sistema de revestimento, provocando danos diretamente no elemento cerâmico os quais podem levar ao descolamento, dentre outras anomalias” (BAUER *et al.*, 2015, p. 152).

Por isso, deve-se sempre procurar prevenir a presença indiscriminada de umidade nas estruturas, mas, em casos onde as patologias já se apresentam, é preciso aplicar as devidas ações de correção (impermeabilização, barreiras etc.), para que os defeitos não gerem desconforto nos usuários da edificação (PAZ *et al.*, 2016).

Nas Figuras 8 e 9, é possível ver 2 exemplos de patologias ocasionadas pela umidade, bolor negro e deslocamento do revestimento.

Figura 8 - Bolor negro no revestimento da parede.



Fonte: "Bigstock", 2016.

Figura 9 - Deslocamento do revestimento argamassado.



Fonte: Verzola, 2018.

- Impermeabilização

Para a NBR 9575 (ABNT, 2010), impermeabilização pode ser definida como o “conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas, que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, de vapores e da umidade”.

Antes de serem desenvolvidos os materiais atualmente empregados na impermeabilização das edificações, esse serviço era feito com materiais provindos diretamente da natureza, sem receber nenhum tipo de tratamento, ou ter nenhum tipo de garantia de seu funcionamento, além disso, o serviço era feito de forma totalmente empírica (RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016).

Mas, atualmente, sabe-se que assim como as três etapas do processo executivo apresentadas neste trabalho, a execução de uma boa impermeabilização é imprescindível para que uma edificação apresente a durabilidade desejada, pois a água e o ar, são capazes de transportar inúmeros poluentes que podem gerar inúmeros danos a uma edificação (FARIAS; EVANGELISTA, 2018, p. 168).

Sendo assim, por se tratar de um ponto tão importante da construção, “a impermeabilização em uma obra deve conter projeto individual, assim como os projetos arquitetônicos, de instalações elétricas e hidráulicas, entre outros” (FARIAS; EVANGELISTA, 2018, p. 169). O projeto deve detalhar os materiais a serem

utilizados, e os métodos de execução dos sistemas de impermeabilização para cada caso.

Infelizmente, apesar do conhecimento de que esses projetos são indispensáveis à boa execução de uma edificação, são raras as obras que possuem. Para Farias e Evangelista (2018), podem ser consideradas como justificativas para essa não utilização, o alto custo de desenvolvimento de um projeto de impermeabilização e o fato do mesmo não possuir função estrutural.

- Infiltração

Desencadeadas pela presença de umidade na edificação, as infiltrações são um bom exemplo de patologias facilmente notáveis àqueles que utilizam uma edificação, isso porque as infiltrações apresentam características muito próprias, como: bolores enegrecidos, mofo e, até goteiras. E, com o tempo, essas infiltrações podem se desenvolver e causar maiores problemas que resultarão em desconforto por parte dos usuários, chegando até, em casos extremos, à descontinuação das atividades da edificação por conta do risco causado aos usuários (SILVA; CREPALDI, 2017).

Um exemplo de ocorrência dessa patologia pode ser visto na Figura 10, onde pode ser observada a presença de uma mancha enegrecida gerada por uma infiltração.

Figura 10 - Mancha decorrente de umidade



Fonte: Shutterstock / Singkham, [s.d].

Farias e Evangelista (2018, p. 167) explicam que, existem infiltrações que se apresentam quase que instantaneamente, como em calhas, coberturas e esquadrias. Entretanto, algumas outras demoram mais a aparecer, como é o caso da umidade que ascende do solo para as paredes e a umidade que é transportada pelas fissuras e pequenas infiltrações em calhas e rufos.

Dessa forma, pode-se pressupor que não são poucos os problemas ocasionados pelas infiltrações. Esses problemas, em geral por falta de conhecimento adequado a respeito das técnicas para sua solução, são os mais prejudiciais à saúde de uma edificação. Pois, como afirmam Farias e Evangelista (2018, p. 167), “todas as construções são feitas para abrigar das intempéries e o aparecimento de umidade significa que esse fim não foi atingido”.

Mas, não é tão simples descobrir a origem de uma infiltração, uma vez que, a umidade presente em uma edificação pode ser proveniente de inúmeras fontes, como a fase de construção, presença de capilaridade, chuvas, vazamentos no sistema hidráulico, ou condensação. Todavia, é notório que essa umidade se concentre em pontos específicos, como telhados, lajes de cobertura, paredes e pisos (FACHIN; RIVELINI, 2018).

Dentre as fontes apresentadas, uma das principais formas de infiltração é a que ocorre por capilaridade, que, nas palavras de Farias e Evangelista (2018, p. 167), ocorre porque “os materiais de construção absorvem água na forma capilar quando estão em contato direto com a umidade”. Esse fenômeno é mais frequente em fachadas e regiões que ficam em contato com a umidade do solo e não possuem impermeabilização.

Farias e Evangelista (2018, p. 168) ainda afirmam que “quanto maior for a espessura da parede, mais elevada será a altura atingida pela umidade, pois maior é a porção de água a ser evaporada”.

Como pode ser visto, a presença de umidade nas edificações pode desencadear vários problemas, por exemplo, manchas, mofo, apodrecimento e eflorescências. E, estes defeitos podem se desdobrar em problemas mais graves, que prejudicarão o conforto dos usuários, afetarão o caráter funcional da edificação, além de prejuízos financeiros, dentre outros (FARIAS; EVANGELISTA, 2018).

- Eflorescências

As eflorescências são mais um dos exemplos de patologia gerada pela atuação deletéria da água nas edificações. Nascimento (2015) aponta que, para a ocorrência desse tipo de problema, é necessário que três fatores ocorram simultaneamente: existência de sais solúveis nos materiais (ou componentes); presença de água para a sua solubilização; pressão hidrostática para migrar a solução até a superfície. Sendo assim, as eflorescências podem ocorrer em alvenarias, revestimentos de argamassa, podendo chegar à pintura e, até as estruturas de concreto, através do processo de lixiviação.

Lixiviação é o agente responsável pela dissolução e carreamento dos compostos hidratados da pasta cimentícia, através da ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas etc. Essa lixiviação é extremamente nociva ao concreto, pois, segundo Souza *et al.* (2016, p. 173);

Com a remoção de sólidos, ocorre redução na resistência mecânica do material e abre-se caminho para a entrada de gases e líquidos agressivos às armaduras e ao próprio concreto, além da penetração de água e oxigênio que originam na corrosão de armaduras em peças de concreto armado.

Na Figura 11 pode ser vista a manifestação de uma eflorescência, por conta da lixiviação do concreto, que causa o acúmulo dos sais presentes na composição do material.

Figura 11 - Formação de eflorescência no concreto.



Fonte: Pointer, 2018.

Fioriti *et al.* (2017a, p. 23) aponta que a lixiviação do hidróxido de cálcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, que resulta na formação do carbonato de cálcio, apresenta-se como principal responsável pelo aparecimento dos depósitos salinos de cor branca, na superfície do concreto, que caracterizam as eflorescências e alteram a estética da construção.

Fatores externos responsáveis pela formação dessa patologia são: quantidade de água, tempo de contato, elevação de temperatura e porosidade do material. E, para evitar a ocorrência desse problema, é importante que as fissuras sejam controladas, a fim de evitar a penetração de água na estrutura, e proteger as superfícies expostas.

- Desplacamento

Os deslocamentos são outra forma de patologia associada à umidade, e este fenômeno pode ser descrito como a perda de aderência do revestimento entre o revestimento e a alvenaria (PAZ *et al.*, 2016). A Figura 12 apresenta o registro de uma ocorrência dessa anomalia construtiva.

Figura 12 - Desplacamento do revestimento argamassado.



Fonte: Freitas *et al.*, [s.d].

Esse deslocamento ocorre como consequência da expansão do revestimento, gerada pela umidade, que causa danos a esse revestimento, fazendo com que ele perca a aderência ao substrato cimentício e se desprenda (BAUER *et al.*, 2015).

O grande problema gerado por essa anomalia é deixar a alvenaria exposta às intempéries, pois, nas palavras de Jonov *et al.* (2013), esses revestimentos são:

Uma das partes integrantes das vedações dos edifícios e apresentam importantes funções, tais como proteger os elementos de vedação dos edifícios dos agentes agressivos, auxiliar as vedações no cumprimento das funções de isolamento termoacústico e na estanqueidade à água e aos gases, regularizar a superfície dos elementos de vedação.

O controle dessas anomalias ligadas à umidade é fundamental, pois essa umidade favorece a degradação dos materiais de construção, altera a coloração dos materiais, causa desconfortos aos usuários e ainda prejudica o desempenho da edificação (JONOV; NASCIMENTO; SILVA, 2013).

2.6 Investigação e tratamento de patologias

Sabendo que as patologias podem se manifestar de diversas maneiras e, serem causadas por inúmeros fatores, é fundamental que, para sua detecção, sejam feitas vistorias nos locais de interesse, a fim de determinar a existência, seriedade e a extensão dessas patologias (ALVES; THOMÉ; TOSTA, 2017).

Dentro desse contexto, é importante notar que, em sua maioria, as patologias possuem aspectos externos bem característicos, o que torna possível inferir algumas informações importantes a respeito da sua origem, natureza e os mecanismos envolvidos em sua manifestação (ALVES; THOMÉ; TOSTA, 2017).

Apesar da possibilidade de identificação das patologias a partir da observação de suas características externas, Alves *et al.* (2017) recomenda que sejam feitas inspeções periódicas nas edificações, pois essa periodicidade facilitará a obtenção de diagnósticos precoces e reduzirá os custos necessários ao reparo.

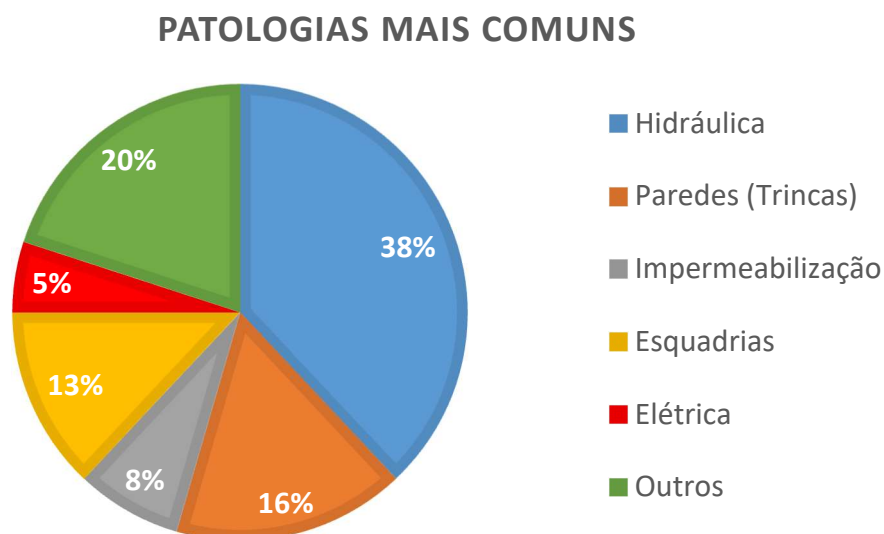
Portanto, para que se possa tratar adequadamente os problemas patológicos, é fundamental que se descubra a origem da “doença”, afinal, como afirma Vieira (2016, p. 5), “descobrir a origem do problema, pode ser o primeiro passo na busca pela ‘cura’”.

Um levantamento geral feito por Alves *et al.* (2017, p. 273), aponta que:

As manifestações patológicas mais comumente encontradas nas edificações são: trincas, fissuras, rachaduras, degradação do concreto, manchas, descolamento de revestimentos em fachadas, infiltração, falhas de concretagem, eflorescência etc.

O Gráfico 1, apresentado a seguir, aborda o resultado da observação feita por Alves *et al.* (2017), e aponta para a maior frequência de problemas relacionados aos componentes hidráulicos das edificações, logo depois aparecem as trincas e problemas com impermeabilização.

Gráfico 1 - Distribuição das patologias mais comuns em edificações



Fonte: Alves *et al.* (2017).

2.6.1 Levantamento de Dados

Para o estudo das patologias das edificações é necessário que se faça um levantamento dessas manifestações, e esse processo pode ser desenvolvido de várias maneiras. No trabalho de Martins e Fioriti (2016b, p. 46) foram feitas visitas *in loco* para a identificação e registro das patologias, sendo que, durante a vistoria a análise dos efeitos das patologias foi feito através dos sentidos: visão, olfato, audição e tato.

Já no trabalho desenvolvido por Martins *et al.* (2017, p. 142), foi utilizado um método baseado em quatro etapas, onde a primeira delas consiste no levantamento de informações através de vistorias do local, anamnese, ensaios complementares e pesquisa, a fim de obter subsídios para o entendimento das manifestações patológicas encontradas.

Aqui vale uma observação sobre um dos termos utilizados, anamnese é a atividade de levantamento do histórico de evolução da patologia desde a manifestação inicial ou dos eventos precursores até o estágio apresentado no momento da vistoria. Além das informações sobre a formação do problema, devem ser apresentados os dados sobre a vida da edificação como um todo, isto é, o quadro geral do desempenho da edificação ao longo do tempo.

Utilizando uma outra metodologia, Bauer *et al.* (2015, p. 153) desenvolve seu trabalho através das seguintes etapas: busca por informações preliminares, inspeção

das edificações, ensaios e diagnóstico. Utilizando câmeras digitais e termográficas para o levantamento das patologias.

Já Carvalho *et al.* (2014, p. 40) seguiu uma forma mais impessoal de levantamento de dados, através da aplicação de uma análise baseada na padronização das etapas, a qual se desenvolve nas seguintes etapas:

- Ficha de Identificação de Danos (FID): levantamento das características físicas e identificação de alterações existentes;
- Mapas de danos: mapeamento dos danos de edificações específicas de interesse para estudo, permitindo cruzamento de suas informações com as presentes nas fichas;
- Estudo comparativo da frequência de ocorrência dos danos: estabelece os danos mais recorrentes dentro da amostragem estipulada;
- Outros métodos: ensaios de caracterização de amostras e processos de intervenção.

2.6.2 Diagnóstico

Assim como não existe apenas uma forma de se desenvolver a fase de levantamento das manifestações patológicas de uma estrutura, também existem diversas formas de se chegar a um diagnóstico dessas patologias. Uma dessas diversas formas para o desenvolvimento do diagnóstico é a comparação com base na semelhança de casos previamente visualizados em estudos da área, como fizeram Martins e Fioriti (2016b, p. 46) em seu trabalho de avaliação de patologias.

Seguindo um caminho similar, Fioriti *et al.* (2017a, p. 22) baseou suas conclusões sobre a análise da sintomatologia, onde são comparados os tipos de danos causados, e as características de uma determinada forma de manifestação patológica.

O diagnóstico desenvolvido através da análise dos efeitos das patologias é totalmente válido. Entretanto, é importante ressaltar que essa forma de diagnóstico “possui forte dependência da experiência dos avaliadores e leva em conta seu conhecimento prévio sobre manifestações patológicas em concreto armado” (MARTINS; PESSOA; NASCIMENTO, 2017, p. 142).

Por isso, existem casos onde pode ser necessária a aplicação de uma metodologia mais “científica” de diagnóstico das manifestações patológicas. É o que

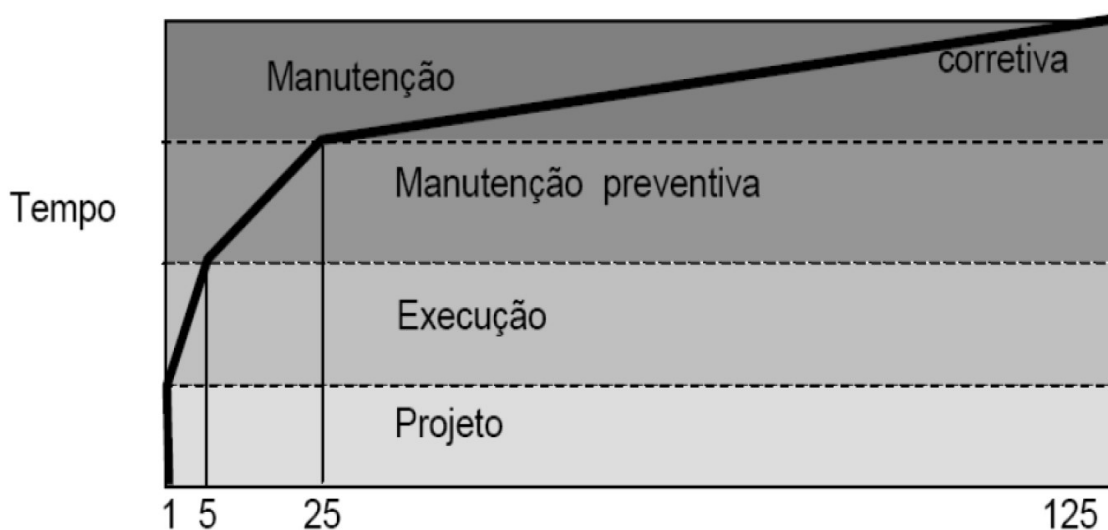
fazem Oliveira e Cardoso (2018), que desenvolvem os resultados (diagnóstico) baseado em ensaios de laboratório, comparando o comportamento de amostras (corpos-de-prova) sob diferentes condições e, com base na observação dos resultados obtidos apontam as causas das patologias analisadas.

2.6.3 Intervenções e Reparo

Normalmente, as patologias se apresentam depois da obra já executada, e têm ligação, na maioria dos casos, com a fase de projeto e/ou de execução. Sendo assim, Silva e Crepaldi (2017) afirmam que, a recuperação dessas patologias será mais simples e eficaz quanto mais rápida for sua identificação e tratamento.

Silva e Crepaldi (2017, p. 15) fazem uso da “Lei de Sitter” (Figura 13) para dividir as fases do processo construtivo em 4: projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva; e apresentam o crescimento geométrico dos custos de manutenção e reabilitação, em relação ao tempo decorrido para a intervenção.

Figura 13 - Lei de evolução dos custos.



Fonte: Silva e Crepaldi, 2017.

Portanto, torna-se imprescindível a execução de um diagnóstico precoce, uma vez que, a relação de custo e eficácia de uma reabilitação está diretamente ligada ao tempo de identificação das patologias.

Ações durante a fase de projeto, por exemplo, tem custo 1; em contrapartida, ações tomadas na fase de manutenção corretiva, isto é, após a execução da obra, tem custo 125 vezes maior do que se tivessem sido tomadas medidas na fase de concepção, ratificando a importância de evitar manobras corretivas e se investir na otimização dos projetos (SILVA; CREPALDI, 2017, p. 15).

Com isso, pode ser visto que a simples mudança da visão “corretiva” para uma visão “preventiva” dessas patologias, baseada em organização, acompanhamento e gestão dos processos construtivos; desde o projeto até a manutenção, é imensamente necessária. Essa mudança pode acarretar em um enorme ganho econômico, por proporcionar menores custos de intervenção (SILVA; CREPALDI, 2017, p. 15).

- Fissuras

É importante destacar que para cada tipo de fissura existe uma causa, por isso é difícil tratar de um único modo todos os tipos de fissuras. É preciso uma análise prévia para definir a causa e o tipo da fissura, após esta etapa pode-se escolher o tipo de tratamento adequado. Para analisar uma fissura é preciso classificá-la quanto à abertura, geometria e movimentação. Oliveira (2016) classifica em trincas, fissuras e microfissuras de acordo com a abertura conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Classificação das fissuras, de acordo com a espessura de abertura.

	Fissura	Trinca	Rachadura
Abertura	até 1mm	de 1mm a 3mm	maior que 3mm

Fonte: Adaptado de Oliveira, 2016.

Para o tratamento adequado das fissuras deve-se levar em conta o sistema estrutural utilizado na edificação e o tipo de problema apresentado, para que as características da edificação não sejam drasticamente alteradas. De acordo com Lima e Brito (2016, p. 12), as técnicas de tratamento de fissuras mais utilizadas são: selagem, injeção e costura.

De forma geral, fissuras passivas não apresentam restrição quanto ao uso dos produtos convencionais em seu tratamento, podendo receber a aplicação de epóxis de vários tipos, metacrilatos, poliuretanos chamados de estruturais, micro cimentos, etc. (FILHO; CARMONA, 2013, p. 14).

Em se tratando de injeção de fissuras, um dos materiais mais utilizados são as argamassas alteradas por polímeros, ou então as argamassas poliméricas. Os polímeros presentes nas argamassas poliméricas têm a função de contribuir com as propriedades mecânicas no estado fresco e endurecido. Com a presença de polímeros, as argamassas de reparo podem possuir melhoras nas resistências mecânicas, aderência ao substrato e moldabilidade (SOUZA; SOUZA, 2017, p. 3).

O caso das fissuras ativas já é mais complexo, pois a utilização de materiais rígidos é totalmente contraindicada, pois a estrutura ainda apresenta movimentação,

portanto, com a deformação as fissuras são reabertas no mesmo ponto ou em outro bem próximo.

Para esse tipo de fissura, o tratamento deve estar baseado na aplicação de materiais elásticos, que possam absorver as deformações sem fissurar, entretanto, “com esse tipo de tratamento é impossível fazer com que a peça volte a ser monolítica e, portanto, o seu funcionamento como peça estrutural será prejudicado” (FILHO; CARMONA, 2013, p. 15).

- Corrosão

O tratamento de um processo de corrosão consiste, basicamente, na remoção do material oxidado e no reestabelecimento da proteção dessa armadura com argamassa. Nas palavras de Fioriti *et al.* (2017a, p. 26), deve-se “executar a remoção da camada superficial do concreto, limpeza das armaduras com corrosão, proteção ou substituição das mesmas, recomposição do cobrimento das armaduras através de argamassa polimérica ou graute.

- Ligadas à umidade

As patologias relacionadas à umidade geram um grande desconforto aos usuários, e normalmente apresentam elevado custo de reparo. São um ótimo exemplo de patologias que, se não corrigidas rapidamente, têm seu custo de reparo aumentado consideravelmente (RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016).

Os problemas mais comuns, gerados pela umidade, são: manchas, destacamento de revestimento (cerâmico ou argamassado), eflorescências, bolores etc.

A origem desses problemas, em sua maioria, tem sua origem em infiltrações que devem ser contidas em seus estágios iniciais, para que maiores falhas sejam evitadas. Para tanto, é preciso estar atento a alguns indícios de infiltrações, que são, rachaduras, manchas, deterioração de revestimentos, odores fora do comum, entre outros. Em geral, as rachaduras vêm acompanhadas de danos à pintura e manchas estufadas (FARIAS; EVANGELISTA, 2018).

No caso de manchas, o seu posicionamento próximo ao rodapé pode indicar problemas de capilaridade, onde a umidade do solo está subindo para a residência, e por conta da ausência (ou ineficiência) do sistema de impermeabilização da estrutura.

Para tratar essas infiltrações em paredes, e rodapés, “é necessário descascar todo o revestimento e refazê-lo com aplicação prévia de produtos impermeabilizantes misturados à massa” (FARIAS; EVANGELISTA, 2018, p. 170).

Além disso, é necessário cuidar dos níveis de umidade do solo, para que não prejudiquem também as fundações, como apontam (FARIAS; EVANGELISTA, 2018, p. 170):

Os níveis de umidade provindos do solo devem ser reduzidos por meio de um sistema de drenagem apropriado, para que possam ser evitados danos às fundações. Caso a umidade esteja passando para o piso ou o rejunte do piso encontra-se executado de maneira errônea, é necessário refazer para evitar que a infiltração se espalhe, lembrando sempre da aplicação dos impermeabilizantes.

Um pouco mais sérios, são os descolamentos de revestimento cerâmico, pois além de prejudicar a estética podem gerar riscos aos usuários da edificação. Além disso, esses reparos são mais complexos, pois esse tipo de procedimento exige, a raspagem do rejuntamento, raspagem da argamassa de assentamento e o reassentamento do revestimento, cuidando em manter a planaridade (GASPARETTO; GONZALEZ, 2018).

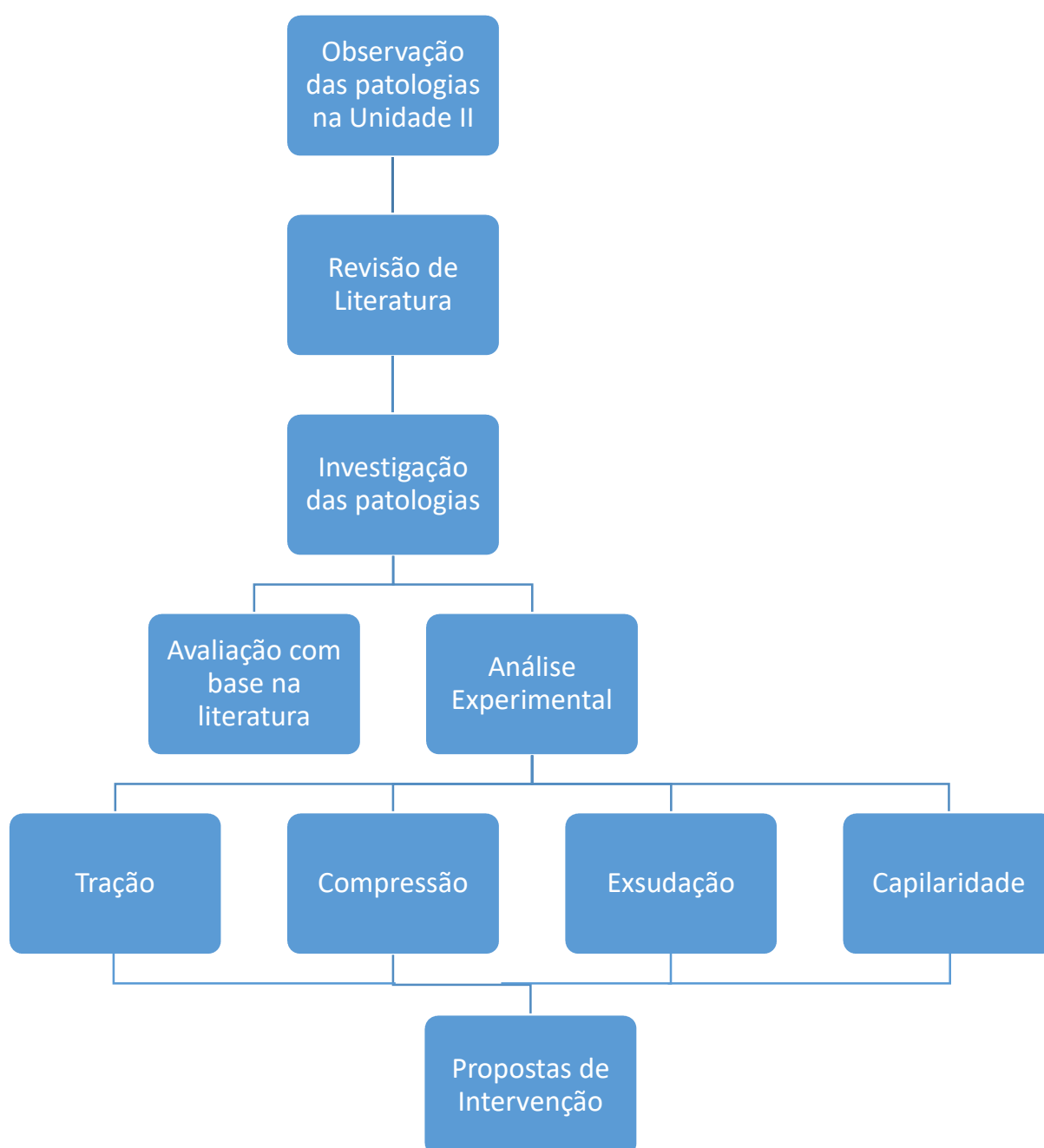
3. MATERIAIS E METODOLOGIA

Esse trabalho consiste em estudar as manifestações patológicas de três edifícios localizados na unidade II da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), avaliando essas patologias de acordo com a literatura da área, buscando entender a origem delas, para, ao final, propor possíveis soluções.

As manifestações patológicas foram observadas em 3 edificações escolhidas, que são construções em concreto armado, utilizadas de forma multifuncional (educacional e administrativa), e essa observação das patologias que baseiam o trabalho foi feita durante as inspeções realizadas nos meses de outubro e novembro do ano de 2018.

A Figura 14 apresenta o fluxograma com as etapas de desenvolvimento do trabalho.

Figura 14 - Etapas de desenvolvimento da Pesquisa.



3.1 Caracterização da pesquisa

O propósito fundamental da Pesquisa Científica é conhecer, de forma científica, um ou mais aspectos de determinado assunto. Para isso, a pesquisa precisa ser sistemática, metódica e crítica, e o produto da pesquisa deve trazer contribuições ao avanço do conhecimento humano. Durante o percurso acadêmico, a pesquisa é um exercício que permite despertar o espírito de investigação frente aos trabalhos e

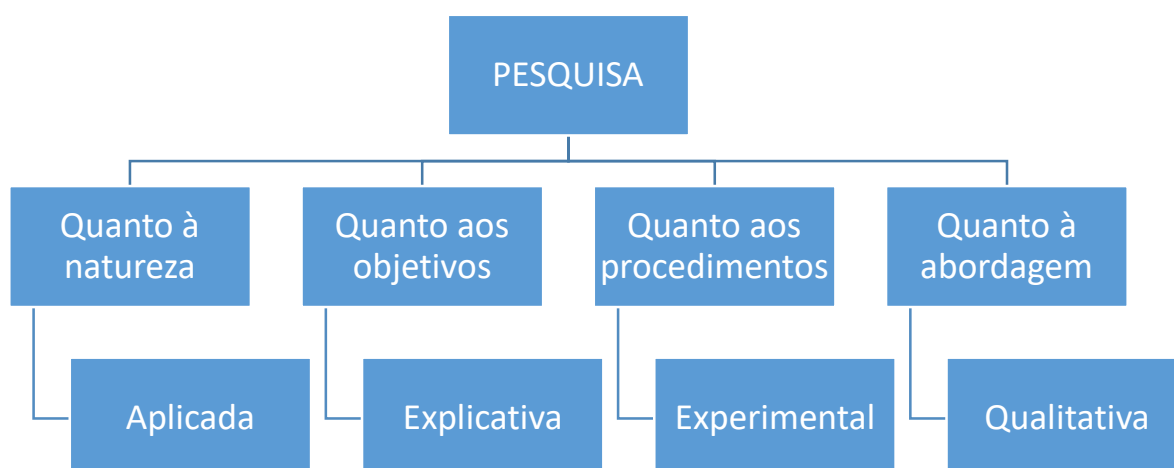
problemas sugeridos ou propostos pelos professores e orientadores (PRODANOV; FREITAS, 2013).

É importante ressaltar que existem várias formas diferentes de pesquisa, onde cada tipo apresenta peculiaridades e características próprias, o que torna necessária a caracterização da forma como ela será realizada. Sendo assim, no que diz respeito à caracterização, segundo Prodanov e Freitas (2013), esta pesquisa pode ser definida da seguinte maneira: Quanto à sua natureza, é dita aplicada, pois visa a obtenção de conhecimentos para aplicação prática a fim de solucionar problemas específicos. Quanto aos objetivos, pode ser descrita como explicativa, uma vez que, procura explicar os porquês das coisas e suas causas, através de registros, análise, classificação e da interpretação dos fenômenos observados. Além de buscar a identificação dos fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

No que tange aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é classificada como experimental, pois procura refazer as condições de um fato a ser estudado, a fim de observá-lo sob controle. Para tal, será utilizado um local apropriado, aparelhos e instrumentos de precisão para demonstrar o modo ou as causas pelas quais um fato é produzido, proporcionando, o estudo de suas causas e seus efeitos. Por fim, quanto à forma de abordagem do problema, a pesquisa proposta é denominada como qualitativa, uma vez que, a pesquisa tem o ambiente como fonte direta dos dados. Pois a análise dos dados será feita com base nas referências, normas e ensaios utilizados.

A Figura 15 apresenta o fluxograma do processo de caracterização da pesquisa, como um todo:

Figura 15 - Caracterização da pesquisa.



3.2 Caracterização da área de estudo

O Pará está localizado em uma região tropical, caracterizada por médias mensais de temperatura sempre acima dos 18 °C, que não apresenta estação de inverno rigoroso e, com índices de precipitação anuais superiores à evapotranspiração potencial anual. Dentro desse contexto, o estado também constitui uma grande parcela da Amazônia, que, com seus mais de 5 milhões de quilômetros quadrados, contribui grandemente para os altos índices pluviométricos da região (FERREIRA; SOUZA; MORAES, 2014).

Dentro do cenário geral da região, encontra-se a área de Marabá, onde estão localizadas as estruturas analisadas. Em Marabá, a “temperatura média anual é de 26°C. Destacam-se duas estações: chuvosa - de 7 meses, que vai de novembro a maio, e seca - de 5 meses, de junho a outubro” (REIS *et al.*, 2009, p. 39).

O estudo desenvolvido por Ferreira *et. al* (2014), acerca do regime pluviométrico horário em Marabá indica que, de forma geral, para os meses mais chuvosos, é durante o período da madrugada que se tem a maior probabilidade de se observar a maior quantidade de chuva. Em fevereiro e março, dois picos são observados, um às 03h e outro às 09h, enquanto que, em janeiro e em abril, o horário das 06h apresenta o máximo de precipitação (quase 2,0 mm/3h).

Essas informações acerca da precipitação incidente sobre a região de Marabá nos meses mais chuvosos do ano são importantes por conta do histórico problema de alagamentos na cidade, dos quais a grande taxa de precipitação é uma das grandes responsáveis (FERREIRA; SOUZA; MORAES, 2014).

Sendo assim, as condições climáticas existentes na região tornam totalmente necessários os estudos acerca das características do concreto, no que se refere à sua estanqueidade e capacidade de proteção das armaduras contra a ação da umidade.

A área estudada, unidade II da UNIFESSPA (Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará), está localizada na Cidade de Marabá/PA, no endereço: Folha 17, Quadra 04, Lote Especial, s/n.º - Nova Marabá. A área recebe 13 cursos de graduação, além de cursos de Pós-graduação, sendo todos ligados às áreas das ciências exatas, engenharias ou geociências. A área da Unidade II abrange atualmente 17 edificações, entre edificações administrativas e educacionais.

A área está localizada nas coordenadas 5°20'06.47" S e 49°05'17.49" O, com elevação de 113m acima do nível do mar. Possuindo uma área de 46.600 m², aproximadamente, a Figura 16 apresenta a visão de satélite da área de estudo.

Figura 16 - Delimitação da área geral de estudo.



Fonte: Google Earth, 2018.

Delimitada a área, foram selecionados três edifícios da instituição para serem utilizados como objeto de estudo. As três edificações estão delimitadas na Figura 17, sendo: Nº 1 – Prédio do Instituto de Ciências Exatas, Nº 2 – Prédio da Faculdade de Geologia (FAGEO) e, Nº 3 – Prédio da Faculdade de Física (FAFIS). As três edificações escolhidas abrigam o desenvolvimento de atividades administrativas e de ensino.

Figura 17 - Delimitação das edificações alvo do estudo.



Fonte: Google Earth, 2018.

As Figuras 18, 19 e 20 apresentam uma visão geral das edificações, mostrando parte da fachada e do entorno delas.

Figura 18 - Visão geral do Prédio do ICE.



Fonte: O autor, 2018.

Figura 19 - Visão geral do Prédio da FAGEO.



Fonte: O autor, 2018.

Figura 20 - Visão geral do Prédio da FAFIS.



Fonte: O autor, 2018.

As três edificações foram escolhidas por conta do alto número de problemas visualizados ao longo dos anos. Além disso, são três edificações que não receberam manutenções nos últimos anos.

3.3 Inspeções e Registros

Seguindo o que foi feito por Varum *et al.* (2009), as manifestações patológicas apresentadas, nos três edifícios estudados, foram levantadas unicamente através de inspeções *in loco*, onde as edificações foram vistoriadas visualmente e, feito o registro fotográfico de todas as patologias encontradas. Para tanto, utilizou-se uma câmera fotográfica com resolução de 13 Megapixels. As vistorias foram feitas nos dias 16/10, 17/10, 02/11 e 12/11 de 2018.

Durante as inspeções foram registradas variadas formas de patologia, como fissuras, trincas, deslocamentos de revestimento, corrosão de armaduras, além de algumas eflorescências.

3.4 Ensaios

Com base nas inspeções feitas nos locais de estudo, no registro fotográfico gerado e, na literatura utilizada como referência; foram feitas análises preliminares das manifestações patológicas encontradas, a fim de nortear a escolha e realização

dos ensaios de laboratório mais adequados à uma definição precisa das origens dessas patologias. Partindo dos resultados obtidos na análise preliminar, alguns ensaios foram estabelecidos como forma de estudo dos materiais utilizados na construção dos edifícios (no caso, o concreto armado).

3.4.1 Determinação da absorção de água (Agregado miúdo)

A fim de avaliar a interferência causada pela quantidade de água existente nos constituintes do concreto, e como essa água pode interferir na qualidade desse concreto, foi feito um ensaio para determinação da capacidade de absorção de água, pelo agregado miúdo (neste caso, a areia). O procedimento foi realizado com base no que é apresentado pela NBR NM 30 (ABNT, 2001).

Para a realização do ensaio, foram necessários: Balança de precisão, com capacidade mínima de 1kg e 0,1g de precisão; Molde tronco-cônico, metálico, com (40 ± 3) mm de diâmetro superior, (90 ± 3) mm de diâmetro inferior e (75 ± 3) mm de altura e com espessura mínima de 1 mm; Haste de compactação, metálica, com (340 ± 15) g de massa e tendo superfície de compactação circular de (25 ± 3) mm de diâmetro; Estufa, com capacidade térmica para manter a temperatura entre 100 e 110 °C; Bandeja metálica; Espátula de aço; Circulador de ar quente regulável; e dessecador (ABNT, 2001).

Em posse de todos os materiais necessários, a amostra (1kg), foi previamente submetida ao processo de quarteamento adequado. Então posta em um recipiente e submetida ao processo de secagem em estufa, com temperatura de (105 ± 5) °C, até que, em duas determinações consecutivas, a diferença de massa fosse menor que 0,1g.

Após a secagem, a amostra foi coberta com água e colocada em repouso por 24h. E em seguida submetida à secagem, por uma suave corrente de ar quente (utilizando-se o circulador de ar quente regulável). A secagem prosseguiu “até que os grãos de agregado miúdo não estivessem aderidos entre si de forma marcante” (ABNT, 2001, p. 2).

Na sequência, o agregado miúdo foi colocado em um molde, sem ser comprimido, e foram desferidos 25 golpes (de forma suave) com a haste de compactação e, em seguida, o molde foi levantado. Havendo umidade superficial, o agregado se manterá com o formato do molde (ABNT, 2001).

Os processos de secagem e de inserção do agregado no molde foram repetidos, em intervalos frequentes, até que o cone de agregado desmoronasse quando retirado o molde. Pois, quando isso acontece, “o agregado terá chegado à condição de saturado superfície seca” (ABNT, 2001, p. 3). Nesse momento, foi feita a determinação da massa com aproximação de 0,1 g.

A partir desse valor, foi efetuado o cálculo da absorção de água pelo agregado, utilizando a Equação 1, retirada da normativa.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

A, é a absorção de água, em porcentagem;

m_s , é a massa ao ar da amostra na condição saturada e de superfície seca, em gramas;

m , é a massa da amostra seca em estufa, em gramas.

A NBR NM 30 (ABNT, 2001) diz que os resultados obtidos com uma mesma amostra, não devem apresentar variação maior que 0,05% da porcentagem de absorção.

3.4.2 Preparação do Concreto

Para avaliar as características apresentadas pelo concreto, simulando aquele utilizado nas edificações estudadas, foi necessária a confecção de corpos de prova de concreto. Para a preparação do concreto foi utilizado o método de dosagem ABCP, apresentado pela NBR 12655 (ABNT, 2015a). A norma apresenta dois tipos de dosagem, a feita de forma empírica e a dosagem racional ou experimental, nesse estudo foi utilizada a dosagem experimental.

O ABCP é um método experimental, portanto, fornece uma primeira aproximação, por isso deve ser executado, inicialmente, de forma laboratorial que sejam garantidas as propriedades do concreto.

Inicialmente, calculou-se a resistência de dosagem do concreto, com base na resistência esperada do tipo de concreto a ser utilizado, de acordo com a Equação 2;

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \times s_d \quad (2)$$

Onde:

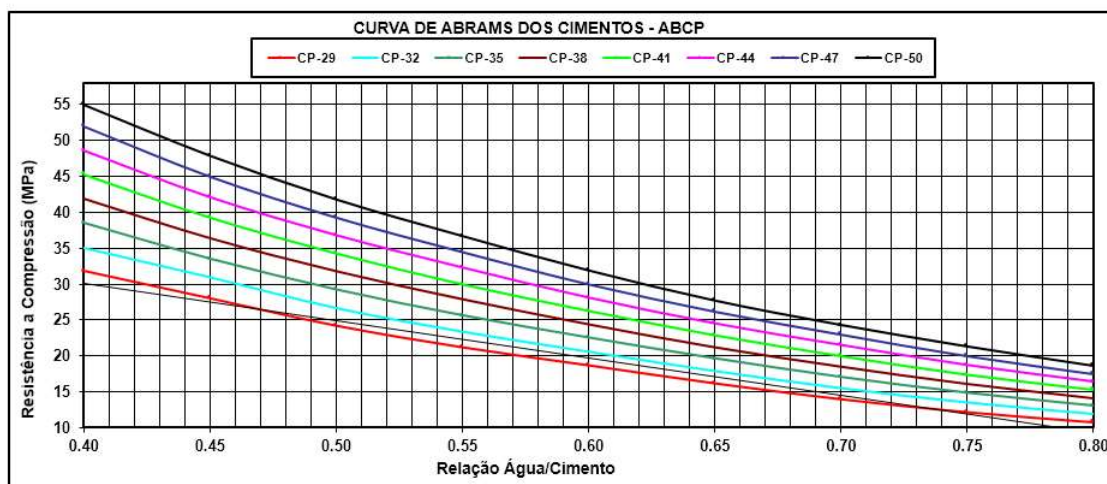
f_{cmj} é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (MPa);

f_{ckj} é a resistência característica do concreto à compressão, aos j dias, expressa em megapascals (MPa);

s_d é o desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascals (MPa).

Após calculado, o valor da resistência de dosagem, é possível aferir o valor da relação água/cimento necessária ao concreto em questão. Utilizando a Curva de Abrams (Figura 21), relacionando a classe de cimento a ser empregada e a resistência de dosagem calculada.

Figura 21 - Curva de Abrams para obtenção da relação água/cimento.



Fonte: Clube do Concreto, 2016.

Uma vez obtido o valor dessa relação, será possível calcular os valores de consumo de cada componente do concreto (água, agregado gráudo, agregado miúdo e cimento), para então definir o traço a ser utilizado. A NBR 12655 (ABNT, 2015a) define que a dosagem de concretos com resistência acima de 25 MPa deve ser feita da seguinte forma: o cimento e os agregados medidos em massa, e a água também em massa (podendo ser utilizada em volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade presente nos agregados).

3.4.2.1 *Moldagem dos corpos de prova*

Os corpos de prova necessários para complementar os dados dessa pesquisa foram fabricados em conformidade com a NBR 5738 (ABNT, 2015b), que apresenta o passo-a-passo para a moldagem e cura adequadas ao bom desempenho do concreto.

A NBR 5738 prevê a possibilidade de dois formatos distintos de corpo de prova, o cilíndrico e o prismático. Para esse ensaio, foram utilizados corpos de prova cilíndricos, que, segundo a norma, “devem ter altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. As medidas diametrais têm tolerância de 1 % e a altura, 2 %” (ABNT, 2015b, p. 2).

Para atender as especificações da norma, foram utilizados moldes de PVC e bases cerâmicas, que não reagem com o cimento e apresentam resistência suficiente para manterem sua forma durante todo o processo de moldagem. Além disso, o conjunto base/molde descrito apresentou boa estanqueidade, para que não ocorresse a perda de água por parte do concreto, o que prejudicaria a cura (e, conseqüentemente, o desempenho desse concreto).

Seguindo o procedimento apresentado na normativa, as etapas de moldagem dos corpos de prova ocorreram na seguinte sequência:

- **Preparação dos moldes**

Para a preparação dos moldes para concretagem foi feito o revestimento da face interna da base e dos moldes, com uma fina camada de desmoldante à base d'água “Desmol cd”. E, é importante salientar que a superfície onde os moldes são apoiados deve ser rígida, horizontal, livre de vibrações e qualquer outro tipo de perturbação que prejudique as características desse concreto.

Todos os corpos de prova foram moldados no mesmo dia, utilizando o mesmo traço 1: 1,843: 2,337: 0,45, sendo desmoldados 48h após a moldagem.

O concreto foi inserido nos moldes utilizando-se uma concha de seção U, e seguindo a recomendação apresentada pela norma, que aponta a necessidade de ser feita a inserção do concreto em camadas, conforme a apresenta a Tabela 3, adaptada da normativa.

Tabela 3 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova^a

Tipo de Corpo de Prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	-	-
b	Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.			
c	No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.			

Fonte: ABNT, 2015.

- Adensamento dos corpos de prova

O método de adensamento foi manual, em conformidade com o que prevê a norma específica. Foi realizada a aferição do nível de abatimento do concreto, seguindo o procedimento apresentado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Sabendo do valor de abatimento apresentado pelo concreto, foi possível proceder com a escolha do método adequado de adensamento desse concreto, através da Tabela 4 adaptada da NBR 5738 (ABNT, 2015b).

Tabela 4 - Classes de consistência

Classe	Abatimento mm	Método de Adensamento
S10	$10 \leq A < 50$	Mecânico
S50	$50 \leq A < 100$	Mecânico ou Manual
S100	$100 \leq A < 160$	
S160	$160 \leq A < 220$	Manual
S220	$A \geq 220$	

Fonte: ABNT, 2015.

- Rasamento

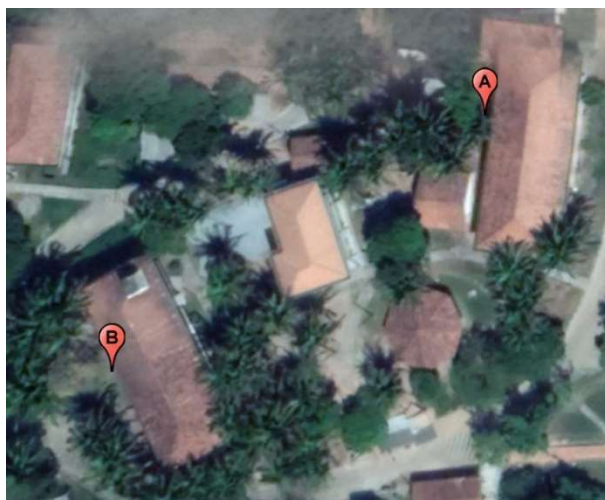
Após o adensamento da última camada de concreto, foi realizado o rasamento da superfície com a borda do molde, utilizando uma régua metálica.

- Cura do concreto

Após todo o processo de moldagem, os moldes foram dispostos sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e/ou perturbações que possam afetar o concreto. No período das primeiras 24h, os corpos de prova foram armazenados em local protegido de intempéries, estando cobertos com material não reativo e não absorvente, a fim de evitar a perda de água do concreto para o ambiente (ABNT, 2015b).

Decorrido o período da cura inicial, a norma recomenda que, durante a cura, os corpos de prova estejam sob as mesmas condições ambientais da estrutura, portanto, os corpos de prova fabricados serão dispostos nas proximidades dos locais onde foram observadas as patologias. Desta forma, os corpos de prova foram alocados nas seguintes posições, apresentadas na Figura 22, onde o marcador “A” indica a posição do grupo da FAGEO e o marcador “B” informa a posição do grupo do ICE.

Figura 22 - Posicionamento do local de cura dos corpos de prova.



Fonte: Google Earth, 2019.

3.4.3 Caracterização dos corpos de prova fabricados

Depois de curados, com idade de cura de 28 dias, foram feitos ensaios de caracterização do concreto por meio de ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e absorção de umidade. Esses ensaios foram utilizados para que fossem conhecidas as propriedades físicas do concreto, e para proporcionar uma melhor análise da formação das patologias.

Para a realização dos ensaios foram confeccionados 22 corpos de prova, sendo divididos em 2 grupos e posicionados 11 ao lado do prédio do ICE, e mais 11 ao lado do prédio da FAGEO, conforme pode ser visto nas Figuras 23 e 24. É importante ressaltar que os 22 corpos de prova fabricados já contemplavam o número necessário ao desenvolvimento de todos os ensaios que seriam realizados no trabalho.

Figura 23 - Grupo posicionado ao lado do prédio do ICE.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 24 - Grupo posicionado ao lado do prédio da FAGEO.



Fonte: O autor, 2019.

3.4.3.1 *Determinação da resistência à compressão*

A fim de avaliar a principal característica do concreto, foi efetuado o ensaio de resistência à compressão, seguindo o procedimento da NBR 5739 (ABNT, 2018). Para este ensaio específico, foram utilizados 2 corpos de prova de cada grupo (edifício), e fez-se a média da resistência apresentada por eles.

Inicialmente, foi necessário determinar o diâmetro, e a altura, dos corpos de prova com precisão de $\pm 0,1$ mm, e efetuar a limpeza das faces do corpo de prova e dos pratos de compressão.

De acordo com a norma, os corpos de prova devem ser rompidos à compressão em períodos de tempo especificados, respeitando as tolerâncias descritas na Tabela 5, retirada da normativa.

Tabela 5 - Tolerância para a idade de ensaio

Idade de ensaio	Tolerância permitida (h)
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

Fonte: ABNT, 2018.

Para execução do ensaio foi utilizada uma prensa hidráulica manual digital, com capacidade de carga de 100T, modelo I-3001-C da Contenco (Figura 25), localizada na empresa Postes Marabá, no endereço: Rodovia Transamazônica, Km 07, Lote 111, Colônia agric. Quindangues.

Figura 25 - Representação do modelo de prensa utilizada.



Fonte: Sitio virtual Contenco, 2019.

Escolheu-se a escala de força para o ensaio, de modo que a força de ruptura do corpo de prova estivesse dentro do intervalo em que a máquina foi calibrada. Essa força, ou carregamento, foi aplicada de forma contínua e sem choques, seguindo uma velocidade de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s, durante todo o ensaio. Em todos os casos o carregamento foi interrompido quando houve uma queda de força, indicando o rompimento do corpo de prova (ABNT, 2018).

Por fim, o cálculo da resistência à compressão foi feito utilizando a Equação 3:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (3)$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão, em megapascals;

F é a força máxima alcançada, em newtons;

D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

3.4.3.2 *Determinação da resistência à tração por compressão diametral*

Uma vez que a resistência à tração é propriedade fundamental na aparência e na durabilidade das estruturas, um bom conhecimento desse fator certamente ajudaria a minimizar os problemas de fissuração e de falhas nas estruturas de concreto (FARIAS *et al.*, 2018).

Pensando nisso, a NBR 7222 (ABNT, 2011) foi utilizada como parâmetro para a mensuração da resistência à tração do concreto utilizado. É notório que o concreto não tem como função primordial a resistência aos esforços de tração, entretanto, é importante que ele possua valores aceitáveis de resistência a esse tipo de esforço.

Inicialmente, os corpos de prova foram colocados em repouso (diametralmente) sobre o prato da máquina de compressão. Sendo que, antes do início da aplicação das cargas, foram posicionadas duas chapas de madeira entre os pratos e o corpo de prova.

Feito isso, os pratos foram ajustados até o ponto em que a força de compressão mantivesse a posição do corpo de prova estável, e a carga foi aplicada crescente e constantemente, até a ruptura do corpo de prova.

Efetuada a ruptura dos corpos de prova, a resistência à tração pôde ser calculada pela Equação 4, retirada da NBR 7222 (ABNT, 2011):

$$f_d = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times L} \quad (4)$$

Onde:

f_d é a resistência à tração por compressão diametral, em megapascals;

F é a carga máxima obtida no ensaio, em quilonewtons;

D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros; e

L é a altura do corpo de prova, em milímetros.

3.4.3.3 *Determinação da absorção de água por imersão*

Para determinar a capacidade de absorção de água do concreto foi utilizado o método descrito pela NBR 9778 (ABNT, 2009). Essa normativa prevê a necessidade de utilização de: 1 balança hidrostática, balança que seja sensível a 0,025% da massa das amostras; 1 recipiente que permita a imersão e a fervura das amostras e; 1 estufa, capaz de armazenar os corpos de prova à temperatura de 105 ± 5 °C.

Para a realização do ensaio, foram utilizadas 3 amostras (corpos de prova), isentas de óleos e/ou outros materiais aderidos na moldagem (ABNT, 2009).

Inicialmente, foi determinada a massa das amostras ao ar e então elas foram colocadas em estufa à temperatura de 105 ± 5 °C. Foi feita a determinação da massa das amostras após decorridas 24h, 48h e 72h de permanência na estufa. Passado o período determinado, as amostras foram resfriadas ao ar seco, à temperatura de 23 ± 2 °C, e determinada sua massa (ABNT, 2009).

Após o processo de secagem em estufa e aferição da massa das amostras, procedeu-se com a etapa de imersão das amostras em água à temperatura de 23 ± 2 °C, durante 72h. Durante esse período, a massa das amostras foi aferida quando decorridas 24h, 48h e 72h de imersão. Sendo que, as determinações foram feitas após as amostras terem a superfície enxugada com toalha absorvente (ABNT, 2009).

Terminados os processos de secagem em estufa e saturação da amostra, utilizando as massas determinadas nesse processo, foram determinados as seguintes características do concreto:

a) absorção após imersão em água à temperatura de: 23 ± 2 °C, em porcentagem:

$$[(B - A)/A] \times 100 \quad (5)$$

b) índice de vazios após saturação em água, em porcentagem:

$$[(B - A)/(B - C)] \times 100 \quad (6)$$

Onde:

A é a massa, em g, da amostra seca em estufa;

B é a massa, em g, da amostra saturada em água à temperatura de 23 ± 2 °C com superfície seca;

C, é a massa, em g, da amostra, após saturação em água à temperatura de 23 ± 2 °C.

3.4.3.4 *Determinação da absorção por capilaridade*

A partir da avaliação visual realizada, um dos problemas encontrados foi o deslocamento do revestimento de uma das edificações, principalmente na base (interface de contato da estrutura com o solo). Esse problema pode estar diretamente relacionado à ação da água proveniente do solo, que ascende por capilaridade até as partes mais baixas da edificação.

Justamente pela existência de casos como esse, foi realizado um ensaio para determinação da absorção do concreto por capilaridade, regido pela NBR 9779 (ABNT, 2012). Com isso, os resultados do ensaio poderão nortear uma abordagem mais eficaz de tratamento desse tipo de patologia.

Para esse ensaio foram utilizados 3 corpos de prova. Inicialmente, foi aferida sua massa ao ar, e depois os mesmos foram levados à secagem em estufa com temperatura de 105 ± 5 °C. Após a secagem, esses corpos de prova foram resfriados à temperatura de 23 ± 2 °C, e determinada sua massa (ABNT, 2012).

Em seguida, foi instalado o recipiente no local onde o ensaio foi realizado, ambiente com temperatura entre 23 ± 2 °C. Os corpos de prova foram posicionados sobre suportes dentro do recipiente de ensaio, de forma que o nível d'água permanecesse constante a 5 ± 1 mm acima de sua face inferior (ABNT, 2012).

A massa dos corpos de prova foi determinada com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água. E, ao fim da última etapa de aferição da massa, os corpos de prova foram rompidos por compressão diametral, a fim de verificar-se a distribuição da água em seu interior (ABNT, 2012).

Os resultados da absorção de água foram expressos em g/cm² e calculada dividindo o aumento de massa pela área da seção transversal da superfície do corpo-de-prova em contato com a água, segundo a Equação 7:

$$C = \frac{A - B}{S} \quad (7)$$

Onde:

C é a absorção de água por capilaridade, em g/cm²;

A é a massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em g;

B é a massa do corpo-de-prova seco, assim que este atingir a temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, em g;

S é a área da seção transversal, em cm^2 .

3.4.4 Determinação da Exsudação

Exsudação, na engenharia civil, refere-se ao fenômeno migratório da água (subida da água) existente na composição do concreto até a superfície deste material, levando consigo uma nata de cimento. Esta movimentação faz com que o concreto não desenvolva uma boa ligação entre seus materiais, tornando-o suscetível a uma segregação que tenderá a fazer com que seus agregados fiquem soltos ou fáceis de se remover. A exsudação ocorre nas primeiras idades do concreto, mas pode comprometer sua durabilidade ao longo dos anos.

A fim de estudar a forma como esse fenômeno interfere no desenvolvimento de quadros patológicos no concreto, foi realizado um ensaio de determinação da exsudação sofrida pelo concreto fresco e suas consequências em curto prazo. Esse ensaio foi realizado com base no procedimento apresentado pela NBR 15558 (ABNT, 2008).

A norma apresenta dois métodos de determinação da quantidade de água que exsuda de uma amostra de concreto fresco. Sendo que, os métodos de ensaio diferem principalmente no grau de vibração ao qual a amostra é submetida.

O método A se aplica a uma amostra consolidada apenas por compactação manual e ensaiada sem posterior vibração, simulando condições nas quais o concreto, após lançado, não é sujeito a vibração intermitente. O método B se aplica a uma amostra consolidada por vibração e ensaiada com períodos de vibração posteriores, simulando condições nas quais o concreto, após lançado, é submetido a vibrações intermitentes (ABNT, 2008, p. 1).

No presente trabalho foi aplicado o método A, onde a amostra não recebe o processo de vibração depois de lançado.

Para a realização do ensaio, são necessários, de acordo com a normativa: recipiente cilíndrico metálico de 14,2 l de capacidade, com diâmetro interno de 254 ± 6 mm e altura interna de 279 ± 6 mm; balança capaz de aferir a massa da amostra, com precisão de 0,5%; pipeta; proveta graduada, com volume de 100 ml e 0,1% de precisão; haste de compactação, com 16mm de diâmetro, 600 mm a 800 mm de comprimento e ponta semiesférica; vibrador de imersão; e béquer metálico, com capacidade de 1000 ml (ABNT, 2008).

É importante frisar que a normativa apresenta a restrição de aplicação dessa aparelhagem a ensaios com amostras de agregados de até 37,5 mm de diâmetro nominal.

É também importante notar ainda que a norma apresenta a necessidade de se realizar o ensaio em ambiente onde a temperatura esteja no intervalo de 21 ± 3 °C.

Em posse de todos os materiais necessários e com os requisitos tendo sido cumpridos, o procedimento apresentado pela normativa é descrito a seguir.

Após o rasamento da superfície da amostra de concreto do recipiente, foi registrado o tempo e peso do recipiente. A amostra foi colocada sobre uma plataforma plana e livre de vibração, e então coberta com material não absorvente, para evitar a evaporação da água exsudada, e o recipiente foi mantido coberto durante todo o processo (exceto no momento da retirada da água proveniente da exsudação).

Foi retirada, com pipeta, a água acumulada na superfície do concreto em intervalos de 10 minutos (nos primeiros 40 minutos) e, em intervalos de 30 minutos (até o fim da exsudação). A exsudação é considerada finalizada quando, após 30 minutos, não se observa mais acúmulo de água na superfície do recipiente.

Ao fim de cada extração, a água foi transferida para um recipiente onde registrou-se o acúmulo a cada transferência.

Após finalizada a exsudação, foi feito o procedimento de cálculo do volume de água exsudada por área unitária de superfície (ABNT, 2008).

O cálculo do volume de água exsudada por área unitária de superfície (V) é feito com base na Equação 8, apresentada a seguir.

$$V = \frac{V_1}{A} \quad (8)$$

Onde:

V_1 é o volume de água exsudada medido durante um intervalo de tempo selecionado, expresso em mililitros (ml);

A é a área exposta do concreto do recipiente, expressa em centímetros quadrados (cm²).

O fator comparativo de exsudação é determinado durante o ensaio pela comparação do volume exsudado durante intervalos de tempo de mesma duração.

Por fim, foi possível calcular a água acumulada por exsudação expressa como uma porcentagem da água de mistura contida dentro do corpo-de-prova, de acordo com as Equações 9 e 10:

$$m_{ar} = \frac{m_{am}}{m_t} m_e \quad (9)$$

$$E = \frac{m_{ae}}{m_{ar}} 100 \quad (10)$$

onde:

E é a quantidade de água exsudada, expressa em porcentagem (%);

m_{ar} é a massa de água do concreto do recipiente, expressa em gramas (g);

m_t é a massa total do traço, expressa em gramas (g);

m_{am} é a água de mistura do traço, expressa em gramas (g);

m_e é a massa da amostra ensaiada, expressa em gramas (g);

m_{ae} é a massa de água exsudada, expressa em gramas (g), ou o volume total de água retirado do corpo-de-prova, expresso em centímetros cúbicos (cm³), multiplicado por 1 g/cm³.

3.4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Durante as inspeções visuais, foram encontrados indícios do desenvolvimento de eflorescências no prédio da FAFIS. Como as eflorescências são definidas como o acúmulo de sais na superfície das estruturas, foi necessário avaliar a composição das manchas esbranquiçadas encontradas. Para tanto, foram coletadas amostras do material presente na estrutura, e o esse material foi analisado utilizando-se da técnica de microscopia.

Segundo Frischkorn (2016), a Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV é um processo comumente utilizado para analisar a topografia de superfícies e, caracterização de materiais, podendo ser realizada em conjunto com outras formas de análise, como a de EDS (energy dispersion X-ray analysis) (COSTA *et al.*, 2009).

A análise microscópica foi feita nas dependências do laboratório de microanálise da Faculdade de Engenharia Mecânica, na Universidade Estadual de Campinas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme apresentado na metodologia, este trabalho contou com a realização da análise das patologias em dois estágios. Inicialmente, as patologias encontradas nas edificações estudadas foram analisadas com base naquilo que é apresentado pela literatura utilizada como referência, e depois foram realizados ensaios de laboratório que permitiram uma análise mais aprofundada do comportamento do concreto.

Em sua grande maioria, os problemas patológicos permitem que sua natureza, origem e os mecanismos envolvidos sejam identificados com base na sua manifestação externa, uma vez que, cada tipo de patologia apresenta, normalmente, características próprias. Isso também possibilita que sejam estimadas as possíveis consequências dessas manifestações patológicas (PELACANI, 2010).

Essa análise servirá de base para que os fatores que desencadearam as patologias possam ser melhor compreendidos e, possam ser encontradas soluções adequadas aos problemas encontrados.

Como já apresentado, as edificações foram visitadas em 4 ocasiões a fim de que fosse feita inspeção visual dos locais para visualização das patologias existentes. Os problemas encontrados foram registrados através de fotografias, que serão apresentadas nesse ponto do trabalho. Com base na análise visual feita *in loco*, da literatura utilizada, e dos ensaios realizados serão apresentadas as prováveis causas desses defeitos (fissuras, deslocamentos de revestimento, manchas, eflorescências e corrosão de armaduras).

4.1 Fissuras

4.1.1 Análise visual das patologias presentes nos edifícios

Na Figura 26 é possível observar uma trinca de grande extensão, encontrada no banheiro de uso especial (PNE) do Prédio do Instituto de Ciências Exatas (ICE). Tal trinca, provavelmente foi formada por conta de movimentações térmicas da alvenaria, que geraram esforços de tração sobre o revestimento cerâmico, conforme Stuckert e Júnior (2016).

Figura 26 - Trinca no encontro entre alvenaria e revestimento cerâmico do piso do banheiro: (a) vista geral; (b) vista aproximada.



(a)



(b)

Fonte: O autor, 2018.

Na Figura 27, pode ser vista uma fissura de 45°, que possivelmente foi provocada pela ausência de verga sobre a esquadria, porta e janela, em concordância com o descrito por Presotto *et al.* (2017).

Figura 27 - Fissuras a 45° no canto da esquadria: (a) fissura no canto superior de uma porta; (b) fissura no canto inferior de uma janela.



(a)



(b)

Fonte: O autor, 2018.

A Figura 28 foi obtida durante a inspeção do Prédio da FAGEO (FAGEO), na porta da sala dos professores da Faculdade de Engenharia Civil. É provável, segundo Torres e Silva (2015), que o aparecimento de fissuras como essa esteja relacionado à ausência da verga da esquadria; devido à diferença térmica no comportamento entre alvenarias e aberturas ou, pela possível ocorrência de um recalque da estrutura (diferencial ou não).

Figura 28 - Fissura inclinada em canto de porta.

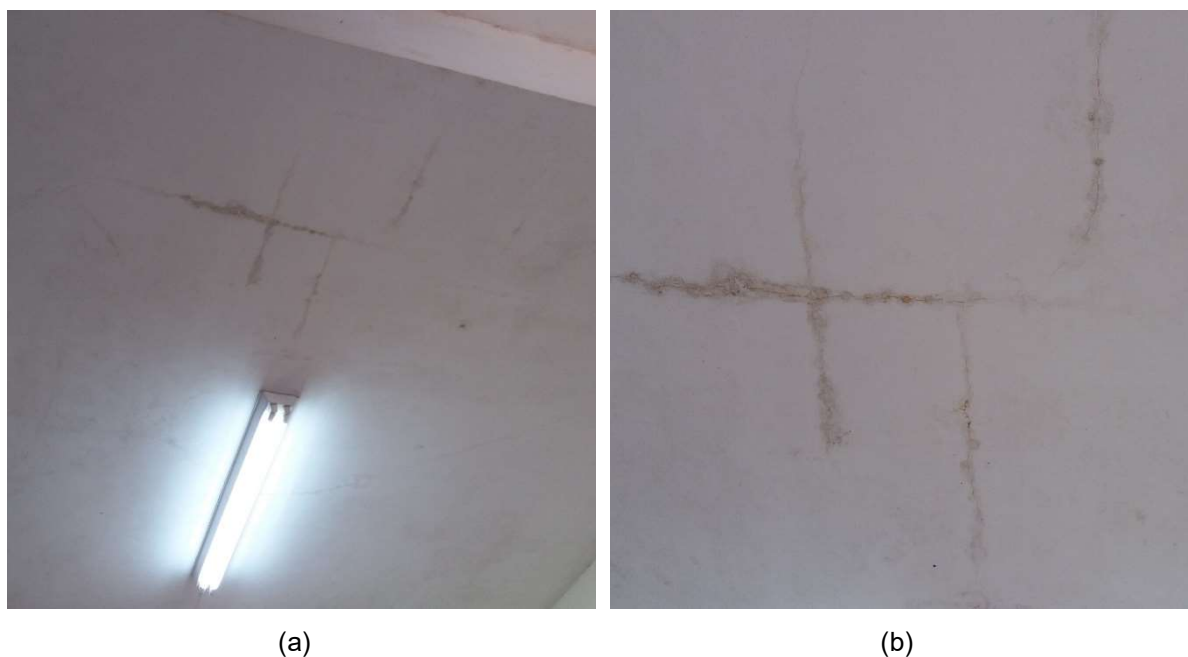


Fonte: O autor, 2018.

A observação de fissuras é quase que inevitável nas edificações, por isso, Bezerra *et al.* (2017) aponta que não deve ser levado em conta o aspecto quantitativo desse tipo de patologia, mas sim o aspecto qualitativo delas, isto é, o potencial destrutivo da mesma. Entretanto, estas podem (e devem) ser evitadas através da introdução de elementos capazes de distribuir adequadamente os esforços entre o concreto e a alvenaria, fazendo com que sejam dissipados os esforços sem que se comprometa o ponto de vista estético (SILVA; SOBRINHO, 2016).

As fissuras ainda podem ser resultado de outros processos, além dos citados anteriormente. Durante as inspeções no Prédio do IGE foram visualizadas as patologias apresentadas na Figura 29 que, notadamente, apresentam as características de uma fissura envolvendo a corrosão da armadura inferior da laje do 2º pavimento.

Figura 29 - Conjunto de fissuras em laje: (a) visão geral da laje; (b) detalhe aproximado da fissura.



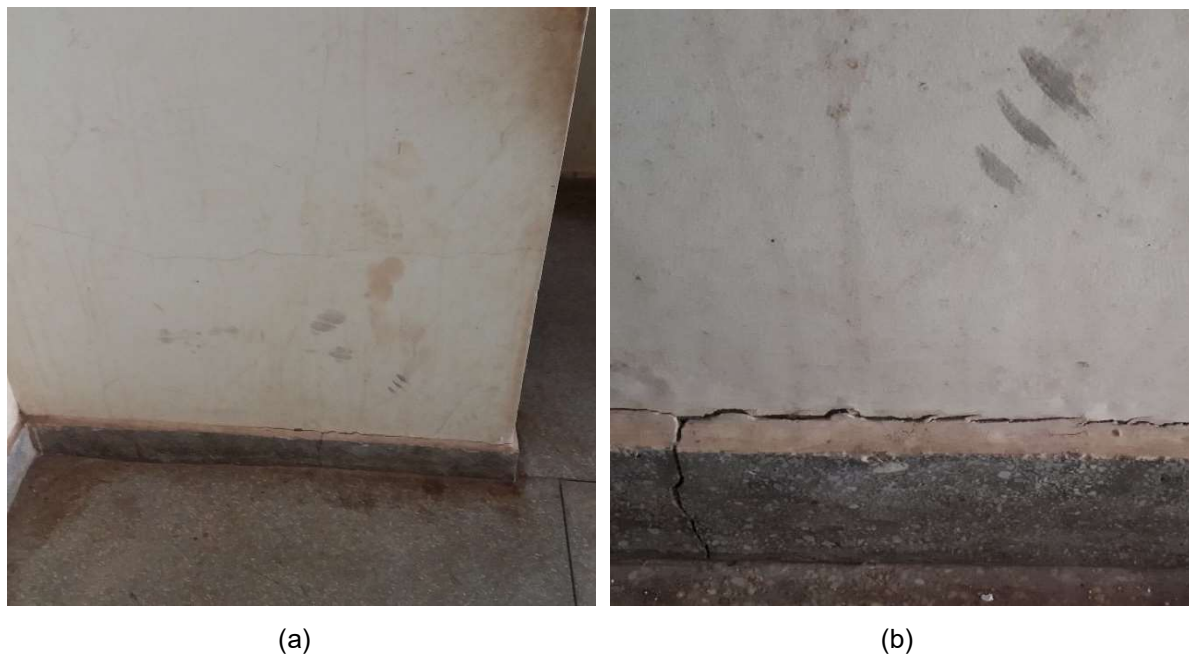
Fonte: O autor, 2018.

Segundo Fioriti *et al.* (2017b), é possível que as fissuras sejam consequência do processo de oxidação das armaduras da laje, que quando oxidadas, tendem a se expandir e expulsar a massa de concreto que as reveste. Existem, basicamente, duas possibilidades para a formação desse processo de oxidação: a primeira seria a infiltração de água pela face superior da laje; a segunda seria a entrada dessa água pela face inferior da laje, ambas possibilitariam o início dessa oxidação. Um possível motivo para essa infiltração pode ser a utilização de um concreto mais poroso do que o recomendado, que permitiria o contato entre o aço e os agentes intempéricos do ambiente.

Na Figura 30 pode ser observada uma fissura horizontal, encontrada na ligação entre o rodapé e a alvenaria de vedação. Essa patologia foi encontrada na inspeção do Prédio do IGE, na face externa da parede do banheiro masculino (no térreo).

O provável motivo para a formação dessa patologia, é a ausência de impermeabilização da estrutura da fundação (ou a má execução dessa impermeabilização), e com isso, a umidade do solo é absorvida pelos componentes da alvenaria que estão em contato com ele, causando o estufamento dessa alvenaria de vedação (PRESOTTO *et al.*, 2017).

Figura 30 - Fissura horizontal na junção entre rodapé e alvenaria da face externa da parede do banheiro: (a) vista geral; (b) vista aproximada.



Fonte: O autor, 2018.

4.1.2 Análise experimental e caracterização das patologias

Tendo em vista que as fissuras encontradas estão relacionadas à ocorrência de esforços e/ou impermeabilização das áreas fissuradas, foram realizados ensaios de compressão, compressão diametral e absorção de água por parte do concreto. Os resultados desses ensaios estão descritos a seguir.

4.1.2.1 *Compressão uniaxial*

O ensaio de compressão tem por objetivo avaliar a resistência do concreto ao esforço sob o qual ele deve ter maior resistência. Tal ensaio foi realizado com base em corpos de prova moldados em laboratório, e passaram pelo processo de cura por molhagem diária (por aspersão). Estando submetidos às mesmas condições da estrutura que representavam, esses corpos de prova foram dispostos nas proximidades dos edifícios, a fim de garantirem representatividade das suas respectivas características.

Como exemplo do que foi realizado, a seguir é demonstrado o processo de cálculo de um dos corpos de prova de cada grupo. Para o exemplar do prédio do ICE foi obtido o seguinte resultado:

$$f_c = \frac{4 \times 117.876 \text{ N}}{\pi \cdot (100 \text{ mm})^2} \quad (11)$$

$$f_c = 15,016 \text{ MPa} \quad (12)$$

E para o prédio da FAGEO:

$$f_c = \frac{4 \times 112.973 \text{ N}}{\pi \cdot (100 \text{ mm})^2} \quad (13)$$

$$f_c = 14,391 \text{ MPa} \quad (14)$$

Os resultados completos obtidos com o ensaio de compressão uniaxial são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Força de compressão aplicada para rompimento do corpo de prova.

Edifício	Força (N)	Resistência (MPa)	Média (MPa)
ICE	117.876	15,016	15,747 ± 0,7
	129.350	16,478	
FAGEO	112.973	14,391	17,521 ± 3,1
	162.104	20,650	

Fonte: O autor, 2019.

Tomados como referência, esses valores informam que o concreto estudado não apresentou boas características de resistência. Uma vez que, a resistência à compressão apresentada pelo concreto, depois de finalizada a estrutura, afeta diretamente a estabilidade, segurança e durabilidade dessa estrutura eram esperados valores maiores de resistência, cerca de 40 a 60% maiores do que os obtidos (HELENE, 2011).

A despeito disso, é interessante avaliar a diferença apresentada entre os dois valores, sendo que, os dois grupos passaram pelo mesmo processo de cura, o que pode informar uma condição interessante o que diz respeito ao ambiente onde estiveram durante o período de cura.

Os corpos de prova alocados no prédio do ICE apresentaram menor resistência, e a mais provável justificativa pode estar ligada à umidade daquele ambiente. Uma vez que o concreto necessita de água para ganhar resistência ao

longo do seu processo de cura, e os dois grupos receberam a mesma quantidade de água pelo processo de molhagem, é possível aferir que a umidade recebida por esse grupo foi menor se compara da àquela recebida pelos exemplares da FAGEO.

Mas, uma vez que o ensaio de compressão apresentou baixos valores de resistência desse concreto, fica o indicativo que as fissuras encontradas provavelmente estão relacionadas às características do concreto. Pois, o processo de cura é uma etapa de grande importância para a obtenção de uma boa performance desse material.

Tendo em vista que, o ambiente interferiu na obtenção da resistência dos corpos de prova analisados, é possível supor que o material utilizado na construção dos edifícios não tenha atingido as características desejadas e acabou por apresentar os problemas encontrados.

4.1.2.2 *Compressão diametral*

Assim como foi feito no ensaio de Compressão, esse ensaio foi realizado com a utilização de 2 amostras de cada grupo (edifício), fazendo-se a média dos valores obtidos para cada um deles.

Também como exemplo do procedimento realizado, está descrito abaixo o cálculo feito para um dos exemplares de cada grupo analisado. Para o prédio do ICE:

$$f_c = \frac{2 \times 40,698 \text{ kN}}{\pi \cdot 100 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}} \quad (15)$$

$$\boxed{f_c = 1,296 \text{ MPa}} \quad (16)$$

E para o edifício da FAGEO:

$$f_c = \frac{2 \times 61,586 \text{ kN}}{\pi \cdot 100 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}} \quad (17)$$

$$\boxed{f_c = 1,961 \text{ MPa}} \quad (18)$$

A listagem completa dos valores obtidos no ensaio de resistência à tração estão listados na Tabela 7:

Tabela 7 - Força de compressão diametral aplicada para rompimento do corpo de prova.

Edifício	Força (kN)	Resistência (MPa)	Média (MPa)
ICE	40,698	1,296	1,113 ± 0,2
	29,224	0,931	
FAGEO	61,586	1,961	1,747 ± 0,2
	48,151	1,533	

Fonte: O autor, 2019.

Era esperado que os valores de resistência à tração do concreto fossem substancialmente menores que a sua resistência à compressão uma vez que na estrutura de concreto armado o aço resistirá predominantemente aos esforços de tração, enquanto que o concreto resistirá aos esforços de compressão.

Entretanto, o concreto não está dispensado da necessidade de também apresentar um mínimo de resistência aos esforços de tração. Pois, quando da própria execução do concreto, já existem tensões de tração geradas pelas deformações na retração térmica e na secagem, que podem ser suficientes para causar microfissurações na zona de transição, mesmo que não existam cargas externas aplicadas sobre esse mesmo concreto (VIEIRA; DAL MOLIN, 2011).

Dentro desse contexto, existe uma correlação amplamente utilizada de que a resistência à tração do concreto corresponde a 10% da sua resistência à compressão, todavia existem fatores que podem alterar essa relação (FARIAS *et al.*, 2018).

Utilizando-se essa concepção, a resistência à tração apresentada pelos corpos de prova do prédio do ICE está bem abaixo dos 10% esperados, uma vez que apresentaram uma resistência média de 1,11 MPa, que equivalem a pouco mais de 7% dos 15,747 MPa obtidos no ensaio de compressão. Já os resultados obtidos com os CP's do edifício da FAGEO são mais animadores, pois foram obtidos 1,75 MPa de média, que são 9,99% dos 17,521 MPa de compressão.

Portanto, é possível apresentar os esforços de tração, como possível causa para fissuras como as das Figuras 27 e 28, mesmo sabendo que a origem dos esforços de tração é, provavelmente, diferente. Pois, na Figura 27, os esforços foram ocasionados pela ausência da verga e contraverga; já na Figura 28, existe uma possibilidade bem maior desses esforços terem sido gerados pela movimentação das fundações da estrutura (recalque, diferencial ou não).

4.1.2.3 Determinação da absorção de água por imersão

Conforme visto, algumas das fissuras encontradas tem sua origem relacionada a ação da umidade sobre a estrutura. Com a finalidade de avaliar essa influência da água foi realizado o ensaio de absorção de água por imersão. O método permite avaliar a quantidade de vazios que proporcione a infiltração e acúmulo de água no interior do concreto.

O ensaio foi realizado de forma a avaliar a influência da água sobre dois grupos de três corpos de prova, cada grupo representando um dos edifícios estudados (do ICE e da FAGEO). Mesmo que os corpos de prova tenham sido moldados com base no mesmo traço e betonada, ainda assim fatores como: a cura, a exsudação e a umidade a que foram submetidos podem proporcionar comportamentos diferentes em cada um dos grupos. A Tabela 8 apresenta os valores de absorção de água obtidos, para os dois grupos:

Tabela 8 - Valor de absorção de água das amostras.

Edifício	Absorção (%)	Média (%)
ICE	6,26	5,55 ± 0,8
	4,58	
	5,82	
FAGEO	5,51	5,61 ± 0,1
	5,77	
	5,56	

Fonte: O autor, 2019.

Já na Tabela 9, é possível ver o resultado da análise do número de vazios observado em cada amostra, além da média desses valores.

Tabela 9 - Índice de vazios encontrados.

Edifício	Índice de vazios (%)	Média (%)
ICE	12,93	11,71 ± 1,3
	10,39	
	11,79	
FAGEO	12,09	11,96 ± 0,1
	11,83	
	11,95	

Fonte: O autor, 2019.

Os valores de absorção, podem ser considerados baixos estando entre 5 e 6% do volume do concreto, mas é importante considerar que a absorção de água por imersão também está ligada à porosidade e permeabilidade desse concreto (PINHEIRO; MONTEIRO, 2016).

Esses valores apontam para uma boa condição do concreto, pois se mostram bem abaixo dos resultados da pesquisa realizada por Mota (2016), onde foram analisadas várias constituições de concreto utilizados para reforço estrutural e apresentaram valores de absorção acima de 10%.

Sendo assim, pode-se supor que as patologias observadas estejam relacionadas à ausência, ou má execução, do sistema de impermeabilização das edificações. Pois, apesar da baixa absorção apresentada, a ineficiência da impermeabilização permite que a água tenha acesso à estrutura, proporcionando a possibilidade desta umidade atingir as camadas externas (revestimento), e internas (armadura), gerando as manifestações patológicas observadas.

4.2 Patologias ligadas à umidade

4.2.1 Análise visual das patologias presentes nos edifícios

Na Figura 31, podem ser vistas patologias que se encaixam nas características descritas por diversos autores como eflorescência. Essas eflorescências foram registradas durante a inspeção do Prédio da FAFIS, na fachada do lado Norte.

Essas patologias são resultado da lixiviação dos sais solúveis proveniente dos materiais que formam a estrutura (cimento, argamassa, concreto, areia etc.) pela água acumulada sobre a estrutura e que infiltra nela. Com a saída dessa água (por evaporação), os sais concentrados cristalizam e se depositam no local, formando a eflorescência (STUCKERT; JÚNIOR, 2016, p. 114).

Como complemento, Stuckert e Júnior (2016, p. 114) apontam que as eflorescências “são depósitos salinos, geralmente de coloração branca, principalmente de sais metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio) que se formam na superfície de alvenarias”.

No caso da fachada do Prédio da FAFIS, alguns erros podem ser tomados como causa dessa patologia: a falta de um caimento adequado da laje dos condensadores, o que permite o acúmulo da água de precipitação; a ausência (ou má execução) da impermeabilização da peça, permitindo que essa água acumulada

infiltração na estrutura e cause a lixiviação dos materiais; alta permeabilidade do concreto que propicia o desenvolvimento do processo de lixiviação (MARTINS; FIORITI, 2016a).

Figura 31 - Formação de eflorescências em fachada: (a) vista geral das eflorescências; (b) vista aproximada.



(a)



(b)

Fonte: O autor, 2018.

Nas Figuras 32 e 33 podem ser vistos exemplos de deslocamento em forma de placas, onde o revestimento se desprende da estrutura deixando-a exposta. As patologias foram verificadas por toda a face externa do Prédio do ICE, na interface de contato entre a estrutura e o pavimento.

O descolamento apresenta-se na forma de placa endurecida ou quebradiça. Normalmente, ocorre pela falta de aderência da camada de revestimento à estrutura (BAUER, 2008).

Essas patologias podem ser provenientes de fatores como, emprego de materiais inadequados, erro na execução, ou falta de manutenção, sendo o último o mais provável. O fenômeno mais cotado como causador dessas patologias seria a umidade, que por problemas de impermeabilização, pode atingir as camadas mais baixas da estrutura provocando esse desprendimento das camadas mais externas (revestimento) (TORRES; SILVA, 2015, p. 45).

Figura 32 - Desplacamento de revestimento.



Figura 33 - Desplacamento de revestimento.



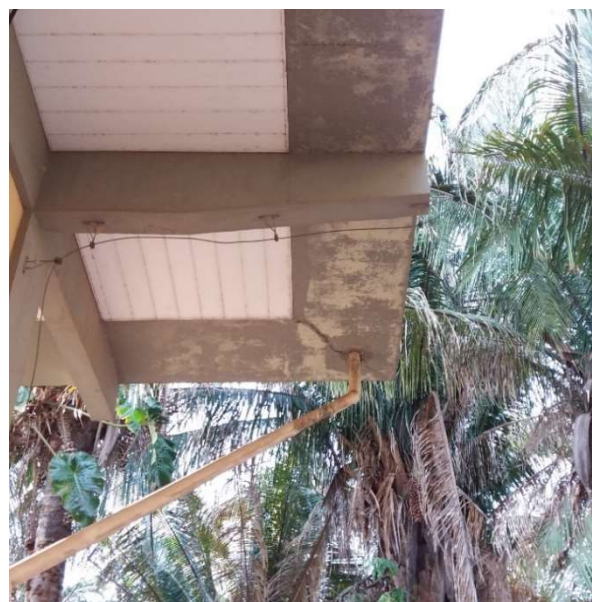
Fonte: O autor, 2018.

As manchas são também um problema associado à umidade nas edificações. Nas Figuras 34 e 35 podem ser vistos exemplos de ocorrência de manchas na cobertura do Prédio do ICE.

Figura 34 - Manchas na face inferior da laje.



Figura 35 - Manchas na face inferior da laje.



Fonte: O autor, 2018.

A provável causa para o surgimento das patologias apresentadas seria a inexistência de uma pingadeira na estrutura de cobertura, pois esse elemento

impediria que a água escorresse pela laje e infiltrasse (por capilaridade) ao longo do tempo, ocasionando as manchas (PRESOTTO *et al.*, 2017, p. 58).

4.2.2 Análise experimental e caracterização das patologias

Em se tratando dos problemas relacionados à ação da umidade sobre as estruturas, foram analisadas as ocorrências de manchas, eflorescências e deslocamentos de revestimento. A fim de entender o que gerou essas patologias, foram realizados os ensaios de absorção de água do concreto por capilaridade, absorção de água por parte do agregado miúdo, além do MEV que possibilitou avaliar se eram mesmo eflorescências no prédio da FAFIS.

4.2.2.1 Absorção de água por capilaridade

Uma das características marcantes da água é a sua capacidade de penetrar nas estruturas através do solo e alcançar pontos mais altos dessa mesma estrutura, através do processo de ascensão capilar. Nesse processo, a água ocupa os vazios existentes no concreto, fazendo esse concreto atingir um estado de saturação, e é essa saturação da estrutura que pode ocasionar problemas patológicos.

Para entender a forma como o fenômeno de ascensão capilar da água pode interferir no desempenho da estrutura foi realizado o ensaio para avaliar a capacidade de absorção de água do concreto. Da mesma forma como foi feito o ensaio de absorção de água por imersão, aqui foram utilizados dois grupos de 3 corpos de prova que representavam os dois prédios analisados (ICE e FAGEO), obtendo-se o resultado para cada edificação pela média dos resultados de cada um dos 3 exemplares do grupo. A Tabela 10 apresenta os valores de absorção de água por capilaridade:

Tabela 10 - Valor de absorção de água por capilaridade.

Edifício	Absorção (g/cm²)	Média (g/cm²)
ICE	0,114	0,109 ± 0,003
	0,107	
	0,107	
FAGEO	0,118	0,114 ± 0,003
	0,113	
	0,112	

Fonte: O autor, 2019.

As Figuras 36 e 37, apresentam a configuração da distribuição da água no interior dos corpos de prova.

Figura 36 - Configuração de absorção por capilaridade das amostras do prédio do ICE.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 37 - Configuração de absorção por capilaridade das amostras do prédio da FAGEO.



Fonte: O autor, 2019.

O valor observado pode ser inicialmente considerado alto, entretanto, tendo como comparativo o trabalho de Pinheiro e Monteiro (2016), que estudaram a capacidade de absorção de diferentes concretos (comum e com adições), onde foram apresentados valores entre 1,2 e 1,4g/cm² (12 e 14kg/m²), pode-se afirmar que a absorção proporcionada pelas amostras aqui descritas é muito menor que àquela vista no trabalho supracitado.

É importante ter em mente que essa capacidade de absorção tem grande influência sobre a durabilidade do concreto, uma vez que esta característica demonstra a facilidade de penetração de agentes agressivos no concreto (CUNHA *et al.*, 2015).

Dessa forma, supõe-se que o índice de vazios e a taxa de absorção de água do concreto analisado podem não ser os principais fatores a gerar as patologias vistas. Pois, o coeficiente de absorção de água por capilaridade está diretamente relacionado com existência de vazios (poros) de menores dimensões (CUNHA *et al.*, 2015).

Portanto, provavelmente a origem das patologias está ligada a problemas com a impermeabilização da interface de contato da estrutura com o solo, o que permite a constante incidência da umidade sobre a estrutura, que ao longo do tempo vai sendo atingida e degradada.

4.2.2.2 Absorção de água – Agregado miúdo

O concreto, sendo um material heterogêneo, apresenta características diferentes a depender dos materiais empregados em sua produção. Sendo assim, avaliou-se a capacidade de absorção de água do agregado miúdo, o que indiretamente, poderia apresentar um vislumbre dessa mesma capacidade no concreto.

Para o ensaio foi utilizada a mesma areia utilizada para produção dos corpos de prova, que pode ser classificada como areia grossa (0,5 mm a 1,0 mm) (CORÁ *et al.*, 2009).

O resultado obtido aponta para um valor que pode ser considerado baixo, conforme pode ser visto abaixo:

$$A = \frac{1043,7 \text{ g} - 1000 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100 \quad (19)$$

$$\boxed{A = 4,37\%} \quad (20)$$

Levando em consideração que o processo de ganho de resistência do concreto está diretamente relacionado ao processo de cura, e da quantidade de água que este recebe no período, é possível entender que a baixa capacidade de absorção do agregado miúdo pode ter alguma influência sobre a baixa resistência apresentada nos ensaios de compressão.

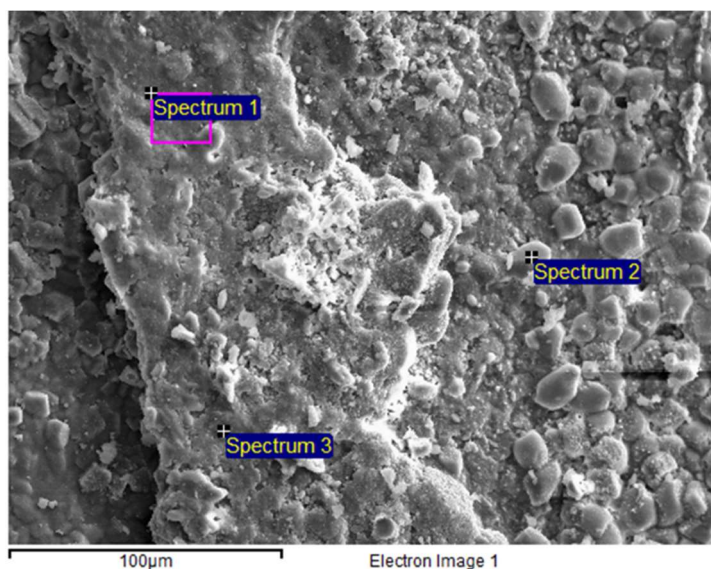
Já no que diz respeito às patologias causadas pela umidade, a baixa absorção conferida areia analisada pode ter uma parte importante. Analisando o deslocamento visto nas Figuras 34 e 35, uma vez que, é provável não ter sido feita a devida impermeabilização das áreas em contato com o solo, a baixa capacidade de absorção leva a estrutura a saturar-se mais facilmente e assim expandir-se, fazendo desprender o revestimento.

4.2.2.3 *Microscopia Eletrônica de Varredura*

Durante as inspeções foram vistas manchas esbranquiçadas em uma das faces da laje dos condensadores no edifício da FAFIS. A princípio acreditou-se que se tratavam de eflorescências, mas conforme já explanado as eflorescências são depósitos salinos que se formam pela lixiviação de alguns componentes do concreto. Sendo assim, era necessário confirmar a presença dos sais para que se pensasse na resolução adequada ao problema.

Para isso foi feito MEV, pois essa análise nos permitiria visualizar, a nível microscópico, os materiais existentes nas manchas observadas na estrutura. A visão microscópica geral do material analisado pode ser vista na Figura 36:

Figura 38 - Visão geral do material encontrado na edificação.



Fonte: O autor, 2019.

Cada ponto (*Spectrum*) foi analisado em busca de materiais que confirmassem a classificação das manchas como sendo eflorescências. Para isso, era necessário que fossem encontrados resíduos de sais, retirados do concreto pela ação da água. A Tabela 11 apresenta a composição química dos elementos na região analisada.

Tabela 11 - Composição química da amostra de eflorescência.

	C	O	Si	P	Ca	Zr	Po	Total
Spectrum 1	12,92	52,03	0,97	-0,92	37,77	-2,77		100
Spectrum 2	14,85	48,95			26,00		-0,09	100
Spectrum 3	9,90	34,34	0,34		39,64		0,11	100

Fonte: O autor, 2019.

Como pode ser visto, foram encontrados resíduos de Silício (Si) e Cálcio (Ca), além de Carbono, Oxigênio e Fósforo, que pressupõem a existência do Carbonato de Cálcio que, em meio úmido, é formado pelo contato do gás carbônico da atmosfera (CO_2) com a cal hidratada, que é resultado do processo de lixiviação do concreto.

As Figuras 39 e 40 apresentam de forma mais detalhada a estrutura dos materiais que foram encontrados. A morfologia apresentada sugere uma formação característica de sais, pois são observadas estruturas de formação irregular e de dimensões que variam entre 100 e 300 μm .

Figura 39 - Análise microscópica das manchas observadas na estrutura.

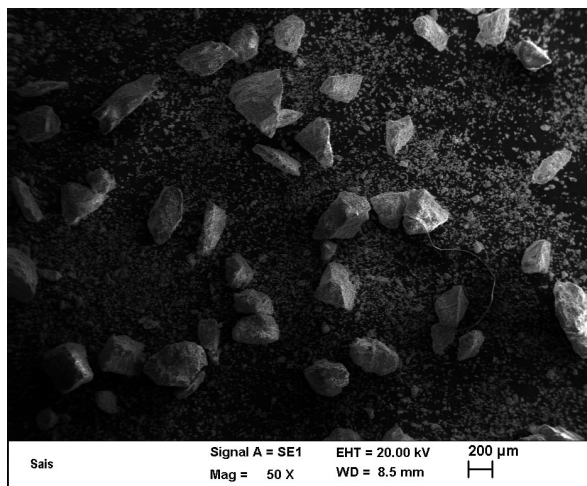
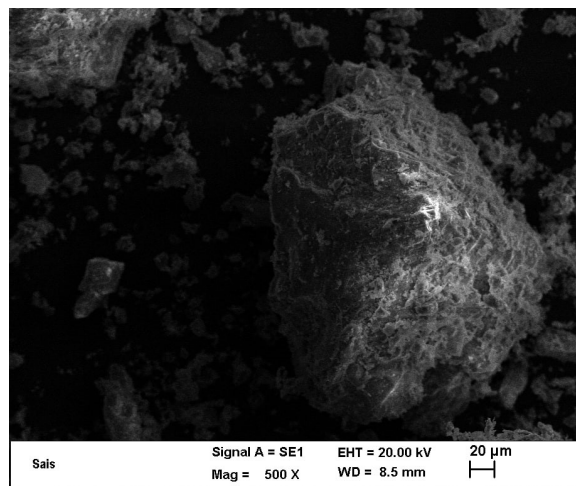


Figura 40 - Visão aproximada da composição da eflorescência analisada.



Fonte: O autor, 2019.

Conforme já apresentado, acredita-se que esse processo foi desencadeado por fatores como: falta (ou má execução) de impermeabilização da laje, existência de fissuras que propiciaram a ação da água sobre a estrutura ou, a execução de um caimento inadequado da peça (para evitar o acúmulo de água sobre ela).

4.3 Corrosão

4.3.1 Análise visual das patologias presentes nos edifícios

Bezerra *et al.* (2017) explica que a corrosão ocorre como consequência da lixiviação, que causa a diminuição do pH do concreto, além de aumentar a sua porosidade. Quando isso ocorre, a entrada dos agentes é facilitada, e é estabelecido o contato com a armadura, o que desencadeia o processo de despassivação e corrosão dessa armadura.

Na Figura 41 pode ser vista a manifestação de um processo de corrosão, onde a armadura já passou pelo estágio de despassivação e encontra-se exposta, uma vez que, o cobrimento foi expulso durante o processo. A patologia foi registrada durante a inspeção do Prédio da FAGEO.

De acordo com Fioriti *et al.* (2017b), nos casos considerados mais graves, onde já é observada a exposição da armadura, essa corrosão pode ser associada à execução da camada de cobrimento inferior ao mínimo prescrito pela NBR 6118/14.

Figura 41 - Corrosão apresentando armadura exposta: (a) vista geral; (b) detalhe aproximado.



(a)



(b)

Fonte: O autor, 2018.

4.3.2 Análise experimental e caracterização das patologias

Para analisar a ocorrência da corrosão observada no prédio da FAGEO, tomou-se como base os resultados dos ensaios de absorção de água do concreto já apresentados anteriormente e, também o ensaio de determinação da exsudação do concreto.

4.3.2.1 Determinação da exsudação

Como se sabe, a exsudação é a ascensão da água do interior do concreto até a superfície e esse processo pode ser bastante prejudicial ao desempenho desse concreto, uma vez que a retirada de água interfere na formação das ligações entre os componentes do concreto, podendo gerar vazios, diminuição da resistência mecânica do concreto, além de aumentar a possibilidade de retração desse concreto.

Dessa forma, é de grande relevância a devida análise dos resultados encontrados com o ensaio de exsudação do concreto. Conforme é apresentada a seguir.

Em todo o período de observação o concreto testado apresentou o seguinte volume de água exsudada por cm^2 :

$$V = \frac{167 \text{ ml}}{530,9 \text{ cm}^2} \quad (21)$$

$$\boxed{V = 0,31 \text{ ml/cm}^2} \quad (22)$$

Foi calculada a massa de água que estava contida no recipiente de ensaio, conforme visto a seguir:

$$M_{ar} = \frac{2606,2 \text{ g}}{31300 \text{ g}} \times 30900 \text{ g} \quad (23)$$

$$\boxed{M_{ar} = 2572,89 \text{ g}} \quad (24)$$

Por fim, foi calculada a quantidade de água que exsudou da amostra, esse valor possibilitou a melhor compreensão do real significado do fenômeno estudado sobre o concreto.

$$E = \frac{148,9 \text{ g}}{2572,89 \text{ g}} \times 100 \quad (25)$$

$$\boxed{E = 5,79\%} \quad (26)$$

Em uma análise rápida do valor final obtido, que apresenta a perda de apenas 5,79% da água por exsudação pode-se acreditar que o fenômeno não gera grandes problemas. Entretanto, deve-se levar em consideração que a exsudação é uma

propriedade extremamente importante para a execução de estruturas de concreto, pois, de acordo com Padilha *et al.* (2017), a camada exsudada que se forma na superfície apresenta resistência menor, em comparação a do restante do concreto.

Uma vez perdida a água, o concreto tende a retrair formando minúsculas fissuras também no interior da peça, que tornam mais fácil a percolação de água no interior do concreto, onde se encontra a armadura, possibilitando o início do seu processo de oxidação.

Como consequência, a perda de resistência na região mais externa a torna vulnerável a desgastes de origem química e/ou mecânica (FARUTHE *et al.*, 2017). Como uma referência de valor adequado para exsudação, o trabalho de Padilha *et al.* (2017) apresenta o limite de 4% de exsudação para pisos de concreto.

Portanto, levando em consideração o que afirma Trazzi e Giandon (2018), que apontam a necessidade de se evitar ao máximo essa característica do concreto que pode reduzir a resistência prevista para esse concreto, supõe-se que o fenômeno estudado pode ser considerado como um dos fatores que propiciaram a penetração da água na peça, possibilitando o início da corrosão observada.

5. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO

Uma vez analisados os resultados obtidos com os ensaios, tem-se o objetivo de propor soluções viáveis e adequadas a cada problema aqui estudado. Dessa forma, as medidas que foram consideradas mais interessantes estão descritas a seguir.

5.1 Propostas de intervenção para regiões com Fissuras

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram observadas várias ocorrências de fissuras, que tinham suas origens ligadas a diferentes fatores (umidade, movimentação térmica, corrosão etc.). Sendo assim, aqui serão dadas possibilidades de tratamento de acordo com o fenômeno que originou cada problema analisado.

As fissuras apresentadas na Figura 26 (tópico 4.1.1), estão ligadas às movimentações térmicas da estrutura, que não foram acompanhadas pelo

revestimento cerâmico. Já as fissuras vistas na Figura 27 (tópico 4.1.1) foram originadas pela ausência de verga e contraverga nos vãos das esquadrias.

Para os dois casos, é interessante recomendar que sejam analisadas as suas respectivas aberturas. Pois de acordo com a espessura apresentada caberá a utilização de uma técnica diferente, além disso, sugere-se que elas sejam tratadas sempre como fissuras ativas, uma vez que não foi feito um processo de monitoramento dessas fissuras.

No caso da fissura vista no banheiro PNE do prédio do ICE é fundamental que seja retirado o revestimento cerâmico da área fissurada e que seja feita uma análise da espessura da abertura existente, se menor que 10 mm a mesma pode ser tratada com um processo de injeção dessa fissura. Mas, se essa abertura apresentar mais de 10 mm de abertura, é mais aconselhado que seja utilizada a técnica de selagem (SILVA; OLIVEIRA; ARAÚJO, 2018; SOUZA; RIPPER, 1998), sempre fazendo uso de material necessariamente aderente, resistente mecânica e quimicamente, não retrátil e com módulo de elasticidade suficiente para se adaptar a possíveis deformações da abertura.

Para o tratamento das fissuras vistas nos cantos das esquadrias, é importante verificar a existência da verga e contraverga, uma vez que são esses elementos que resistirão aos esforços de tração que originaram o problema. E junto a isso, deve-se também avaliar a abertura dessas fissuras e aplicar o preenchimento delas por injeção ou selamento.

- Fissuras ligadas à corrosão

Também no prédio do ICE foram verificadas fissuras ocasionadas por conta da oxidação da armadura da laje, nesse caso não basta apenas preencher a abertura, pois isso não extinguirá a causa do problema.

Aqui será necessário eliminar a fonte do processo de corrosão dessa armadura, retirando o revestimento até expor o aço, limpar as barras, aplicar um material anticorrosivo sobre essas barras para evitar um novo processo de corrosão e reconstituir o cobrimento da peça. No tópico 5.3, onde serão propostas soluções ligadas à corrosão, esse processo será devidamente detalhado.

Para um resultado realmente satisfatório é importante que se faça, também, a avaliação da face superior da laje, para avaliar a existência de fissuras ou desníveis que propiciem a infiltração de água na peça.

- Fissuras ligadas à umidade

Por fim, foram encontradas também fissuras relacionadas a problemas com umidade e movimentação higroscópica, como é o caso da fissura vista na Figura 30. Neste caso também não é recomendado proceder apenas com o preenchimento da abertura, pois a umidade continuará atingindo e propiciando a movimentação da alvenaria, reexibindo a patologia.

Dessa forma, recomenda-se que seja feito o processo de execução da impermeabilização da alvenaria em contato com o solo, retirando o revestimento da área fissurada (e parte do piso), aplicando o material impermeabilizante e reconstituindo o revestimento. Pois isso evitará que a umidade continue agindo sobre a estrutura de vedação. No tópico 5.2, serão apresentadas alternativas de execução dessa impermeabilização de forma mais detalhada.

5.2 Propostas de intervenção para patologias ligadas à umidade

- Eflorescências

Outro problema encontrado foram as eflorescências, como forma de correção, Fioriti *et al.* (2017a) apresenta as seguintes ações: remover as manchas e os depósitos de sais encontrados através da lavagem com água sob pressão e uso de escovas com soluções ácidas.

Entretanto, só a lavagem não impedirá que o problema volte a ocorrer, para tanto é indispensável que se faça a correção do fator que propiciou a infiltração da água no local, isso deve ser feito através do estabelecimento da impermeabilização e/ou reparos em possíveis fissuras existentes na peça (FIORITI *et al.*, 2017a).

- Desplacamentos

Dentro dos problemas ocasionados pela umidade estão os deslocamentos (Figuras 42 e 43), problemas que foram causados pela expansão da camada mais baixa da estrutura, fazendo com que seja perdida a aderência do substrato com o revestimento externo.

Figura 42 - Desplacamento de revestimento.



Figura 43 - Desplacamento de revestimento.



Fonte: O autor, 2019.

Como forma de solução para o problema, foram encontradas duas opções, uma visa “eliminar” a presença da água na estrutura (impermeabilizando-a), já a outra visa criar uma barreira que impeça a ascensão dessa água por capilaridade.

Como já dito, a primeira forma de resolução do problema seria, segundo Paz *et al.* (2016), retirar o revestimento externo, fazer a aplicação de material impermeabilizante (resinas de silicones, resinas de siloxanos e pinturas acrílicas) para preencher os vazios e impedir a percolação da água e, por fim, reaplicar o revestimento.

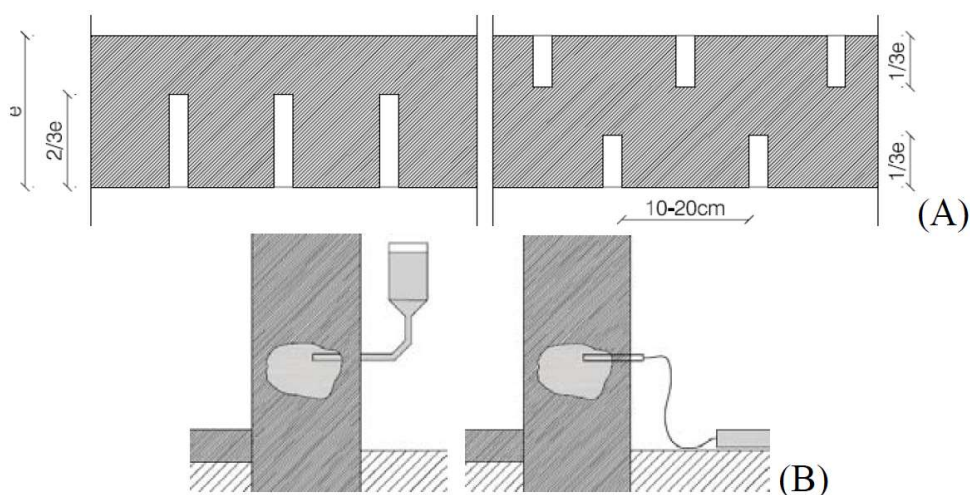
A segunda possibilidade de tratamento desses deslocamentos é a formação de uma barreira, na base das paredes, que seja capaz de inibir a ascensão capilar da água (FREITAS *et al.*, 2014). São várias os tipos de barreiras possíveis, mas aqui será abordada apenas a barreira química.

Segundo Freitas *et al.* (2014), é possível executar barreiras químicas (por difusão ou injeção) através do preenchimento dos vazios existentes em uma parede. É importante que essas barreiras sejam localizadas o mais próximo possível do nível do terreno.

De acordo com Freitas *et al.* (2014), o processo de execução deve seguir os seguintes passos: primeiro, devem ser executados furos ao longo da parede, afastados de 10cm a 20cm, com uma profundidade de aproximadamente 1/3 da

espessura da parede. Sendo que, em casos onde se quiser furar apenas um lado a profundidade deve ser de $2/3$ da espessura da parede Figura 44.

Figura 44 - Execução de barreira química: (A) Princípio de execução dos furos; (B) Introdução por difusão e injeção.



Fonte: Freitas, 2014.

Depois de executada a furação segue-se com a introdução do produto escolhido, por difusão ou injeção (Figura 44B). No caso da injeção, o produto deve ser introduzido na parede com a ajuda de um equipamento de pressão ligado diretamente aos tubos inseridos na furação já efetuada (FREITAS *et al.*, 2014).

- Manchas

Conforme apresentado nos resultados, as manchas vistas nas Figuras 34 e 35 (tópico 4.2.1) são resultado do acúmulo da água sob a face inferior da cobertura, que infiltra por capilaridade, gerando as patologias observadas.

Como resultado dessa pesquisa, foram levantadas duas possibilidades de correção para o problema. A primeira visa estabelecer uma camada de impermeabilização que impede a infiltração da água que se acumula na face inferior da cobertura. Já a segunda opção, apresenta a possibilidade de inserção de um elemento que evitaria o acúmulo da água sob a parte de baixo da cobertura, impedindo também a infiltração.

Segundo sugere Fioriti *et al.* (2017a), esse tipo de patologia pode ser tratada através da retirada completa do revestimento da área afetada (superior e inferior), a fim de se proceder com a execução da impermeabilização da área e, refazer o revestimento do local. Isso evitaria a infiltração da água, sendo a primeira sugestão.

Já a segunda opção, se trata da utilização de um elemento construtivo diferente (que foi ignorado na execução da cobertura). Sabendo que a mais provável causa para a formação das manchas seja a entrada de água no local, por capilaridade, seria necessário fazer a inserção de pingadeiras ao longo da base da cobertura; pois esse elemento impedirá que a água escorra e se acumule na face inferior da estrutura, eliminando o processo de infiltração por capilaridade.

Nesse ponto cabe uma observação importante, pois no início do atual ano (2019) o departamento responsável pela infraestrutura da universidade tomou providências para a “correção” do problema. Em meados do mês de março foi feito o processo de pintura do edifício apresentado na Figura 45, todavia não foram tomadas medidas para atacar a raiz do problema (o acúmulo e a infiltração da água na cobertura).

Figura 45 - Cobertura do prédio do ICE: (a) antes da pintura; (b) após a pintura.



Fonte: O autor, 2019.

Dessa forma, a medida adotada serve apenas como um paliativo, eliminando apenas visual e temporariamente o problema das manchas, pois como já foi visto, as edificações estão estabelecidas em uma região com um alto índice de umidade, principalmente na segunda metade do ano.

Portanto, é de se imaginar que em um curto período de tempo as manchas voltem a aparecer, pelo simples fato de não existir nenhum mecanismo que impeça a ação dessa umidade sobre a estrutura.

5.3 Propostas de intervenção para regiões com Corrosão

Uma vez conhecidas as causas do surgimento da corrosão observada (Figura 41), pretendeu-se apresentar as melhores possibilidades de correção do problema. Pensando não apenas na questão estética, mas principalmente em dar uma solução capaz de evitar a reincidência do problema.

Como se pôde observar, o estado da corrosão parece avançado, uma vez que o revestimento já foi expulso pelo processo de expansão do aço. Sendo assim, se faz necessária uma intervenção mais profunda.

Portanto, o primeiro passo deve ser a eliminação do substrato de concreto contaminado a fim de fazer a retirada completa do concreto afetado pelo produto de corrosão utilizando um equipamento mecânico (LIMA; BRITO, 2016).

Uma vez retirado o concreto contaminado, deve ser feita a limpeza da superfície a ser recuperada com jato de ar comprimido, além da limpeza da armadura existente com escova de cerdas de aço, esfregando sobre a superfície das barras até a completa remoção das partículas soltas. Esse processo visa deixar a superfície (do concreto e da armadura) livre de qualquer resíduo de corrosão que atrapalhe a aderência do novo material que será utilizado para o reparo (LIMA; BRITO, 2016).

O próximo passo deve ser a avaliação do nível real da corrosão, verificando a perda de seção desse aço. Se constatada uma grande perda de seção da armadura, ela deve ser reforçada através da colocação de novas barras (armadura suplementar) e depois deve-se aplicar uma pintura passiva e revestimento polimérico sobre o aço a fim de evitar um novo processo de corrosão (FIORITI *et al.*, 2017a; LIMA; BRITO, 2016).

Por fim, deve ser feita a reconstituição da seção da peça, reestabelecendo o revestimento da armadura (LIMA; BRITO, 2016). Nesse ponto é importante observar a espessura de revestimento original, entretanto, caso esse revestimento não obedeça ao revestimento adequado proposto pela NBR 6118 (ABNT, 2014) é aconselhável que seja retirado o restante do revestimento e refeito, de forma a atender o estabelecido pela norma.

6. CONCLUSÃO

Na área da construção civil, as patologias são uma realidade constante, seja durante a execução das edificações, novas ou antigas. Sendo que esses problemas podem ser provenientes de erros que vão desde a concepção dos projetos até a utilização dessas edificações, perpassando pela sua execução e escolha dos materiais a serem aplicados.

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar algumas das patologias existentes nas edificações escolhidas, a fim de conhecer melhor suas possíveis causas pela comparação com as referências bibliográficas e pela análise dos resultados obtidos nos ensaios de laboratório. Tudo isso para estar apto a propor a forma de solução mais adequada a cada problema.

Os problemas observados foram, em sua maioria, ocasionados pela ação deletéria da água (manchas, eflorescências, deslocamentos e corrosões) e, pela incidência de esforços de tração sobre o concreto (fissuras). Sendo assim, foram abordadas as patologias consideradas mais importantes, que proporcionam mais desconforto ou, necessitam de tratamento mais relevante.

Durante o processo de apresentação das propostas de intervenção foi observada a ação realizada por parte do setor de infraestrutura da instituição no tratamento de um dos problemas. Tal fato serve como demonstração da clara ineficiência de tratamentos que se baseiam em apenas amenizar os sintomas, sem que se conheça a origem do problema.

Dentro desse contexto, torna-se evidente a relevância do estudo das patologias das construções, uma vez que não são avaliados apenas os sintomas gerados, mas também as possíveis causas e devidas terapias. E além disso, esses estudos também servem de base para o desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de projeto, construção e reparo de estruturas.

Portanto, acredita-se que este trabalho alcançou os objetivos propostos, analisando as patologias encontradas e sendo capaz de apontar a mais provável causa para cada uma delas e, dessa forma, podendo indicar o tratamento mais eficaz à sua resolução.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por fim, fica a sugestão de que em pesquisas futuras sobre as manifestações patológicas existentes na Unidade 2, sejam feitos também ensaios que avaliem diretamente a permeabilidade e a deformabilidade do concreto. Pois no presente trabalho fez-se uma avaliação indireta dessas características.

O presente trabalho abordou o estudo da capacidade de absorção de água do concreto, todavia seria também importante que se realizasse o ensaio regido pela NBR 10786 (ABNT, 2013). Pois tal procedimento permite que se avalie um dos fatores mais relevantes quando se observa a ocorrência de corrosões nas edificações.

Semelhantemente, como apresentado na NBR 8522 (ABNT, 2017) a realização do ensaio de deformabilidade do concreto permitirá avaliar a elasticidade desse material, que é um fator muito importante quando se trata de evitar problemas causados por sobrecargas.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. E.; BAPTISTA, M. P. Erosões nas Estruturas de Concreto das Galerias de Águas Pluviais Urbanas. **RIEM - IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 4, n. 1, 21 fev. 2011.
- ALVES, L. G.; THOMÉ, V. M.; TOSTA, J. P. Manifestações patológicas em casas populares: uma análise de custo. **Revista Estudo & Debate**, v. 24, n. 2, 30 ago. 2017.
- ARIVABENE, A. C. Patologias em Estruturas de Concreto Armado Estudo de Caso. **Revista Especialize On-line IPOG**, v. 01, n. 10, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro: 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15558: Concreto - Determinação da exsudação**. Rio de Janeiro: 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e projeto**. Rio de Janeiro: 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro: 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10786: Concreto endurecido - Determinação do coeficiente de permeabilidade à água**. Rio de Janeiro: 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: procedimentos**. Rio de Janeiro: 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento**. Rio de Janeiro: 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão**. Rio de Janeiro: 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: 2018.

BAUER, E. *et al.* Estimate of the facades degradation with ceramic cladding: study of Brasilia buildings. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 151–159, jun. 2015.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. v. 2

BEZERRA, M. M. P. *et al.* Inspeção das Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado no Edifício Bom Pastor em Garanhuns-PE. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, p. 84–93, 28 ago. 2017.

CARVALHO, I. C.; PICANÇO, M. DE S.; MACEDO, A. N. Identificação de patologias em fachadas e metodologia de análise: estudos de casos na Universidade Federal do Pará. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 9, n. 2, p. 38–56, 8 out. 2014.

CORÁ, J. E. *et al.* Adição de areia para dispersão de solos na análise granulométrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 255–262, 1 abr. 2009.

COSTA, A. C. F. DE M. *et al.* Hidroxiapatita: Obtenção, caracterização e aplicações. **Revista eletrônica de Materiais e Processos**, v. 4, n. 3, 2009.

CUNHA, S. R. L. *et al.* Argamassas com incorporação de materiais de mudança de fase (PCM): caracterização física, mecânica e durabilidade. **Revista Matéria**, v. 20, n. 1, p. 245–261, mar. 2015.

ENAMI, R. M.; SOUZA, R. A. DE; BELTRAN, C. K. R. Sobre os aspectos legais dos acidentes estruturais e das patologias em construções. **Revista Tecnológica**, v. 0, n. 0, p. 149–156, 8 jan. 2010.

FACHIN, K. A.; RIVELINI, A. R. B. Manifestações patológicas: decorrentes em edificações religiosas. **REVISTA UNINGÁ REVIEW**, v. 28, n. 3, 24 jan. 2018.

FARIAS, L. A. *et al.* Ensaio de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto. p. 9, 2018.

FARIAS, R. M.; EVANGELISTA, W. L. Transtornos e desconfortos ocasionados pela infiltração e umidade no centro de Pedro Leopoldo/MG. **REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA**, v. 9, n. 3, p. 165–172, 7 maio 2018.

FARUTHE, É. C. L. *et al.* Reação álcali-agregado no concreto endurecido na região de Jales e Santa fé do sul – SP. **Revista Eletrônica Organizações e Sociedade**, v. 6, n. 6, p. 25–43, 2017.

FELTEN, D.; GRAHL, K. F. S.; LONDERO, C. Levantamento de manifestações patológicas em marquises de concreto armado. **Revista Thêma et Scientia**, v. 3, n. 1, p. 69–78, 2013.

FERNANDES, A. S. DA C.; NÓBREGA, M. DE J. R. DA. Corrosão em estruturas de concreto armado. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 1, n. 1, p. 47–59, 1 abr. 2019.

FERREIRA, D. B. DA S.; SOUZA, E. B. DE; MORAES, B. C. DE. Ciclo horário da precipitação no leste da Amazônia durante o período chuvoso. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, n. 0, 8 jun. 2014.

FILHO, A. C.; CARMONA, T. Fissuração nas estruturas de concreto. **Boletim Técnico ALCONPAT Internacional**, 2013.

FIORITI, C. F. *et al.* Um Estudo das Manifestações Patológicas em Vigas e Lajes de Concreto: Edificações da FCT/UNESP. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, p. 20–27, 28 ago. 2017a.

FIORITI, C. F. *et al.* O Caso das Manifestações Patológicas em Pilares de uma Edificação Pública. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, 28 ago. 2017b.

FREITAS, V. P. DE *et al.* Tratamento da humidade ascensional no património histórico. **Revista ALCONPAT**, v. 4, n. 1, p. 1–13, abr. 2014.

FRISCHKORN, H. Osmose reversa: limpeza química em membranas de dessalinizadores do Ceará. **Revista Tecnologia**, v. 30, n. 1, p. 61–76, 13 jun. 2016.

GASPARETTO, P. H. T.; GONZALEZ, E. F. Comparativo de revestimento externo, entre método tradicional e fachada ventilada. **REVISTA UNINGÁ REVIEW**, v. 28, n. 2, 23 jan. 2018.

HELENE, P. Análise da resistência à compressão do concreto em estruturas acabadas com vistas à revisão da segurança estrutural. **Revista ALCONPAT**, v. 1, n. 1, p. 64–89, 30 jan. 2011.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. [s.l.] Pini, 1986.

JONOV, C. M. P.; NASCIMENTO, N. DE O.; SILVA, A. DE P. E. Evaluation of flood damage on buildings and calculation of recovery costs. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 1, p. 75–94, mar. 2013.

LIMA, A. O. DE; BRITO, V. L. DE. Plano de manutenção de estruturas de concreto armado sujeitas a agressividade marinha: estudo de caso no porto de Cabedelo-PB. **Revista InterScientia**, v. 4, n. 2, p. 7–18, 17 dez. 2016.

LOUREIRO, A. M. S. *et al.* The salt efflorescence in the Church of Santo Alexandre, Belém - PA. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 3, p. 71–83, set. 2015.

MARTINS, J. F. A.; FIORITI, C. F. Investigação de manifestações patológicas em sistemas estruturais de concreto armado: estudo de caso em edificação pública. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 3, n. 4, 10 maio 2016a.

MARTINS, J. F. A.; FIORITI, C. F. Avaliação de manifestações patológicas identificadas nas estruturas em madeira do centro de eventos IBC (Instituto Brasileiro do Café). **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 12, n. 3, 10 ago. 2016b.

MARTINS, N. P.; PESSOA, R.; NASCIMENTO, R. Priorização na Resolução de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado: Método GUT. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, p. 139–148, 28 ago. 2017.

MILANI, C. J. *et al.* Processo produtivo de elementos pré-moldados de concreto armado: detecção de manifestações patológicas. **Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)**, n. 15, p. 82–91, 1 jan. 2012.

MOTA, J. M. F. F. Durabilidade de argamassas com adição de metacaulim para reforço de alvenaria. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 1105–1116, 2016.

NASCIMENTO, C. DE O. Análise das manifestações patológicas nas estruturas de concreto do campus Goiabeiras da UFES. **Revista Especialize On-line IPOG**, v. 1, n. 10, 2015.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto - 5ª Edição**. [s.l.] Bookman Editora, 2015.

OLIVEIRA, A. P. M. D. Acompanhamento e fiscalização em obras e serviços executados em residências unifamiliares. **REPOSITÓRIO DE RELATÓRIOS - Engenharia Civil**, v. 0, n. 2, 8 dez. 2016.

OLIVEIRA, T. S.; CARDOSO, A. C. S. Deformação lenta das estruturas de concreto armado e suas manifestações patológicas. **REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA**, v. 10, n. 2, p. 160–171, 7 ago. 2018.

PADILHA, F.; SCHIMELFENIG, B.; DA SILVA, C. V. Análise da utilização de endurecedores na dureza superficial de concretos para pisos. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, 2017.

Patologia. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/patologia/>>. Acesso em: 8 dez. 2018.

PAULA, D. W. C. DE; FELTEN, D. Levantamento das patologias existentes na infraestrutura de um colégio estadual em Cascavel/PR. **Revista Thêma et Scientia**, v. 6, n. 2E, p. 206–227, 2016.

PAZ, L. A. F. D. *et al.* Levantamento de patologias causadas por umidade em uma edificação na cidade de Palmas-TO. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 20, n. 1, p. 174–180, 1 mar. 2016.

PELACANI, V. L. Responsabilidade na Construção Civil. **Caderno do CREA-PR**, n. 07, p. 142, 2010.

PINHEIRO, H.; MONTEIRO, E. C. B. Análise Comparativa do desempenho de concretos com adições minerais quanto à corrosão de armaduras por íons cloretos. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 1, 8 nov. 2016.

PRESOTTO, M. I. M. *et al.* Perícias de engenharia na construção civil – estudo de caso –. **Revista Técnico-Científica**, v. 1, n. 2, 15 ago. 2017.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REIS, M. DA S. *et al.* Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 52, n. 1, p. 37–47, 2009.

RODRIGUES, R. M.; JÚNIOR, A. DA S. S.; LIMA, E. E. P. Erros, diagnósticos e soluções de impermeabilização na construção civil. **Revista InterScientia**, v. 4, n. 2, p. 19–33, 17 dez. 2016.

SACCHI, C. C.; SOUZA, A. S. C. DE. Manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, 31 ago. 2016.

SANTOS, C. R. B. DOS; SILVA, D. L. DA; NASCIMENTO, I. M. S. DO. Incidência de Manifestações Patológicas em Edificações Residenciais na Região Metropolitana do Recife (RMR). **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, 28 ago. 2017.

SILVA, P. R. DA; CREPALDI, A. A. DE P. Patologias de construção em edifícios pós-ocupação: o caso do IFSP, campus São Paulo. **REGRASP - Revista para Graduandos**, v. 2, 2017.

SILVA, D. V. S. R. E; SOBRINHO, C. W. DE A. P. Procedimento e tratamento para evitar fissuras nas ligações entre alvenaria e estrutura de concreto armado - Um estudo de caso. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 3, n. 1, 26 dez. 2016.

SILVA, J. P. DE O.; OLIVEIRA, F. H. L. DE; ARAÚJO, C. B. C. DE. Análise funcional comparativa de trecho da BR-116 no estado do Ceará. **Revista Tecnologia**, v. 39, n. 2, p. 1–21, 19 dez. 2018.

SOUZA, M. H. DE; SOUZA, R. A. DE. Análise das propriedades de uma argamassa de reparo de base acrílica. **Revista Técnico-Científica**, v. 1, 31 ago. 2017.

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

SOUZA, H. O.; OYAKAWA, M.; BATISTA, A. M. Fatores que propiciam aparecimento de fissuras nas lajes maciças em edifícios de interesse social. **REVISTA InSIET**, v. 1, n. 1, p. 156–196, 28 jul. 2016.

STUCKERT, T. C.; JÚNIOR, A. DA S. S. Patologias em habitações de interesse social. **Revista InterScientia**, v. 4, n. 2, p. 109–122, 17 dez. 2016.

TORRES, A. S.; SILVA, J. Patologias nos sistemas construtivos das edificações do início do século XX no sul do Rio Grande do Sul – estudo de caso de residência na cidade de Rio Grande/RS. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 2, 28 jul. 2015.

TRAZZI, L. C.; GIANDON, A. C. Execução de pilares de concreto armado moldados in-loco e suas possíveis manifestações patológicas. **REVISTA UNINGÁ REVIEW**, v. 28, n. 3, 2018.

VARUM, H. *et al.* Levantamento das patologias e monitorização do arco-cruzeiro da Igreja da Misericórdia de Aveiro. **Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões**, v. 17, p. 65–73, 2009.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação da resistência à compressão, resistência à tração e formação de microfissuras em concretos produzidos com

diferentes tipos de cimentos, quando aplicado um pré-carregamento de compressão. 2011.

VIEIRA, M. A. Patologias Construtivas: Conceito, Origens e Método de Tratamento. **Revista Especialize On-line IPOG**, v. 01, n. 12, 2016.

VILASBOAS, J. M. L.; MACHADO, S. L. Uma proposta de classificação da agressividade ambiental para a cidade de Salvador-BA. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 3, n. 2, p. 219–247, jun. 2010.