



# **UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**

Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís - Maranhão.

---

DEBORAH FABRICIA LOPES SANTOS

## **AVALIAÇÃO DA DUREZA SUPERFICIAL E DAS PATOLOGIAS EM PILARES DA BIBLIOTECA CENTRAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO: UM ESTUDO DE CASO**

SÃO LUÍS – MA  
2019



# UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís - Maranhão.

---

DEBORAH FABRICIA LOPES SANTOS

## AVALIAÇÃO DA DUREZA SUPERFICIAL E DAS PATOLOGIAS EM PILARES DA BIBLIOTECA CENTRAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos.

SÃO LUÍS – MA  
2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Santos, Déborah Fabrícia Lopes.

Avaliação da dureza superficial e das patologias em pilares da biblioteca central da Universidade Federal do Maranhão: Um estudo de caso / Déborah Fabrícia Lopes Santos. - 2019.

94 f.

Orientador(a): Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos.  
Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

1. Concreto armado. 2. Esclerometria. 3. Patologias.  
4. Pilares. I. Santos, Maria Luiza Lopes de Oliveira.  
II. Título.

DEBORAH FABRICIA LOPES SANTOS

**AVALIAÇÃO DA DUREZA SUPERFICIAL E DAS PATOLOGIAS EM PILARES DA  
BIBLIOTECA CENTRAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO: UM  
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso avaliado pela banca  
examinadora constituída pelos docentes abaixo assinados.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos

---

Prof. Me. Mikhail Luczynski

---

Prof.<sup>a</sup> Esp. Josélia Siqueira Machado Fiterman

Dedico este trabalho exclusivamente ao meu pai que, desde esse ano Deus deu a ele novos planos. Mas sei que, da forma que Deus permite, ele se faz presente na minha vida.

## AGRADECIMENTOS

A Deus dou graças, pois Ele quem me deu e dá força e coragem nas horas de angústia, e porque sei que nada é concretizado sem a vontade dEle.

À minha mãe, pela compreensão, pelo amor incondicional e apoio em minhas decisões e que faz das minhas vitórias as suas. Grata sou por ter você, mãe!

Ao meu pai, que mesmo por não termos sido tão próximos durante sua vida, sempre torceu e me incentivou a estudar e me apoiou da forma que estava ao seu alcance. Grata eu sou por ter tido você como pai!

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos, pelo tempo dedicado, pela disposição exemplar no ensino e pelo conhecimento compartilhado. Obrigada, professora!

À minha irmã, Fernanda, pelo cuidado, amor, atenção e auxílio que me acompanham desde que nasci. Você é um dos alicerces na minha vida!

Aos meus avós, Cirilo e Francisca, pelos ensinamentos e cuidados que tem até os dias atuais. Amo vocês!

A minha tia Francislady, por sempre ter me auxiliado e me abrigado junto à sua família. A você toda gratidão e amor!

A minha tia Maria Raimunda e suas filhas, por sempre ter me auxiliado, me ajudado e me acolhido sempre que possível. A vocês, toda gratidão e amor!

À minha prima Rafaella, por toda ajudada e paciência durante todo esse processo. Obrigada!

Aos meus amigos Poliana, Amanda, Raíssa, Luciano, Marcelo, Fernando, pelo apoio e ajuda direta na realização deste trabalho. A vocês, minha gratidão e amor!

Aos demais amigos, Alcineide, Cayo, Laísa, Léia, Israel, Davyson, Gládson, Talita, que sempre estão torcendo por mim. A vocês, minha admiração e amor!

Ao seu Jorge, pelos conhecimentos compartilhados, amizade e apoio a mim prestados. Ao senhor, minha admiração e gratidão!

Aos demais familiares, que sempre fizeram presentes e sempre buscaram formas de me ajudar. Sou grata a vocês!

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho: Muito obrigada!

*“Porque Dele e por Ele, e para Ele, são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente”.  
(Romanos 11:36)*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura de concreto armado.....	07
Figura 2 – Agregados.....	10
Figura 3 – Cimento .....	11
Figura 4 – Água de amassamento .....	13
Figura 5 – Peça estrutural com armadura exposta e corrosão avançada .....	15
Figura 6 – Tipos de corrosão e fatores que a provocam .....	20
Figura 7 - Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo.....	21
Figura 8 - Configurações de fissuras em função do tipo de solicitação.....	26
Figura 9 – Infiltração .....	27
Figura 10 – Manchas e bolor .....	28
Figura 11 – Eflorescência .....	29
Figura 12 - Fluxograma dos procedimentos de ensaio frente de carbonatação .....	30
Figura 13 - Equipamento utilizado no ensaio de ultrassom .....	31
Figura 14 - Esquema do Esclerômetro de Schmidt .....	33
Figura 15 - Área de ensaio e pontos de impacto (16 impactos) .....	39
Figura 16 - Croqui da disposição dos pilares.....	40
Figura 17 - Esclerômetro HT-225D de Digita Schmidt .....	41
Figura 18 -Regularização da superfície utilizando carborundum.....	41
Figura 19 - Aplicação dos impactos na área de ensaio.....	42
Figura 20 - Área de ensaio pilar 1.....	43
Figura 21 - Área de ensaio pilar 2.....	45
Figura 22 - Área de ensaio pilar 3.....	47
Figura 23 - Área de ensaio pilar 4.....	48
Figura 24 - Área de ensaio pilar 5.....	50
Figura 25 - Área de ensaio pilar 6.....	51
Figura 26 - Área de ensaio pilar 7.....	53
Figura 27 - Área de ensaio pilar 8.....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto.....	17
Tabela 2 - Incidência de Manifestações Patológicas.....	18
Tabela 3 - Principais causas das patologias .....	18
Tabela 4 - Principais fatores que condicionam a velocidade de penetração da frente de carbonatação.....	22
Tabela 5 - Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto.....	24
Tabela 6 - Classificação da qualidade do concreto conforme a velocidade do pulso ultrassônico.....	32
Tabela 7 - Formulário de aplicação.....	34
Tabela 8 - Parâmetros do Método GUT.....	36
Tabela 9 - Critérios de Pontuação.....	36
Tabela 10 - Matriz de Diagnóstico e Definição de Conduta de Manifestações Patológicas.....	37
Tabela 11 - Matriz de aplicação do Método GUT.....	37
Tabela 12 - Média dos índices esclerométricos aferidos.....	44
Tabela 13 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%.....	44
Tabela 14 - Média índices esclerométricos aferidos.....	45
Tabela 15 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%.....	46
Tabela 16 - Média índices esclerométricos aferidos.....	47
Tabela 17 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%.....	48
Tabela 18 - Média índices esclerométricos aferidos.....	49
Tabela 19 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%.....	49
Tabela 20 - Média índices esclerométricos aferidos.....	50
Tabela 21 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%.....	51
Tabela 22 - Média índices esclerométricos aferidos.....	52
Tabela 23 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10% .....	52
Tabela 24 - Média índices esclerométricos aferidos.....	53
Tabela 25 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%.....	54
Tabela 26 - Média índices esclerométricos aferidos.....	55

Tabela 27 - IE ante a qualidade da cobertura do Concreto.....	57
Tabela 28 - Relação dos pilares com a qualidade da cobertura do concreto.....	57
Tabela 29 - Relação entre a tensão de ruptura a compressão do concreto em função do índice esclerométrico.....	58
Tabela 30 - Relação dos pilares com a resistência à compressão.....	58
Tabela 31 - Média dos índices esclerométricos aferidos.....	59
Tabela 32 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10% .....	59
Tabela 33 - Média dos índices esclerométricos aferidos.....	60
Tabela 34 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%.....	60
Tabela 35 - Média dos índices esclerométricos aferidos.....	60
Tabela 36 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%.....	61
Tabela 37 - Média dos índices esclerométricos aferidos.....	61
Tabela 38 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10% .....	61
Tabela 39 - Média dos índices esclerométricos aferidos.....	62
Tabela 40 - Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10% .....	62
Tabela 41 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas.....	65
Tabela 42 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas.....	66
Tabela 43 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas.....	67
Tabela 44 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas.....	68
Tabela 45 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas.....	69
Tabela 46 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas.....	70
Tabela 47 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas.....	71
Tabela 48 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas.....	72
Tabela 49 - Matriz de aplicação do método GUT .....	75
Tabela 50 - Priorização para resolução das manifestações patológicas.....	75

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo dos Índices Esclerométricos Médios.....	55
Gráfico 2 - Comparativo dos Índices Esclerométricos com o fck em projeto.....	56
Gráfico 3 - Comparativo entre Índices Esclerométricos Médios dos pilares em que há presença de manifestações patológicas.....	63
Gráfico 4 - Estado de Conservação.....	73
Gráfico 5 - Incidência de Armadura exposta.....	73
Gráfico 6 - Anomalias e Manifestações Patológicas.....	74

## RESUMO

As estruturas de concreto armado ao entrarem em contato com o ambiente natural ao qual estão expostas estão sujeitas a sofrerem alterações que, ao longo do tempo, podem ocasionar a diminuição da capacidade da estrutura em resistir as condições para as quais foram projetadas. Mesmo que se trate de um processo natural, há fatores que estão ligados diretamente na degradação do concreto, como a utilização, o tipo e a qualidade do material e modo de execução, além da falta de manutenção periódica. Mesmo com as inovações tecnológicas voltadas para construção civil, é recorrente o aparecimento de patologias em edificações que sejam relativamente novas que prejudicam a estabilidade, desempenho e durabilidade das estruturas, além de consumir recursos financeiros que poderiam ser poupados ou utilizados para outros fins como manutenção preventiva. Com isso e baseado no tempo em que a obra da biblioteca central da UFMA está interrompida, houve a motivação do desenvolvimento desse estudo para verificar a resistência superficial dos pilares da edificação e apurar as patologias presentes objetivando averiguar suas possíveis causas e diagnosticá-las por meio de uma ordem de priorização, através do Método GUT. Por meio de uma vistoria e inspeção visual e a realização do ensaio de esclerometria nos pilares da biblioteca, este trabalho verificou que 75% dos pilares ensaiados estão de acordo com o a resistência superficial esperada. E quanto às manifestações patológicas, 34% correspondem a manchas de umidade e 22% a corrosão da armadura. Além disso, observou-se por meio da utilização do Método GUT que os casos correspondentes a corrosão das armaduras, obtiveram maior grau de priorização quanto a sua resolução.

**Palavras – chaves:** Concreto armado. Pilares. Esclerometria. Patologias.

## ABSTRACT

Reinforced concrete structures coming into contact with the environment to which they are exposed are subject to changes which, over time, may lead to a reduction in the structure's capacity to withstand the conditions for which they were designed. Even if it is a natural process, there are factors that are directly linked to the degradation of concrete, such as the use, type and quality of the material and mode of execution, and the lack of periodic maintenance. Even with technological innovations geared towards construction, it is recurrent the appearance of pathologies in buildings that are relatively new that undermine the stability, performance and durability of structures, as well as consume financial resources that could be saved or used for other purposes as preventive maintenance. Thus, based on the time when the work of the UFMA central library is interrupted, this study was motivated to verify the surface resistance of the building's columns and to investigate the present pathologies aiming to ascertain their possible causes and to diagnose them through of a prioritization order through the GUT Method. Through a visual inspection and inspection and the sclerometry test in the library columns, this study verified that 75% of the abutments tested are in agreement with the expected surface resistance. As for the pathological manifestations, 34% correspond to moisture spots and 22% to the corrosion of the reinforcement. In addition, it was observed through the use of the GUT method that the cases corresponding to the corrosion of the reinforcement, obtained a higher degree of prioritization as to its resolution.

**Keywords:** Reinforced concrete. Columns. Sclerometry. Pathologies

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>3</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
1.2	JUSTIFICATIVA	5
1.3	OBJETIVOS	6
1.3.1	<i>Objetivo Geral</i>	6
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i>	6
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>7</b>
2.1	ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	7
2.1.1	<i>Conceito</i>	7
2.1.2	<i>Normas Técnicas</i>	8
2.1.3	<i>Componentes</i>	10
2.2	DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	13
2.3	PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	15
2.3.1	<i>Manifestações patológicas</i>	15
2.3.2	<i>Corrosão de armadura do concreto</i>	19
2.3.3	<i>Fissuras</i>	24
2.3.4	<i>Infiltrações, manchas, bolor ou mofo e eflorescência</i>	27
2.4	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	29
2.4.1	<i>Ensaio de Carbonatação</i>	29
2.4.2	<i>Ensaio de Ultrassom</i>	31
2.4.3	<i>Ensaio de Esclerometria</i>	32
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>34</b>
3.1	MÉTODO DE GUT	35
3.2	ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL	37
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>40</b>
4.1	DIAGNÓSTICO E DEFINIÇÃO DE CONDUTA DAS ANOMALIAS IDENTIFICADAS NO ESTUDO DE CASO	64
4.2	INDICADORES E DIAGNÓSTICOS	73
4.3	MATRIZ GUT	74
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>78</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

Desde o início da civilização, o homem busca fazer estruturas que sejam sinônimos de segurança e comodidade para a sua vida. A procura por materiais e técnicas que supram tais conveniências se fez necessário, partindo desse pressuposto, surgiu o concreto armado, como solução para um determinado problema, e, conseguinte, a necessidade pelo seu aperfeiçoamento, como também os cuidados com estruturas que dependem da sua utilização, que devem ser redobrados, pois a sua utilização quer seja por falta de conhecimento ou descuido, pode trazer riscos para as estruturas, surgindo, assim, as manifestações patológicas.

Devido ao crescimento acelerado da construção civil, houve necessidade em buscar novas formas de inovação, em contrapartida trouxe aceitação implícita maiores riscos as construções. Com isso, veio também o aumento da necessidade de se conhecer e estudar mais sobre os materiais e as estruturas, por meio da análise de falhas que ocorreram, resultando em acidentes e a precoce deterioração das construções (SOUZA; RIPPER, 1998).

Não se deve associar as patologias apenas a estruturas antigas, pois diversas são as causas que podem gerar danos a uma edificação. Com a observação de problemas constantes da degradação das estruturas na construção civil, onde pode-se citar a corrosão do aço imerso no concreto, há uma necessidade da busca de reparar e/ou construir estruturas que tragam mais comodidade e segurança para o usuário. Com isso, na engenharia, o estudo de patologias nas edificações dedica-se a procura da solução dos problemas com o intuito de reabilitar as estruturas, similar a um processo terapêutico na medicina (AZEVEDO, 2011).

No Brasil, as construtoras têm por obrigação legislativa, prevista no Código Civil, de conceder aos seus usuários uma garantia de cinco anos em suas obras, e nesse intervalo de tempo, não há nenhuma pesquisa voltada para que as patologias possam ser minimizadas. Isso ocorre pelo fato de que grande parte do aprendizado na área de engenharia estrutural está centrado para o projeto e execução das estruturas, sem dar notoriedade para reabilitação e manutenção destas. E a falta desses dois processos faz com que pequenas incidências de patologias, que poderiam ter baixo custo de manutenção e/ou recuperação, possam evoluir para situações que comprometam o desempenho da estrutura, aumentando, assim, o custo de recuperação (DEGUSSA, 2003).

O número de estruturas de concreto armado sujeitas a manifestações patológicas tem aumentado nos últimos anos, resultando na deterioração e envelhecimento precoce das edificações existentes (HELENE, 2001).

Mesmo com os avanços tecnológicos das técnicas construtivas e com utilização de programas de controle de qualidade eficientes, observa-se ainda grandes números de construções que apresentam diversos problemas patológicos. Estudos apontam que as patologias ocorrem, em sua grande maioria, por erros de projeto, execução e planejamento e dentre as principais patologias estão as fissuras e a corrosão das armaduras (HELENE, 1992).

Antoniazzi (2009) pontua que qualquer estrutura tem uma determinada vida útil, podendo ser ela maior ou menor, pois isso depende de vários fatores, que vão desde a qualidade dos materiais utilizados, as condições a que estão expostas e se há uma manutenção periódica.

Machado (2002) afirma que se é necessário verificar e analisar “as manifestações patológicas; os vícios construtivos; as origens dos problemas; os agentes causadores dos problemas; o prognóstico para a terapia, os erros de projeto”.

Obras públicas, muitas vezes, tornam-se obras onerosas e de baixa qualidade devido a falta de fiscalização, além da ineficiência na gestão e no planejamento da obra, durante todo seu processo. Os problemas patológicos manifestados nas edificações públicas são oriundos de falhas na execução, no planejamento e tendem a se agravar ao longo do tempo por falta ou ineficiência de manutenção (SOUZA E RIPPER, 1998).

A realização de um estudo preciso de como a patologia se inicia, é necessária para que estas sejam eliminadas (NAZARIO E ZANCAN, 2011). A etapa de diagnóstico é fundamental, pois nela pode-se optar pela alternativa mais adequada para intervir sobre o problema. Assim, é essencial ter um programa de intervenções para solucionar os problemas as prioridades definidas (TUTIKIAN E PACHECO, 2013).

A inspeção, avaliação e diagnóstico das patologias da construção são atividades que devem ser desenvolvidas com frequência, garantido que os resultados e as ações das manutenções ou medidas corretivas devam garantir o sucesso com a reabilitação da construção, sempre que houver necessidade (GRANATO, 2002).

Segundo Shelman et al (2017), técnicas não destrutivas viabilizam avaliar a resistência, a qualidade do concreto e da estrutura, obtendo diagnósticos sem o comprometido da construção. Neville (2016) relata que a utilização de ensaios não destrutivos possibilita menores danos à

estrutura, o que não compromete o desempenho e nem a aparência do concreto. Além dessas técnicas garantirem maior segurança, permitindo uma melhor programação da construção.

Frente ao exposto, o conhecimento e aprofundamento sobre a qualidade do concreto e a incidência de manifestações patológicas se faz necessário para tomadas de medidas corretivas, cuidados na execução e sua correção para manutenção da estrutura, bem como o atendimento da sua vida útil. E, como a obra referente a nova biblioteca central da Universidade Federal do Maranhão está interrompida, houve o interesse em estudar as condições técnicas atuais do concreto e as possíveis patologias presentes nos pilares da edificação em tela.

## 1.2 Justificativa

As construções sofrem degradações ao passar do tempo, um processo natural que causam a redução do desempenho e da vida útil de uma estrutura (SANTOS et al., 2017). O controle de qualidade não se deve restringir apenas aos materiais e insumos em geral que são utilizados, mas também durante todas as etapas da construção (CBIC, 2013).

O estudo das manifestações patológicas possibilita entender os mecanismos responsáveis pelas mesmas, além de ser base para possíveis intervenções diante dos problemas verificados (GAKLIK, 2012). Justifica-se a escolha do tema por se tratar de uma obra pública federal, Biblioteca Central da UFMA, de interesse para a comunidade estudantil, além de representar gastos aos cofres públicos por ser uma obra interrompida há quase 4 anos ainda em fase inicial, e está exposta as intempéries sem nenhum tipo de proteção.

Sendo assim, torna-se relevante e necessário fazer um levantamento da ocorrência de possíveis manifestações patológicas no concreto e a resistência superficial do mesmo, por meio do ensaio de esclerometria, nos pilares da construção em questão, pois estes podem estar comprometendo a vida útil e o desempenho da estrutura. Ao mesmo tempo, ter ciência das possíveis patologias instaladas pode auxiliar no processo de reabilitação e na forma de intervenção na obra. Este trabalho, além de poder gerar um conhecimento acerca do que está sendo estudado, pode contribuir no diagnóstico dos problemas encontrados.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal verificar a dureza superficial do concreto dos pilares da obra inerente a Biblioteca Central da Universidade Federal do Maranhão – Cidade Universitária Dom Delgado, assim com as patologias presentes nos mesmos.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar as manifestações patológicas presentes nos pilares;
- Analisar as manifestações patológicas identificadas nos pilares;
- Verificar e analisar a dureza superficial dos pilares;
- Obter e fornecer informações técnicas acerca das condições técnicas atuais dos pilares.

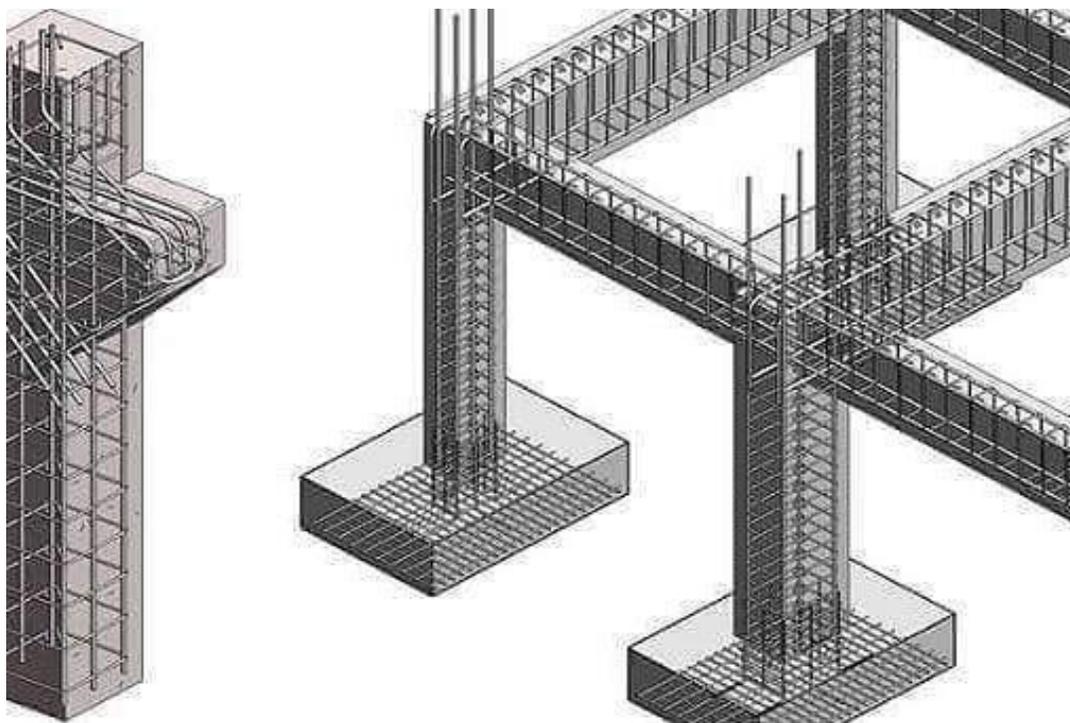
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Estruturas de concreto armado

#### 2.1.1 Conceito

O concreto é uma mistura de água, cimento e agregados. Por si só, o concreto não é adequado como elemento estrutural, apesar de possuir uma boa resistência à compressão, pouco resiste à tração e, como solução, busca-se associá-lo ao aço (figura 1), fazendo com que esse conjunto, armadura e concreto, resistam tanto a tração como a compressão (GONÇALVES, 2015).

Figura 1- Estrutura de concreto armado



Fonte: Rvm Cad, 2017.

Segundo Carvalho e Filho (2014) o concreto armado é “obtido por meio da associação entre concreto simples e armadura convenientemente colocada armadura passiva, de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes”.

A NBR 6118 conceitua o que são elementos de concreto armado: “são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”. A norma também relata que a armadura passiva é qualquer armadura não protendida, ou seja, que não há seu alongamento prévio.

De acordo com Clímaco (2005), o concreto armado é a associação do concreto com barras de aço nele imerso, formando um sólido único. Tal associação faz com que estes elementos trabalhem em conjunto trazendo benefícios a estrutura, cada um com sua particularidade, sendo aproveitadas as principais vantagens de ambos, o concreto e aço por serem resistentes, duráveis e de custo acessível, além da elevada resistência do concreto à compressão e do aço elevada resistência tração.

Para um bom desempenho e vida útil satisfatória, o concreto armado depende da sua correta execução, desde o estudo do traço, dosagem, manuseio e cura adequados, além de manutenções periódicas como também a prevenção contra agentes agressivos. Gonçalves (2015) afirma que em maioria, as patologias nas edificações ocorrem em consequência de falhas de execução e a falta de controle de qualidade em obra, trazendo problemas diretamente a segurança e a durabilidade da construção.

Gonçalves (2015) ainda afirma que as patologias nas edificações surgem devido a essas falhas, as quais ocorrem durante as etapas de concepção/projeto, execução e utilização. E saber de onde surge o problema é um fator que contribui para a correção da patologia.

### 2.1.2 Normas Técnicas

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – foi criada em 28 de setembro de 1940, reconhecida como associação regulamentadora das Normas Brasileiras Registradas (NBR) pelo governo federal (ABNT, 2014).

Existe um leque de NBR's que auxiliam e regulam os mais diversos procedimentos. E, dentre as normas, pode-se destacar algumas que tratam do concreto armado as quais serão citadas abaixo brevemente.

- NBR 6118 – 2014: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento: traz os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido;
- NBR 7191 – 1982: Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado: fixa as condições referentes a execução de desenhos técnicos para obras de concreto simples e armado;
- NBR 7480 – 2007: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação: estabelece condições exigíveis na encomenda, fabricação e fornecimento de barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado;
- NBR 8548 – 1984: Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda - Determinação da resistência à tração: fixa o método de determinação da resistência à tração em barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado, com emenda mecânica ou por solda;
- NBR 8681 – 2003: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento: esta norma fixa os requisitos exigidos para a verificação da segurança das estruturas da construção civil, estabelecendo definições e critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações;
- NBR 9607 – 2012: Provas de carga em estruturas de concreto armado e protendido – Procedimento: trata dos requisitos mínimos e os procedimentos gerais a serem observados no planejamento e execução de provas de carga em estruturas de concreto armado e protendido;
- NBR 12655 – 2015: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento: referente ao concreto de cimento Portland para estruturas moldadas em obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados para edificações e estruturas;
- NBR 14931 – 2004: Execução de estruturas de concreto – Procedimento: estabelece os requisitos gerais para a execução de estruturas de concreto. Em particular, esta Norma define requisitos detalhados para a execução de obras de concreto, cujos projetos foram elaborados de acordo com a ABNT NBR 6118.

### 2.1.3 Componentes

#### 2.1.3.1 Agregados

Os agregados fazem parte em torno de  $\frac{3}{4}$  do volume do concreto, com isso, deve-se prezar pela qualidade destes, pois afetam diretamente na resistência do concreto, além de suas propriedades afetarem significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto (NEVILLE, 2016).

A NBR 9935 (ABNT, 2011) define o agregado como “material granular pétreo, sem forma ou volume definido, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia”.

De acordo com Souza e Ripper (1998), os agregados são inertes, mas suas características físicas e químicas afetam o desempenho do concreto. Conseqüente, só podem ser utilizados quando não houver incidência de impurezas (torrões de argila, matérias contendo carbono, entre outros), com grãos preferencialmente arredondados, devido ao formato dos grãos beneficiarem o adensamento do concreto e sua composição granulométrica influenciarem sobre a qualidade e compacidade do mesmo, exemplificados na figura 2.

Figura 2 - Agregados



Fonte: Soberana, 2019.

#### 2.1.3.2 Cimento

O cimento Portland é um aglomerante (figura 3), aglutinante ou ligante, em forma de pó fino, que é endurecido após ação da água. O mesmo é composto por clínquer e adições, sendo o

clínquer a base e o principal componente de todo tipo de cimento Portland. Tais adições são que definem e diferenciam os tipos de cimentos existentes (ABCP, 2002).

A revista IBRACON (2008), cita que os tipos de cimentos normalizados e utilizados no Brasil são:

- CP I - Cimento Portland Comum;
- CP II, E, F ou Z - Cimento Portland Composto
- CP III - Cimento Portland de Alto Forno;
- CP IV - Cimento Portland Pozolânico;
- CP V ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

Figura 3 – Cimento



Fonte: Votorantim, 2017.

Segundo Neville (2016), foram desenvolvidos diversos tipos de cimentos com intuito da garantia da durabilidade de acordo com cada condição ambiente de aplicação. Para ele, a divisão em diferentes tipos de cimento é destacada somente como uma “classificação funcional geral” e que existem diferenças importantes entre cimentos do mesmo tipo.

### 2.1.3.3 Aditivos

Os aditivos são utilizados por conferirem vantagens físicas e econômicas ao concreto, como por exemplo, diminuir o custo de mão de obra no adensamento e de consumo do cimento, e melhorar a trabalhabilidade, ou seja, os aditivos são sinônimos de benefícios ao concreto, mas isso não implica em dizer que eles são soluções para a má qualidade dos demais componentes (NEVILLE, 2016). A NBR 11768 (ABNT, 2011, p. 2) define os aditivos como:

Produtos adicionados durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5% da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto no estado fresco e/ou no estado endurecido, exceto pigmentos inorgânicos para o preparo do concreto colorido.

A finalidade do uso do aditivo pode ser relacionada a melhoria de diversas características do concreto, como a modificação do tempo de pega, aumento da plasticidade, sem aumentar o consumo de água e cimento, redução da exsudação e segregação, entre outros. Mas vale ressaltar que a aplicação incorreta dos aditivos pode causar efeitos colaterais, prejudicando, assim, o material final, o concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

### 2.1.3.4 Água

“A água de mistura do concreto é, possivelmente, o seu componente menos dispendioso, mas também é, seguramente, um dos mais importantes” (SOUZA e RIPPER, 1998). De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), a água destinada ao amassamento do concreto deve ser guardada em caixas estanque e tampadas, de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas. Com isso, toda água de teor duvidoso, deve ser analisada.

A água é um elemento importante para o concreto, pois possibilita as reações químicas do cimento, as reações de hidratação, que são responsáveis pela garantia das propriedades de resistência e durabilidade do concreto. Além disso, proporciona a lubrificação para as demais partículas e colaborar no manuseio do concreto. Geralmente, a água potável é a indicada para a composição dos concretos (BASTOS, 2006).

A alteração das propriedades do concreto ocorre através da água devido às substâncias nela dissolvidas ou em suspensão, como argila e silte. Nesses casos, se houver uma quantidade elevada, poderá ser empecilho para a cristalização dos produtos da reação do cimento com a água, e, conseqüentemente, acarretará na perda de coesão do produto (SOUZA E RIPPER, 1998).

A água utilizada na mistura do concreto, como demonstra a figura 4, tem que ser aquela livre de teores de substâncias estranhas que possam interferir nas reações de hidratação do cimento, tais como óleos, ácidos, sais, matéria orgânica, entre outras (SILVA, 1995 apud ARAUJO E RISTOW, 2003).

Figura 4 – Água de amassamento



Fonte: Votorantim, 2016.

## 2.2 Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto

A durabilidade de uma construção está ligada a um conjunto de ações e procedimentos que permitem e dão garantia à estrutura um desempenho satisfatório, que atrelado aos materiais que a compõe, definem a vida útil da construção (SOUZA e RIPPER, 1998). É necessário que as estruturas de concreto mantenham suas resistências adequadas e condições de uso durante sua vida

útil, o que não significa vida infinita e muito menos o concreto resistir a qualquer ação (NEVILLE, 2016).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define vida útil de projeto (VUP) como sendo “o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor”. De acordo com a mesma norma, as estruturas de concreto armado devem ser projetadas e construídas conservando sua estabilidade, segurança e sua capacidade de manter-se em condições plenas de utilização, resistindo as condições ambientais previstas e definidas em projeto e pelo contratante.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) conceitua VUP como “Período estimado de tempo, em que um sistema é projetado para atender aos requisitos de desempenho estabelecido nesta Norma, desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual de operação, uso e manutenção”.

Segundo Neville (2016), a durabilidade abaixo do esperado advém da deterioração do concreto, decorrentes de fatores externos quanto internos. Podendo ser químicas, mecânicas ou físicas, e deve ser considerada, junto a resistência, explicitamente na etapa de projeto.

Em geral, o termo “deterioração” é antônimo de “durabilidade”, que pode ser definida como a capacidade do material estar apto para suportar as condições para as quais foi projetado, sem que sofra danos significativos por um longo período (ROQUE E MORENO JUNIOR, 2005).

Estruturas deterioradas de forma precoce são resultados de variados fatores, que em conjunto, acarretam em patologias, dentre os quais se pode citar: falhas e erros de projeto e de execução, materiais inadequados, má utilização da obra, agressividade do meio, falta de manutenção e controle da qualidade na Construção Civil ineficiente ou ausente (BRANDÃO, 1999). Sendo assim, um concreto mal adensado poderá resultar em um alto índice de vazios, gerando, assim, um concreto poroso. Além disso, uma cura ineficaz ou insuficiente resultará, resultará em um baixo grau de hidratação do cimento, principalmente na superfície, produzindo um concreto de alta permeabilidade e pouco durável (ROQUE E MORENO JUNIOR, 2005).

A figura 5 ilustra uma peça estrutural em concreto armado com deterioração avançada, onde se pode verificar o aço em estado de corrosão e a presença de armadura exposta.

Figura 5 – Peça estrutural com armadura exposta e corrosão avançada



Fonte: Medeiros, 2008.

## 2.3 Patologias nas estruturas de concreto

### 2.3.1 Manifestações patológicas

Define-se como Patologia das Estruturas o campo da Engenharia das Construções que estuda as origens, as formas de manifestações, causas e mecanismos de como ocorrem as falhas e a degradação das estruturas. Contudo, a Patologia das Estruturas não é somente um campo de estudo que trata do diagnóstico patológico, bem como em relação à idealização e ao projeto de estruturas e também como contribuição ao engenheiro civil em sua formação (SOUZA E RIPPER, 1998).

As patologias normalmente apresentam características externas a partir das quais se pode conhecer sua origem, natureza e os mecanismos dos acontecimentos envolvidos. Dependendo do caso, há a possibilidade de realizar o diagnóstico das patologias somente pela visualização da construção, mas quando é um caso mais complexo, se faz necessário verificar todos os precedentes, o projeto,

as cargas as quais a estrutura foi submetida, análise da forma como a obra foi executada, entre outros (HELENE, 1992).

Segundo Souza e Ripper (1998), as possíveis causas de falhas que encarecem o processo construtivo ou são responsáveis por problemas referentes a sua utilização, são advindas de um estudo anterior deficiente ou de anteprojetos equivocados. Porém as falhas originadas no projeto final são as responsáveis pela instalação de problemas patológicos sérios, que se podem ser originados por diversos fatores, tais como:

- Projetos inadequados (deficiência no cálculo da estrutura, avaliação da resistência do solo, má definição do modelo analítico, etc.);
- Falta de compatibilidade entre o projeto estrutural e o arquitetônico, bem como os demais projetos civis;
- Especificação inadequada de materiais;
- Detalhamento insuficiente ou errado;
- Detalhes construtivos inexequíveis;
- Falta de padronização das representações (convenções);
- Erros de dimensionamento.

A tabela 1 faz referência as principais causas de patologias em estruturas de concreto de acordo com estudos realizados em diferentes continentes, mas ressalta-se que alguns autores consideram determinado problema como resultante de mais de uma causa, com isso, pode-se notar que algumas somas dos percentuais das parcelas são superiores a 100 (SOUZA E RIPPER, 1998).

Tabela 1 – Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto

Fonte de pesquisa	Causa dos problemas patológicos em estruturas de concreto			
	Concepção e Projeto	Materiais	Execução	Utilização e Outras
Edward Grunau Paulo Helene (1992)	44	18	28	10
D. E. Allen (Canadá) (1979)	55	49		
C.S.T.C. (Bélgica) Verçoza (1991)	46	15	22	17
C.E.B. Boletim 157 (1972)	50	40		10
Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteado Verçoza (1991)	18	6	52	24
B.R.E.A.S (Reino Unido) (1972)	58	12	35	11
Bureau Securitas (1972)	88			12
E.N.R. (U.S.A) (1968 – 1978)	9	6	75	10
S.I.A. (Suíça) (1979)	46		44	10
Dov Kaminetzky (1991)	51	40		16
Jean Blévoit (França) (1974)	35		65	
L.E.M.I.T. (Venezuela) (1965 - 1975)	19	5	57	19

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Na Tabela 2, Machado (2002) relata a ocorrência estatística, em ordem crescente, das principais manifestações patológicas:

Tabela 2 – Incidência de Manifestações Patológicas

<b>Manifestações Patológicas</b>	<b>Ocorrência %</b>
Deterioração e degradação química da construção	7%
Deformações (flechas e rotações) excessivas	10%
Segregação dos materiais componentes do concreto	20%
Corrosão das armaduras do concreto armado	20%
Fissuras e trincas ativas ou passivas nas peças de concreto armado	21%
Manchas na superfície do concreto armado	22%

Fonte: Machado, 2002 p. 06.

Como se pode observar na Figura 1, no Brasil, as principais causas das patologias são originadas na etapa de execução com 51% de ocorrência. Seguido pela etapa de projetos, com 18% das ocorrências, devido à má avaliação de cargas, deficiência no detalhamento de armaduras, erros de nos modelos estruturais (PIANCASTELLI, 2016).

Tabela 3 - Principais causas das patologias

<b>Principais causas das patologias</b>	<b>Percentual</b>
Execução	51%
Projeto	18%
Utilização	13%
Materiais	7%
Fortuitos	6%
Manutenção	3%
Outros	2%

Fonte: Adaptado de Piancastelli, 2016.

Helene (1992) afirma que os problemas mais significativos nas estruturas de concreto armado e que requerem atenção por trazer eminente risco a integridade da estrutura, são a corrosão da armadura do concreto, as flechas excessivas e as fissuras patológicas de peças estruturais. Ele

ainda relata que a correta análise acerca dos problemas, é que permite determinar a origem, causas, consequências e o melhor método de intervir.

### 2.3.2 Corrosão de armadura do concreto

A corrosão das armaduras é definida como a deterioração da película passivadora que se encontra ao redor da superfície das barras de aço. A solução aquosa presente no concreto é altamente alcalina que impede a dissolução do ferro, formando a película (SOUZA E RIPPER, 1998). A corrosão de armadura é principal e mais frequente meio de degradação das estruturas de concreto armado, além de ser responsável pelos altos custos de reparos (OLIVEIRA, 2005).

O concreto dispõe ao aço uma proteção física, pois ele separa o aço de ter contato direto com o meio externo, e também dispõe de proteção química, devido ao pH do concreto ser elevado, que forma a película passivadora que contorna o aço (FIGUEIREDO E MEIRA, 2013).

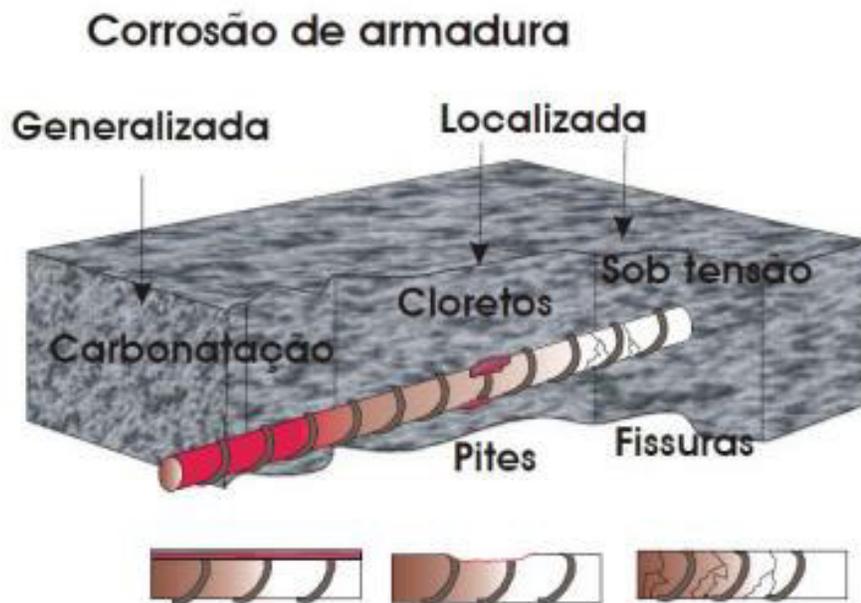
Para que ocorra a instalação do processo de corrosão, é necessária a presença de um eletrólito (como a água), diferença de potencial (gerada por diferença de umidade, entre outros mecanismos que possam romper a película passivadora que protege a armadura) e a disponibilidade de oxigênio (CUNHA E HELENE, 2001).

Marcelli (2007) pondera que a corrosão da armadura é um processo eletroquímico, que pode ser agravado por agentes agressivos externos e internos, incorporados ao concreto ou gerados pelo meio. E que para a ocorrência da corrosão é necessário a presença de oxigênio e umidade e surgimento de uma célula eletroquímica.

De acordo com Fusco (2008), há duas reações que originam a corrosão, uma anódica e outra catódica. Na reação anódica, com o ferro exposto ao ar úmido, ocorre a dissolução dos íons  $Fe^{++}$ , formando o polo positivo da pilha, que passam para a solução.

Os principais agentes agressivos que promovem a despassivação das armaduras presente no concreto são a carbonatação e a presença de íon de cloreto, embora existam outros mecanismos que possam atuar para a corrosão da armadura, como os fungos, fuligem, fissuras, reações com sulfatos, entre outros, como mostra a figura 7 (ANDRADE, 1992).

Figura 6 – Tipos de corrosão e fatores que a provocam



Fonte: Cascudo,1997.

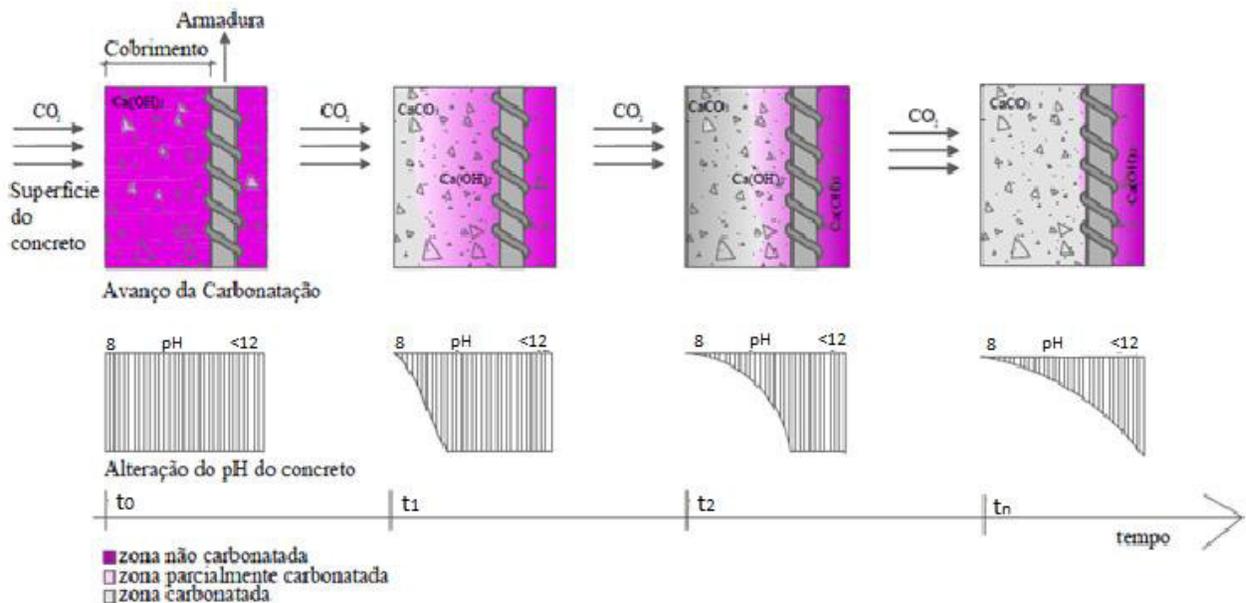
### 2.3.2.1 Corrosão da Armadura por carbonatação

A carbonatação é um fenômeno físico-químico que pode afetar, além de limitar, a vida útil de uma estrutura de concreto armado, pois modifica as condições de estabilidade química da película passivadora da armadura, originando o processo de corrosão do aço por meio da redução da alcalinidade do concreto (POSSAN, 2010). Essa redução é resultado das reações entre o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), presente na atmosfera, com o cimento hidratado, com a umidade existente. Ocorrendo, assim, a redução do pH do concreto, um material com elevados índices de pH, entre 12,5 e 13,5 para valores em torno de 8,5 (MEHTA E MONTEIRO, 2008). Essa elevada alcalinidade é responsável pela formação e estabilidade da película passivadora que protege a armadura da corrosão, constituída por uma camada de óxidos muito fina que se adere fortemente à superfície do aço (ELSENER, 2001; BERTOLINI et al., 2008).

De acordo com a figura 8, o processo de carbonatação inicia-se da superfície para o interior do concreto, com isso ocorrendo a alteração da alcalinidade, devido a redução do pH. Tem-se uma zona denominada frente de carbonatação, a qual separa duas regiões de pH diferentes, uma carbonatada, com pH inferior a 9, e a outra não carbonatada, com pH em torno de 12 (BAKKER,

1988). E, nessa zona, de acordo com a figura, são identificadas três zonas distintas: carbonatada, parcialmente carbonatada e não carbonatada, cada qual com um pH diferente. No tempo  $t_0$ , não há alteração do pH, mas com avanço do  $\text{CO}_2$  por meio do concreto, observa-se nos tempos  $t_1$  e  $t_2$ , a reação do  $\text{CO}_2$  com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) formando carbonato de cálcio e, conseqüentemente, reduzindo o pH do concreto. Em  $t_n$ , constata-se a aproximação do processo de carbonatação na armadura, pela modificação da alcalinidade, ela fica desprotegida, estando suscetível a corrosão.

Figura 7 – Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo



Fonte: Possan, 2010.

Possan (2010) relata que o avanço de frente de carbonatação está intimamente ligado a facilidade a qual o  $\text{CO}_2$  tem de se difundir por meio do concreto ao longo do tempo. São importantes nesse processo fatores como a compacidade, quantidade de hidróxido de cálcio e óxido de cálcio disponível para a reação, além de das condições ambientes e de exposição relacionadas ao concreto. Para Smolczyk (1969), um cimento que contém 65% de óxido de cálcio, tem aproximadamente 40% de  $\text{CaO}$  carbonatável.

A carbonatação ocorre a partir do exterior do concreto, exposto ao  $\text{CO}_2$ , a uma velocidade decrescente, pois a entrada de  $\text{CO}_2$  acontece por difusão através de sistemas de poros, incluindo a

região superficial que já está carbonatada (NEVILLE, 2016). A velocidade e também a profundidade estão relacionadas a fatores como o ambiente e com as características do concreto endurecido, como é apresentada na tabela 2 a seguir (KAZMIERCZAK, 1995).

Tabela 4 – Principais fatores que condicionam a velocidade de penetração da frente de carbonatação

Fatores Condicionantes		Características Influenciadas
Condições de Exposição	Concentração de CO <sub>2</sub>	Mecanismo físico-químico
		Velocidade de Carbonatação
	Umidade Relativa do Ar	Grau de Saturação
		Velocidade de Carbonatação
Temperatura	Velocidade de Carbonatação	
Características do Concreto	Composição química do cimento: - Característica do clínquer - Teor de adições	Porosidade da pasta carbonatada
		Reserva alcalina
		Porosidade
	Traço	Porosidade
	Qualidade de execução - Defeitos - Cuidados com a cura	Porosidade
Grau de hidratação		

Fonte: Kazmierczak, 1995.

A velocidade da carbonatação, em relação às condições de exposição, é refletida na concentração de CO<sub>2</sub> presente na atmosfera em torno do concreto, ou seja, quanto maior a concentração de CO<sub>2</sub>, maior será a velocidade de carbonatação (CADORE, 2008). Segundo Neville (2016), taxas maiores de carbonatação ocorrem em umidades relativas entre 50% a 70%. A água que está contida nos poros de concreto, sobre influência da umidade relativa, é um condicionante na velocidade de difusão do CO<sub>2</sub> entre os vazios intersticiais por intermédio dos poros de concreto (CADORE, 2008).

A profundidade e velocidade da carbonatação são influenciadas por fatores variados. O processo de origem da patologia também está atrelado a inúmeras condições, como a relação água/cimento, o processo e tempo de cura, resistência à compressão, dosagem, porosidade, adições minerais, entre outros (FERREIRA, 2013). Os quais serão citados a cura e a relação água/cimento.

No caso da relação água/cimento, um variante que se deve atentar, pois contribui diretamente na vida útil do concreto, quando há a elevação desse fator, haverá o aumento da porosidade e, como consequência, a propagação de gases no interior dos poros será maior, resultando no aumento de velocidade da carbonatação (PAPADAKIS; VAYENAS E FARDIS, 1991).

A cura do concreto é essencial para seu desempenho durante sua vida útil. Quanto ao processo de carbonatação, a cura influencia diretamente, pois como há a diminuição da porosidade, o que aumenta a compactidade, o gás carbônico tem mais dificuldade para penetrar no concreto (FERREIRA, 2013). Se a cura é bem executada, diminui-se o número de vazios do concreto, além de evitar fissuras por retração, reduzindo os efeitos da carbonatação. Concreto sem cura ou sem ter sido bem executado, faz surgir microfissuras na superfície, facilitando a entrada do CO<sub>2</sub> no concreto, o que pode acelerar o processo de instalação da patologia: (MEHTA E MONTEIRO, 2008). Além disso, Pauletti (2009) retrata que a profundidade da camada carbonatada está ligada ao processo de cura do concreto, que tem um papel determinante no desenvolvimento da reação por carbonatação.

### *2.3.2.2 Corrosão da Armadura por íons cloreto*

Ao penetrar nos poros do concreto, os íons cloreto (Cl<sup>-</sup>), juntamente com a água e o oxigênio, acarretam na desestabilização da película passivadora da armadura ao entrar em contato com ela (FIGUEIREDO E MEIRA, 2013). Os íons cloreto, que migram para o interior do concreto, aumentam a condutividade elétrica do eletrólito o que facilita a corrosão das armaduras (MEDEIROS E HELENE, 2009).

A concentração dos cloretos no concreto ocorre pela presença de aditivos, água e agregados na mistura cimentícia, ou devido aos poros presentes, pode ocorrer a penetração do meio externo para o interior do concreto carregando sais, entre outros, principalmente se há proximidades com ambientes marinhos. A quantidade de cloretos vai aumentando gradativamente até conseguir atingir toda a superfície da armadura, podendo levar a velocidades de corrosão muito perigosas (FORTES E ANDRADE, 2001).

A corrosão nas armaduras do concreto por meio da penetração de íons cloreto pode ocorrer quando (SOUZA E RIPPER, 1998):

- há adição involuntária através de aditivos aceleradores do endurecimento e de agregados;
- contato de águas e solos contaminados;
- elevado teor de cloreto, existentes dentro dos materiais que compõem o concreto;
- o concreto em contato com a água do mar;
- há tratamentos de limpeza realizados com produtos agressivos como o ácido muriático.

Na Tabela 4, a NBR 12655 (ABNT, 2015) aponta os percentuais máximos aceitáveis de teor de íons de cloreto no concreto de acordo com cada tipo de estrutura, com base na sua massa do cimento para que não haja deteriorações consideráveis na armadura.

Tabela 5 – Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl-) no concreto % sobre a massa de cimento
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40
Outros tipos de construção com concreto armado	0,30

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015).

Os íons cloreto (Cl-), quando entram em contato com a armadura, reduzem o pH do concreto, que normalmente se encontram entre 12,5 a 13,5, para valores até 5. Esses íons afetam a armadura, sofrendo o processo de despassivação, resultando na corrosão, que tende a redução do diâmetro da barra de aço (FORTES E ANDRADE, 2001).

Para que se faça a identificação da profundidade do teor de cloreto no concreto, são necessários ensaios específicos. Não tem como se identificar a penetração de íons cloreto a olho nu, pois não há redução resistência do concreto e nem modifica a sua superfície (CASCUDO, 1997).

### 2.3.3 Fissuras

As fissuras são consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, um dos danos mais comum dentre as construções, além da facilidade em se identificar, por chamar atenção de qualquer usuário de que há algo anormal acontecendo com a estrutura (SOUZA E RIPPER, 1998).

As fissuras são sintomas patológicos que se manifestam nas estruturas de concreto armado quando não há controle sobre ela e são as que mais geram pânico nos usuários, pois, na maioria dos casos, elas estão diretamente ligadas ao rompimento das estruturas (ANGELO, 2004).

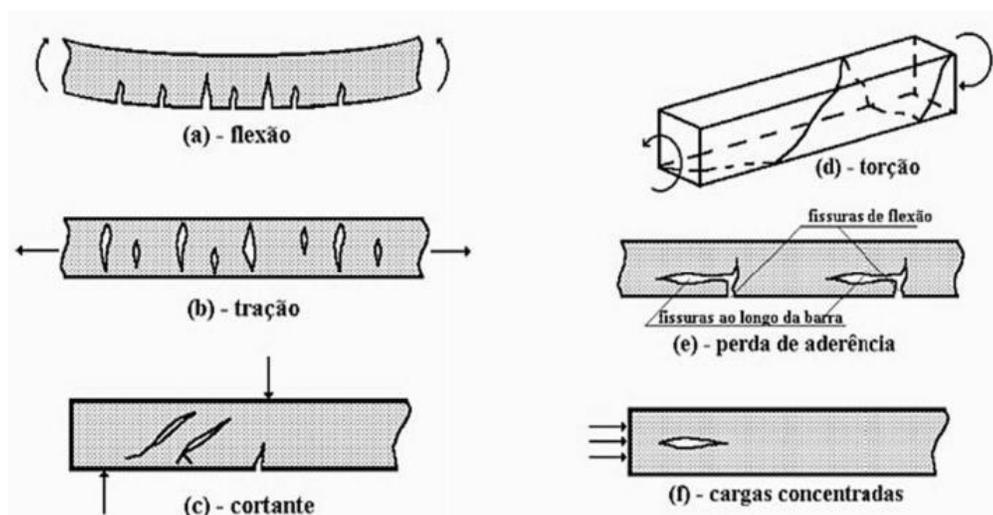
A NBR 15.575 (ABNT, 2013) descreve a fissura de um componente estrutural como “seccionamento na superfície ou em toda seção transversal do componente, com abertura capilar, provocado por tensões normais ou tangenciais”.

As causas da fissuração no concreto armado em seu estado fresco ou endurecido são de diversas naturezas (SOUZA E RIPPER, 1998):

- Deficiência de projeto;
- Contração plástica;
- Assentamento do concreto;
- Movimentação de Escoramentos e/ou formas;
- Retração;
- Deficiências de execução;
- Reações expansivas;
- Corrosão das armaduras;
- Recalques diferenciais;
- Variações de temperatura;
- Ações aplicadas.

A figura 9 retrata fissuras que ocorrem por solicitações superiores à suportada pela estrutura.

Figura 8 – Configurações de fissuras em função do tipo de solicitação



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

A fissuração proporciona que agentes agressivos penetrem no concreto, iniciando um processo de deterioração da estrutura. Elas ocorrem sempre que a tensão no concreto for superior à sua resistência à tração, que é conhecidamente baixa. As falhas estruturais acarretam em fissuras excessivas após ação do carregamento (BRANDÃO, 1999).

Os fatores que influenciam na velocidade, no aumento e nos mecanismos de transporte de agentes nocivos para o interior do concreto são a disposição dos poros e o aspecto das fissuras, sujeito às condições ambientais (ações químicas e físicas), às quais as estruturas de concreto são submetidas e que resultam, por exemplo, na deterioração das estruturas expostas (ROQUE E MORENO JUNIOR, 2005).

Ao se fazer uma análise em uma estrutura de concreto sujeito a fissuração, uma das primeiras medidas consistem em mapear as fissuras, classificando-as, para a determinação de suas causas e as formas de como proceder para sua recuperação (SOUZA E RIPPER, 1998).

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), as fissuras são consideradas perigosas, quando suas aberturas na superfície do concreto armado ultrapassam os seguintes valores, de acordo com a classe de agressividade ambiental (CAA) a estrutura está exposta:

- CAA I → ELS-W  $w_k \leq 0,4$  mm;
- CAA II e CAA III → ELS-W  $w_k \leq 0,3$  mm;
- CAA IV → ELS-W  $w_k \leq 0,2$  mm.

## 2.3.4 Infiltrações, manchas, bolor ou mofo e eflorescência

### 2.3.4.1 Infiltrações

A infiltração, exemplificada na figura 10, ocorre quando a quantidade de água é maior, fazendo com ela pingue ou até mesmo flua pela edificação (SHIRAKAWA, 1995). As infiltrações se formam gradativamente, com isso, a melhor forma de evitá-la é preventivamente, pois, na maioria das vezes, os reparos não são eficientes, e deve ocorrer desde a fase de projetos (RAPOSO et al, 2016).

Figura 9 – Infiltração



Fonte: Kantro, 2016.

### 2.3.4.2 Manchas e bolor

Segundo Parisi Jonov et al. (2013), as manifestações patológicas são relacionadas a problemas de umidade frequentes e são, em sua maioria, responsáveis pelos problemas de uma

edificação durante sua vida útil. Suas ocorrências são atribuídas à idade da edificação, às intempéries, aos materiais e técnicas construtivas utilizadas e ao controle de qualidade.

As patologias da umidade, como as manchas e bolor (figura 11), são prejudiciais aos elementos de qualquer obra, pois afeta o desempenho esperado da edificação. Estes problemas estão ligados a ineficiência de projeto, materiais de péssima, má execução e a utilização de forma indevida das edificações pelos usuários (RAMALHO, 2014).

As manchas resultam da aderência da água ao passar em uma barreira. O bolor (mofo) é a colônia de diversos grupos de fungos filamentosos sobre diferentes substratos. Esse desenvolvimento de colônias fúngicas causa modificações estéticas como manchas escuras indesejáveis, podendo ser marrom, preta e verde, ou manchas mais claras, esbranquiçadas ou amareladas (SHIRAKAWA, 1995).

Figura 10 – Manchas e bolor



Fonte: Autor, 2019.

#### 2.3.4.3 Eflorescência

São depósitos salinos, alcalinos e alcalinos terrosos, que surgem na superfície da alvenaria ou dos revestimentos (figura 12), através dos sais presentes nos materiais ou componentes da alvenaria (BAUER, 1997). Além de serem caracterizadas pelas manchas de umidade e pó branco (CINCOTTO, 1988).

Esse fenômeno ocorre devido as propriedades de absorção e permeabilidade das argamassas, pois elas apresentam vazios interiormente devido a água presente utilizada para ajudar na trabalhabilidade e na hidratação cimentícia, por meio da capilaridade ou pressão, para onde os agentes agressivos migram, ou há a dissolução ou o transporte de sais solúveis presentes no material (BARROS et al, 1998).

Figura 11 – Eflorescência



Fonte: Sabai, 2017.

## 2.4 Ensaios não destrutivos

### 2.4.1 Ensaio de Carbonatação

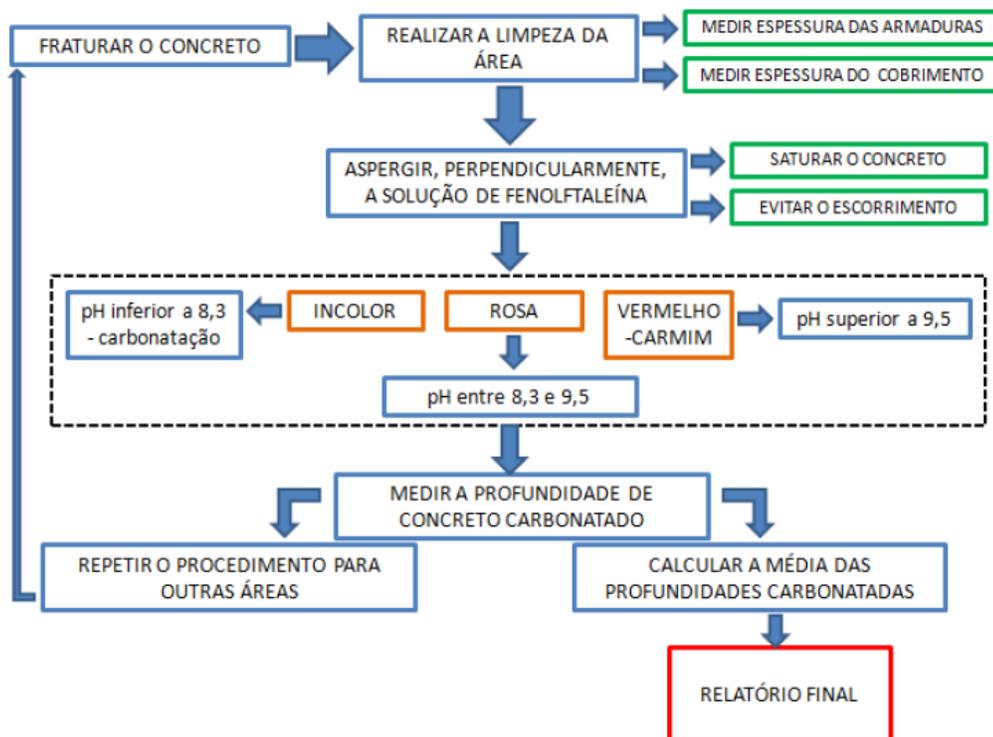
O ensaio que determina a profundidade de carbonatação no concreto endurecido, pelo método da fenolftaleína, é normalizado pela DIN EN 14630 (DIN, 2007), uma norma alemã que

trata sobre o teste de fenolftaleína que é projetado para determinar a profundidade de carbonatação perto da superfície do concreto endurecido. Além disso, esta norma recomenda que a solução de fenolftaleína seja aspergida perpendicularmente à área examinada, até a saturação do concreto.

Segundo Moraes (2012) o ensaio é feito com a aspersão de uma solução indicadora de pH sobre a superfície de concreto que será feita a análise, essa solução é composta de fenolftaleína, substância que define o estado do concreto quanto a carbonatação, pois quando em contato com a superfície do concreto com pH estável, dentro do esperado, apresenta uma coloração rosada, já na superfície onde há a perda de alcalinidade, a substância não modifica sua cor, permanecendo incolor, que é o fator indicativo da frente de carbonatação da estrutura investigada.

Araújo e Panossian (2011) apontam que para a execução deste ensaio são necessários os seguintes materiais: furadeira, martelo e escopro, borrifador, paquímetro e a solução alcoólica de fenolftaleína. Os procedimentos e etapas de realização do ensaio estão descritos na figura 13.

Figura 12 – Fluxograma dos procedimentos de ensaio frente de carbonatação



Fonte: Shelman et al, 2017.

## 2.4.2 Ensaio de Ultrassom

Este ensaio é normalizado pela NBR 8802 (ABNT, 2019), cujo objetivo é a determinação da velocidade de propagação de ondas, obtidas através de pulsos ultrassônicos, em concretos. Além de verificar a uniformidade do concreto detectando as falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras, entre outras imperfeições. Monitorando as variações das propriedades do concreto ao longo do tempo, devido a agressividade do meio (ISAIA, 2005). A figura 14 mostra o exemplo de um sendo equipamento utilizado na realização do ensaio.

Figura 13 - Equipamento utilizado no ensaio de ultrassom



Fonte: CPN Engenharia, 2017.

Segundo Cánovas (1988), pode-se classificar a qualidade e homogeneidade do concreto a partir da velocidade de propagação da onda ultrassônica, conforme a tabela 5.

Tabela 6 - Classificação da qualidade do concreto conforme a velocidade do pulso ultrassônico

<b>Velocidade de propagação linear (km/s)</b>	<b>Qualidade do concreto armado</b>
>4,5	Excelente
3,6 – 4,5	Boa
3,0 – 3,6	Aceitável
2,1 – 3,0	Pobre
<2,1	Muito pobre

Fonte: CÁNOVAS, 1988, p. 474.

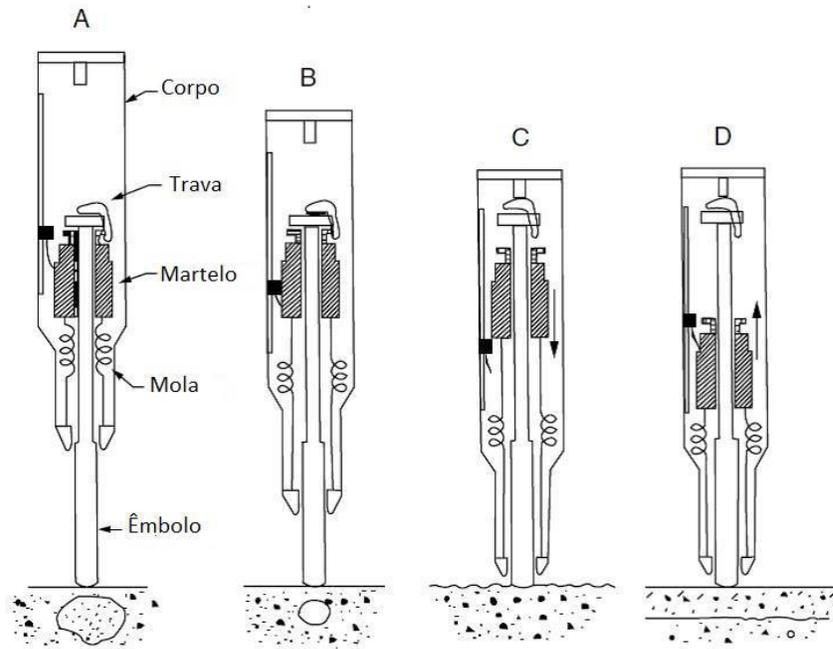
A vantagem deste ensaio em comparação ao ensaio de esclerometria é que a onda ultrassônica não está limitada somente a superfície do concreto e, conseqüentemente, avalia a qualidade do concreto por toda sua massa (CÁNOVAS, 1988 apud FIGUEIREDO, 2005).

#### 2.4.3 Ensaio de Esclerometria

A avaliação da dureza superficial do concreto pelo esclerômetro de reflexão é prescrita pela NBR 7584 (ABNT, 2012). Sendo aplicável na verificação da uniformidade e na estimativa da resistência à compressão do concreto (ISAIA, 2005).

O aparelho funciona com uma massa acoplada a uma mola, que possui uma quantidade de energia devido ao prolongamento da mola até certa posição ao se comprimir o pistão contra a superfície que está sendo ensaiada. Ao ser comprimido, o pistão contra a superfície do concreto, a energia de impacto é, em parte, conservada, o que promove o retorno do martelo ao fim do impacto, quando isso ocorre, o aparelho fornece um valor que é denominado de índice esclerométrico (THOMAZ, 2007). A figura 15 mostra um desenho esquemático do esclerômetro de Schmidt.

Figura 14 - Esquema do Esclerômetro de Schmidt



Fonte: Malhotra, 2004.

O índice esclerométrico fornece informações referentes a dureza superficial do concreto. E as correlações desse índice com as propriedades do concreto são definidas de forma empírica ou experimentalmente (ISAIA, 2005).

### 3 METODOLOGIA

O presente estudo tem como propósito a pesquisa e coleta de dados acerca da dureza superficial do concreto e das manifestações patológicas inerentes aos pilares da estrutura de concreto armado da Biblioteca Central da Universidade Federal do Maranhão, em construção, para averiguação das reais condições técnicas dos elementos estruturais objetos de estudo, a fim de contribuir com as possíveis soluções para os problemas encontrados.

A pesquisa é de cunho qualitativo e quantitativo, visto que haverá interpretação dos dados coletados. Utilizando-se de bibliografias existentes referentes ao assunto proposto, através de livros, artigos, dissertações, teses e publicações em revistas. Além da realização de visitas “in loco” e uma coleta de dados por meio de formulário (tabela 7), com o intuito de se identificar as manifestações patológicas, através da inspeção visual, e avaliação da dureza superficial dos pilares. Nas análises feitas a partir da inspeção visual, buscou-se identificar a existência de algumas irregularidades: rachaduras, fissuras, trincas, deterioração do concreto, infiltração, manchas, eflorescências, corrosão. Além da comparação do índice esclerométrico com o fck de projeto, que foi obtido por meio de dados disponibilizados pela prefeitura do Campus Universitário da UFMA.

Tabela 7 – Formulário de aplicação

INDICADORES	AVALIAÇÃO								
	Ausente	Fissuras	Trincas	Infiltração	Eflorescência	Manchas	Corrosão	Outros	Observações
<b>Manifestações Patológicas</b>	Ausente	Fissuras	Trincas	Infiltração	Eflorescência	Manchas	Corrosão	Outros	Observações
<b>Armadura Exposta</b>	Ausente	Presente							
<b>Estado de Conservação</b>	Satisfatório	Não Satisfatório							
<b>Proteção</b>	Ausente	Presente							

Fonte: Autor, 2019.

O formulário contém indicadores para serem avaliados, os quais são:

- Manifestações Patológicas;
- Armadura exposta;
- Estado de conservação;
- Proteção.

No estado de conservação foram considerados alguns parâmetros para os diversos níveis do mesmo, levando em consideração a quantidade de indicadores (manifestações patológicas, armadura exposta, proteção) presente em cada pilar:

- Não satisfatório  $> 50\%$  das ocorrências verificadas;
- Satisfatório  $\leq 50\%$  das ocorrências verificadas.

### 3.1 Método de GUT

Para a análise das anomalias, utilizou-se o método de GUT, ferramenta utilizada para definir níveis de prioridades, que responde racionalmente a questões como: “O que deve ser feito primeiro?” ou “Por onde começar?”. Ou seja, o objetivo da matriz GUT, é ordenar o grau de importância das ações, considerando a gravidade, a urgência e a tendência do fenômeno, para que se possa escolher a decisão mais plausível e favorável a situação (MEIRELES, 2001).

É um método de simples de se implementar, sua aplicação pode ser descrita em quatro etapas simples (SOTILLE, 2014):

- listar os problemas ou pontos de análise a serem sanados;
- pontuar cada problema de acordo com os parâmetros estabelecidos;
- classificar os problemas quanto a sua priorização (om base nos resultados na etapa anterior);
- tomar as decisões estratégicas cabíveis.

Em seguida, após listar os problemas encontrados, se faz a análise de acordo com os parâmetros propostos pelo método GUT (tabela 8), descritos na tabela 4.

Tabela 8 - Parâmetros do Método GUT

VARIÁVEL	CONCEITO
Gravidade	Considera a intensidade e a profundidade dos danos que o problema pode causar se não se atuar sobre ele.
Urgência	Considera o tempo para a eclosão dos danos ou resultados indesejáveis se não se atuar sobre o problema.
Tendência	Considera o desenvolvimento que o problema terá na ausência de ação.

Fonte: Meireles, 2001.

E, com base nos parâmetros anteriores, atribui-se notas, de 1 a 5 (tabela 9), de acordo com as características de cada problema, seguindo os critérios expostos na tabela 5.

Tabela 9 - Critérios de Pontuação

Nota	Gravidade	Urgência	Tendência
5	Extremamente grave	Precisa de ação imediata	Irá piorar rapidamente
4	Muito grave	É urgente	Irá piorar em pouco tempo
3	Grave	O mais rápido possível	Irá piorar
2	Pouco grave	Pouco urgente	Irá piorar a longo prazo
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não irá mudar

Fonte: Periard, 2011.

Classificando-os por ordem de priorização, através de um ranking com os resultados obtidos através de uma matriz de GUT (BRITO, 2017). O cálculo desses resultados é feito pela multiplicação das notas dos parâmetros da tabela 8 (PERIARD, 2011).

Para organização das informações obtidas em campo e de suas análises, utilizou-se a tabela 10 como base, que contém os dados referentes a cada problema patológico, seus diagnósticos e suas possíveis intervenções.

Tabela 10 - Matriz de Diagnóstico e Definição de Conduta de Manifestações Patológicas

<b>Anomalia</b>	<b>IE<math>\alpha</math></b>	<b>Descrição por inspeção visual</b>	<b>Manifestações detectadas</b>	<b>Possíveis Causas</b>	<b>Diagnóstico</b>

Fonte: Adaptado de Brito, 2017.

Para a aplicação da matriz de GUT, considerou-se a gravidade, a urgência e a tendência de cada problema detectado, para definição da ordem de prioridade de intervenção, por meio da matriz como mostra a tabela 11.

Tabela 11 - Matriz de aplicação do Método GUT

<b>Anomalia</b>	<b>G</b>	<b>U</b>	<b>T</b>	<b>GUT</b>	<b>Grau de priorização</b>
<b>Pilar 01</b>					
<b>Pilar 02</b>					
<b>Pilar 03</b>					
<b>...</b>					

Fonte: Adaptado de Brito, 2017.

### 3.2 Ensaio de dureza superficial

A NBR 7584 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio (ABNT, 2012), descreve a forma ideal de realização dos ensaios de dureza superficial. Um ensaio do tipo não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido.

Ainda de acordo com a norma, a aparelhagem para a realização do ensaio é composta pelo esclerômetro de reflexão, que consiste de uma massa-martelo que impulsionada por uma mola se choca através de uma haste, com ponta em forma de calota esférica, com a área de ensaio. Há quatro modelos de esclerômetro, cuja a diferença se dá pela energia de percussão, para saber qual deve ser utilizado, deve-se atentar as características da estrutura de concreto e o grau de precisão desejado. Os quais são:

- a) 30 N.m: mais indicado para obras de grandes volumes de concreto, como concreto-massa e pistas protendidas de aeroporto;
- b) 2,25 N.m: pode ser utilizado em casos normais de construção de edifícios e elementos estruturais;
- c) 0,9 N.m: indicado para concretos de baixa resistência;
- d) 0,75 N.m: mais apropriado para elementos, componentes e peças de concreto de pequenas dimensões e sensíveis aos golpes.

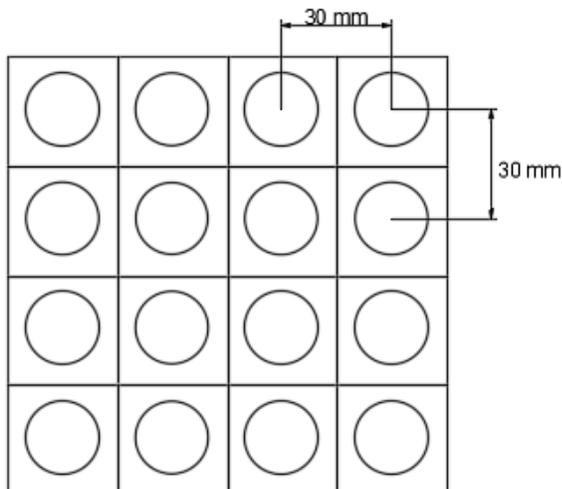
As superfícies do concreto devem ser secas ao ar, limpas e, preferencialmente, planas. Deve-se evitar superfícies irregulares, ásperas, curvas ou talhadas, pois estas não oferecem resultados. Além de evitar também superfícies úmidas ou carbonatadas, ou onde há evidência de fenômenos de segregação ou exsudação, entre outros.

Então, a área de ensaio deve:

- a) estar preparada por meio de polimento (carborundum), toda poeira e pó superficial tem que ser removido à seco;
- b) localizada, preferencialmente, nas faces verticais dos elementos, componentes e peças de concreto;
- c) estar afastada de regiões afetadas por segregação, exsudação, concentração excessiva de armadura, entre outros;
- d) distar no mínimo 50 mm dos cantos e arestas dos elementos estruturais;
- e) compreendida entre 8000 mm<sup>2</sup> (aproximadamente 90 mm x 90 mm) e 40000 mm<sup>2</sup> (200 mm x 200 mm);
- f) estar geométrica e uniformemente distribuídas pela região da estrutura em análise.

A norma também relata que devem ser efetuados 16 impactos em cada área de ensaio, distribuídos uniformemente, na área em estudo e com distância mínima 30 mm entre os centros de 2 impactos. Não sendo permitido mais de um impacto no mesmo ponto. Os quais devem estar uniformemente distribuídos na área dos ensaios, a norma orienta que se desenhe um reticulado e aplique o esclerômetro nas áreas limitadas por ele, com a distância mínima de 30 mm entre os centros de dois impactos, conforme a figura 15.

Figura 15 - Área de ensaio e pontos de impacto (16 impactos)



Fonte: NBR 7584 (ABNT, 2012).

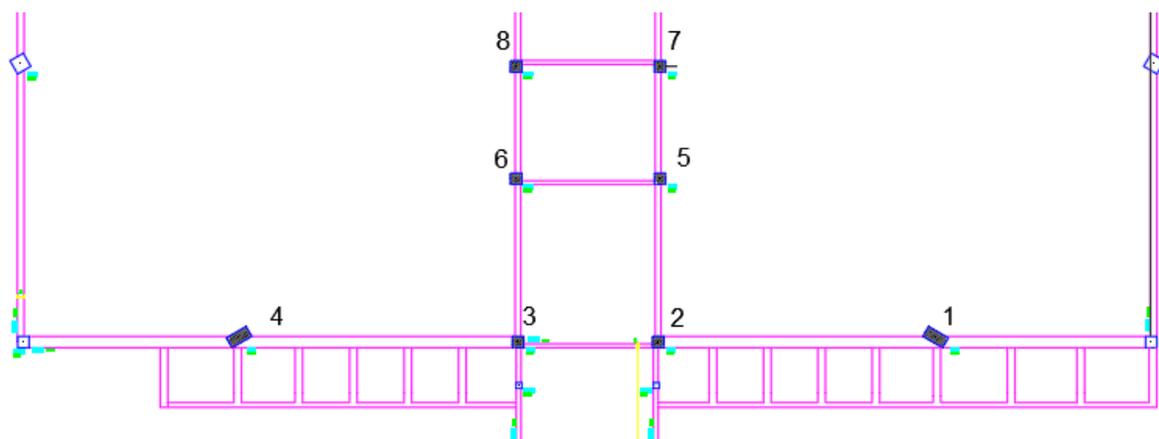
Depois de feito o ensaio, segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012), para se obter o resultado é necessário:

- a) calcular a média aritmética dos 16 valores (impactos) individuais dos índices esclerométricos correspondentes;
- b) desprezar todo índice esclerométrico individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido e calcular a média aritmética;
- c) obter com no mínimo 5 valores individuais o índice esclerométrico médio final. Quando isso não for possível o ensaio esclerométrico dessa área deve ser abandonado;
- d) nenhum dos índices esclerométricos individuais restantes devem diferir em mais do que 10% da média final. Se isso ocorrer o ensaio dessa área deve ser abandonado;
- e) corrigir se necessário o valor médio do índice esclerométrico obtido de uma área de ensaio para um índice correspondente à posição horizontal.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No dia 24/05/2019, foi realizado a inspeção visual e ensaio de dureza superficial “in loco” em oito pilares do 1º pavimento da Biblioteca Central da UFMA, pois são os pilares que mais se encontram expostos à intempéries, são eles os hachurados e numerados na figura 16.

Figura 16 – Croqui da disposição dos pilares



Fonte: Autor, 2019.

Os pilares possuem, de acordo com o projeto, resistência característica do concreto de  $f_{ck} \geq 30$  MPa, além de cobrimento das armações de 30mm, e possuem alturas de 4,55m. Em cada pilar há a descrição de possíveis anomalias e patologias

O esclerômetro utilizado foi o martelo integrado HT-225D de Digita Schmidt com *microprinter* opcional com energia de impacto de 2,25N.m, como mostra a figura 17.

Figura 17 – Esclerômetro HT-225D de Digita Schmidt



Fonte: Autor, 2019.

O teste foi realizado nos oito pilares, em uma altura em torno de 1,5m da base do pilar, todas as áreas de ensaio foram regularizadas com a utilização do carborundum (figura 18) para tornar as superfícies de aplicação mais uniformes e “limpas”.

Figura 18 – Regularização da superfície utilizando carborundum



Fonte: Autor, 2019.

Em cada área de ensaio foram aplicados 16 impactos (Figura 19), todos perpendiculares a área de ensaio (90° ao plano) e verificados os índices esclerométricos individuais e as respectivas médias aritméticas.

Figura 19 – Aplicação dos impactos na área de ensaio



Fonte: Autor, 2019.

O cálculo da média aritmética foi realizado com os 16 (n) valores individuais dos índices esclerométricos correspondentes a cada área de ensaio:

$$M_I = \frac{\sum IE}{n}$$

De acordo com a norma que regimenta o ensaio de esclerometria, foi desprezado todo o índice esclerométrico individual que está afastado de mais ou menos 10% do valor médio obtido. E, após, foi calculado uma nova e definitiva média aritmética com os índices (n') que estavam de acordo com o que regulamenta a norma, caso necessário.

$$M_{II} = \frac{\sum IE}{n'}$$

Após, obtém-se o índice esclerométrico efetivo, multiplicando o índice esclerométrico médio pelo coeficiente de correção “k”, como mostra a equação abaixo.

$$I_{E\alpha} = k \cdot I_E$$

Adotou-se  $k = 1$ , pelo equipamento ter sido pouco utilizado e o foi atestado que o mesmo está calibrado, logo, os índices esclerométricos médios são correspondentes aos índices esclerométricos efetivos.

Abaixo, está descrito os cálculos de média aritmética de cada área de ensaio, utilizando três casas decimais nos resultados, com as informações obtidas através da anamnese em cada pilar. Em cada média calculada, foi utilizada três casas decimais como padrão.

- Pilar 1

Dimensão: 60x150 cm.

Descrição: Mancha em sua parte inferior, ausência de armadura exposta; satisfatório estado de conservação, mas possui arestas quebradas; apresenta o selador como proteção da superfície.

Na tabela 12, estão descritos os valores encontrados do ensaio realizado no pilar 1 (figura 20) está a média dos 16 valores do pilar 1 e o acréscimo e decréscimo de 10% no valor da média.

Figura 20 – Área de ensaio pilar 1



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 12 – Média dos índices esclerométricos aferidos

30,1	25,4	25,4	29,2	<b>27,331</b> <b>±10% [24,598 -30,064]</b>
28,9	28,0	26,3	28,8	
29,4	26,8	23,7	25,6	
28,6	26,9	26,0	28,2	

Fonte: Autor, 2019.

Com isso, foram desprezados os índices afastados em  $\pm 10\%$ , como recomenda a norma técnica NBR 7584:2012, e feita uma nova média aritmética a partir da tabela 13.

Tabela 13 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 1</b>			
-	25,4	25,4	29,2
28,9	28	26,3	28,8
29,4	26,8	-	25,6
28,6	26,9	26	28,2
<b>Média</b>	<b>27,393</b>		
<b>±10%</b>	24,654	30,132	

Fonte: Autor, 2019.

A média encontrada foi de aproximadamente 27,393. E não está diferindo em mais de 10% dos demais valores, logo se pode afirmar que o ensaio é válido.

- Pilar 2

Dimensão: 60x60 cm.

Descrição: Apresenta manchas, corrosão e armadura exposta em sua parte inferior do lado onde foi aplicado o ensaio de dureza superficial; estado de conservação não satisfatório. O mesmo possui arestas quebradas; não apresenta proteção na superfície.

A tabela 14 apresenta os índices esclerométricos referentes a área de ensaio do pilar 2 (figura 21), indicando a média aritmética dos 16 valores referente ao pilar em questão, a qual foi 33,35. Em seguida foi calculado os 10% sobre a média.

Figura 21 – Área de ensaio pilar 2



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 14 – Média índices esclerométricos aferidos

32,3	34,3	34,9	32,0	<b>33,350</b> <b>±10% [30,015 -36,685]</b>
40,9	34,6	34,2	34,2	
42,3	29,4	30,1	33,4	
31,6	29,3	29,5	30,6	

Fonte: Autor, 2019.

Desprezando-se os índices afastados em  $\pm 10\%$ , conforme determina a NBR 7584:2012, foi realizado uma nova média aritmética dos valores restantes, a média foi de 32,927. A mesma está de acordo com o que determina a norma técnica, a média final não difere em mais de 10% dos índices esclerométricos individuais restantes, como mostra a tabela 15.

Tabela 15 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 2</b>			
32,3	34,3	34,9	32
-	34,6	34,2	34,2
-	-	30,1	33,4
31,6	-	-	30,6
<b>Média</b>	<b>32,927</b>		
<b><math>\pm 10\%</math></b>	29,635	36,220	

Fonte: Autor, 2019.

- Pilar 3

Dimensão: 60x60 cm.

Descrição: Apresenta manchas e bolor; não há armadura exposta; não possui proteção superficial; estado de conservação não satisfatório.

A tabela 16, apresenta os índices esclerométricos referentes a área de ensaio do pilar 3, figura 23, cálculo da primeira média aritmética com os índices esclerométricos obtidos do ensaio, com média de 45,313.

Figura 22 – Área de ensaio pilar 3



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 16 – Média índices esclerométricos aferidos

39,5	40,7	41,4	39,4	<b>45,313</b> <b>±10% [40,781 -49,844]</b>
39,5	42,3	48,6	49,1	
53,3	50,7	51,1	48,5	
41,5	44,9	44,0	50,5	

Fonte: Autor, 2019.

Desprezando-se os 10% para mais e menos, como calculados na tabela 15, os valores restantes estão na tabela a 17. A nova média é 45,038, atendendo o estabelecido na norma técnica.

Tabela 17 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 3</b>			
-	-	41,4	-
-	42,3	48,6	49,1
-	-	-	48,5
41,5	44,9	44	-
<b>Média</b>	<b>45,038</b>		
<b>±10 %</b>	40,534	49,541	

Fonte: Autor, 2019.

- **Pilar 4**

Dimensão: 60x150 cm.

Descrição: Ausência de manifestações patológicas; não apresenta manchas, corrosão e armadura exposta; estado de conservação satisfatório, apesar de incidência de arestas quebradas; possui proteção superficial, selador.

A tabela 18 apresenta os índices esclerométricos referentes a área de ensaio do pilar 4, figura 23, com cálculo referente primeira média aritmética com os índices esclerométricos obtidos do ensaio, com média de 30,875.

Figura 23 – Área de ensaio pilar 4



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 18 – Média índices esclerométricos aferidos

34,4	34,4	24,6	29,8	<b>30,875</b> <b>±10% [27,788-33,963]</b>
29,4	29,0	30,8	32,5	
31,2	31,8	31,9	30,3	
32	32,3	31,5	28,1	

Fonte: Autor, 2015.

Em seguida, foram retirados os valores divergentes em mais de 10% da média e recalculada uma nova média com os valores restante. Obteve-se como média final o valor de 30,815, como se apresentado na tabela 19.

Tabela 19 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 4</b>			
-	-	-	29,8
29,4	29	30,8	32,5
31,2	31,8	31,9	30,3
32	32,3	31,5	28,1
<b>Média</b>	<b>30,815</b>		
<b>±10%</b>	27,734	33,897	

Fonte: Autor, 2019.

- Pilar 5

Dimensão: 60x60 cm.

Descrição: Ausência de manifestações patológicas, mas presença de arestas quebradas; não apresenta manchas, corrosão e armadura exposta; estado de conservação satisfatório; apresenta proteção superficial, selador.

A tabela 20, apresenta os índices esclerométricos referentes a área de ensaio do pilar 5 (figura 24), com o cálculo da primeira média aritmética com os índices esclerométricos obtidos do ensaio, com média de 37,056.

Figura 24 – Área de ensaio pilar 5



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 20 – Média índices esclerométricos aferidos

41,3	39,2	37,4	33,9	<b>37,056</b> <b>±10% [33,351-40,762]</b>
39,1	30,1	34,4	31,0	
34,3	35,9	47,3	33,3	
39,8	35,0	39,2	41,7	

Fonte: Autor, 2019.

Em seguida, foram retirados os valores que diferem em mais de 10% da média e recalculada uma nova média com os valores restante, dispostos na tabela 21. Obteve-se como média final de 37,227. Essa média não difere em mais de 10% dos valores restantes, logo, o ensaio está de acordo com a norma técnica.

Tabela 21 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 5</b>			
41,3	39,2	37,4	33,9
39,1	-	34,4	-
34,3	35,9	-	-
39,8	35	39,2	-
<b>Média</b>	<b>37,227</b>		
<b>±10 %</b>	33,505	40,950	

Fonte: Autor, 2019.

- Pilar 6

Dimensão: 60x60 cm.

Descrição: Ausência de manifestações patológicas, mas presença de arestas quebradas; não apresenta manchas, corrosão e armadura exposta; estado de conservação satisfatório; com proteção superficial, selador.

A tabela 22, apresenta os índices esclerométricos referentes a área de ensaio do pilar 6 (figura 25). Obteve-se a primeira média aritmética com os índices esclerométricos obtidos do ensaio, com média de 35,306.

Figura 25 – Área de ensaio pilar 6



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 22 – Média índices esclerométricos aferidos

32,6	35,5	30,9	33,0	<b>37,056</b> <b>±10% [33,351 -40,762]</b>
34,1	38,1	36,6	34,9	
33,7	36,6	37,5	37,3	
33,9	34,9	37,6	37,7	

Fonte: Autor, 2019.

Em seguida, foram retirados os valores diferentes em mais de 10% da média (tabela 23), e recalculada uma nova média com os valores restantes. Obteve-se como média final de 35,6.

Tabela 23 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 6</b>			
32,6	35,5	-	33
34,1	38,1	36,6	34,9
33,7	36,6	37,5	37,3
33,9	34,9	37,6	37,7
<b>Média</b>	<b>35,600</b>		
<b>±10%</b>	<b>32,040</b>	<b>39,160</b>	

Fonte: Autor, 2019.

- **Pilar 7**

Dimensão: 60x60 cm.

Descrição: Ausência de manifestações patológicas, mas presença de arestas quebradas; não apresenta manchas, corrosão e armadura exposta; estado de conservação não satisfatório; sem revestimento argamassado, logo sem proteção superficial.

A tabela 24, apresenta os índices esclerométricos referentes a área de ensaio do pilar 7 (figura 26). Além de apresentar a primeira média aritmética, com valor obtido de 29,8.

Figura 26 – Área de ensaio pilar 7



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 24 – Média índices esclerométricos aferidos

28,2	31,4	30,8	30,6	<b>29,800</b> <b>±10% [26,820-32,780]</b>
30,9	31,1	30,6	31,2	
28,0	28,6	29,3	27,0	
31,7	29,8	26,8	30,8	

Fonte: Autor, 2019.

Após, foram retirados os valores que diferem em mais de 10% da média e recalculada uma nova média com os valores restante, apresentados na tabela 25. Obteve-se como média final de 30,000. A mesma atende ao estabelecido na norma técnica.

Tabela 25 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 7</b>			
28,2	31,4	30,8	30,6
30,9	31,1	30,6	31,2
28	28,6	29,3	27
31,7	29,8	-	30,8
<b>Média</b>	<b>30,000</b>		
<b>±10 %</b>	27,000	33,000	

Fonte: Autor, 2019.

- Pilar 8

Dimensão: 60x60 cm.

Descrição: Apresenta corrosão e armadura exposta, além de arestas quebradas; não apresenta manchas, corrosão e armadura exposta; estado de conservação regular; sem proteção superficial.

A tabela 26 apresenta os índices esclerométricos referentes a área de ensaio do pilar 8 (figura 27), referente ao cálculo da média aritmética com os índices esclerométricos obtidos do ensaio, com média de 25,306. Não houve a necessidade de retirar os 10% dos índices, pois todos os valores estavam dentro do intervalo de  $\pm 10\%$ .

Figura 27 – Área de ensaio pilar 8



Fonte: Autor, 2019.

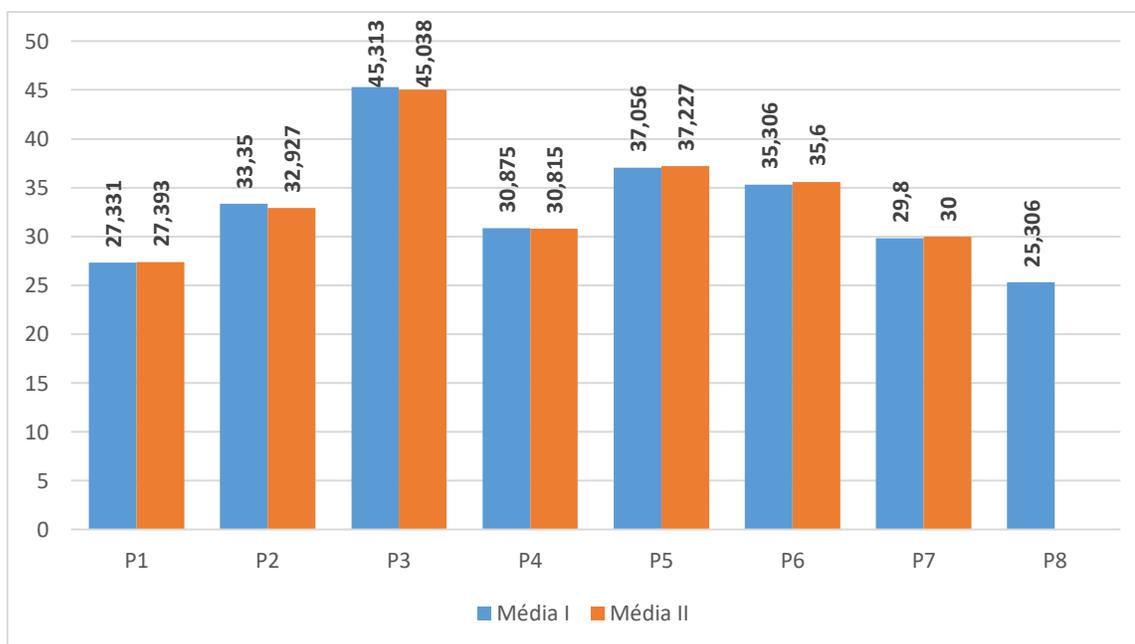
Tabela 26 – Média índices esclerométricos aferidos

25,1	24,5	24,5	24,3	<b>25,306</b> <b>±10% [22,776 -27,837]</b>
26,8	25,8	24,9	23,1	
25,1	26,1	25,1	26,0	
26,3	26,2	27,2	23,9	

Fonte: Autor, 2019.

O gráfico 1 apresenta a comparação entre a primeira média (M I), calculada com todos os valores, e a segunda média (M II), onde são desprezados os valores que diferem em mais de 10% da média inicial.

Gráfico 1 - Comparativo dos Índices Esclerométricos Médios

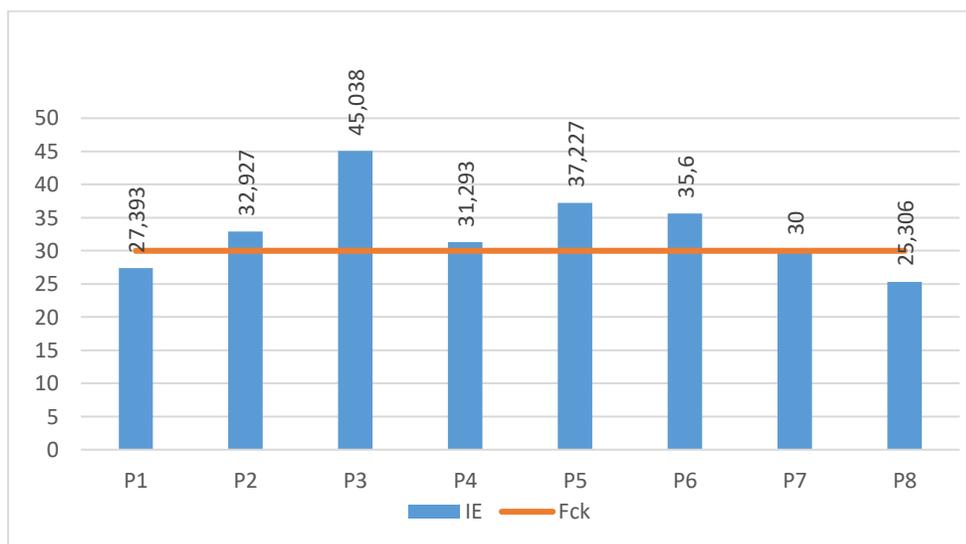


Fonte: Autor, 2019.

Nota-se, pelo gráfico 1, que a média final (M II, em laranja), mesmo retirando-se alguns valores, elas continuam próximas da média inicial.

O gráfico 2 traz a relação entre a média de final do índice esclerométrico de cada pilar e o Fck de projeto, que é 30 MPa.

Gráfico 2 - Comparativo dos Índices Esclerométricos com o fck em projeto



Fonte: Autor, 2019.

De acordo com o gráfico, a maioria dos pilares apresentaram o índice esclerométrico efetivo acima do Fck do projeto, que é 30 MPa, garantido que a resistência superficial do concreto desses pilares está de acordo com o esperado, exceto o pilar P1 que apresentou IE efetivo de 27,393 e o P8 com IE efetivo de 25,306. Ou seja, 75% dos pilares ensaiados, estão em boas condições quanto à dureza superficial.

Deve-se atentar aos fatores que influenciam o resultado do ensaio, de acordo com a NBR 7584:2012. Diante disso, pode-se salientar, que o pilar 3, por se encontrar mais próximo da avenida e o valor de seu índice esclerométrico aproximadamente 51% maior que o fck em projeto, ele está mais susceptível a carbonatação, pois a norma relata que a influência desta promove a superestimação da resistência.

Os resultados dos índices esclerométricos efetivos de cada pilar foram analisados de acordo com a tabela 27 que relaciona o índice esclerométrico médio com a qualidade da cobertura do concreto.

Tabela 27 - IE ante a qualidade da cobertura do Concreto

<b>Índice esclerômetro médio</b>	<b>Qualidade da cobertura do concreto</b>
> 40	Boa, superfície dura
Entre 30 - 40	Satisfatória
Entre 20 - 30	Ruim
< 20	Fissuras/concreto solto junto à superfície

Fonte: Evangelista, 2002 apud Moraes Filho, 2013.

De acordo com a qualidade da cobertura do concreto, os pilares apresentaram as seguintes correlações com a tabela 27, descritas na tabela 28:

Tabela 28 – Relação dos pilares com a qualidade da cobertura do concreto

<b>Pilar</b>	<b>Qualidade da cobertura do concreto</b>
P1	Ruim
P8	
P2	Satisfatória
P4	
P5	
P6	
P7	
P3	Boa, superfície dura

Fonte: Autor, 2019.

Analisando a tabela 28, de acordo com os intervalos dos índices de esclerometria tem-se que:

- 25% dos pilares possuem qualidade de cobertura ruim;
- 62,5% dos pilares possuem qualidade de cobertura satisfatória;
- 12,5% dos pilares possuem qualidade de cobertura boa.

A tabela 29 estabelece parâmetros comparativos da resistência à compressão de acordo com os índices esclerométricos obtidos.

Tabela 29 – Relação entre a tensão de ruptura a compressão do concreto em função do índice esclerométrico

<b>Índice esclerométrico</b>	<b>Resistência à compressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
< 20	< 100
20 a 30	100 a 200
30 a 40	200 a 350
40 a 50	350 a 500
> 50	> 500

Fonte: Evangelista, 2002 apud Moraes Filho, 2013.

De posse das informações contidas na tabela 29, como resultado para os pilares ensaiados têm-se:

Tabela 30 – Relação dos pilares com a resistência à compressão

<b>Pilar</b>	<b>Resistência à compressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
P1	100 a 200
P8	
P2	200 a 350
P4	
P5	
P6	
P7	
P3	350 a 500

Fonte: Autor, 2019.

As mesmas quantidades percentuais obtidos com a tabela 27, referente a qualidade de cobertura do concreto, são válidas para a tabela 29 de resistência à compressão.

Após a realização do primeiro ensaio, houve a necessidade de realizá-lo novamente em dias posteriores, devido às anomalias aparentes detectadas nos pilares P1, P2, P3, P5 e P8, como armaduras expostas, manchas de umidade e bolor, para aferir se essas manifestações influenciariam nos resultados do ensaio de dureza superficial. Os ensaios foram realizados nos pontos próximos as anomalias presentes e feitos de acordo com o que a NBR 7584:2012. E os resultados obtidos, estão descritos a seguir.

Para o P1:

Tabela 31 – Média dos índices esclerométricos aferidos

30,8	28,9	29,8	26,5	<b>29,800</b> <b>±10% [24,975-30,525]</b>
30,9	31,1	30,6	31,2	
28,0	28,6	29,3	27,0	
31,7	29,8	26,8	30,8	

Fonte: Autor, 2019.

Retirando os valores de  $\pm 10\%$ , tem-se:

Tabela 32 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 1</b>			
-	28,9	29,8	26,5
-	27,2	25,1	27,6
29,7	27,6	26,9	28,3
-	26,8	26,8	28,4
<b>Média</b>	<b>27,662</b>		
<b>±10%</b>	24,895	30,428	

Fonte: Autor, 2019.

Para o pilar 2, os resultados obtidos foram:

Tabela 33 – Média dos índices esclerométricos aferidos

34,5	32	32,3	33,8	<b>37,556</b> <b>±10% [33,801-41,312]</b>
39,2	36	41,2	42,1	
40,6	39,5	37,8	40,2	
38,7	34,7	37,9	37,7	

Fonte: Autor, 2019.

Retirando os valores de  $\pm 10\%$ , tem-se:

Tabela 34 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 2</b>			
34,5	-	-	-
39,2	36	41,2	-
40,6	39,5	37,8	40,2
38,7	37,4	37,9	37,7
<b>Média</b>	<b>38,392</b>		
<b>±10%</b>	34,553	42,231	

Fonte: Autor, 2019.

Para o pilar 3:

Tabela 35 – Média dos índices esclerométricos aferidos

43,9	48,2	47,9	42,6	<b>44,213</b> <b>±10% [39,791-48,634]</b>
53,3	50,7	47,9	42,6	
40,5	37,5	41,9	43,3	
42,2	42,4	41,4	41,4	

Fonte: Autor, 2019.

Retirando os valores de  $\pm 10\%$ , tem-se:

Tabela 36 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 3</b>			
43,9	48,2	47,9	42,6
-	-	47,9	42,6
40,5	-	41,9	43,3
42,2	42,4	41,1	41,4
<b>Média</b>	<b>43,531</b>		
<b><math>\pm 10\%</math></b>	39,178	47,884	

Fonte: Autor, 2019.

Para o pilar 5:

Tabela 37 – Média dos índices esclerométricos aferidos

42,5	41,1	40,2	40,8	<b>44,213</b> <b><math>\pm 10\%</math> [39,791-48,634]</b>
41,8	40,7	38,1	40,7	
39,9	30,2	36,5	36,5	
39,7	34,3	37,4	40,8	

Fonte: Autor, 2019.

Retirando os valores de  $\pm 10\%$ , tem-se:

Tabela 38 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 5</b>			
42,5	41,1	40,2	40,8
41,8	40,7	38,1	40,7
39,9	-	36,5	36,5
39,7	-	37,4	40,8
<b>Média</b>	<b>39,764</b>		
<b><math>\pm 10\%</math></b>	35,788	43,741	

Fonte: Autor, 2019.

Para o pilar 8:

Tabela 39 – Média dos índices esclerométricos aferidos

29,5	25,5	26,6	31	<b>28,219</b> <b>±10% [25,397-31,041]</b>
40,6	27,6	27,6	25,9	
26,8	27,5	28,3	28,1	
25,2	26,8	27,6	26,9	

Fonte: Autor, 2019.

Retirando os valores de  $\pm 10\%$ , tem-se:

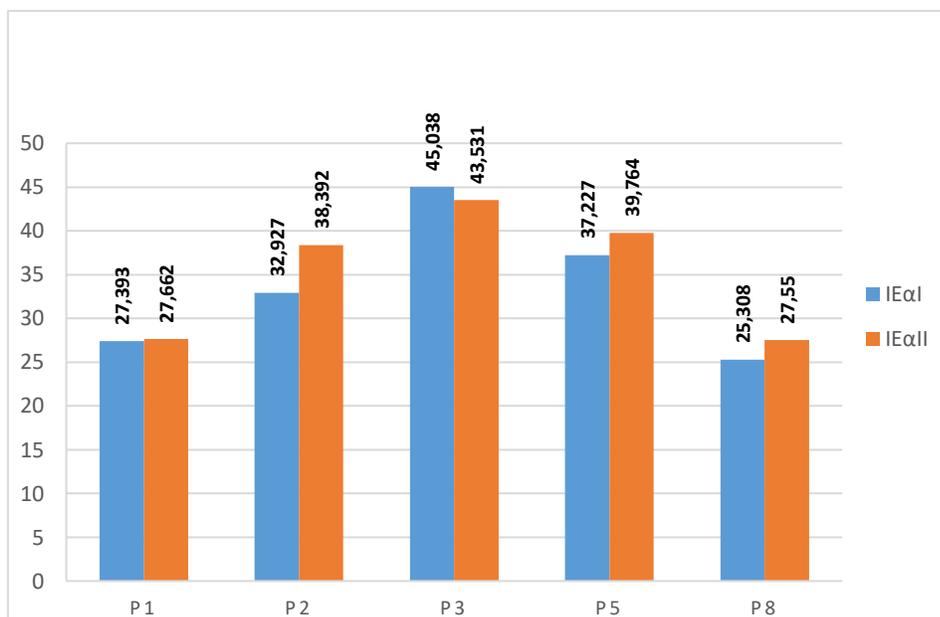
Tabela 40 – Média dos índices esclerométricos afastados em mais de 10%

<b>Pilar 8</b>			
29,5	25,5	26,6	31
-	27,6	27,6	25,9
26,8	27,5	28,3	28,1
-	26,8	27,6	26,9
<b>Média</b>	<b>27,550</b>		
<b>±10%</b>	24,795	30,305	

Fonte: Autor, 2019.

Comparando os resultados obtidos do primeiro ensaio com os resultados do ensaio realizado posteriormente (gráfico 3), temos:

Gráfico 3 - Comparativo entre Índices Esclerométricos Médios dos pilares em que há presença de manifestações patológicas



Fonte: Autor, 2019.

Para o pilar 1, houve um aumento de 0,98%; pilar 2, um aumento de 16,6%; pilar 3 houve um decréscimo de 3,35%; pilar 5, aumento de 6,81%; pilar 8, aumento de 8,86%. Analisando pilar por pilar de acordo com o gráfico 3, evidencia-se que a maioria dos valores, dos dois ensaios realizados, são próximos e que não há alteração devido a presença de uma manifestação patológica.

Exceto o pilar 2, no qual houve um aumento do índice esclerométrico em mais de 16% em relação ao índice do primeiro ensaio, é importante frisar que esse pilar apresenta, em sua base, armadura exposta e em processo de corrosão. Pode-se supor que esse pilar possa estar sofrendo despassivação da sua armadura devido à carbonatação, por ação dos íons de cloreto, pois houve um aumento do seu índice esclerométrico.

Deve-se salientar que os resultados dos índices esclerométricos estão sujeitos a variações devido às influências do tipo de cimento, agregado, a superfície, entre outros, como dispõe a norma técnica inerente a esse ensaio, fatores os quais não puderam ser apurados devido à falta dessas informações e os resultados não foram avaliados quanto a esses aspectos. Além disso, para as áreas dos pilares em que há umidade pode haver alteração sobre os valores dos índices esclerométrico

provenientes de infiltração através da água das chuvas, porém não foram feitas aferições sob essas áreas.

#### 4.1 Diagnóstico e definição de conduta das anomalias identificadas no estudo de caso

Os diagnósticos preliminares deste estudo foram obtidos por meio de uma inspeção visual de possíveis patologias detectadas na Biblioteca Central da UFMA, indicando a incidência de anomalias e manifestações patológicas detectadas nos pilares estudados, além da apresentação de suas possíveis causas conforme as tabelas 40 a 47. E também, os dados coletados nesta inspeção fornecem as informações necessárias para aplicação do método GUT.

Tabela 41 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas

Pilar	Anomalia	IE $\alpha$	Descrição por inspeção visual	Manifestações detectadas	Possíveis Causas	Diagnóstico
1		27,393	Localizada na base do pilar 1 e arestas defeituosas	Manchas de umidade e arestas quebradiças	1)Infiltração, águas de chuva que penetram na edificação 2)Condensação, vapor d'água que se condensa nas superfícies	Manchas de umidade

Fonte: Adaptado de Brito, 2017

Tabela 42 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas

Pilar	Anomalia	IE $\alpha$	Descrição por inspeção visual	Manifestações detectadas	Possíveis Causas	Diagnóstico
2		32,927	Localizada na base do pilar 2	Armadura exposta - Corrosão de armadura	1) Insuficiência de cobertura 2) Segregação dos materiais 3) Carbonatação do concreto	Corrosão da armadura

Fonte: Adaptado de Brito, 2017.

Tabela 43 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas

Pilar	Anomalia	IE $\alpha$	Descrição por inspeção visual	Manifestações detectadas	Possíveis Causas	Diagnóstico
3		45,038	Localizada na base do pilar 3	Manchas de umidade, bolor, arestas quebradas.	1) Falha ou ausência na impermeabilização 2) Infiltração, águas de chuva que penetram na edificação	Manchas de umidade e bolor

Fonte: Adaptado de Brito, 2017.

Tabela 44 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas

<b>Pilar</b>	<b>Anomalia</b>	<b>IE<math>\alpha</math></b>	<b>Descrição por inspeção visual</b>	<b>Manifestações detectadas</b>	<b>Possíveis Causas</b>	<b>Diagnóstico</b>
4		30,815	Localizada na aresta do pilar 4	Nenhuma, mas passível de manifestação patológica em potencial, como corrosão da armadura	Desgaste	Arestas quebradas

Fonte: Adaptado de Brito, 2017.

Tabela 45 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas

Pilar	Anomalia	IEa	Descrição por inspeção visual	Manifestações detectadas	Possíveis Causas	Diagnóstico
5		37,227	Localizada na base do pilar 5	Manchas de umidade	1) Falha ou ausência na impermeabilização 2) Infiltração, águas de chuva que atingem a edificação	Manchas de umidade

Fonte: Adaptado de Brito, 2017.

Tabela 46 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas

<b>Pilar</b>	<b>Anomalia</b>	<b>IE<math>\alpha</math></b>	<b>Descrição por inspeção visual</b>	<b>Manifestações detectadas</b>	<b>Possíveis Causas</b>	<b>Diagnóstico</b>
6		35,6	Localizada na aresta do pilar	Nenhuma, mas passível de manifestação patológica em potencial, como corrosão da armadura	Desgaste	Arestas quebradas

Fonte: Adaptado de Brito, 2017.

Tabela 47 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas

Pilar	Anomalia	IE $\alpha$	Descrição por inspeção visual	Manifestações detectadas	Possíveis Causas	Diagnóstico
7		30,0	Localizada na aresta do pilar 7	Nenhuma, mas passível de manifestação patológica em potencial, como corrosão da armadura	Desgaste	Arestas quebradas

Fonte: Adaptado de Brito, 2017.

Tabela 48 - Matriz de diagnóstico e definição de conduta de manifestações patológicas

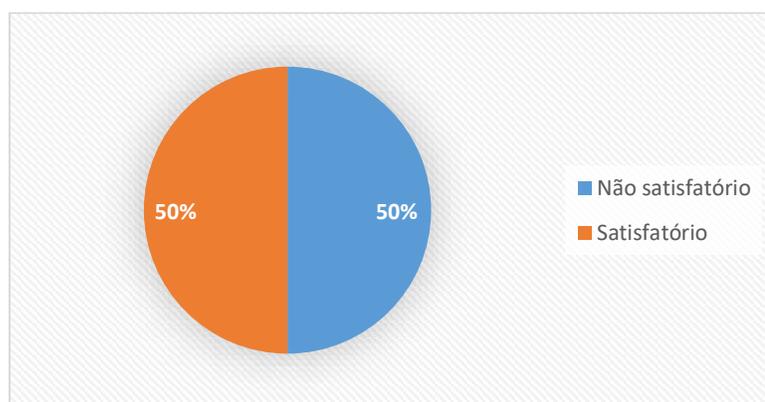
Fonte: Adaptado de Brito, 2017.

Pilar	Anomalia	IE $\alpha$	Descrição por inspeção visual	Manifestações detectadas	Possíveis Causas	Diagnóstico
8		25,306	Localizada na parte inferior do pilar 8	Armadura exposta - Corrosão de armadura	1) Insuficiência de cobrimento das armaduras pelo concreto 2) Segregação dos materiais 3) Carbonatação do concreto	Corrosão da armadura

## 4.2 Indicadores e Diagnósticos

Com critérios preestabelecidos baseados nos indicadores, mais de 50% dos pilares (62%) encontra-se em situação não satisfatório, por apresentarem grande parte dos indicadores definidos. Os percentuais estão descritos no gráfico 4.

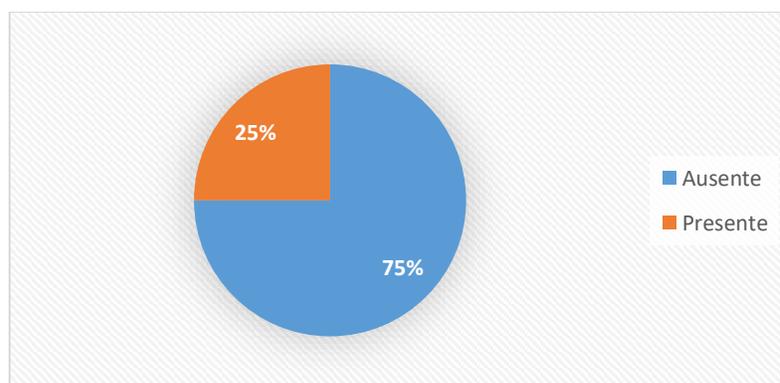
Gráfico 4 – Estado de Conservação



Fonte: Autor, 2019.

No gráfico 5, não há presença de armadura exposta em 75% dos pilares, ou seja, 6 pilares não apresentam, com exceção do pilar 02 e pilar 08, que apresenta, próximo a suas bases, armadura aparente, além de aspectos corrosivos.

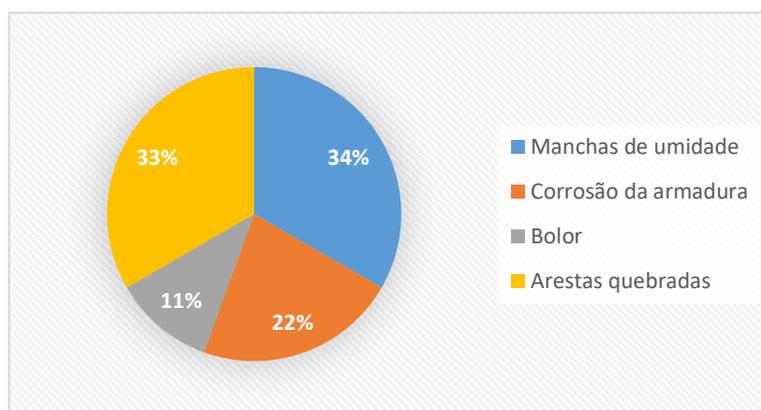
Gráfico 5 – Incidência de Armadura exposta



Fonte: Autor, 2019.

Conforme verificado na subseção anterior, a maioria dos diagnósticos referentes às patologias detectadas, estão relacionadas as manchas de umidade, apresentando uma incidência de 34%, seguido por defeitos nas arestas. As manifestações patológicas apontadas no estudo vistas nesta amostra podem ser averiguadas no gráfico 6.

Gráfico 6 – Anomalias e Manifestações Patológicas



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.3 Matriz GUT

Através da matriz apresentada na tabela 49, classificou-se os problemas detectados no estudo de caso por meio das variáveis da matriz de GUT. Os produtos obtidos por meio da utilização do método demonstram a problemática de cada pilar, levando-se em consideração em seus parâmetros as patologias detectadas e os valores dos índices esclerométricos efetivos ( $IE\alpha$ ), ocasionando na seguinte ordem de priorização:

Tabela 49 - Matriz de aplicação do método GUT

<b>Pilar</b>	<b>G</b>	<b>U</b>	<b>T</b>	<b>GUT</b>	<b>Grau de priorização</b>
<b>Pilar 01</b>	5	4	2	40	2°
<b>Pilar 02</b>	5	5	4	100	1°
<b>Pilar 03</b>	4	3	3	36	3°
<b>Pilar 04</b>	1	1	1	1	5°
<b>Pilar 05</b>	3	3	3	27	4°
<b>Pilar 06</b>	1	1	1	1	5°
<b>Pilar 07</b>	1	1	1	1	5°
<b>Pilar 08</b>	5	5	4	100	1°

Fonte: adaptado de Brito, 2017.

Os resultados obtidos por meio do método demonstram que alguns pilares possuem o mesmo grau de priorização. Para melhor compreensão, a tabela 50 ordena de forma crescente o grau de priorização em suas resoluções, agrupando os pilares que apresentam a mesma pontuação, além de expor os pilares e seus respectivos diagnósticos.

Tabela 50 - Priorização para resolução das manifestações patológicas

<b>Grau de priorização</b>	<b>Pilar</b>	<b>Diagnóstico</b>
1°	Pilar 02	Corrosão de armadura
	Pilar 08	Corrosão de armadura
2°	Pilar 01	Manchas de umidade
3°	Pilar 03	Manchas de umidade e bolor
4°	Pilar 05	Manchas de umidade
5°	Pilar 04	Arestas quebradas
	Pilar 06	Arestas quebradas
	Pilar 07	Arestas quebradas

Fonte: adaptado de Brito, 2017.

Como observado na tabela 50, os diagnósticos referentes a corrosão de armadura, são prioritários por afetarem diretamente o aço das estruturas. As manchas de umidade são as mais incidentes, junto com as arestas quebradas, porém pela primeira se tratar de uma manifestação patológica, se torna mais necessária e urgente sua correção. Mesmo o pilar 03 possuindo aparentemente mais manifestações patológicas que o pilar 01, o último torna-se prioritário, devido ao ser  $IE\alpha$ , que é de 27,393MPa, ser abaixo do  $f_{ck}$  estabelecido em projeto que é 30MPa, ou seja, sua resistência superficial é inferior a resistência esperada.

## 5 CONCLUSÃO

O ensaio de esclerometria realizado neste estudo possuiu o intuito de analisar e verificar a dureza superficial do concreto endurecido com a utilização do Esclerômetro de Reflexão. Os valores obtidos, em sua maioria, corresponderam ao que é esperado da resistência a compressão do concreto que, neste caso, é 30MPa, mas vale ressaltar que esses valores correspondem a cerca de 30mm a 50mm de profundidade da área ensaiada e que estão sujeito a variações decorrentes da influência de alguns fatores como o tipo de cimento, o tipo de agregado, entre outros, que não puderam ser apurados neste estudo.

Observou-se que 34% das manifestações patológicas identificadas nos pilares referem-se as manchas de umidade proveniente das intempéries, 11% a bolor também advindas das intempéries e 22% refere-se a corrosão de armadura que, pelas características apresentadas como a armadura exposta, pode-se supor que essa despassivação da armadura ocorreu através da carbonatação, sendo possível determinar se houve mesmo a ocorrência deste fenômeno através de ensaios específicos.

Em relação a utilização do Método GUT para estabelecer a ordem de priorização de intervenção entre os problemas encontrados, tornou-se possível hierarquizar os riscos relativos às anomalias avaliadas em conjunto com os índices esclerométricos efetivos calculados. Os graus de priorização abrangeram as mesmas anomalias e índices esclerométricos próximos como seus resultados, pois apresentaram semelhanças em suas causas, diagnósticos, e até mesmo, no nível de degradação da estrutura.

Por fim, através dos resultados obtidos quando da realização desse trabalho se pode fornecer informações preliminares à Instituição responsável pela manutenção e preservação da edificação objeto de estudo no que tange as condições técnicas atuais da mesma e ao estabelecimento das melhorias e intervenções prioritárias que se fazem necessárias.

## REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 9607**: Prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 7191**: Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 7584**: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 8548**: Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda - Determinação da resistência à tração. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 8802**: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT\_\_\_\_\_. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: PINI, 1992. 104p.

Angelo, Ana Margarida Vieira. **Análise das patologias das Estruturas em Concreto Armado do Estádio Magalhães Pinto – Mineirão**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.

ANTONIAZZI, J. P. **Patologia da construção: abordagem e diagnóstico**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009. Disponível em: <tp://www.ufsm.br/engcivil/TCC/PROJETO\_TCC\_JULIANA.pdf>. Acesso em 09/06/2019.

ARAÚJO, Adriana de; PANOSSIAN, Zehbour. **Inspeção rotineira de estruturas de concreto armado expostas a atmosferas agressivas**. *Téchne*, São Paulo, n. 177, p.58-64, dez. 2011.

ARAÚJO, Ricardo Melo; RISTOW NETO, Ronaldo. **Avaliação do desempenho de sílica ativa e metacaulim na composição de concreto de alto desempenho com emprego de agregados da região de Curitiba**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curitiba: UTFPR, 2003.

AZEVEDO, Minos Trocoli. et al. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. 1902p, v.2.

BARROS, M. M. S. B. et al. **Recomendações para a produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria**. São Paulo, Projeto EPUSP/SENAI, 1998.

BAKKER, R. F. M. **Corrosion of steel in concrete**. Initiation period. In: Schiessl, P., ed. London, Chapman and Hall, 1988, cap. 3, p. 22-55.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado** – Notas de Aula. UNESP. Bauru, São Paulo, 2006.

BAUER, L A Falcão. **Materiais de construção**. 5ª edição. Rio de Janeiro: RJ. LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1997.

BERTOLINI, L. et al. **Conservation of historical reinforced concrete structures damaged by carbnation induced corrosion by means of electrochemical realkalisation**. *Journal of Cultural Heritage*, v. 9, n. 4, p. 376–385, 2008.

BRANDÃO, A.M.S. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

BRITO, Thaís Farias De. **Análise de Manifestações Patológicas na Construção Civil pelo Método GUT: estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior**. João Pessoa, 2017.

CADORE, William Widmar. **Estudo da Carbonatação da Camada de Cobrimento de Protótipos de Concreto de Altos Teores de Adições Mineraias e Cal Hidratada**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria, 2008.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, J.R.F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. 4.ed. – São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais**: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2ª ed. Brasília, Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1 Ed. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. São Paulo: Ed. Pini, 1988. 522 p.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. São Paulo: Ed. Pini, 1997

CUNHA, A. C. Q. da; HELENE, P. R. **Despassivação das Armaduras de Concreto por Ação da Carbonatação**. São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica, 2001.

DEGUSSA. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. Ed. Red. Rehabilitar. São Paulo, 2003.

DIN - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN EN 14630: **Products and systems for the protection and repair of concrete, structures – Test methods – determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method**, English version, DIN. Berlin, 2007. 10 p.

ELSENER, B. **Half-cell potential mapping to assess repair work on RC structures**. Construction and Building Materials, 15, 2–3. 2001.

FERREIRA, Murillo Batista. **Estudo da Carbonatação Natural de Concretos com Diferentes Adições Minerais após 10 Anos de Exposição**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

FIGUEIREDO, Enio Pazini. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, cap. 27, p. 828- 855. ISBN 85- 98576- 04- 2

FIGUEIREDO, Enio Pazini; MEIRA, Gibson. **Corrosão das armaduras das estruturas de concreto**. Boletim técnico da ALCONPAT Brasil, v. 1, n. 1, 2013.

FORTES, L.R.; ANDRADE, J.C. **Corrosão na armadura do concreto armado: influência dos agentes cloretos e da carbonatação**. 2001.

FUSCO, Pericles. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: Pini. 392p.

GAKLIK, É.S. **Jardim histórico do Palacete Dr. Astrogildo de Azevedo**: mapeamento de manifestações patológicas e métodos de limpeza. 2012. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

GRANATO, J. E. **Apostila: Patologia das construções**. São Paulo, 2002.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de Patologias e suas causas nas Estruturas de Concreto Armado de Obras de Edificações**. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro. Rio de Janeiro, agosto de 2015.

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

HELENE, P. **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001**. Workshop sobre durabilidade das construções. São José dos Campos. Novembro, 2001.

IBRACON – INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Aço na Construção Civil**: presente em obras de concreto de pequeno e grande porte. Revista Concreto e Construções. Ano XXXVI, n. 50. São Paulo, jun/2008.

ISAIA, G.C. **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. Ed. Geraldo Cechella Isaia- São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, v.1, 2005. P. 45 a 74.

KAZMIERCZAK, C. S. **Contribuição para a análise da eficiência de películas aplicadas sobre estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção contra a carbonatação**. 1995. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MACHADO, A. de P. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. São Paulo: Pini, 2002.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil**. São Paulo: Editora PINI, 2007. 260 p. ISBN 978-85-7266-178-2.

MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. R. L. **Durabilidade e proteção do concreto armado**. Revista Técnica, São Paulo, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. Tradutora Cristina Borba. São Paulo: Ibracon, 2008.

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas**. 1. ed. São Paulo: Art & Ciência, 2001.

MORAES, Ana Carolina Lamego. **Recorrência de patologias em processos de ataque via cloreto em concreto armado**. 2012. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MORAES FILHO, José Edival. **Avaliação da resistência do concreto ao meio ambiente em estrutura de concreto do Porto do Recife**: estudo de caso. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 2013.

NAZARIO, Daniel; ZANCAN, Evelise C. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma**: Inspeção dos sete postos de saúde. Santa Catarina, 2011. Disponível em: Acesso em: 09/06/2019.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. São Paulo: Bookman Cia Editora Ltda., 2016.

OLIVEIRA, P. S. F. **Técnicas e tendências para a recuperação, reforço e proteção de estruturas de concreto armado**. Ed. Pini, São Paulo, 2005.

PAPADAKIS, V. G.; VAYENAS, C. G.; FARDIS, M. N. **Fundamental concrete carbonation model and application to durability of reinforced concrete**. In: Durability of Building Materials and Components, 1990, Brighton. Proceedings... London, p. 27-38, 1991.

PARISI JONOV, Cristiane Machado; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; PAULO E SILVA, Adriano de. **Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação**. Ambiente construído. Porto Alegre, RS, BRASIL, v.13, n.1, p.75-94, janeiro a março de 2013.

PAULETTI, C. **Estimativa da carbonatação natural de materiais cimentícios a partir de ensaios acelerados e de modelos de predição**. 2009. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PERIARD, G. **Matriz GUT: Guia Completo**. 2011. Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>>. Acesso em: 25/05/2019.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RAMALHO, M. B. et al. **Avaliação das manifestações patológicas da umidade de edificações em cidades do Vale do Jequitinhonha e Mucuri –MG**. XLII COBENGE: UFJF. Juiz de Fora, 2014.

ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, A. L. **Considerações sobre vida útil do concreto**. 1o. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado. São Carlos, 2005.

SANTOS, A. G. F. S. et al. **Levantamento das manifestações patológicas de uma ponte de concreto armado junto as suas possíveis técnicas de recuperação**. CONPAR2017 – Conferência Nacional de Patologia e Recuperação das Estruturas. Recife, 2017.

SHELMAN, Carolinne *et al.* **A Importância dos Ensaios Não Destrutivos para Diagnóstico de Corrosão nas Estruturas de Concreto Armado.** CONPAR2017- Recife, agosto, 2017.

SMOLCZYK, H. G. **The International Symposium on the Chemistry of Cement.** V. Tokyo, 1969. Part. III, v. II/4, p. 369-384.

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** – São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, Eduardo C. S. **Esclerômetro.** Notas de Aulas do Instituto Militar de Engenharia: Engenheiro Civil. Rio de Janeiro, 2007. Disponível:  
<http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/>: Acesso: 23/06/2019.

TUTIKIAN, B; PACHECO; M. **Boletín Técnico - Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil.** Merida, 2013. Disponível em: < [http://alconpat.org.br/wpcontent/uploads/2012/09/B1\\_Inspe%C3%A7%C3%A3o-Diagn%C3%B3stico-e-Progn%C3%B3stico-na-Constru%C3%A7%C3%A3o-Civil1.pdf](http://alconpat.org.br/wpcontent/uploads/2012/09/B1_Inspe%C3%A7%C3%A3o-Diagn%C3%B3stico-e-Progn%C3%B3stico-na-Constru%C3%A7%C3%A3o-Civil1.pdf) > Acesso em: 25/05/2019.