



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS –**  
**FATECS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**HISA DUTRA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESTRUTURA DE CONCRETO**  
**ARMADO PELO MÉTODO DE ENSAIOS TECNOLÓGICOS NÃO**  
**DESTRUTIVOS – ESTUDO DE CASO EM SUBSOLO DE EDIFICAÇÃO**  
**RESIDENCIAL**

**BRASÍLIA**  
**2018**

**HISA DUTRA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESTRUTURA DE CONCRETO  
ARMADO PELO MÉTODO DE ENSAIOS TECNOLÓGICOS NÃO  
DESTRUTIVOS – ESTUDO DE CASO EM SUBSOLO DE EDIFICAÇÃO  
RESIDENCIAL**

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas (FATECS) do Centro Universitário de Brasília como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio da Cunha Oliveira

**BRASÍLIA  
2018**

**HISA DUTRA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESTRUTURA DE CONCRETO  
ARMADO PELO MÉTODO DE ENSAIOS TECNOLÓGICOS NÃO  
DESTRUTIVOS – ESTUDO DE CASO EM SUBSOLO DE EDIFICAÇÃO  
RESIDENCIAL**

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas (FATECS) do Centro Universitário de Brasília como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio da Cunha Oliveira

Brasília, 29 de Novembro de 2018

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Jorge Antonio da Cunha Oliveira**  
**Orientador**

---

**Prof. Msc. Jocinez Lima Nogueira**  
**Examinador**

---

**Eng. Civil Raíssa Soares do Nascimento**  
**Examinadora**

**BRASÍLIA**  
**2018**

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Elisabete Gonçalves Dutra, e minha madrinha, Antonia Maria de Aquino. Ao meu professor Jorge Antonio Oliveira. Aos meus melhores amigos, Pillar Neves e Matheus Vieira. Aos amigos que ganhei ao longo dessa jornada acadêmica, em especial Tiago Merllo, Thayná Conrado, Raíssa Soares, Yan Amazonas e Victor Falcão. Ao meu time Reverso. Ao meu primeiro amor, N.N. A todos vocês, a minha eterna gratidão.

**“À Marielle Franco e a todas mulheres, que com seu exemplo de luta, nos inspiram mesmo diante das violências, mortes, machismos e omissões.  
Não nos calaremos!  
Nenhuma a menos!”  
- Prof. C. Peter**

“É pelo trabalho que a mulher vem diminuindo a distância  
que a separava do homem, somente o trabalho poderá  
garantir-lhe uma independência concreta.”  
- Simone de Beauvoir

## RESUMO

A vida útil de uma edificação é sem absoluta refuta uma das principais preocupações entre os profissionais da área de construção civil. Através do avanço da ciência em prol dos estudos em otimizar os procedimentos na engenharia, um fator se sobressai globalmente sobre todos os outros: o fator econômico. Dentre as diversas esferas e preocupações em uma construção e manutenção preventiva de qualquer edificação, a economia ligada à praticidade torna-se sendo o guia de práticas a serem tomadas, tanto pelos construtores, como pelos proprietários do imóvel. Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do sistema estrutural do subsolo de uma edificação residencial utilizando-se do recurso de inspeções visuais e ensaios tecnológicos não destrutivos, os quais conforme conceitos abordados em bibliografias e estudos tendem a ser uma das principais ferramentas mais práticas e econômicas, a fim de se obter um diagnóstico na data presente da avaliação de qualquer estrutura de concreto armado. A metodologia de desenvolvimento adotada consistiu-se na realização de uma perícia técnica recorrendo-se do uso da termografia, pacometria, esclerometria e avaliação de frente de carbonatação dos sistemas construtivos do local, sendo estes: cortina de contenção; laje nervurada; vigas e pilares de concreto armado. Os resultados dos ensaios mencionados fizeram jus à inspeção técnica visual realizada previamente, ou seja, todos os resultados obtidos afirmaram a existência de manifestações patológicas em todos os elementos avaliados, colaborando conseqüentemente no prejuízo da vida útil do edifício. Por fim, foram elaboradas medidas corretivas para cada anomalia identificada durante as diligências realizadas, reforçando-se a urgência de tais manutenções, por parte do Condomínio, nos elementos estruturais da laje nervurada, juntas de dilatação e cortina de contenção de concreto armado.

**Palavras-Chave:** *Inspeção Técnica Predial; Estruturas de Concreto Armado; Ensaios Tecnológicos não destrutivos; Estudo de caso; Manifestações Patológicas; Anomalias; Subsolo.*

## **ABSTRACT**

The life span of a building is without any refutation one of the main concerns between professionals of civil construction. Through the advancement of science in favor of studies in optimizing procedures in engineering, one factor stands out globally over all others: the economic factor. Among the various spheres and concerns in a construction and preventive maintenance of any building, the economy linked to practicality becomes the guide of practices to be taken, both by the builders and the owners of the property. Therefore, the objective of this study was to evaluate the performance of the subsoil structural system of a residential building using visual inspections and non-destructive technological tests, which, according to the concepts discussed in bibliographies and studies, tend to be one of the most practical and economical tools in order to obtain a diagnosis at the present date of the evaluation of any reinforced concrete structure. The development methodology adopted consisted in the accomplishment of a technical expertise, using thermography, pacometry, sclerometry and carbonation front evaluation of the constructive systems of the place, which were: curtain of contention, ribbed slab, beams and reinforced concrete pillars. The results of the mentioned tests did justice to the visual inspection previously performed, that is, all the results obtained affirmed the existence of pathological manifestations in all the evaluated elements, thus collaborating in the detriment of the life span of the building. Finally, corrective measures were developed for each anomaly identified during the diligences carried out, reinforcing the urgency of such maintenance by the Condominium, in the structural elements of the ribbed slab, expansion joints and curtain of containment of reinforced concrete.

**Keywords:** *Predial Technical Inspection; Armed Concrete Structures; Non-destructive Technological Tests; Case study; Pathological Manifestations; Anomalies; Subsoil.*

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. OBJETIVO GERAL	3
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>4</b>
2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONCRETO ARMADO	4
2.1.1. DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DO CONCRETO ARMADO	4
2.1.2. SISTEMA ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	11
2.1.3. CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO	17
2.2. CONCEITOS RELACIONADOS AO DESEMPENHO ESTRUTURAL – DETERIORAÇÃO, DURABILIDADE E VIDA ÚTIL	20
2.3. ENGENHARIA DIAGNÓSTICA EM EDIFICAÇÕES	23
2.3.1. INSPEÇÃO TÉCNICA PREDIAL	25
2.3.2. IBAPE – ETAPAS, NÍVEIS E GRAU DE RISCO	28
2.3.3. MANUTENÇÃO ESTRUTURAL PREDIAL	31
2.4. ENSAIOS TECNOLÓGICOS DE CARÁTER NÃO DESTRUTIVO	34
2.4.1. PACOMETRIA	35
2.4.2. ESCLEROMETRIA	37
2.4.3. AVALIAÇÃO DE FRENTE DE CARBONATAÇÃO	39
2.4.4. ANÁLISE POR TERMOGRAFIA	40
2.5. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS MAIS USAS EM EDIFICAÇÕES	41
2.5.1. FISSURAS/TRINCAS	42
2.5.2. INFILTRAÇÃO	44
2.5.3. CORROSÃO DA ARMADURA	45
2.5.4. DETERIORAÇÃO DE JUNTAS DE DILATAÇÃO ESTRUTURAL	47
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>49</b>
3.1. ANÁLISE TÉCNICA VISUAL	52

3.2.	ANÁLISE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	55
3.2.1.	PACOMETRIA	56
3.2.2.	ESCLEROMETRIA	58
3.2.3.	AVALIAÇÃO DE FRENTE DE CARBONATAÇÃO	63
3.3.	ANÁLISE VISUAL DA REDUÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA DA PISCINA	66
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>68</b>
4.1.	ANÁLISE VISUAL DO SUBSOLO	68
4.1.1.	SINAIS DE INFILTRAÇÃO NA LAJE NERVURADA DE CONCRETO ARMADO	68
4.1.2.	SINAIS DE INFILTRAÇÃO NA CORTINA DE SUSTENTAÇÃO DE CONCRETO ARMADO	70
4.1.3.	SINAIS DE CORROSÃO DA ARMADURA NA LAJE NERVURADA	72
4.1.4.	TRINCAS/FISSURAS NA LAJE NERVURADA DE CONCRETO ARMADO	74
4.1.5.	TRINCAS/FISSURAS NA CORTINA DE CONTENÇÃO	75
4.1.6.	DETERIORAÇÃO DAS JUNTAS DE DILATAÇÃO ESTRUTURAL	76
4.2.	ANÁLISE TERMOGRÁFICA	77
4.3.	ANÁLISE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	81
4.3.1.	PACOMETRIA	81
4.3.2.	ESCLEROMETRIA	83
4.3.3.	AVALIAÇÃO DE FRENTE DE CARBONATAÇÃO	86
4.4.	ANÁLISE VISUAL DA REDUÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA DA PISCINA	86
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>89</b>
<b>6.</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>92</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Viga de concreto simples (a) e armado (b).....	5
Figura 2 – Detalhe microscópico do concreto endurecido .....	7
Figura 3 – Representação esquemática da zona de transição nos concretos .....	7
Figura 4 – Interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto .....	8
Figura 5 – Propriedades mecânicas exigíveis de barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado .....	10
Figura 6 – Elementos estruturais .....	11
Figura 7 – Característica de carregamentos pontuais em uma laje (placa) .....	12
Figura 8 – Laje nervurada com moldes plásticos .....	13
Figura 9 – Viga tradicional de concreto sofrendo ações de cargas distribuídas e pontual.....	14
Figura 10 – a) Pilar de concreto em junção com o elemento viga. b) Espessura do cobrimento da armadura de um pilar.....	14
Figura 11 – Tabela de classes de agressividade ambiental (CAA) .....	15
Figura 12 – Esquema de muro de concreto armado em subsolo .....	16
Figura 13 – Inter-relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho .....	21
Figura 14 – Hipóteses para reconversão de estruturas com desempenho insatisfatório .....	23
Figura 15 – Progressividade diagnóstica em edificações.....	24
Figura 16 – Desabamentos na construção civil por falta de inspeção técnica e devida manutenção.....	25
Figura 17 – Possível fluxograma de orientação para interpretação e análise de patologias em edificações.....	27
Figura 18 – Critérios para manutenção das estruturas .....	32
Figura 19 – Custo das várias estratégias de manutenção .....	33
Figura 20 – Exemplos de pacômetros utilizados para esse ensaio não destrutivo .....	36
Figura 21 – Primeiro método eletromagnético do pacômetro a fim de se obter o cobrimento nominal.....	36
Figura 22 – Segundo método eletromagnético do pacômetro a fim de se obter a localização da armadura.....	37
Figura 23 – Esquema ilustrando o funcionamento do esclerômetro de reflexão .....	38
Figura 24 – Índice de pH em escala numérica .....	39

Figura 25 – Ilustração do ensaio de avaliação de frente de carbonatação por meio da aplicação da fenolftaleína.....	40
Figura 26 – Escala de gradiente de temperatura .....	41
Figura 27 – Distribuição da incidência dos acidentes prediais por tipo de origem.....	42
Figura 28 – Mecanismos de corrosão em uma barra de aço imersa no concreto.....	46
Figura 29 – Detalhes construtivos de junta de dilatação em laje nervurada .....	47
Figura 30 – Localização da edificação em estudo, norteando-se as torres habitacionais e a área comum de lazer .....	49
Figura 31 – a) Trena a laser STAKLEY. b) e c) Fissurômetro SOLOTEST .....	52
Figura 32 – Câmera SONY semiprofissional para registro fotográfico.....	52
Figura 33 – Câmera FLIR Modelo C2 utilizada para as inspeções de análise estrutural por termografia .....	53
Figura 34 - Planta Baixa do subsolo indicando a orientação de início e fim da inspeção realizada .....	53
Figura 35 – Sinais de infiltração na cortina de contenção localizada próxima à vaga 1008 (identificação do condomínio) .....	54
Figura 36 – Sinais de infiltração, eflorescência e corrosão da armadura na laje nervurada do subsolo.....	54
Figura 37 – Deterioração da junta de dilatação próxima à vaga 404 (identificação do condomínio) .....	54
Figura 38 – Medição da trinca/fissura localizada na cortina de concreto armado .....	55
Figura 39 – Sinais de infiltração com presença de estufamento e descascamento da pintura na cortina de contenção.....	55
Figura 40 – Pacômetro modelo Bosch D-tect 150 Professional.....	56
Figura 41 – Ensaio 1 de pacometria realizado no pilar da vaga 113 (identificação do condomínio) .....	57
Figura 42 – Ensaio 2 de pacometria realizado no pilar da vaga 1011 (identificação do condomínio) .....	57
Figura 43 – Ensaio 3 de pacometria realizado na laje nervurada acima da vaga 1011 (identificação do condomínio) .....	58
Figura 44 – Ensaio 4 de pacometria realizado no pilar da vaga 1005 (identificação do condomínio) .....	58
Figura 45 –Esclerômetro Schmidt PROCEQ utilizado nos ensaios de esclerometria na laje nervurada do subsolo da edificação .....	59

Figura 46 – Disco de carborundum, o qual é utilizado para realização do ensaio de esclerometria .....	60
Figura 47 – Visualização nítida das exatas posições das barras de aço na laje nervurada.....	60
Figura 48 – Esquema ilustrativo da malha dividida em 16 pontos para a realização do ensaio de esclerometria .....	61
Figura 49 – Elaboração da malha in locu. a) Utilização de fita adesiva na cor branca. b) Utilização do pacômetro para mapeamento das barras de aço.....	61
Figura 50 – Realização do ensaio 1 de esclerometria na laje nervurada acima das vagas 613 e 512 (identificação do condomínio) .....	62
Figura 51 – Realização do ensaio 2 de esclerometria na laje nervurada acima da vaga 609 (identificação do condomínio) .....	62
Figura 52 – Realização do ensaio 3 de esclerometria na laje nervurada acima da vaga 113 (identificação do condomínio) .....	62
Figura 53 – Realização do ensaio 4 de esclerometria na laje nervurada acima da vaga 1011 (identificação do condomínio) .....	63
Figura 54 – Realização do ensaio 5 de esclerometria na laje nervurada acima da vaga 1005 (identificação do condomínio) .....	63
Figura 55 – Realização da aplicação 1 de fenolftaleína na laje nervurada acima da vaga 609 (identificação do condomínio) .....	64
Figura 56 - Realização da aplicação 2 de fenolftaleína na laje nervurada acima da vaga 513 (identificação do condomínio) .....	65
Figura 57 - Realização da aplicação 3 de fenolftaleína na laje nervurada acima da vaga 811 (identificação do condomínio) .....	65
Figura 58 - Realização da aplicação 4 de fenolftaleína na laje nervurada acima da vaga 1010 (identificação do condomínio) .....	65
Figura 59 - Realização da aplicação 5 de fenolftaleína na laje nervurada acima da vaga 1005 (identificação do condomínio) .....	66
Figura 60 – Corte AA da Planta Arquitetônica do condomínio em estudo.....	67
Figura 61 – Sinais de infiltração na laje nervurada do subsolo.....	68
Figura 62 – Sinais de eflorescência e manchas na laje de concreto armado do subsolo em estudo .....	68
Figura 63 – Presença de sal de candlot na laje nervurada .....	69
Figura 64 – Sinais de estufamento e deslocamento da pintura na cortina de contenção localizada na vaga 505 (identificação do condomínio).....	70

Figura 65 – Sinais de infiltração na cortina de concreto armado, além de presença de trincas/fissuras (localizada na vaga 503 – identificação do condomínio).....	71
Figura 66 – Planta arquitetônica do subsolo indicando precisa localização da anomalia em estudo .....	71
Figura 67 – Corrosão da armadura verificada na laje nervurada do subsolo da edificação .....	72
Figura 68 – Comprovação de carbonatação do concreto e visualização de corrosão nas barras de aço da laje de concreto armado em estudo .....	73
Figura 69 – Presença de trincas/fissuras na laje superior do subsolo do edifício .....	74
Figura 70 – Telha fibrocimento/amianto acima da vaga 611 (localização do condomínio) utilizada para redirecionamento da água.....	74
Figura 71 – Trincas/fissuras ocasionadas devido à falta de amarração estrutura-alvenaria-estrutura.....	75
Figura 72 – Trincas/fissuras vistoriadas na cortina de contenção do subsolo.....	75
Figura 73 –Croqui 1- Representação das trincas/fissuras no sistema construtivo pilar-alvenaria-viga.....	76
Figura 74 – Juntas de dilatação deterioradas entre as vagas 404 e 613 (identificação por parte do condomínio) .....	76
Figura 75 – Falhas no material mastique e selante da junta de dilatação vistoriada.....	77
Figura 76 – Registro termográfico e fotográfico da cortina de contenção localizada na rampa de acesso ao subsolo do edifício .....	79
Figura 77 – Registro termográfico e fotográfico da cortina de contenção localizada próxima a entrada de acesso à torre A.....	79
Figura 78 – Registro termográfico e fotográfico do sistema estrutural com alvenaria .....	80
Figura 79 – Registro termográfico e fotográfico da laje nervurada do subsolo.....	80
Figura 80 – Print de informações a respeito de dados do projeto de arquitetura aprovado para construção da edificação em estudo .....	82
Figura 81 – Ábaco empregado no ensaio de esclerometria.....	84
Figura 82 – Ensaio de avaliação da frente de penetração de carbonatação do concreto na laje superior do subsolo da edificação .....	86
Figura 83 – Resultado do ensaio de redução do nível d’água solicitado. (a) Nível de água registrado ao início do monitoramento. (b) Nível de água registrado ao final do monitoramento .....	87
Figura 84 – Falhas nas juntas de assentamento de ambas as piscinas do condomínio .....	87

Figura 85 – Sinais de eflorescência e deslocamento de peças vistoriados no revestimento cerâmico da piscina adulto .....	88
Figura 86 – Falhas no rejuntamento da piscina infantil e peça cerâmica quebrada vistoriados na piscina infantil.....	88

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de pacometria realizados no subsolo da edificação.....	81
Tabela 2 – Valores de cobrimento nominal para peças estruturais .....	82
Tabela 3 - Planilha com os resultados dos ensaios de esclerometria realizados na laje nervurada.....	84
Tabela 4 – Resultados dos valores de IE MÉDIO obtidos e os valores de resistência superficial do concreto, em Mpa, de cada lugar ensaiado.....	85

## SIGLAS

% .....	Percentual
a/c .....	Relação água/cimento
cm .....	Centímetro
mm .....	Milímetro
MPa .....	Mega-pascal
END .....	Ensaio tecnológico não destrutivo

## **APÊNDICES**

Apêndice A – Planilha de Ensaios Técnicos de Esclerometria

Apêndice B – Quadro de Classificação de Grau de Risco e Manutenções

Apêndice C – Plantas Arquitetônicas da Edificação fornecidas pelo Condomínio

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. GENERALIDADES

Historicamente, sabe-se que a pedra natural e a madeira, foram os primeiros materiais a serem empregados nas construções, sendo o ferro e o aço utilizados apenas séculos depois. O concreto é considerado um dos materiais mais recentemente utilizado no âmbito da construção civil, especificadamente por volta de 1850 (BASTOS, 2006).

A excelente resistência do concreto à água, a facilidade com a qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos através de uma variedade de formas e tamanhos devido à sua consistência plástica no estado fresco, além do baixo custo e usualmente rápida disponibilidade do material para uma obra, somados à capacidade de o aço suportar tensões de tração, tornaram o concreto armado como sendo o material preponderante em qualquer sistema estrutural de edificações (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

Todavia, a resistência e durabilidade do concreto armado que atenda aos requisitos necessários para correto desempenho estrutural requer uma série de cuidados desde sua fase de produção, abrangendo a melhor escolha de materiais e formulação dos diferentes concretos empregados, transpassando pelo controle tecnológico (recebimento, homogeneização da mistura e correta aplicação, adensamento e cura) até uma verificação das condições reais do concreto armado na estrutura, por intermédio de ensaios *in locu* não destrutivos e semi destrutivos (SAMANIEGO, 2014).

Por meio do desenvolvimento de pesquisas durante os últimos 70 anos, dentre as alternativas disponíveis de maior acessibilidade tanto no viés prático como econômico de avaliação do desempenho de uma estrutura de concreto armado, a realização de uma análise estrutural por intermédio de ensaios *in locu* não destrutivos acaba se sobressaindo entre as outras opções de verificação das condições reais do concreto.

Ademais, surgem simultaneamente aos estudos, a viabilidade destes métodos de avaliação, em um maior grau possível de aproximação, de analisarem-se as propriedades físicas ou mecânicas do concreto armado por meio da qual pode ser estimada a resistência à compressão e tração, resistências as quais sofrem comprometimento em seus valores ao longo dos anos devido ao surgimento de manifestações patológicas, falhas e/ou anomalias.

Assim, a fim de se estudar as manifestações patológicas, possíveis agentes causadores da deterioração estrutural do concreto armado, emergiu-se uma nova área de estudos na engenharia civil, denominada de patologia do concreto armado.

“Designa-se genericamente por Patologia das estruturas esse novo campo da engenharia das construções que se ocupa das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas” (SOUZA & RIPPER, 1998).

Inúmeras são as causas que acarretam o surgimento de patologias, as quais se tornam responsáveis pela perda de desempenho e vida útil de qualquer edificação. Por estes motivos é de extrema importância a realização de inspeções e realizações de ensaios técnicos para análises estruturais visando a criação de um plano de manutenção seja preventiva ou corretiva.

O presente trabalho baseia-se em uma avaliação estrutural do subsolo de uma edificação residencial em Águas Claras – Distrito Federal, tendo como enfoque a identificação de manifestações patológicas que surgiram ao longo dos anos, buscando como resultado um diagnóstico das anomalias identificadas e sugestões de manutenções corretivas que devem ser tomadas por parte do condomínio em questão.

Vale destacar que, segundo representantes legais do condomínio, a área do subsolo apresentava sinais de infiltração, anomalia a qual preocupou os moradores e funcionários da edificação, tornando-se então o principal motivo do interesse das partes na realização de inspeções e elaboração de um laudo técnico para averiguar as condições estruturais deste ambiente.

## **1.2. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar o desempenho de uma estrutura de concreto armado localizada no subsolo de uma edificação residencial através de inspeções técnicas utilizando-se do recurso de ensaios não destrutivos realizados *in locu*.

## **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Constituem-se como objetivos específicos para o desenvolvimento deste trabalho:

- Realizar uma inspeção técnica conforme os padrões IBAPE – SP (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – São Paulo);
- Realizar de acordo com normas técnicas de inspeções prediais os seguintes ensaios não destrutivos: esclerometria (ABNT NBR 7584:2012); pacometria e avaliação de penetração de frente de carbonatação (através de aplicação direta da substância química fenolftaleína);
- Diagnosticar manifestações patológicas e anomalias através de vistorias e ensaios tecnológicos, os quais são majoritariamente mais acessíveis em seus vieses econômicos;
- Comprovar empiricamente os conceitos acadêmicos sobre a importância da realização de manutenções, a fim de se valorizar a vida útil de uma edificação;
- Elaborar propostas de manutenções corretivas necessárias com o objetivo de recuperação do sistema estrutural do ambiente em estudo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONCRETO ARMADO

#### 2.1.1. DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DO CONCRETO ARMADO

O concreto, em sua natureza básica, há muitos anos, é definido como sendo um material plástico que é moldado de maneira a adquirir a forma desejada antes que se desenvolva um processo de endurecimento adquirindo resistência suficiente para resistir sozinho aos esforços que o solicitam (KAEFER, 1998).

O concreto armado é uma combinação de concreto – pasta composta por agregados miúdos (areia livre de impurezas) e graúdos (pedras de tamanhos variados), cimento e água, conhecida desde a Antiguidade – combinado com uma armadura passiva (geralmente de aço), previamente montada dentro de uma forma, cuja geometria é adequada ao carregamento da estrutura (SANTOS, 2008).

Segundo BASTOS (2006), o concreto em si é um material que apresenta alta resistência às tensões de compressão, porém apresenta baixa resistência à tração (cerca de 10% da sua resistência à compressão). Assim sendo, surge a necessidade de se juntar ao concreto um material com alta resistência à tração. Com esse material composto (concreto e armadura barras de aço), surge então o chamado “concreto armado”, onde as barras da armadura absorvem as tensões por barras de aço.

Em resumo, define-se o concreto armado como “*a união do concreto simples e de um material resistente à tração (envolvido pelo concreto) de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes*” (BASTOS, 2006). De forma esquemática pode-se indicar que o concreto armado é:

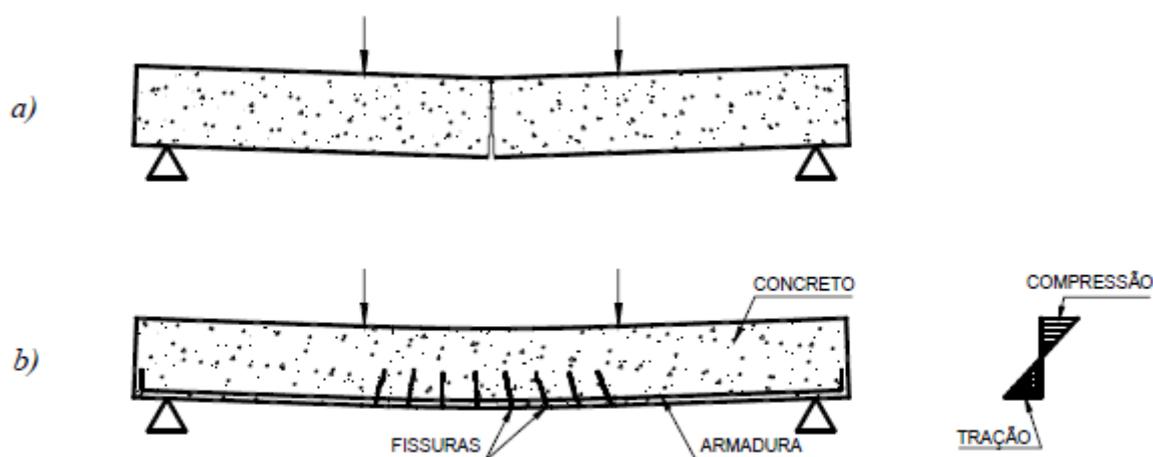
**Concreto armado = concreto simples + armadura + aderência.**

A NBR 6118:2014 define elementos de concreto armado como sendo “*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*” e explicita que armadura passiva é “*qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada*”.

Assim, a armadura passiva do concreto armado tem que ser um material com altas resistências mecânicas, principalmente resistência à tração, não tendo que ser necessariamente de aço, podendo ser outro tipo de material como fibra de carbono, bambu, etc.

Todavia, características do aço e do concreto combinadas entre si, tornam excelente o trabalho conjunto entre eles. Entre estas principais características pode-se citar os coeficientes de dilatação térmica dos dois materiais que são praticamente iguais. Outro aspecto positivo é que o concreto protege o aço da oxidação (corrosão), desde que o cobrimento nominal existente seja suficiente, garantindo assim a durabilidade e qualidade do conjunto da peça. Um exemplo deste trabalho conjunto e solidário entre o concreto e a armadura fica bem caracterizado na análise de uma viga de concreto simples (sem armadura) (Figura 1a) que rompe bruscamente a tensão de tração atuante para alcançar e superar a resistência do concreto à tração em comparação com uma viga com armadura convenientemente posicionada na região das tensões de tração, onde eleva-se significativamente a capacidade resistente da peça estrutural (Figura 1b) (BASTOS, 2006).

Figura 1 - Viga de concreto simples (a) e armado (b)



Fonte : PFEIL, 1989

Ademais, a viabilidade econômica de se adotar como solução estrutural o material concreto armado dá-se por conta da facilidade de se encontrarem no comércio brasileiro barras e fios de aço, onde torna-se então possível de se combinar resistência mecânica, trabalhabilidade, disponibilidade no mercado principalmente no Brasil, o qual é produtor de minério de ferro e baixo custo de produção (GIONGO, 2007).

A engenhosidade do concreto armado resume-se então em combinar a viabilidade econômica com a propriedade de resistência à compressão do concreto e resistência à tração do aço, dando origem a um material capaz de suportar cargas e vencer grandes vãos e balanços, nos formatos mais variados. Assim, surgem conceitos e propriedades do concreto armado que devem ser estudados para a total compreensão de sua funcionalidade e empregabilidade.

#### **2.1.1.1. PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO**

O comportamento mecânico do concreto (material para estruturas de concreto armado e protendido) é diretamente influenciado por fatores como: resistência mecânica; aderência com as barras das armaduras; densidade conveniente para garantir impermeabilidade da estrutura; proteção das armaduras com relação a corrosão; tipo de solicitação e velocidade de carregamento; além da relação água/cimento e idade, forma e dimensões do concreto e seus corpos de prova (JACINTHO & GIONGO, 2007).

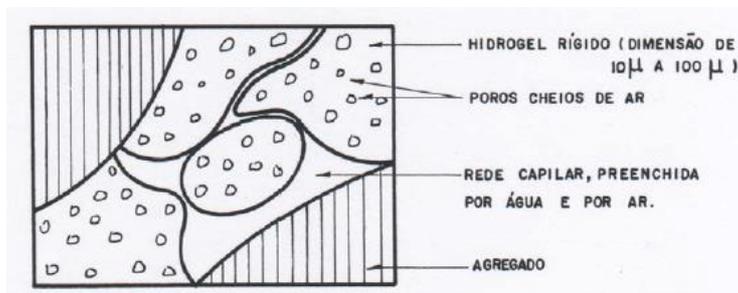
A estrutura interna do concreto exerce grande influência tanto na resistência mecânica como na deformabilidade das peças de concreto armado. No processo de mistura dos agregados graúdos e miúdos com cimento e água (componentes do concreto) começa a se processar a reação química do cimento com a água resultando assim na formação de gel de cimento. Durante a mistura do concreto, este gel de cimento envolve os grãos dos agregados, endurecendo gradualmente e formando então cristais, os quais vão se associando com o tempo. Ao término do endurecimento do gel, liga-se os agregados, resultando então em um material resistente monolítico, ou seja, o concreto (GIONGO, 2007).

Ainda conforme GIONGO 2007, a estrutura interna do concreto resulta em uma mistura bastante heterogênea: adquire a forma de cimento endurecido, de grãos de agregados graúdo e miúdo de várias dimensões e formas, envoltos por grande quantidade de poros e capilares portadores de água que não entrou em reação química e, ainda, vapor de água e ar. Conclui-se então que o concreto, fisicamente, representa um material capilar poroso, sem continuidade da massa, no qual se acham presentes os três estados de agregação – sólido, líquido e gasoso.

Em suma, as propriedades referentes à deformabilidade do concreto decorrem essencialmente da constituição da matriz de pasta de cimento (Figura 2), cuja heterogeneidade é condicionada pelas reações de hidratação do cimento. Quanto menor os espaços contidos

nesta malha da matriz, menor a porosidade do concreto (diminuindo a probabilidade de surgimento de manifestações patológicas) e maior a sua resistência mecânica.

Figura 2 – Detalhe microscópico do concreto endurecido



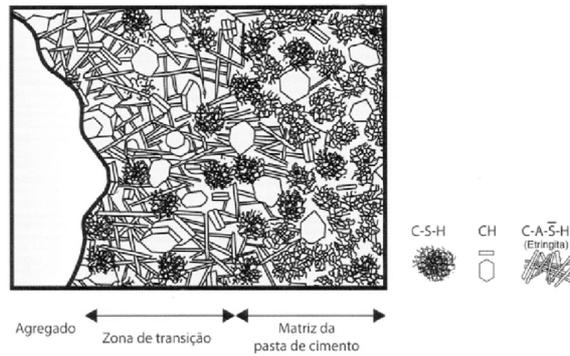
Fonte: GIONGO, 2007

Esta relação tensão-deformação (aplicação de força por unidade de área relacionada com a mudança no comprimento) nos materiais geralmente é expressa em termos de resistência, módulo de elasticidade, ductilidade e dureza do concreto. Define-se então a resistência do concreto como a medida da quantidade de tensão necessária para que o material se rompa, onde essa resistência está sobre função do processo de hidratação do cimento (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

Ademais ao valor da resistência do concreto a ser utilizado, segundo MEHTA (2014), o engenheiro civil deve conhecer o módulo de elasticidade do material, pois o mesmo influencia diretamente na rigidez da mistura do concreto. De modo geral, o módulo elástico do concreto na compressão varia de 14 a 40 GPa e define-se como sendo a razão entre a tensão e a deformação reversível do material. Assim, o concreto simples (sem armadura passiva) apresenta comportamento inelástico antes de romper, além de apresentar resistência muito menor que a resistência individual do agregado quanto a pasta de cimento hidratada. E de acordo com MEHTA & MONTEIRO:

Essas anomalias de comportamento do concreto podem ser explicadas com base em sua microestrutura, especialmente pelo importante papel na zona de transição na interface entre agregado graúdo e pasta de cimento. (MEHTA & MONTEIRO, 2014)

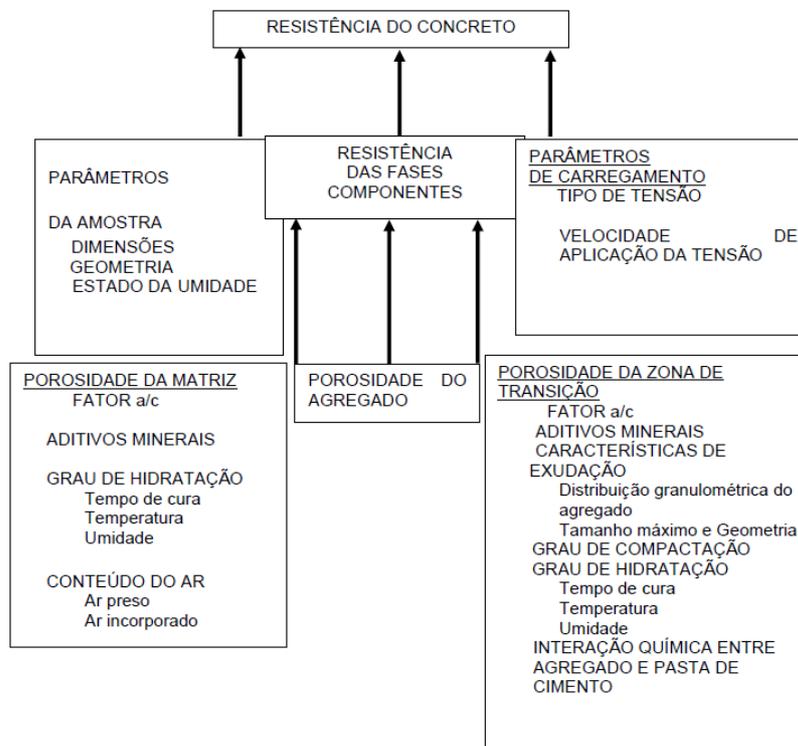
Figura 3 – Representação esquemática da zona de transição nos concretos



Fonte: MEHTA & MONTEIRO, 2008

Microscopicamente, esta zona de transição (Figura 3) é a responsável pela presença de microfissuras no concreto, através da presença de grande volume e vazios capilares, além de hidróxido de cálcio. A zona de transição então é considerada a fase de resistência limite do concreto, a qual caracteriza-se como a adesão dos produtos de hidratação e agregados por forças de Van der Waals. Por fim, MEHTA & MONTEIRO, indicam conforme esquema representado pela Figura 4 a seguir, a interação de todos os fatores que influenciam nas propriedades mecânicas do concreto.

Figura 4 – Interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto



Fonte: MEHTA & MONTEIRO, 1994

### 2.1.1.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO

GIONGO (2007) afirma que em estruturas de concreto armado, as barras e fios de aço da armadura passiva são convenientemente posicionados nos elementos estruturais a fim de se absorver as tensões de tração em virtude dos esforços solicitados. Assim, as barras de aço absorvem forças de compressão atuantes em pilares (os quais são submetidos à flexão oblíqua composta, necessitando da presença de estribos para evitar suas flambagens) e absorvem também forças de tração nas lajes e vigas (elementos estruturais fletidos).

Os tipos de barras de aços encontrados no comércio brasileiro apresentam formas da superfície, dimensões dos diâmetros e processo de fabricações diferentes. Ademais, a escolha do tipo do aço a ser adotado nas estruturas depende da forma do elemento, das intensidades das solicitações e da disponibilidade de fornecimento próximo ao local da construção. Assim, é de suma importância conhecer as propriedades mecânicas das barras e fios de aço destinado a comporem os elementos estruturais em concreto armado. Vale destacar que propriedades mecânicas do aço, tais como resistência mecânica, dureza, ductilidade e deformabilidade são inerentes à sua composição química e à microestrutura (JACINTHO & GIONGO, 2007).

Em relação ao uso em estrutura de concreto armado, os requisitos fundamentais do aço necessários são: ductilidade e homogeneidade; elevada relação entre as deformações de proporcionalidade (relativa à resistência de escoamento) e a de escoamento; soldabilidade, para permitir emendas; e resistência razoável à corrosão (PETRUCCI, 1976).

Comprovou-se empiricamente que os aços-carbonos, de pequeno e médio teor de carbono (obtidos por laminação), satisfazem os requisitos fundamentais citados acima, todavia, em relação à resistência razoável à corrosão, utiliza-se a aplicação de aditivos incorporados ao concreto durante a mistura dos agregados, cimento e água, com a finalidade de se então proteger as barras e fios da armadura passiva em questão, caso ocorra ataque de agentes externos que podem transpassar a região do revestimento nominal também responsável pela segurança estrutural da peça.

A NBR 7480 estabelece as condições físicas exigíveis na encomenda, fabricação e fornecimento de barras e fios de aço para o uso apropriado em armaduras para concreto armado. De acordo com esta norma técnica, barras *são produtos de diâmetro nominal igual ou maior do que 5,0 mm, obtidos exclusivamente por laminação a quente, e de acordo com o valor característico da resistência de escoamento são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50 e*

fios são os diâmetros nominais iguais ou menor do que 10,0 mm, obtidos por trefilação ou processo equivalente, por exemplo, estiramento, e de acordo com o valor característico da resistência de escoamento são classificados na categoria CA-60.

É importante ressaltar o significado dos caracteres adotados na classificação das normas técnicas em relação ao aço. É definido então que CA indica que o material (seja barras ou fios) é para uso em estruturas de concreto armado e o número a seguir desta sigla (25, 50 ou 60) indica a resistência característica de escoamento na unidade em kilograma força por milímetro quadrado (kgf/mm<sup>2</sup>), o qual é equivalente à 0,1 Mpa. Sendo assim, o CA-50 indica um aço designado à ser armadura passiva para estrutura de concreto armado, contendo a resistência de escoamento de 500Mpa.

Por fim, ressaltam-se as propriedades geométricas, a aderência com o concreto, os valores de resistências características de escoamento, os limites de resistências e os alongamentos das barras e fios de aço como sendo as principais propriedades mecânicas desta armadura passiva utilizada em sistemas estruturais majoritariamente nos dias atuais (GIONGO, 2007). A Figura 5 a seguir indica por meio de tabela as principais propriedades mecânicas exigíveis de barras e fios de aço para suas utilizações em armaduras para concreto armado.

Figura 5 – Propriedades mecânicas exigíveis de barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado

Categoria	Valores mínimos de tração				Ensaio de dobramento a 180 °		Aderência	
	Resistência característica de escoamento <sup>a</sup> $f_{yk}$ MPa <sup>a</sup>	Limite de resistência <sup>b</sup> $f_{st}$ MPa <sup>f</sup>	Alongamento após ruptura em 10 $\Phi$ <sup>c</sup> A %	Alongamento total na força máxima <sup>d</sup> $A_{gt}$ %	Diâmetro do pino mm		Coeficiente de conformação superficial mínimo $\eta$	
					$\phi < 20$	$\phi \geq 20$	$\Phi > 10$ mm	$\Phi \geq 10$ mm
CA-25	250	1,20 $f_y$	18	-	2 $\phi$	4 $\phi$	1,0	1,0
CA-50	500	1,08 $f_y$	8	5	3 $\phi$	6 $\phi$	1,0	1,5
CA-60	600	1,05 $f_y$ <sup>c</sup>	5	-	5 $\phi$	-	1,0	1,5

<sup>a</sup> Valor característico do limite superior de escoamento  $f_{yk}$  da ABNT NBR 6118 obtido a partir do LE ou  $\bar{\sigma}_e$  da ABNT NBR ISO 6892.

<sup>b</sup> O mesmo que resistência convencional à ruptura ou resistência convencional à tração (LR ou  $\bar{\sigma}_t$  da ABNT NBR ISO 6892).

<sup>c</sup>  $\Phi$  é o diâmetro nominal, conforme 3.4.

<sup>d</sup> O alongamento deve ser atendido através do critério de alongamento após ruptura (A) ou alongamento total na força máxima ( $A_{gt}$ ).

<sup>e</sup> Para efeitos práticos de aplicação desta Norma, pode-se admitir 1 MPa = 0,1 kgf/mm<sup>2</sup>.

<sup>f</sup>  $f_{st}$  mínimo de 660 MPa.

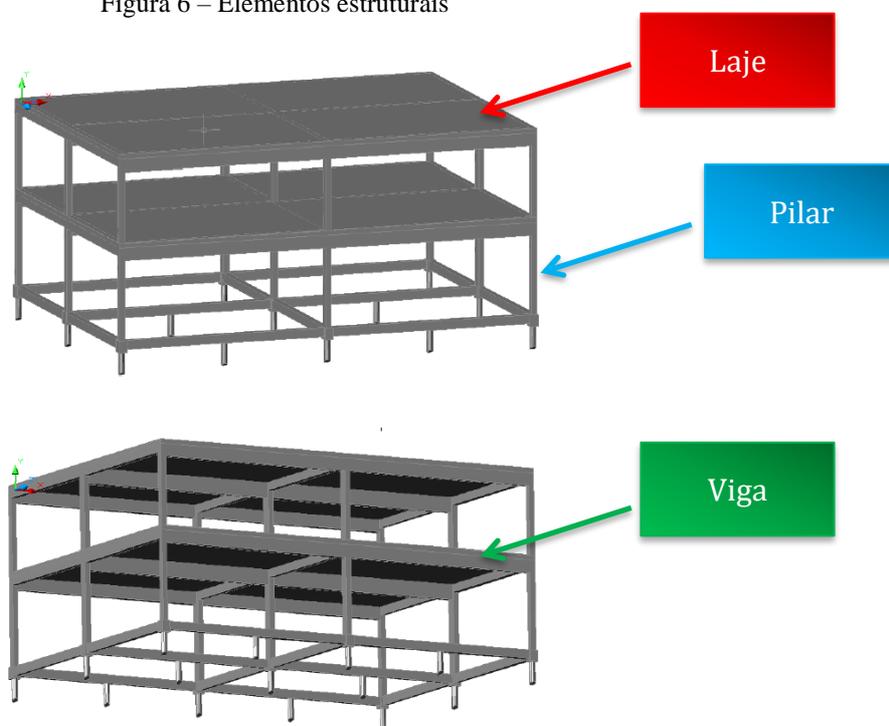
Fonte: NBR 7480:2007

## 2.1.2. SISTEMA ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

O sistema construtivo no âmbito das edificações em uma maneira bem simples de execução contempla basicamente estrutura portante, vedações, aberturas, cobertura e instalações básicas. Entre os diversos sistemas construtivos conhecidos no Brasil, o sistema do concreto armado é irrefutavelmente o mais utilizado. A maioria das obras nas áreas urbanas brasileiras são baseadas nesse sistema, tanto construções consideradas legalizadas ou não. Baseada nesta premissa é fato que nenhum outro material de construção é tão consumido no país quanto o cimento, ingrediente principal do concreto armado e essencial também para os tipos de vedação que o acompanham (SANTOS, 2008).

Nas construções de concreto armado, sejam estas de pequeno ou grande porte, existem elementos estruturais preponderantes, os quais devem ser citados nesta bibliografia a fim de se obter referencial teórico e embasamento prático para um bom entendimento a respeito da realização das inspeções técnicas e avaliação dos resultados obtidos ao longo deste trabalho de conclusão de curso. Assim sendo, podem-se citar as lajes, vigas, pilares e cortina de contenção como sendo os elementos estruturais mais comuns utilizados no Brasil atualmente. A Figura 6 ilustra três dos elementos citados.

Figura 6 – Elementos estruturais



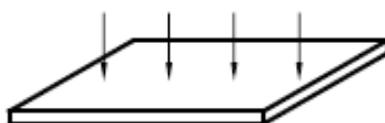
Fonte: BASTOS, 2015

### 2.1.2.1. LAJES

As lajes são elementos geométricos classificados como planos bidimensionais, onde duas dimensões (comprimento e largura) são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que sua terceira dimensão (espessura). São classificadas também como elementos de superfície ou placas.

Este elemento estrutural é destinado a receber a maior parte das ações aplicadas em uma edificação vertical, sendo estas cargas provenientes de pessoas, móveis, pisos, alvenaria e os diversos tipos de cargas que possam existir em relação à finalidade arquitetônica do espaço em que esta peça faz parte. Estas ações são aplicadas perpendicularmente ao plano da laje, as quais podem ser aplicadas pontualmente ou de forma distribuída (Figura 7). Por fim, estas ações provenientes das cargas existentes são transmitidas para as vigas de apoio existentes nas bordas da laje ou em alguns casos, podem ser transmitidas diretamente aos pilares (lajes lisas) (BASTOS, 2015).

Figura 7 – Característica de carregamentos pontuais em uma laje (placa)



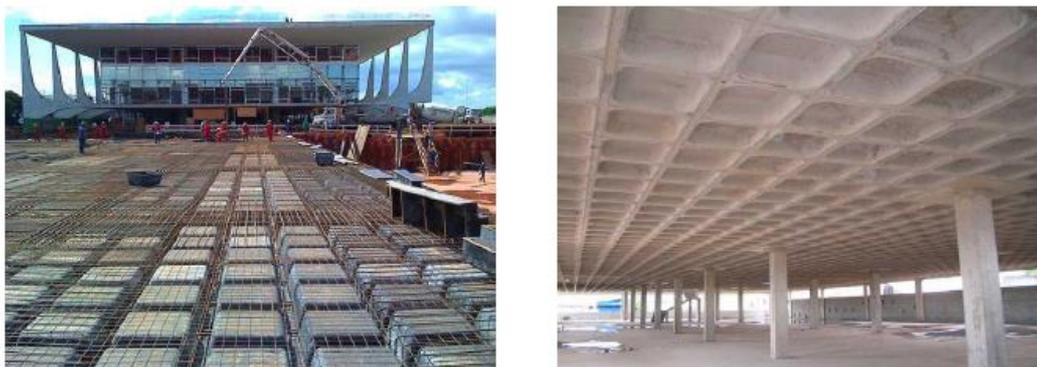
Fonte: BASTOS, 2015

Existem dois tipos de lajes as quais são verificadas mais usualmente nas edificações de múltiplos pavimentos tipo na cidade de Brasília: laje maciça e laje nervurada. Conforme BASTOS (2015), laje maciça de concreto armado é aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais e transversais, geralmente apoiada em vigas ou paredes em suas bordas. Além de serem destinadas aos edifícios comerciais e/ou residenciais, estas lajes são projetadas para construção de muros de arrimo, reservatórios, pontes de grandes vãos, escadas e outros tipos de construções de grande porte.

Não obstante, a laje nervurada de concreto armado também é bastante utilizada em construções residenciais, pois sua pré-fabricação e aplicação na obra apresentam vantagens na praticidade e economia em seus procedimentos executivos. A NBR 6118 define laje nervurada como as “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para

*momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”* (Figura 8). Vale ressaltar que a resistência deste material de enchimento (material inerte citado pela norma, os quais podem ser blocos cerâmicos furados, blocos de concreto celular autoclavado, isopor, etc) são é considerada, pois somente as nervuras (elementos desta peça) que proporcionam a resistência rigidez (BASTOS, 2015).

Figura 8 – Laje nervurada com moldes plásticos



Fonte: BASTOS,2015

Em suma, ainda de acordo com o professor BASTOS (2015), as vantagens das lajes nervuradas em relação às lajes maciças de concreto armado baseiam-se em: menor peso próprio; menor consumo de concreto; redução de fôrmas; maior capacidade de vencer grandes vãos; e maiores planos lisos (sem vigas).

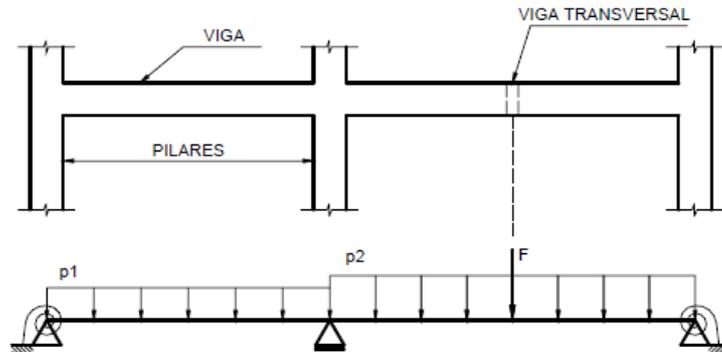
#### **2.1.2.2. VIGAS**

A NBR 6118:2014 estabelece que vigas são “*elementos lineares em que a flexão é preponderante*”. Define-se elemento linear, o elemento o qual seu comprimento longitudinal supera pelo menos três vezes a maior dimensão de sua seção transversal (barra). De modo geral, este elemento estrutural é horizontal e destinado a receber ações das lajes, de outras vigas, alvenaria e em algumas ocasiões cargas advindas de pilares e outras ações externas. Sua principal função baseia-se em vencer vãos e transmitir as ações recebidas para seus apoios (pilares) (BASTOS, 2015).

Assim como acontece nas lajes, as ações são geralmente perpendiculares ao seu eixo longitudinal, as quais podem ser pontuais (concentradas) ou distribuídas. Sua armadura é

composta usualmente por estribos (armadura transversal) e por barras (armadura longitudinal), conforme pode ser visualizado na Figura 9 abaixo.

Figura 9 – Viga tradicional de concreto sofrendo ações de cargas distribuídas e pontual

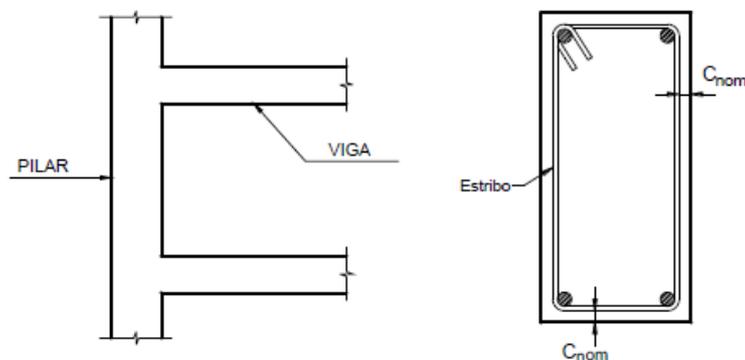


Fonte: BASTOS, 2006

### 2.1.2.3. PILARES

Pilares são “*elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes*”, de acordo com a NBR 6118:2014. Ainda seguindo as definições do estudioso Paulo Sérgio dos Santos Bastos, estas peças de concreto são destinadas a transmitir ações atuantes e recebidas (vigas e lajes) para as fundações da construção, transmitindo simultaneamente estas cargas também para outros elementos de apoio.

Figura 10 – a) Pilar de concreto em junção com o elemento viga. b) Espessura do cobrimento da armadura de um pilar



Fonte: BASTOS, 2006

Em sua estrutura, encontram-se elementos que determinam a durabilidade de estruturas de concreto: a espessura do revestimento da armadura existente na peça (Figura 10b). Este revestimento adequado das armaduras tem como função principal garantir a proteção física e química da armadura passiva. Em ocasiões onde a proteção encontra-se insuficiente em relação à agressividade de um ambiente (Figura 11), o elemento estrutural está mais propício a ter o surgimento de manifestações patológicas ao longo dos anos de uso da edificação. Estas anomalias acabam provocando o deslocamento do revestimento, ao surgimento de trincas/fissuras e à deterioração das armaduras, onde há de vir prejudicar a vida útil da construção.

Figura 11 – Tabela de classes de agressividade ambiental (CAA)

**Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)**

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

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118:2014

Este elemento estrutural é considerado o mais importante em todo o sistema em si, pois além da sua função de transmitir cargas verticais para os elementos de fundação, os pilares fazem parte do sistema de contraventamento, o qual é responsável pela estabilidade global das edificações às ações verticais (peso próprio da peça, cargas provenientes da funcionalidade arquitetônica, etc) e ações horizontais (vento, sismo, desaprumo). Assim, sua relevância abrange tanto o ponto de vista da capacidade de resistência dos edifícios quanto seus aspectos de segurança (BASTOS, 2015).

#### 2.1.2.4. CORTINAS DE CONTENÇÃO

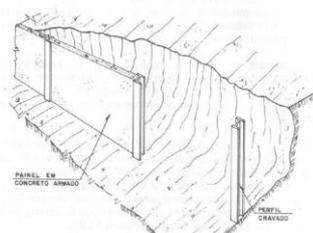
É cada vez mais usual a realização de uma obra de fundações que envolva estruturas de contenção, principalmente na criação de subsolos para estacionamentos em edifícios urbanos, de contenções de cortes ou aterros, através de muros de arrimo objetivando a criação de plataformas. Estas obras de contenção do terreno estão presentes em projetos de estradas, de pontes, de estabilização de encostas, de canalizações, de saneamento, de metrô, entre diversas outras (VALERA, 2017).

Assim, é definido que as estruturas de contenção são necessárias a partir da alteração do estado de equilíbrio natural de um solo ou uma rocha, por meio de solicitações as quais podem ocasionar deformações excessivas e/ou até mesmo o colapso. Este elemento deve então suportar estas pressões laterais (empuxo) do material a ser contido de forma a garantir a segurança ao talude (BECKER, 2014).

Conforme explicado por LUIZ (2014), estas peças de sustentação são classificadas em muros, solos grampeados ou cortinas ancoradas. Um aspecto muito importante para o bom desempenho de qualquer uma dessas três estruturas é um adequado funcionamento do sistema de drenagem objetivando impedir o acúmulo de água entre o retroaterro e o elemento de concreto. Pode-se utilizar dispositivos como drenos sub-horizontais ou barbacãs e uma camada drenante, com a presença de filtros, o quais impedirão que os grãos mais finos sejam carreados junto com a água ocasionando o entupimento dos drenos.

Os muros de concreto armado (Figura 12), também conhecidos como cortinas de contenção e/ou paredes diafragma moldadas *in locu*, é um elemento de fundação e/ou contenção o qual é construído no subsolo um muro vertical de concreto armado cuja espessura pode variar entre 30 cm e 120 cm e profundidade de até 50 metros. Ademais, estes muros têm a capacidade de absorver além de empuxos, cargas axiais e momentos fletores, permitindo assim sua execução com a presença ou não de lençol freático (VALERA, 2017).

Figura 12 – Esquema de muro de concreto armado em subsolo



Fonte: NARESI JR., 2018

De acordo com VARELA (2017), a utilização da parede diafragma, mais conhecida como cortina de contenção, difundiu-se popularmente nas obras subterrâneas devido à sua gama de vantagens, dentre as quais podemos citar: execução rápida e sem vibrações e barulho (inerente à cravação de estacas); obra frequentemente mais econômica devido à incorporação das paredes à estrutura permanente; possibilidade de redução do rebaixamento do lenço d'água atrás do escoramento; possuem como elemento de suporte de escavações grande resistência e pequena deformabilidade (característica ascendente para suporte de escavações próximas a prédios existentes); e são elementos impermeabilizantes, os quais visam o controle da percolação da água. Por estes motivos entre outros, rotineiramente os profissionais da construção civil optam pelo uso deste elemento como contenção de subsolo em edificações residenciais.

### **2.1.3. CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO**

O engenheiro Falcão BAUER, filho do engenheiro Luiz Alfredo, fundador do centro tecnológico de controle da qualidade homônimo, afirma que:

“O controle tecnológico do concreto trata-se de um processo que visa o registro e a garantia da conformidade ou fatos não conformes e ações corretivas dos concretos produzidos e aplicados nas obras de concreto armado, protendido ou pré-fabricado, com base nas especificações técnicas do projeto estrutural ou de outros documentos técnicos” (BAUER, 2017).

Conforme BAUER (2017), o controle tecnológico do concreto compreende os serviços relacionados a:

- a) Tomada de conhecimento quanto ao:
  - *Projeto*: verificação e análise das especificações técnicas de projeto, com relação às propriedades, características e respectivas idades do concreto fresco ou endurecido, visando atender aos parâmetros de desempenho, uso, manutenção e durabilidade; e análise conjunta com o construtor dos elementos estruturais a serem concretados com relação a dimensão máxima do agregado em função da densidade de armadura passiva e de protensão, bem como dimensões das fôrmas, transporte e lançamento do concreto, e características peculiares impostas pelo projeto arquitetônico;

- *Durabilidade*: conhecimento das condições de exposição e ação de agentes externos e classe de agressividade ambiental (micro e macroambiente); pressão hidrostática; ambientes quimicamente agressivos;
  - *Materiais*: materiais disponíveis na região da obra e suas características; definição dos materiais componentes do concreto com base nos requisitos de projeto; estipulação da armazenagem, planos de amostragem, periodicidade e ensaios químicos e físicos para caracterização dos componentes, de acordo com as normas da ABNT;
  - *Equipamentos*: equipamentos disponíveis para mistura, transporte, lançamento e adensamento do concreto;
  - *Cura*: processos de cura a serem empregados e período mínimo especificado;
  - *Mão de Obra*: mão de obra disponível, devidamente qualificada e treinada.
- b) Fornecimento e verificação de dosagem que atendam às condições anteriores;
- c) Acompanhamento da obra através de:
- *Análise da metodologia de execução (plano de concretagem)* em conjunto com o engenheiro responsável pelo projeto estrutural, o arquiteto e o construtor;
  - *Verificação periódica dos materiais empregados*, do estado de manutenção e operação dos equipamentos de mistura, transporte, lançamento e adensamento, bem como dos métodos de cura quanto à sua eficiência;
  - *Cuidados* requeridos pelo processo construtivo e pela retirada do escoramento, levando em consideração as peculiaridades dos materiais (em particular do cimento) e as condições de temperatura ambiente;
  - Caso necessário, deverão ser elaborados *projetos complementares* de escoramento e fôrmas.
- d) Realização dos ensaios:
- *Ensaio de concreto fresco e endurecido*, conforme plano de amostragem previamente definido, de acordo com a NBR 12655 – *Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*, e especificações de projeto; interpretação dos resultados obtidos nos ensaios; eventual correção ou modificação das recomendações iniciais, em face da constatação de variações das características dos materiais empregados, dos

equipamentos e da eventual necessidade de correção da avaliação inicial feita sobre o comportamento da obra;

- *Fornecimento de consulta* aos interessados no que diz respeito aos métodos construtivos;
- *Fornecimento de instruções e acompanhamento dos serviços* de reparo do concreto, na eventualidade de se verificar falhas nos elementos estruturais concretados;
- *Fornecimento de relatório técnico* sobre os serviços realizados, resultados obtidos e eventuais recomendações.

De acordo com o OLIVEIRA (2017), a necessidade e importância do controle de qualidade/tecnológico do concreto e seus materiais baseia-se em evitar o surgimento de manifestações patológicas. Esse controle tecnológico deve ser feito desde o início da programação do concreto, não sendo levado em consideração somente o fck, mas deve também ser levado em consideração o *slump test*, a relação de água/cimento (a/c) e a deformabilidade do material. Durante o processo de fabricação em uma concreteira, a própria deve levar em consideração a qualidade e seleção dos materiais a serem empregados e deve ser feita a realização de alguns ensaios tecnológicos para garantir que os produtos sejam de boa qualidade.

Levando em consideração ao que foi dito anteriormente, quando o concreto for transportado para a obra, na mesma deve-se realizar o controle de recebimento do concreto no estado fresco através do *slump test* e a rastreabilidade deste material nos perfis construtivos. Feito isso, pode ser realizada a correta coleta das amostras para moldagem dos corpos de prova, a fim de se realizar ensaios técnicos de rompimento para se verificar a resistência do material. Por fim, deve ser feito o processo de lançamento, adensamento adequadamente para evitar-se o surgimento de brocas e falhas na concretagem. Após todos esses procedimentos, o laboratório deve coletar amostras de acordo com a norma técnica brasileira e coloca-las na câmara úmida ou em uma “piscina”. Assim, é realizado o ensaio de compressão adequado do concreto e se os resultados obtidos estiverem de acordo com as normas, a obra certamente apresentará os resultados esperados pelo seu projeto de construção (OLIVEIRA, 2017).

Vale ressaltar que um controle tecnológico eficaz, além de garantir o uso de materiais conformes que atendem suas respectivas normas de construção, pode gerar benefícios econômicos relacionados à redução do custo da obra, do consumo de aglomerante, redução do retrabalho e minimização da fissuração no concreto. Conclui-se então que o controle

tecnológico aliado a um bom projeto e uma boa execução podem gerar vários benefícios à sociedade, com uma redução de custo para o construtor e a entrega de uma obra durável com o mínimo de manutenção (SILVA, 2017).

## **2.2. CONCEITOS RELACIONADOS AO DESEMPENHO ESTRUTURAL – DETERIORAÇÃO, DURABILIDADE E VIDA ÚTIL**

SOUZA & RIPPER (2009) afirmam que os tempos modernos ditaram a certeza de que o concreto, como material de construção, é instável ao longo do tempo, alterando suas propriedades físicas e químicas em função das características de seus componentes das respostas destes as condicionantes do meio ambiente. As consequências destes processos de alteração que venham a comprometer o desempenho de uma estrutura, ou material, costuma-se chamar *deterioração*. Os elementos agressores, em si, são designados *agentes de deterioração*. Além de inevitáveis falhas involuntárias e casos de imperícia, tem sido constatado que algumas estruturas acabam por ter desempenho insatisfatório, se confrontadas com as finalidades a que se propunham. Este complexo conjunto de fatores gera o que é chamado de *deterioração estrutural*.

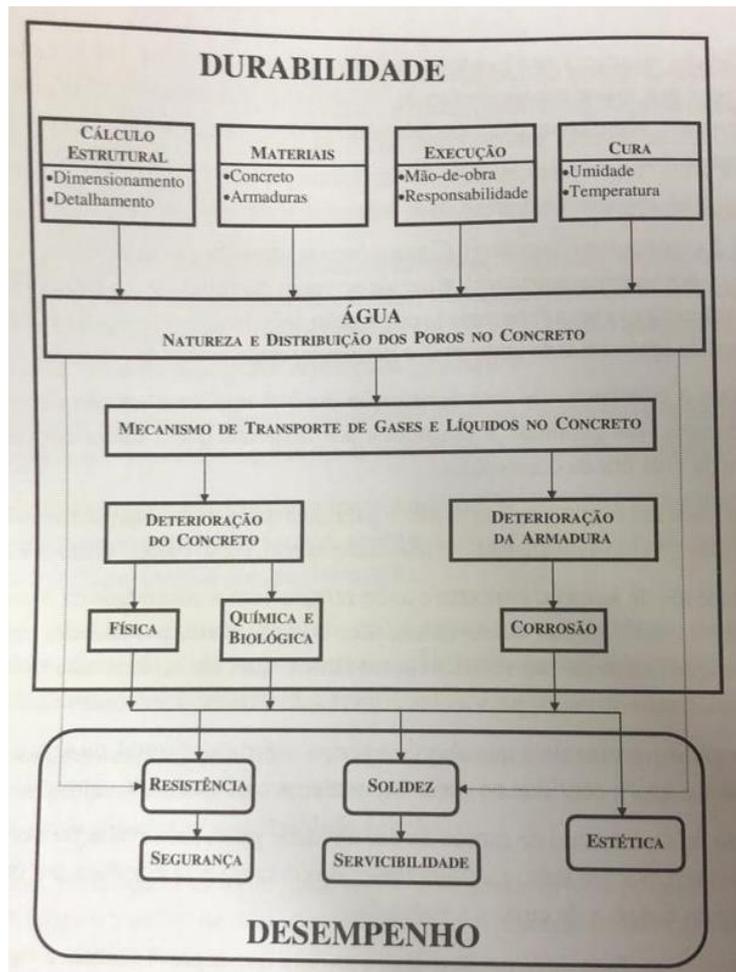
Objetivamente, as causas de deterioração podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento “natural” da estrutura até os acidentes, e até mesmo a irresponsabilidade de alguns profissionais que optam pela utilização de materiais fora das especificações, na maioria das vezes por alegadas razões econômicas. A análise de deterioração possibilita o julgamento da estrutura ou do material podendo-se admitir que seja considerado satisfatório quando ficar caracterizada uma relação positiva entre seu custo inicial, sua curva característica de deterioração, sua vida útil e seu custo de reposição ou recuperação (SOUZA & RIPPER, 2009).

Assim, os conceitos de vida útil e durabilidade estão intimamente interligados no contexto de deterioração estrutural nas construções civis. Todavia, muitas vezes são utilizados ou confundidos entre si por apresentarem tamanha conexão e semelhanças. O conceito de *durabilidade*, de acordo com MEHTA & MONTEIRO (2014) é definida como:

“expectativa de vida de um material sob determinadas condições ambientais. Geralmente, estruturas de concreto impermeável têm longa durabilidade. [...] Em geral, há uma relação entre resistência e durabilidade quando baixa resistência é associada com alta porosidade e alta permeabilidade. Concretos permeáveis são, é claro, menos duráveis. A permeabilidade do concreto depende não apenas da dosagem, do adensamento e da cura, mas também das microfissuras” (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

Conforme MEHTA & MONTEIRO (2014), o critério profissional na seleção dos materiais de construção deveria levar em consideração não apenas a resistência, a estabilidade dimensional e as propriedades elásticas do material, mas também sua durabilidade, que tem grande influência no custo do ciclo de vida de uma estrutura e seu desempenho em seu decorrer tempo de uso. A Figura 13 ilustra o quadro resumido dos vários parâmetros relacionados com os critérios para a obtenção de uma construção durável.

Figura 13 – Inter-relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho



Fonte: SOUZA & RIPPER (2009)

Por *desempenho* de uma edificação, define-se como o comportamento em serviço de cada material, peça e/ou elemento estrutural (produtos da obra), e a sua medida relativa espelhará assim no resultado desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção. Assim, ao se avaliar a perda total de desempenho original de projeto (quando o produto não está mais desempenhando sua função), onde suas propriedades foram prejudicadas de tal forma que sua utilização acaba sendo insegura e antieconômica, estabelece-se assim o fim de sua vida útil (SOUZA & RIPPER, 2009).

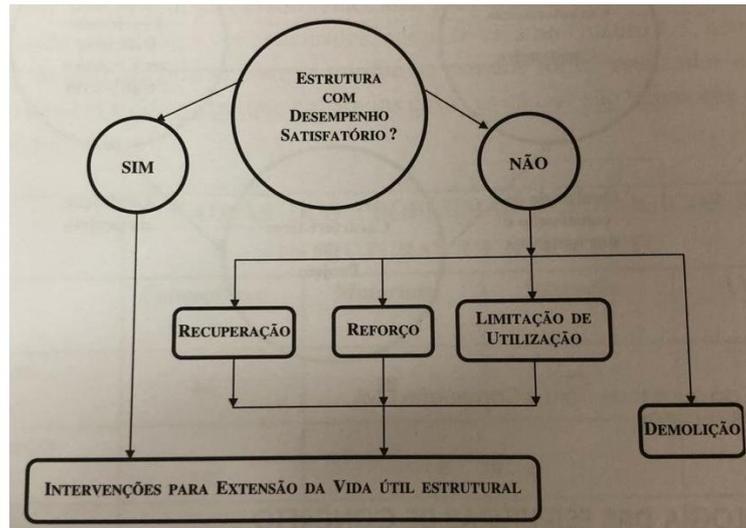
Segundo DA SILVA (2002) existe então uma proximidade entre os conceitos de durabilidade e vida útil que às vezes, leva à utilização equivocada dos termos. Pode-se assim considerar que a *vida útil* é a quantificação da durabilidade que se supõe ser apenas uma qualidade da estrutura. A vida útil pode também ser entendida como o período de tempo o qual a estrutura é capaz de desempenhar bem as funções para as quais foi projetada. SOUZA & RIPPLER definem vida útil como sendo:

“o período durante o qual as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados. O conhecimento da vida útil e da curva de deterioração de cada material ou estrutura são fatores de fundamental importância para a confecção de orçamentos reais para a obra, assim como de programas de manutenção adequados e realistas” (SOUZA & RIPPER, 2009).

A questão da vida útil das estruturas de concreto também deve ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo: concepção ou planejamento; projeto; fabricação de materiais e componentes; execução propriamente dita e principalmente durante a etapa de uso da estrutura. É justamente nessa etapa onde serão realizadas as operações de vistoria, monitoramento e manutenções preventivas e corretivas, indispensáveis numa consideração correta e sistêmica da vida útil de qualquer edificação (HELENE, 2001).

Na eventualidade de que algum infortúnio possa ter ocorrido e de que o desempenho da estrutura venha a se tornar insatisfatório, a Figura 14 dispõe um quadro a respeito de uma das opções de metodologias gerais a serem seguidas caso os responsáveis legais de qualquer construção tenha que vir a tomar decisões sobre como então proceder, respeitando pontos de vistas técnicos, econômicos e socioambientais.

Figura 14 – Hipóteses para reconversão de estruturas com desempenho insatisfatório



Fonte: SOUZA & RIPPER (2009)

### 2.3. ENGENHARIA DIAGNÓSTICA EM EDIFICAÇÕES

Conceitualmente, de acordo com GOMIDE (2015), a engenharia diagnóstica em edificações baseia-se em investigações técnicas nos diversos sistemas construtivos e seus componentes em qualquer edificação, onde são visados os aspectos de qualidade total, sustentabilidade e responsabilidade social em todos os seus conjuntos e conexões. Essas investigações técnicas podem ser desenvolvidas com diversos focos e graus de amplitude, dependendo do objetivo técnico pretendido no diagnóstico. Assim, define-se engenharia diagnóstica em edificações como sendo:

“a arte de criar ações proativas, por meio dos diagnósticos, prognósticos (arte de prever com base em sintomas) e prescrições (arte de recomendar o tratamento) técnicas, visando a qualidade total (ação proativa do conhecimento da verdade do fato para eliminação de anomalias, melhoria da produtividade e implantação de novidades nos produtos)” (GOMIDE, NETO, & GULLO, 2015).

Ainda segundo GOMIDE (2015), tradicionalmente, todas as investigações técnicas se desenvolvem através de método dedutivo que ao final bem demonstra o diagnóstico com conclusão e fundamentação. Conclui-se que a engenharia diagnóstica é basicamente um processo de investigação técnica que segue o caminho progressivo da atividade intelectual, passando pela percepção, intuição, comparação e dedução.

No mundo prático, a última ferramenta desta área após o diagnóstico técnico é a prescrição do tratamento que denomina-se como consultoria. Em suma, a engenharia diagnóstica é então sintetizada por investigações técnicas das patologias prediais, representadas pelas anomalias construtivas, falhas de manutenção e/ou irregularidades de uso (GOMIDE, NETO, & GULLO, 2015).

GULLO (2015) sintetiza como as ferramentas utilizadas no ramo da construção civil como elementos da progressividade diagnóstica (Figura 15), considerando a finalidade técnica investigativa, bem como a progressividade e cumulatividade das ferramentas, os seguintes conceitos:

- *Vistoria em edificação*: é a constatação técnica de determinado fato, condição ou direito relativo a uma edificação, mediante verificação *in locu*;
- *Inspeção em edificação*: é a análise técnica de fato, condição ou direito relativo a uma edificação;
- *Auditoria em edificação*: é o atestamento, ou não, de conformidade de um fato, condição ou direito relativo a uma edificação;
- *Perícia em edificação*: é a determinação da origem, causa e mecanismo de ação de um fato, condição ou direito relativo a uma edificação;
- *Consultoria em edificação*: é o prognóstico e a prescrição técnica a respeito de um fato, condição ou direito relativo a uma edificação.

Figura 15 – Progressividade diagnóstica em edificações



Fonte: GOMIDE, NETO & GULLIO, 2015

### 2.3.1. INSPEÇÃO TÉCNICA PREDIAL

Recentemente, somente no ano de 2018, grandes acidentes na área da construção civil ganharam repercussão em diversos locais do mundo afora. O desabamento de três edifícios no centro de Marselha, no sudeste da França, (Figura 16a) deixou sob seus escombros ao menos três pessoas. O desabamento de parte da rodovia DF – 002, Eixo Rodoviário de Brasília (Figura 16b) e o desabamento da laje de contenção lateral de uma edificação residencial na região da Asa Norte (Figura 16c), somente não se encaixam como catástrofes, pois no exato momento de ambos acidentes não havia nenhum transeunte nos locais deixando assim somente prejuízos econômicos aos moradores e população brasileira .

Figura 16 – Desabamentos na construção civil por falta de inspeção técnica e devida manutenção



Fontes: Jornal Estado de Minas, Metr polis.com e Globo.com, 2018

Esses acidentes est o cada vez mais alertando para as falhas na manuten o, conserva o e nas condi es de uso  s quais as obras civis est o submetidas. H  alguns anos,  rg os respons veis pela seguran a civil (CREA e CAU) est o instituindo normas de realiza o de inspe o predial em todos os edif cios p blicos e privados com o prop sito de certificar as condi es de seguran a, estabilidade e conserva o das constru es. Assim, cada vez mais as inspe es t cnicas est o sendo implantadas na rotina do profissional do ramo da engenharia.

HELENE (2007) j  define inspe o como sendo uma atividade t cnica especializada que abrange a coleta de elementos, de projeto e de constru o, o exame minucioso da constru o, a elabora o de relat rios, a avalia o do estado da obra e as recomenda es, que podem ser de nova vistoria, de obras de manuten o, de recupera o, de refor o ou de reabilita o da estrutura. A ABNT NBR 5674 – *Manuten o de edifica es – Requisitos para o sistema de gest o e manuten o* e a ABNT NBR 15575 – *Desempenho de Edifica es Habitacionais* determinam inspe o predial sendo:

“avaliação do estado da edificação e de suas partes constituintes, realizada para orientar as atividades de manutenção”

(ABNT NBR 5674).

“verificação, através de metodologia técnica, das condições de uso e de manutenção preventiva e corretiva da edificação”

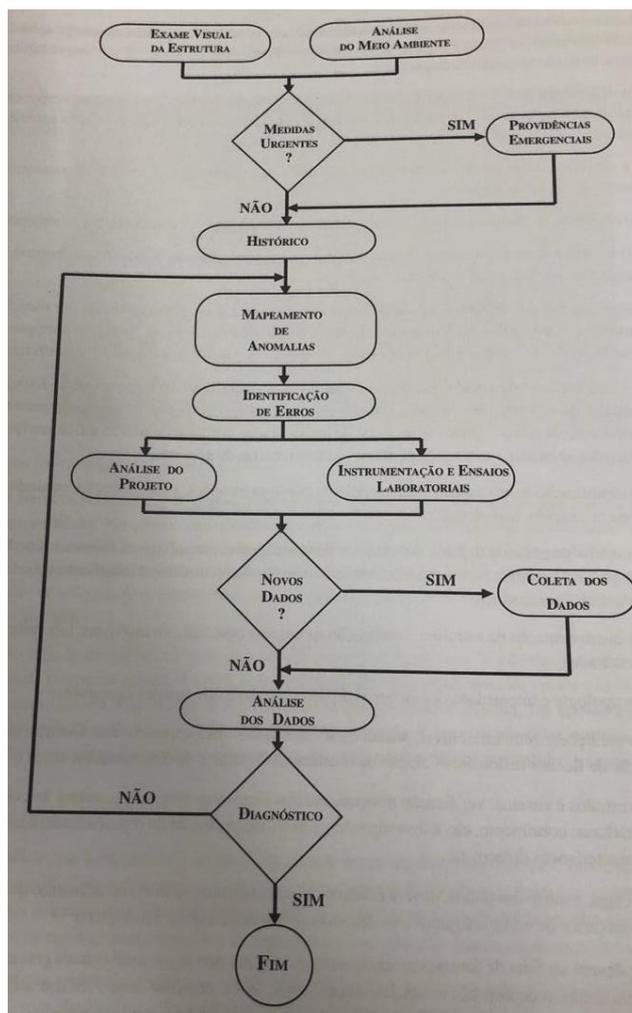
(ABNT NBR 15575).

Na prática, a inspeção predial é uma avaliação com o objetivo de identificar o estado geral da edificação e se seus sistemas construtivos, observados os aspectos de desempenho, funcionalidade, vida útil, segurança, estado de conservação, manutenção, utilização e operação, consideradas às expectativas dos usuários, além de ser uma atividade que possui normas e métodos próprios. Assim, classificam-se as deficiências constatadas na edificação com visão sistêmica, apontando o grau de risco observado para cada uma delas e gerando uma lista de prioridades técnicas com orientações ou recomendações para sua correção. Destaca-se que este trabalho técnico é somente realizado por profissional habilitado (engenheiro ou arquiteto), especialista e capacitado para a função (IBAPE, 2016).

Em suma, o principal objetivo de uma atividade de inspeção predial ao final de atividades de vistorias, realizações de ensaios técnicos (caso seja necessário) e aferimento da provável causa de origem das manifestações patológicas presentes na construção é realizar um plano de manutenção com índices de prioridades, visando proporcionar aos donos e/ou representantes legais à tomada de decisão, a fim de garantir um trabalho mais eficiente e menos oneroso.

O fluxograma representado pela Figura 17 a seguir ilustra possíveis passos para interpretar e analisar problemas patológicos nas edificações:

Figura 17 – Possível fluxograma de orientação para interpretação e análise de patologias em edificações



Fonte: SOUZA & RIPPER, 2009

Por fim, de acordo com o IBAPE – SP (2016), além do seu principal objetivo o qual se baseia na construção de um plano de manutenção, na realização de inspeções dentre suas aplicabilidades destacam-se as seguintes vantagens:

- Auxilia na revisão de manuais de síndico e proprietários, quando contratada na época da assistência técnica da construtora, a fim de subsidiá-la;
- Preserva a garantia da construção quando aliada ao manual do síndico e proprietários para melhor orientar o condomínio na boa prática das atividades de manutenção já recomendadas pela construtora;
- Verifica o estado de conservação da edificação, além de informar as condições gerais da edificação, podendo ser utilizada em avaliações de imóveis, além de estudos de valorização e modernização;

- Informa subsídios técnicos e o “estado real” da edificação para estudos preliminares para *retrofit*;
- Auxilia em transações imobiliárias (compra e venda de imóveis e locação), informando o estado de conservação e alertando para eventuais necessidades de reparos importantes;
- Auxilia na gestão condominial (síndico e administradora), quando elaborada dentro de uma periodicidade, a fim de atestar e verificar a evolução do estudo de conservação do imóvel, além de auxiliar a boa manutenção;
- Reduz o prêmio de seguro, pois atesta o estado de conservação e manutenção.

### **2.3.2. IBAPE – ETAPAS, NÍVEIS E GRAU DE RISCO**

O Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia Nacional, filiado ao Ibape, Entidade Federativa Nacional, é o órgão de classe formado por engenheiros, arquitetos e empresas habilitadas que atuam na área de engenharia de avaliações, vistoria, inspeções prediais e perícias de engenharia.

De acordo com GOMIDE, NETO & GULLO (2016), trata-se então de uma entidade sem fins lucrativos, com objetivo de congregar tais profissionais e promover o avanço técnico das áreas de interesse. Para tanto, realiza intercâmbio, difusão de informações e desenvolvimento técnico. O IBAPE promove, ainda, cursos para formação básica e avançada, congressos, ciclos de estudos, simpósios, conferências, reuniões, seminários, painéis de debates e outros eventos. Desenvolve-se, por meio de suas Câmaras Técnicas, livros, cartilhas, artigos, normas, estudos, termos de referência e outros documentos técnicos para o aprimoramento profissional de seus associados e avanço nas áreas de interesse.

Em cada estado brasileiro existe uma Diretoria do Ibape, a qual está estruturada em Diretoria Executiva (presidente e vice-presidente) e Diretoria Adjunta (diretores). O presente trabalho de conclusão de curso incluindo todas suas atividades de inspeções referentes ao estudo de caso seguiram as diretrizes da Norma de Inspeção Predial Nacional do IBAPE/SP (2012). As principais etapas para a realização de uma inspeção predial em qualquer estado federativo brasileiro divide-se então em:

- **Primeira etapa:** levantamento de dados e documentos da edificação: administrativos, técnicos, de manutenção e operação (pano, relatórios, históricos, etc);
- **Segunda etapa:** entrevista com gestor ou síndico para averiguação de informações sobre o uso da edificação, histórico de reforma e manutenção, dentre outras intervenções ocorridas;
- **Terceira etapa:** realização de vistorias na edificação, realizada com equipe multidisciplinar ou não, dependendo do tipo de prédio e da complexidade dos sistemas construtivos existentes. O número de profissionais envolvidos na Inspeção Predial e a complexidade da edificação definem o *nível de inspeção* a ser realizada.
- **Quarta etapa:** classificação das deficiências constatadas nas vistorias, por sistema construtivo, conforme sua origem (anomalias construtivas ou endógenas, anomalias funcionais e falhas de uso e manutenção);
- **Quinta etapa:** Classificações dos problemas (anomalias e falhas), de acordo com *grau de risco* (crítico, regular e mínimo), considerando-se fatores de conservação, rotinas de manutenção previstas, agentes de deterioração precoce, depreciação, riscos à saúde, segurança, funcionalidade e comprometimento da vida útil;
- **Sexta etapa:** elaboração de lista de prioridades técnicas, conforme a classificação do grau de risco de cada problema constatado. Essa lista é ordenada do mais crítico ao menos crítico;
- **Sétima etapa:** elaboração de recomendações ou orientações técnicas para a solução dos problemas constatados. Essas orientações podem estar relacionadas à adequação do plano de manutenção ou aos reparos e reformas para solução de anomalias;
- **Oitava etapa:** avaliação da qualidade de manutenção, a qual pode ser classificada em: atende; não atende ou atende parcialmente. Resumidamente, para essa classificação, consideram-se as falhas constatadas na edificação, as rotinas e execução das atividades de manutenção e as taxas de sucesso, dentre outros aspectos;

- **Nona etapa:** avaliação do uso da edificação, podendo ser classificada em regular ou irregular. Observam-se as condições originais da edificação e os seus sistemas construtivos, além de limites de utilização e suas formas.

Conforme explicitado na Terceira Etapa de uma inspeção, em relação desta contextualização técnico-normativa, conforme critérios definidos na Norma, a inspeção predial é classificada quanto a sua complexidade e elaboração de laudo, consideradas as características técnicas da edificação, manutenção e operação existentes e necessidade de formação de equipe multidisciplinar para execução dos trabalhos. Segundo IBAPE/SP, os níveis de inspeção predial podem ser classificados em Nível 1, Nível 2 e Nível 3:

- **Nível 1:** Inspeção Predial realizada em edificações com baixa complexidade técnica, de manutenção e de operação de seus elementos e sistemas construtivos. Normalmente empregada em edificações com planos de manutenção muito simples ou inexistentes. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados em uma especialidade;
- **Nível 2:** Inspeção Predial realizada em edificações com média complexidade técnica, de manutenção e de operação de seus elementos e sistemas construtivos, de padrões construtivos médios e com sistemas convencionais. Normalmente empregada em edificações com vários pavimentos, com ou sem plano de manutenção, mas com empresas terceirizadas contratadas para execução de atividades específicas como: manutenção de bombas; portões; reservatórios de água; dentre outros. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados em uma ou mais especialidades;
- **Nível 3:** Inspeção Predial realizada em edificações com alta complexidade técnica, de manutenção e operação de seus elementos e sistemas construtivos, de padrões construtivos superiores e com sistemas mais sofisticados. Normalmente empregada em edificações com vários pavimentos ou com sistemas construtivos com automação.

Ademais, na Norma de Inspeção Predial Nacional do IBAPE (2012) também são definidos critérios de classificação do grau de risco das anomalias e falhas existentes na edificação, constatadas em inspeção predial, considerado o risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio. Para tanto, para cada item identificado com anomalias construtivas, falhas de manutenção e/ou manifestações patológica deve ser atribuído um *grau*

de risco, conforme o diagnóstico avaliado e os critérios estabelecidos pela sua norma de inspeção:

- **CRÍTICO:** Risco de provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e do meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade causando possíveis paralisações; aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação; comprometimento sensível de vida útil;
- **REGULAR:** Risco de provocar a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação sem prejuízo à operação direta de sistemas, e deterioração precoce;
- **MÍNIMO:** Risco de causar pequenos prejuízos à estética ou atividade programável e planejada, sem incidência ou sem a probabilidade de ocorrência dos riscos críticos e regulares, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor imobiliário.

Por fim, no âmbito técnico-normativo, além da NBR 6118:2014 e da Norma de Inspeção Predial do Ibape Nacional, a principal norma técnica aplicável para avaliação de conformidade do sistema estrutural predial em uma edificação de Brasília é o Código de Edificações do Distrito Federal, regulamentado pela Lei N° 2.105 de 8 de Outubro de 1998. Cabe ressaltar que para verificar as conformidades ou inconformidades técnico-normativas devem ser consideradas as normas vigentes – na versão mais atual – aplicáveis as exigências e requisitos de cada sistema e objetos inspecionados.

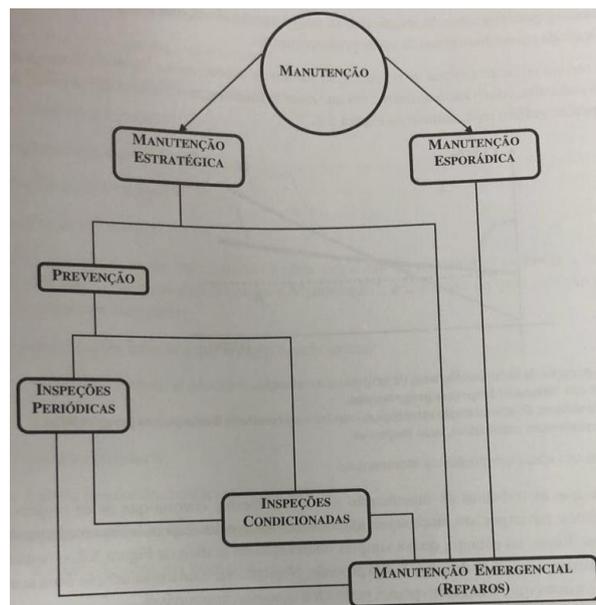
### 2.3.3. MANUTENÇÃO ESTRUTURAL PREDIAL

Segundo SILVA (2016), com o avanço da engenharia diagnóstica e a conscientização para a importância da manutenção predial, cresce cada vez mais a preocupação quanto às condições de conservação, uso e manutenção das edificações. Conforme *fib Model Code for Service Life Design (2006)*, procedimentos de uso, operação e manutenção compõe um dos três aspectos fundamentais em relação à questão da vida útil de qualquer edificação (MEDEIROS, ANDRADE, & HELENE, 2011).

O Instituto Brasileiro de Avaliações, Vistoria, Inspeções Prediais e Perícias de Engenharia (IBAPE) afirma que manutenção, por definição, é o conjunto de atividades que garante e recupera os desempenhos de elementos e sistemas construtivos, conforme previsto

em projeto e dentro do prazo de vida útil. Trata-se de atividade técnica de Engenharia, e assim sendo, deve ter responsável técnico. Especificadamente, manutenção estrutural é estabelecida como a combinação de todas as ações de caráter técnico e/ou administrativo que tenham por fim garantir ou restabelecer, para uma determinada estrutura, as condições necessárias para que esta desempenhe, capazmente, as funções para as quais foi concebida (ALLEN, 1987). Assim a manutenção pode ser classificada segundo o indicado na Figura 18.

Figura 18 – Critérios para manutenção das estruturas



Fonte: SOUZA & RIPPER (2016)

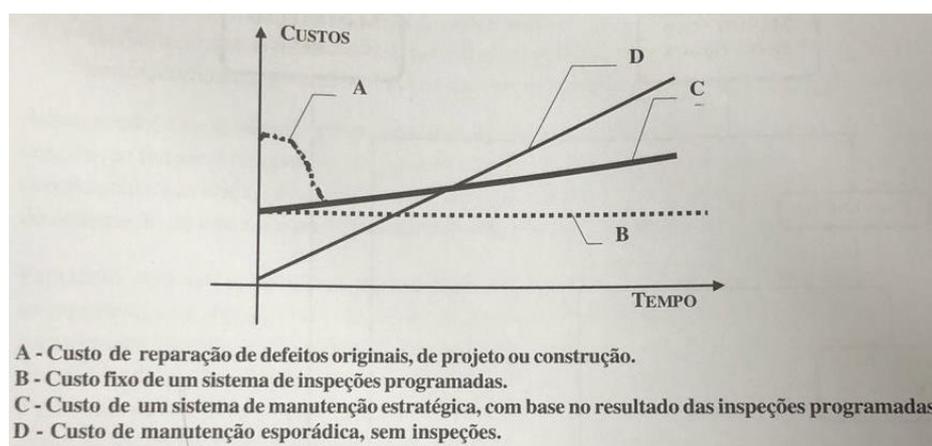
Vale destacar que entre essas classificações de manutenções, para o presente trabalho destacam-se a Manutenção Preventiva e a Manutenção Corretiva (Emergencial). Por *Manutenção Preventiva*, de acordo com SOUZA & RIPPER (2016), entende-se aquela manutenção que é executada a partir das informações fornecidas por inspeções levadas a efeito em intervalos regulares de tempo, de acordo com critérios preestabelecidos de redução das probabilidades de ruína ou de degradação da estrutura, visando uma extensão programada de sua vida útil. Poderão ocorrer casos em que as inspeções periódicas sejam complementadas por outras, adicionais, específicas a determinadas peças estruturais que, numa dada inspeção rotineira, tenham demonstrado estar com desempenho prejudicado e passam a condicionar, daí em diante, o ritmo das inspeções, e até, em alguns casos, das recuperações.

*Manutenção Corretiva* visa corrigir, restaurar, recuperar a capacidade produtiva do objeto ou sistema inspecionado, que tenha cessado ou diminuído sua capacidade de exercer as funções às quais foi projetado. É caracterizada como a forma mais simples e mais primitiva de

manutenção, geralmente sendo de forma não planejada, ou seja, a correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado é realizada sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior, aleatoriamente. Implicando assim em altos custos e baixa confiabilidade de produção, já que gera ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis (OTANI, 2008).

Economicamente, SOUZA & RIPPER (2016) mostram através do gráfico justamente esta relação dos custos variando de acordo com o tipo de sistema de manutenção (citados na Figura 18), onde a Manutenção Preventiva caracteriza-se pela reta C e a Manutenção Corretiva pela reta A. Estes custos estão diretamente interligados e variam de acordo com a localização geográfica das obras, e, em particular, com o meio ambiente em que estas se inserem, mas, de uma forma geral, observa-se o registrado no gráfico representado na Figura 19.

Figura 19 – Custo das várias estratégias de manutenção



Fonte: SOUZA & RIPPER (2016)

A inexistência de Manutenção nos edifícios causa prejuízo funcional aos sistemas, perda precoce de desempenho e redução do prazo de vida útil. Logo, quando não se faz Manutenção, os gastos com reparos corretivos e reformas são maiores e ocorrem de forma mais acentuada e precoce nos edifícios. Importante observar, ainda, que a Manutenção garante a funcionalidade e, principalmente, a segurança do uso das instalações e sistemas da edificação.

É importante destacar que como qualquer outro tipo de técnica, se realizada sem critérios formulados, qualquer tipo de Manutenção pode sim causar e/ou acentuar falhas, gastos indevidos sem os benefícios esperados, danos materiais físicos e psicológicos aos usuários e terceiros, além da desvalorização acentuada do imóvel, indenizações acidentárias, condenações jurídicas por negligência, impedimento ao uso, interdições etc. Por isto, faz-se necessário o uso

de normas técnicas e manuais para guiar a realização de um trabalho de acordo com as boas práticas da perícia civil (GOMIDE, NETO, & GULLO, 2015).

#### **2.4. ENSAIOS TECNOLÓGICOS DE CARÁTER NÃO DESTRUTIVO**

Conforme CASCUDO (2005), ao se avaliar uma estrutura de concreto armado deve se considerar os aspectos tanto de durabilidade quanto de resistência e estabilidade. Os aspectos de durabilidade envolvem investigações sobre condições da armadura (passiva ou não). Assim, avaliando as condições de carbonatação do concreto, deve se considerar o estudo sobre a possibilidade da presença de agentes agressivos tais como cloretos e sulfatos, ou eventual presença de agregados reativos na estrutura. Estes aspectos podem então ser avaliados através de métodos de ensaios tecnológicos tais como: resistividade elétrica; avanço do processo de carbonatação; potenciais de corrosão; porosidade e teores de cloretos e sulfatos entre outros.

No tocante à avaliação de resistência e estabilidade de estruturas de concreto, atualmente é bastante empregado métodos de ensaios tais como: pacometria, esclerometria, ultrassom, ensaios a partir de corpos de prova extraídos, provas de carga etc. Para melhor entendimento então, divide-se estes métodos de ensaio em métodos de ensaio não destrutivos e semi-destrutivos (SAHUINCO, 2011).

Sabe-se que ambos os métodos de ensaio podem fornecer informações como massa específica de elasticidade e resistência, propriedades as quais são consideradas valiosas para análise do concreto. Além do mais, através destes métodos é possível investigar a respeito da dureza superficial, absorção, permeabilidade, condições de umidade e ainda a localização das armaduras, existência de vazios e fissuração. Ademais, estes ensaios não causam dano no elemento ensaiado e não provocam perda de sua capacidade resistente (EVANGELISTA, 2002).

Sendo assim, de acordo com CARVALHO, SENA, ROCHA (2017), os ensaios não destrutivos e semi-destrutivos são utilizados para se obter informações para análise da resistência mecânica e a qualidade de produção do concreto fomentando ganhos financeiros e técnicos em tempo e praticidade. Assim sendo, segundo SAHUINCO (2011), estas informações obtidas por estes ensaios auxiliam então no processo de tomada de decisão a respeito de manutenções quando não se observa a presença de deterioração aparente ou prevista, ou ainda, quando a condição de deterioração da estrutura se mostra extrema, ou onde não se tenha desempenho estrutural satisfatório.

Em relação às inspeções técnicas em edificações residenciais, vale ressaltar que os ensaios tecnológicos não destrutivos (ENDs) sobressaem-se em vantagens econômicas em relação aos ensaios semi-destrutivos devido aos seus valores individuais de execução e análise de cada. Destaca-se que a escolha e quantificação de ensaios a serem realizados deve-se à disponibilidade de aparelhos e ao conhecimento na manipulação dos mesmos. CARVALHO (2013) ainda afirma que até nas usinas de concreto e nas construtoras, o controle de qualidade do material e da estrutura como um produto está sendo avaliado a partir da realização dos ENDs, permitindo a análise rápida de verificação da resistência, homogeneidade e módulo de elasticidade do concreto.

Nesse sentido, pela importância científica da aplicação de métodos de ensaios e pelo fato de ser uma das áreas onde há muito a investigar para a obtenção de resultados confiáveis, o presente capítulo tem como objetivo apresentar uma revisão de literatura acerca dos métodos de ensaios não destrutivos mais comumente utilizados em inspeções para avaliação de estruturas de concreto armado, apresentando o princípio de cada um e a normalização em sua versão mais atualizada existente. (SAHUINCO, 2011).

#### **2.4.1. PACOMETRIA**

A pacometria é um ensaio não destrutivo que utiliza o pacômetro (Figura 20), aparelho que detecta a posição da barra de aço na estrutura de concreto armado e fornece o diâmetro da armadura e a espessura do cobrimento nominal, por meio de indução magnética. De acordo com MEHTA&MONTEIRO (2014), diferentemente do concreto, as barras de aço interagem fortemente com ondas eletromagnéticas de baixa frequência aplicadas na superfície do concreto, tornando fácil identificar sua localização. O pacômetro utiliza-se de dois principais métodos eletromagnéticos, os quais serão dispostos a seguir.

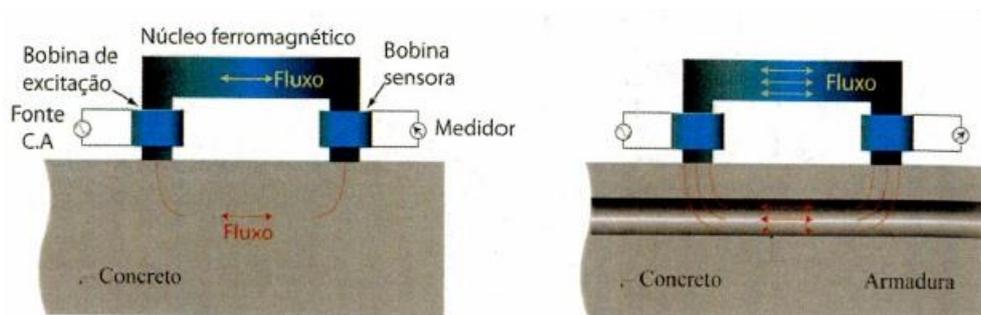
Figura 20 – Exemplos de pacômetros utilizados para esse ensaio não destrutivo



Fonte: BOSH, 2018 e Autora, 2018

Segundo MEHTA & MONTEIRO (2014), o primeiro método usa uma bobina estimulada para gerar um fluxo magnético. O fluxo se desloca através do concreto, e sua intensidade é medida por uma bobina sensora. O circuito todo é fechado pela presença de um núcleo ferromagnético. O concreto não é um bom condutor de fluxo magnético, isto é, ele tem alta relutância magnética. Quando o detector se move para uma posição próxima à armadura, a bobina sensora começa a indicar um grande aumento no fluxo magnético, pois o aço é um condutor muito bom. A intensidade da corrente medida na bobina sensora é muito influenciada pela profundidade do cobrimento e assim, com uma calibração adequada, é possível estimar a profundidade do cobrimento do concreto em campo (Figura 21).

Figura 21 – Primeiro método eletromagnético do pacômetro a fim de se obter o cobrimento nominal

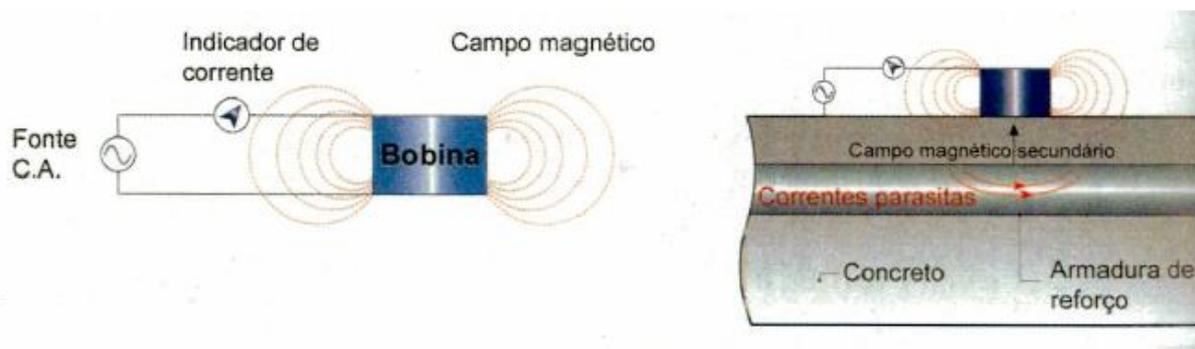


Fonte: MEHTA, 2014

E ainda conforme MEHTA & MONTEIRO (2014), o segundo método consiste em encontrar a localização da barra da armadura por varredura da superfície do concreto com uma bobina elétrica fixada a uma fonte CA e um indicador de corrente. Quando o detector faz a varredura em áreas sem armadura, o indicador de corrente permanece na mesma posição.

No entanto, quando o detector se aproxima mais da armadura, o indicador começa a mostrar queda na corrente até alcançar um valor mínimo no momento que o detector está sobre a armadura. O campo magnético gerado pela bobina induz correntes parasitas nas barras de aço da armadura que, por sua vez, produzem campos magnéticos secundários. Esse campo secundário cria uma corrente na direção oposta, o que explica o motivo para a diminuição na corrente observada no indicador quando a barra de aço está presente (Figura 22).

Figura 22 – Segundo método eletromagnético do pacômetro a fim de se obter a localização da armadura



Fonte: MEHTA, 2014

Em estruturas de concreto armado, o *cobrimento nominal* é a camada de concreto que envolve a armadura até a face externa do elemento estrutural criando uma barreira física que contribui para a proteção da armadura contra a ação de agentes agressivos (água, gases tóxicos, sais de cloreto, sulfato, etc.) a fim de retardar o processo natural de corrosão das barras de aço. Em razão da importância do cobrimento nominal na durabilidade e vida útil das estruturas, a NBR 6118 – norma técnica brasileira que estabelece os requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto – especifica limites mínimos de espessura do cobrimento conforme a classe de agressividade ambiental a qual a estrutura está inserida. O método da pacometria adotado para averiguar se a espessura de cobrimento nominal de elementos estruturais já executados é compatível com os limites mínimos estabelecidos pela NBR 6118 (BASTOS, 2006).

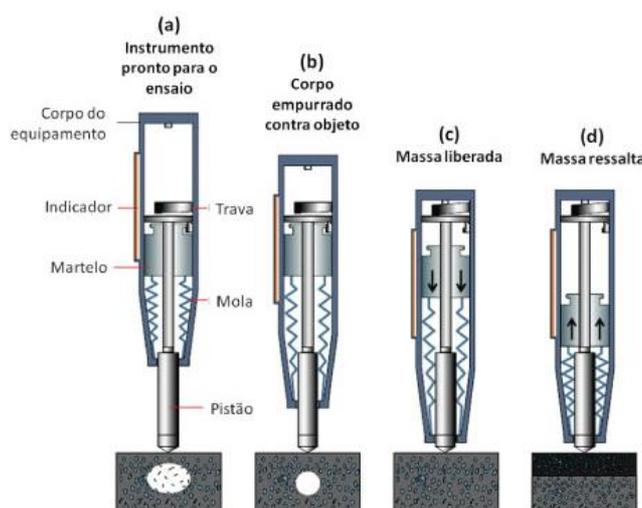
## 2.4.2. ESCLEROMETRIA

O método de avaliação de dureza superficial consiste em impactar uma superfície de concreto, de maneira padrão, com uma dada energia de impacto e, então, medir as dimensões da marca remanescente ou impressão superficial no concreto após o impacto, ou de outro modo,

medir o rebote ou a reflexão de uma massa padrão aos o impacto no concreto. Rotineiramente, nas esferas das inspeções técnicas, o método mais comumente empregado utiliza este último princípio, por meio do esclerômetro de reflexão de Schmidt (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

No caso do esclerômetro de reflexão, equipamento que pesa cerca de 1,8 kg e tem dentro uma mola principal e um êmbolo (Figura 23), a energia de impacto é, em parte, consumida na deformação plástica permaneten, provocada na superfície em ensaio e, em parte, refletida elasticamente proporcionando o retorno do martelo. A distância do rebote é registrada como “um número de rebote”, esse valor é chamado de índice esclerométrico (IE) ou índice de reflexão (MALHOTRA, 2004).

Figura 23 – Esquema ilustrando o funcionamento do esclerômetro de reflexão



Fonte: MALHOTRA, 2004

Este ensaio é executado seguindo os procedimentos prescritos na NBR 7584/2013: *Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão- Método de ensaio*. O esclerômetro pode ser aplicado na posição vertical para cima, horizontal ou vertical para baixo, mas sempre em posição ortogonal à área de ensaio. O método do esclerômetro de Schmidt é de uso simples e oferece um meio rápido e barato de avaliar a uniformidade do concreto endurecido *in locu*.

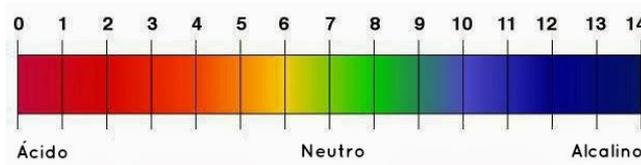
Segundo a ABNT NBR 7584:2013, para a execução dos processos executivos desta na análise estrutural, é recomendado escolher pontos de ensaio sem vazios e sem armadura, pois o aparelho esclerômetro é sensível à variação do concreto, podendo ocasionar assim um alto índice esclerométrico caso o golpe ocorrer sobre algum agregado, ou sobre a armadura e será baixo quando o golpe ocorra num vazio da peça (SAMANIEGO, 2014).

### 2.4.3. AVALIAÇÃO DE FRENTE DE CARBONATAÇÃO

O concreto possui uma alta alcalinidade devido principalmente à presença do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), produto liberado pelas reações de hidratação do cimento. Ao passar do tempo, esta alcalinidade tende a se reduzir fazendo com que o concreto funcione como um eletrólito (condutor elétrico no qual as cargas são transportadas por meio de íons). CARMONA (2005) afirma que este processo acarreta assim a formação de carbonatos de cálcio e alcalinos, provocando então uma redução do pH da solução aquosa presente ao concreto, podendo chegar até a um pH neutro. Este potencial hidrogeniônico neutro não é capaz de manter a camada passivadora da armadura, acentuando assim a exposição do aço ao processo de corrosão.

O método de ensaio de avaliação de frente de carbonatação consiste na visualização da alteração do pH do revestimento do concreto, por meio da aspersão de um indicador como a solução de fenolftaleína (solução de fenol diluída em 1% de álcool etílico, a qual por suas propriedades físico-químicas apresenta capacidade de mudar de cor na presença de um ácido ou de uma base). Essa substância reage com os produtos das reações de hidratação do cimento e altera a coloração de acordo com a alcalinidade do concreto.

Figura 24 – Índice de pH em escala numérica



Fonte: FREITAS, 2014

Os produtos da reação de hidratação do cimento conferem ao concreto um pH em torno de 13 à 14 (Figura 24). Essa elevada alcalinidade da solução dos poros do concreto é responsável pela formação da película passivadora, que protege o aço contra a corrosão. A penetração do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente na atmosfera provoca a reação de carbonatação do concreto, que reduz seu pH a níveis insuficientes para manter o estado passivo das armaduras, podendo causar a corrosão do aço.

Caso não sejam visualizadas facilmente as armaduras, deve ser feita uma quebra de parte da peça de concreto a ser ensaiada e assim aplicar a solução. Ao aplicar fenolftaleína na

superfície de concreto, a região não carbonatada (pH entre 8,3 e 9,5) assume uma coloração rosa, enquanto a região carbonatada (pH inferior a 8,3) se mantém incolor. Em seguida, são realizadas as medidas da frente de carbonatação, considerando a espessura do concreto de cobrimento.

Figura 25 – Ilustração do ensaio de avaliação de frente de carbonatação por meio da aplicação da fenolftaleína



Fonte: SOLUÇÃO ENG, 2017

#### **2.4.4. ANÁLISE POR TERMOGRAFIA**

Em análise termográfica de edificações procura-se identificar a existência de incoerências nos padrões de temperatura dos elementos construtivos, quando analisados nas mesmas condições. A ocorrência de diferenças de temperatura indica a existência de problemas. Segundo MENDONÇA, AMARAL & CATARINO (2012), a termografia por infravermelhos pode ser utilizada para detecção de causas de patologias verificadas visualmente, tal como pode ser empregado como instrumento de engenharia preventiva, descobrindo patologias ainda não aparentes, mas já embrionárias. Citam-se como algumas destas anomalias as infiltrações ou fugas de água, fendas estruturais e corrosão de armaduras.

As câmeras térmicas transformam uma radiação infravermelha invisível ao olho humano, em uma imagem visível, através da detecção da energia emitida por um objeto, modificando a frequência da energia recebida, transformando dentro da faixa visível do espectro eletromagnético. A radiação medida pela câmera não depende apenas da temperatura do objeto, mas varia também em função da emissividade. A radiação resulta também do meio exterior e reflete-se no objeto, gerando imagens que apresentam as temperaturas superficiais através de uma escala de cores.

A câmera infravermelha restringe-se à utilização da banda espectral de infravermelhos e fundamenta-se na detecção e captação da radiação infravermelha emitida pelos corpos, o que forma, conseqüentemente, a “imagem térmica”. Nota-se que a câmera capta apenas energia radiante recebida da superfície do objeto e não sua luz visível refletida, o que significa que as imagens térmicas podem ser obtidas mesmo em total escuridão.

Referente a este trabalho de conclusão de curso, a análise por termografia teve como principal objetivo identificar sinais de infiltração no sistema estrutural do subsolo de uma edificação residencial. Assim, pode-se observar que na Figura 26 existe a representação da legenda para entendimento das imagens termográficas deste ensaio. Cada cor presente nesta imagem auxilia na compreensão da temperatura em relação à incidência de sinais de infiltração. As cores claras, no caso a cor amarela, representa o pico mais elevado da temperatura e as cores mais escuras, no caso a lilás, representa a temperatura mais baixa ou com umidade.

Figura 26 – Escala de gradiente de temperatura



Fonte: FLIR, 2018

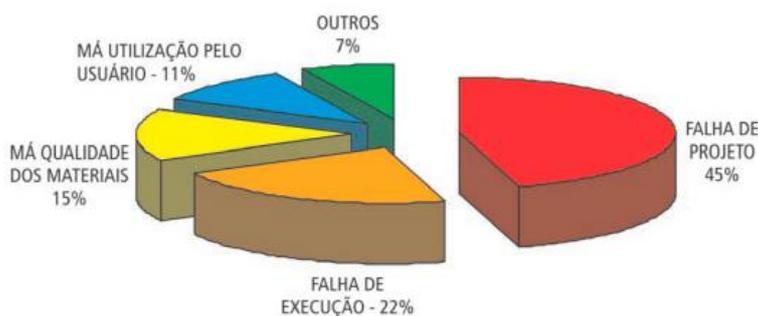
## 2.5. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS MAIS USAS EM EDIFICAÇÕES

VIEIRA (2016) resume uma edificação como sendo o resultado da combinação de materiais diversos e heterogêneos, com mão de obra geralmente não especializada e de grande rotatividade que, junto com a agressividade ambiental presente, a má utilização e a falta de conservação, contribuem para a antecipação dos fenômenos patológicos que tendem a comprometer a funcionalidade, e a segurança do imóvel. Essas manifestações patológicas podem afetar as obras de engenharia, em diferentes etapas construtivas, podendo ocasionar, males congênitos e adquiridos, sendo vulneráveis a acidentes e à deterioração proposta pelo passar do tempo.

Assim se conhecendo a origem do problema, fica viável diagnosticar com certa precisão e de forma correta o método de tratamento e correção para patologia presente à edificação, e

assim, obter um resultado satisfatório e direto para a doença, e ainda, se conhecer o principal “culpado” pela falha vistoriada. De acordo com o IPABE (2016), as principais origens de patologias subdividem-se principalmente em falhas de projeto, execução, má utilização pelos usuários e má qualidade dos materiais.

Figura 27 – Distribuição da incidência dos acidentes prediais por tipo de origem



Fonte: IBAPE, 2016

### 2.5.1. FISSURAS/TRINCAS

De acordo com a revisão literária de SOUZA & RIPPER (2009), as fissuras/trincas podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo mesmo o dano de ocorrência mais comum e aquele que, a par das deformações muito acentuadas, mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários aí incluídos, para o fato de que algo de anormal está a acontecer. A caracterização desta anomalia como deficiência estrutural se dá através das origens das mesmas, as quais devem ser as seguintes:

- Deficiências de projeto: as fissuras/trincas possuem configurações próprias devido à função do tipo de esforço a que estão submetidas as várias peças estruturais;
- Contração plástica: ocorre antes da pega do concreto devido à evaporação excessivamente rápida da água que foi utilizada em excesso para a feitura do material. É geralmente o processo de fissuramento mais comum em superfícies extensas, como lajes e paredes;
- Assentamento do concreto/perda de aderência: ocorre sempre que este movimento natural da massa, resultante da ação da força da gravidade, é impedido pela presença de fôrmas ou de barras da armadura, sendo tanto maior quanto mais espessa for a camada de concreto;

- d) Movimentação de escoramentos e/ou fôrmas: pode resultar da deformação acentuada da peça estrutural ou pela deformação das fôrmas;
- e) Retração do concreto: é um movimento natural da massa que, todavia, se não for considerado, seja em nível de projeto, seja em nível de execução, são grandes as possibilidades do desenvolvimento de um quadro de fissuração, principalmente em lajes e paredes;
- f) Deficiências de execução: acontece no processo executivo, seja por incúria (negligência/desleixo), seja por incompetência;
- g) Reações expansivas: a reação álcalis-agregado pode dar origem a fissuração devido à formação de um gel expansivo dentro da massa de concreto. O concreto fissurado interna e externamente e deteriorado pode perder a durabilidade em grande velocidade, dependendo do tipo de exposição do elemento estrutural, das condições ambientais, da ação de águas agressivas (que penetram pelas fissuras e poros) e do contato das armaduras e com o ar. Estas reações são favorecidas pelo maior grau de umidade do ambiente e pelo fator água-cimento elevado, assim como pelas altas temperaturas, que as aceleram;
- h) Corrosão das armaduras: associada à diminuição de capacidade resistente da armadura por diminuição da área de aço, a *perda de aderência* entre o aço e o concreto, a *desegragação da camada de concreto* envolvente da armadura e a fissuração pela própria continuidade do sistema de desegregação são mecanismos de degradação da estrutura;
- i) Recalques diferenciais: podem ser gerados por incorreções várias na interação solo-estrutura, as quais podem ocorrer tanto nas fases de projeto e de execução, como na de utilização;
- j) Variação de Temperatura: através da instauração de diferentes estados de tensão em diferentes seções de uma mesma peça estrutural e a criação de um estado de sobretensão gerado por contração ou dilatação térmica;
- k) Ações aplicadas: ocasionadas por choques de veículos como por introdução de esforços de protensão (cargas aplicadas), ou ainda pela carga de vigas ou pilares (cargas concentradas).

Ao analisar qualquer tipo de estrutura de concreto que apresente fissura/trinca, é necessário realizar alguns passos para se estabelecer as metodologias e proceder aos trabalhos de recuperação ou de reforço. O primeiro passo a ser dado consiste na elaboração do

mapeamento das fissuras/trincas e em sua classificação, a qual deve ser definida a atividade ou não das mesmas (uma fissura é classificada como ativa quando a causa responsável por sua geração ainda atuar sobre a estrutura, e inativa quando sua causa se tenha feito sentir durante um tempo porém deixado de existir). Por fim, após a classificação das fissuras e posse de seu mapeamento, o próximo passo é iniciar o processo de determinação de suas causas e origens, dando então base teórica à metodologia a ser implantada nos processos executivos que irão ser realizados (SOUZA & RIPPER, 2009).

Pontua-se a necessidade de muita atenção e competência neste trabalho de análise, pois um estudo malfeito pode acarretar à aplicação de um método de recuperação ou de reforço inadequado e, caso não sejam eliminadas as causas das trincas/fissuras, de nada vai adiantar sanar o problema, já que neste caso, o mesmo ressurgirá podendo até se agravar.

### **2.5.2. INFILTRAÇÃO**

Conforme DEUTSCH (2013), a manifestação patológica que mais provoca reclamações e uma das mais difíceis de determinar, são as oriundas de águas. Os defeitos mais comuns nas edificações são a penetração de água, ou problemas oriundos de umidade.

Considerando que a água sempre flui por gravidade, mas que em alguns materiais ela percola, a identificação de umidade, ou mesmo do aparecimento de água, não constitui informação suficiente para a determinação de sua origem. Assim, a penetração da água nas edificações é favorecida pelas frestas, aberturas de vãos, fissuras, falta de estanqueidade e de uma impermeabilização adequada, danos em instalações hidráulicas e pluviais, entre outros, sendo anomalias consequentes de defeitos originados durante o processo construtivo, ou até mesmo por desgastes natural ou mal-uso (DEUTSCH, 2013).

Ainda de acordo com DEUTSCH (2013), a umidade, principal causa ou meio da grande parte de patologias encontradas, facilita o aparecimento de mofo/bolor, eflorescências, ferrugem, perda do sistema de pinturas (manchas de mofo/bolor, descascamento e estufamento) e de argamassas, danificando assim a estrutura como um todo. Esta umidade, provocada pelo agente agressivo em questão (a água), afeta as superfícies situadas longe da pressão hidrostática do terreno pelas seguintes diferentes formas: provocada pela chuva; pela ação capilar; pela tensão superficial; pela pressão do ar; introduzida pelas forças de vento; e resultante de

vazamento/perda de desempenho de sistemas de impermeabilização de redes (principalmente em caixas d'água e piscinas).

Por fim, caso a ocorrência de infiltração esteja em um grau acentuado, será possível a visualização a olho nu de sinais de eflorescências. Eflorescência são depósitos cristalinos que se manifestam por manchas esbranquiçadas na superfície de revestimentos em decorrência da ação da água no sistema. Em função da porosidade da argamassa de rejunte, da argamassa de assentamento e de falhas de estanqueidade e impermeabilização, a água pelo revestimento dissolve e transporta o hidróxido de cálcio livre. Em contato com o ar atmosférico, que contém anidro carbônico, ocorre a reação entre as duas substâncias que resulta na formação de carbonato de cálcio, sal insolúvel de coloração branca (sais de Candlot).

O processo de lixiviação por água corrente ou de infiltração sob pressão (percolação da água nas microestruturas do concreto poroso) tende a eliminar cristais de hidróxidos de cálcio e magnésio, constituintes das pastas de cimento Portland, podendo causar eflorescência. Ademais, com a perda destes sólidos, a estrutura tem sua resistência mecânica reduzida e facilita a entrada de gases e líquidos nocivos à armadura e ao próprio concreto, causando dentre outras anomalias, a corrosão das armaduras e a carbonatação do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

A água advinda do meio externo causa grandes problemas à edificação principalmente quando entra e percola no concreto. Desta forma, a impermeabilização é bastante utilizada para preservar a estrutura e seus componentes, eliminando ou reduzindo a porosidade do material, sendo considerado assim um mecanismo essencial para o prolongamento da vida útil da edificação (FARAH, 2018).

### **2.5.3. CORROSÃO DA ARMADURA**

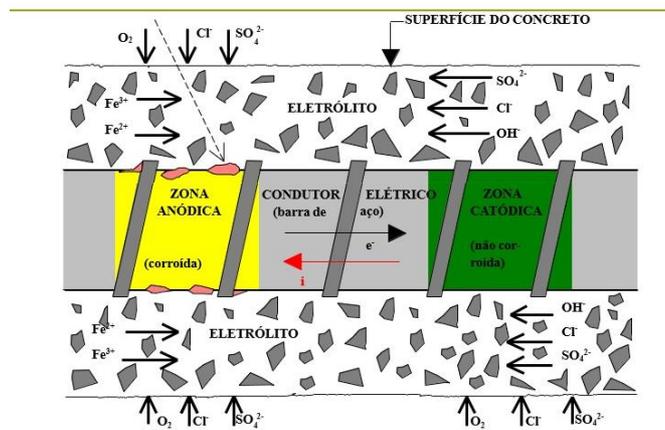
No meio técnico-científico nacional, GENTIL (1987) refere que, “de maneira geral, a corrosão poderá ser entendida como a deterioração de um material, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos”. A corrosão é um sintoma presente em diversas estruturas, podendo ser ocasionado por fatores físicos, químicos e biológicos. Segundo CASCUDO (1997):

“a corrosão de armaduras em concreto é um caso específico de corrosão eletroquímica em meio aquoso, em que o eletrólito apresenta

características de resistividade elétrica consideravelmente mais altas do que as dos eletrólitos típicos” (CASCUDO, 1997)

No caso das barras de aço imersas no meio concreto, a deterioração a que se refere à definição já citada é caracterizada pela destruição da película passivante existente ao redor de toda a superfície exterior das barras, destruição a qual pode ser localizada ou generalizada (Figura 28). Esta película é formada como resultado do impedimento da dissolução do ferro pela elevada alcalinidade da solução aquosa que existe no concreto (SOUZA & RIPPER, 2009).

Figura 28 – Mecanismos de corrosão em uma barra de aço imersa no concreto



Fonte: OLIVEIRA, 2017

Alguns fatores podem colaborar para o princípio e/ou aceleração do processo corrosivo nas armaduras de concreto armado. ANDRADE (1992) aponta que a umidade pode afetar a disponibilidade de oxigênio interferindo na armadura e na resistência do concreto, além da proporção de cloretos, temperatura e a existência de macropores galvânicos. Assim, grande parcela dos casos de corrosão em armaduras está relacionada à exposição das mesmas com a umidade presente no ambiente.

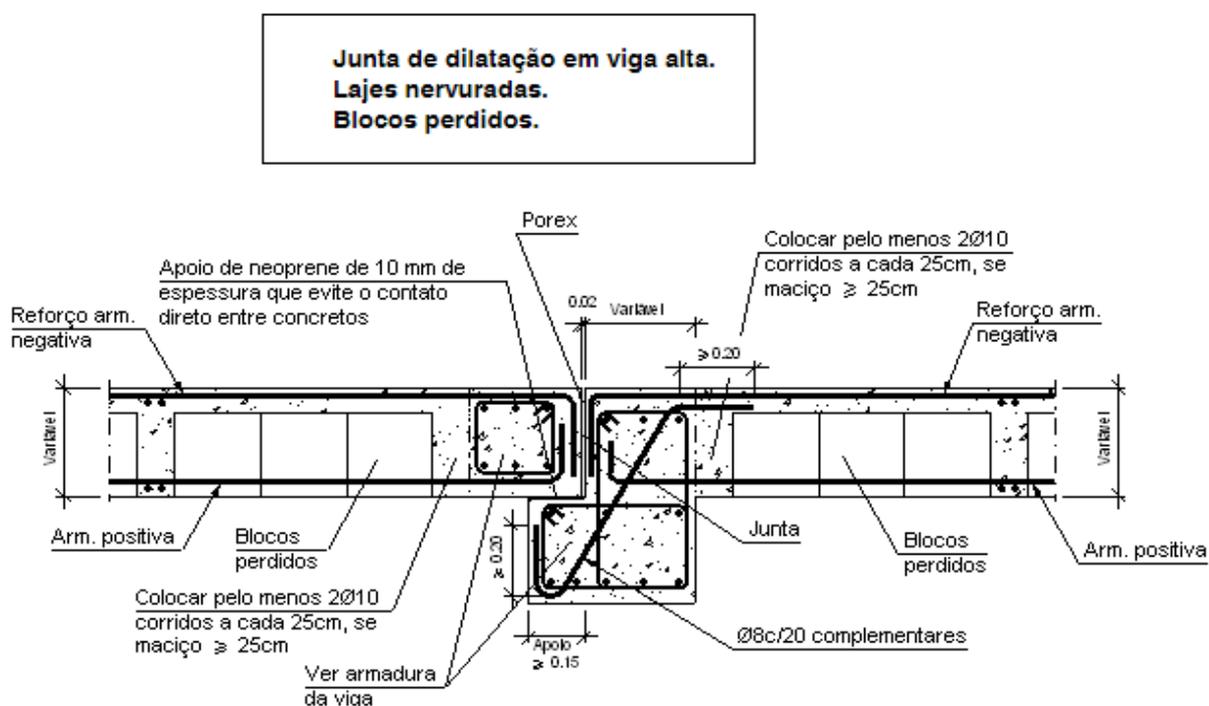
Para HELENE (1986) os processos corrosivos estão relacionados com a agressividade do meio ambiente que atuam sobre as armaduras expostas, ocasionadas pela ineficiência de técnicas construtivas de lançamento, transporte, adensamento, cura, entre outros, tornando assim, a relação água/cimento essencial na permeabilidade dos gases, influenciado diretamente na velocidade de carbonatação. CASCUDO (1997) afirma que o controle de água no concreto retarda a difusão dos cloretos, dióxido de carbono e oxigênio, agentes causadores da corrosão nas armaduras.

A prevenção de corrosões em concreto armado consiste basicamente em evitar que agentes corrosivos penetrem nas armaduras, danificando a estrutura, dessa forma aumentando a vida útil da estrutura de concreto armado e, por conseguinte da edificação.

#### 2.5.4. DETERIORAÇÃO DE JUNTAS DE DILATAÇÃO ESTRUTURAL

Juntas de dilatação estrutural (Figura 29) são elementos de extrema importância em qualquer construção, pois auxiliam na redução do risco de transmissão de esforços gerados pelas cargas atuantes sobre a estrutura e pela dilatação e contração da mesma, provocadas pela variação de temperatura, além da movimentação estrutural provocada pelos diferentes materiais existentes sem que haja transmissão de esforço entre as duas partes da estrutura, garantindo a flexibilidade necessária das estruturas. Além desta função, as juntas exercem o papel de vedação contra a passagem de líquidos e resíduos que podem potencializar o surgimento de anomalias no concreto (VIANA, LIMA, & D'ÁVILA, 2018).

Figura 29 – Detalhes construtivos de junta de dilatação em laje nervurada



Fonte: CYPE INGENIEROS, S.A., 2018

A deterioração das juntas de dilatação de uma edificação se apresenta por meio da danificação de seu material elástico e selante, apresentando sinais de ressecamento e fissura/trincas. Esta perda acentuada de seu desempenho, provocada pelas falhas citadas, contribui para a infiltração de água na estrutura, fato o qual pode ocasionar e/ou agravar o surgimento de corrosão das armaduras nos elementos estruturais do sistema da edificação.

### 3. METODOLOGIA

Embasada na contextualização teórica introduzida, a metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho de conclusão de curso consistiu na realização de inspeções técnicas visuais e realização de ensaios não destrutivos com objetivo de avaliar e diagnosticar o sistema estrutural do subsolo de uma edificação residencial, localizada em Águas Claras no Distrito Federal. Em função da complexidade exigida para este desenvolvimento técnico foi adotado NÍVEL 2 (IBAPE/SP). Os objetos específicos de estudo foram os seguintes elementos estruturais de concreto armado: pilares; vigas; laje nervurada e cortinas de sustentação.

O edifício em estudo contém uma área comum de lazer e duas torres de múltiplos pavimentos, a qual cada bloco residencial caracteriza-se por possuir dez pavimentos tipo com oito apartamentos por andar, totalizando cento e sessenta unidades habitacionais.

O subsolo do edifício, local o qual se caracteriza como sendo o enfoque desta perícia, encontra-se geograficamente sobre a área comum de lazer do condomínio no pavimento térreo. Esta área de lazer é constituída por uma garagem coberta, um pilotis, uma quadra de esportes, uma piscina adulto, uma piscina infantil, um playground, uma brinquedoteca e cinco churrasqueiras. A Figura 30 a seguir ilustra a edificação em questão, onde em amarelo destacam-se as duas torres e em vermelho destacam-se as áreas em comum descritas anteriormente.

Figura 30 – Localização da edificação em estudo, norteando-se as torres habitacionais e a área comum de lazer



Fonte: Google Earth, 2018

Vale destacar que, segundo representantes legais do condomínio, a área do subsolo apresentava sinais de infiltração, anomalia a qual preocupou os moradores e funcionários da edificação, tornando-se então o principal motivo do interesse das partes na realização de inspeções e elaboração de um laudo técnico para averiguar as condições estruturais deste ambiente.

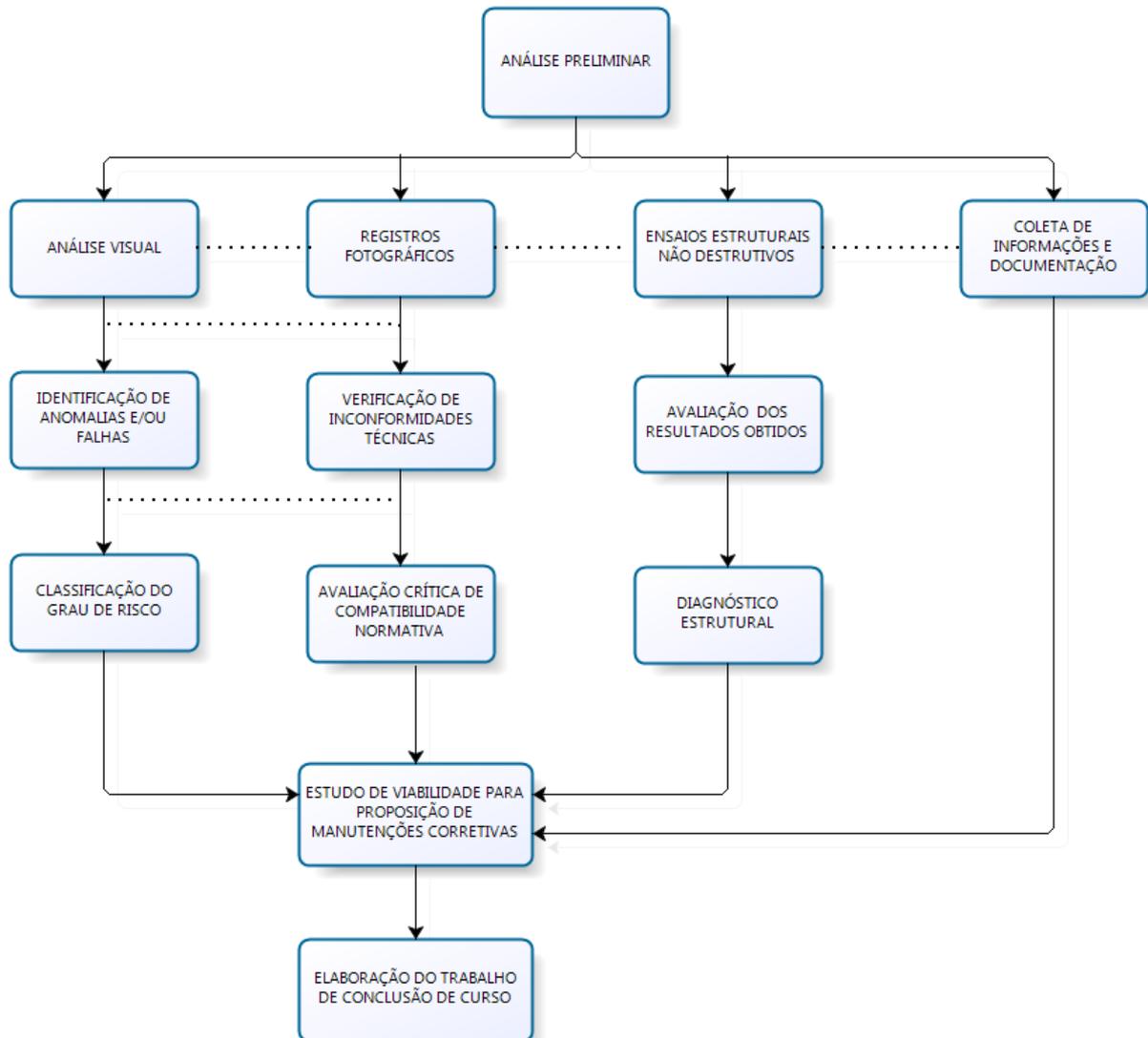
Assim sendo, a análise estrutural do subsolo com o intuito de detectar não somente a infiltração relatada pelo síndico e funcionários do condomínio, mas averiguar a existência que qualquer tipo de anomalia e manifestação patológica principiou-se através de inspeção visual, obtendo dados e informações técnicas a respeito da edificação e seus registros fotográfico e termográfico. Logo após esta vistoria, retornou-se ao edifício a fim de se realizar os ensaios de caráter não destrutivos nos elementos em estudo.

Os ensaios técnicos realizados e sua quantidade estão dispostos a seguir:

- Quatro ensaios de Pacometria;
- Cinco ensaios de Esclerometria, de acordo com a NBR 7584:2013;
- Quatro ensaios de Avaliação de Frente de Carbonatação, com aplicação da substância química fenolftaleína.

Por fim, após a coleta de dados, término da realização das vistorias técnicas e estudo dos resultados dos ensaios tecnológicos foi possível a construção de um plano de manutenção corretiva visando restaurar o desempenho estrutural dos elementos inspecionados a fim de se aprimorar a atual vida útil da edificação. A seguir, foi elaborado o Fluxograma 1, no qual é possível visualizar a representação esquemática da metodologia aplicada nesse trabalho acadêmico pericial.

Fluxograma 1: Passo a passo da metodologia implantada no subsolo da edificação



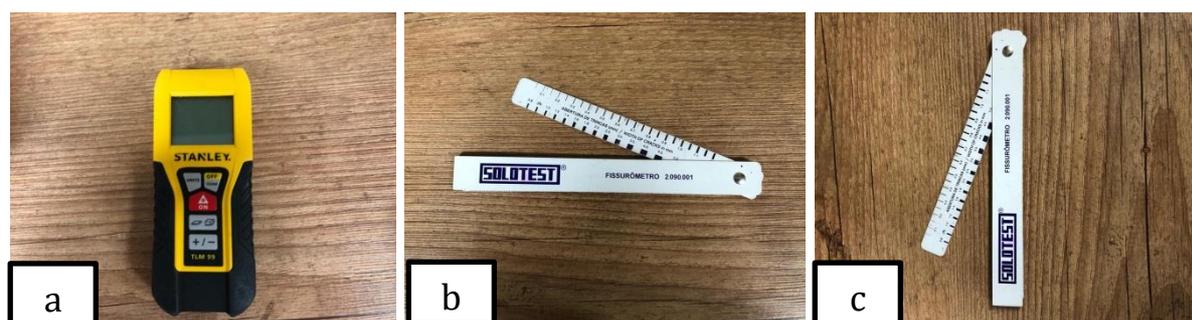
Fonte: Autora, 2018

### 3.1. ANÁLISE TÉCNICA VISUAL

Como etapa preliminar, foram realizadas inspeções visuais a fim de se mapear os elementos estruturais e as possíveis manifestações patológicas e/ou falhas e anomalias presentes no subsolo. Utilizou-se do recurso de trena a laser (Figura 31a) a fim de se obter medidas mais precisas, uso do fissurômetro (Figura 31b e 31c) para aferição de medidas de abertura das trincas/fissuras identificadas durante as vistorias, máquina SONY semiprofissional (Figura 32) para obtenção do registro fotográfico e uso da câmera FLIR modelo C2 (Figura 33) com o objetivo de se realizar uma análise termográfica das lajes, pilares, vigas e cortina de concreto armado.

Vale destacar que a análise termográfica citada anteriormente tem como principal objetivo avaliar a presença ou não de sinais de infiltração nos elementos estruturais, corroborando assim com os resultados obtidos nas diligências realizadas.

Figura 31 – a) Trena a laser STAKLEY. b) e c) Fissurômetro SOLOTEST



Fonte: Autora, 2018

Figura 32 – Câmera SONY semiprofissional para registro fotográfico



Fonte: Autora, 2018

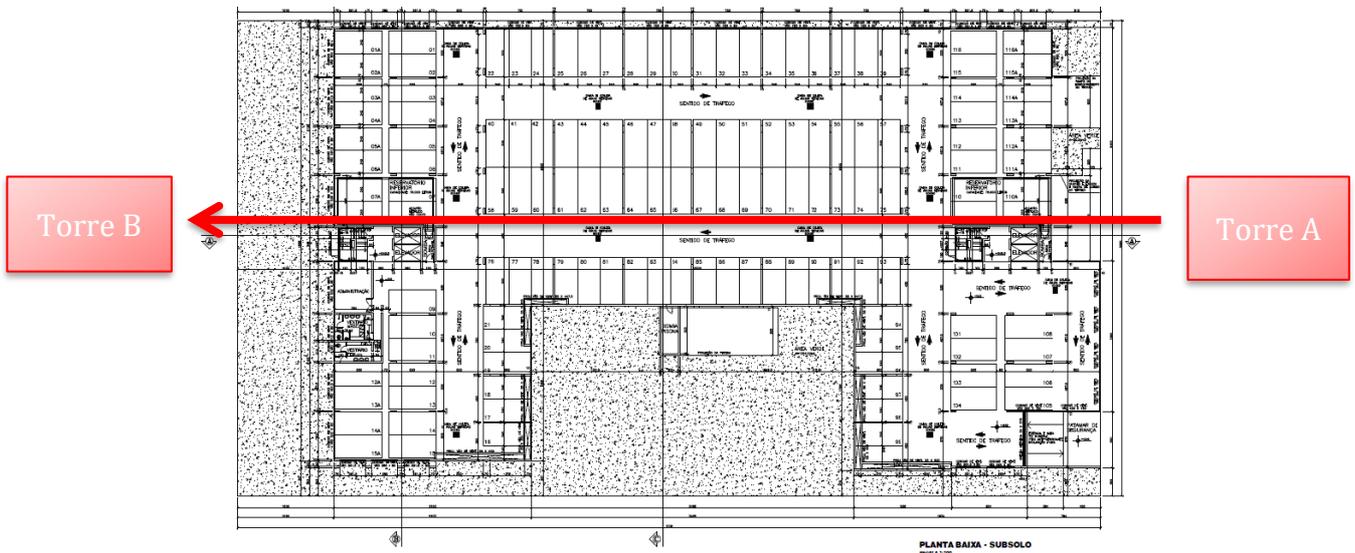
Figura 33 – Câmera FLIR Modelo C2 utilizada para as inspeções de análise estrutural por termografia



Fonte: Autora, 2018

A diligência então se iniciou a partir da entrada da garagem da Torre A e seguiu o percurso de entrada de locomoção do automóvel até a entrada da garagem da Torre B. A Planta Baixa (Figura 34 e Apêndice C) do subsolo a seguir indica esta orientação.

Figura 34 - Planta Baixa do subsolo indicando a orientação de início e fim da inspeção realizada



Fonte: Projetos Condomínio, 2018

É importante destacar que durante as vistorias iniciais já foi possível identificar visualmente a presença de manifestações patológicas como trincas/fissuras, sinais de infiltração, corrosão da armadura, deterioração das juntas de dilatação e sinais de eflorescência nas peças estruturais concreto armado. As figuras 35 a 39 corroboram esta informação.

Figura 35 – Sinais de infiltração na cortina de contenção localizada próxima à vaga 1008 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 36 – Sinais de infiltração, eflorescência e corrosão da armadura na laje nervurada do subsolo



Fonte: Autora, 2018

Figura 37 – Deterioração da junta de dilatação próxima à vaga 404 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 38 – Medição da trinca/fissura localizada na cortina de concreto armado



Fonte: Autora, 2018

Figura 39 – Sinais de infiltração com presença de estufamento e descascamento da pintura na cortina de contenção



Fonte: Autora, 2018

### 3.2. ANÁLISE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Complementarmente à análise visual, foi realizada uma análise estrutural através de ensaios não destrutivos de elementos de concreto armado escolhidos de forma aleatória de modo a compor uma amostra representativa de toda a estrutura do ambiente do subsolo. Todavia, esta escolha mesmo sendo caracterizada aleatoriamente, teve como único guia a identificação de elementos, os quais foram identificados mais passíveis de estarem sofrendo algum tipo de dano estrutural devido à presença de patologias, que foram observadas previamente durante as inspeções visuais.

Seguindo então este único critério descrito, os itens 3.2.1 a 3.2.3 a seguir descrevem os ensaios e seus respectivos locais realizados no ambiente do subsolo da edificação.

### 3.2.1. PACOMETRIA

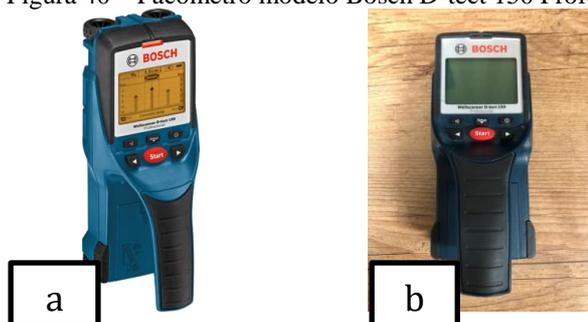
O END em questão teve como objetivo detectar a posição e o diâmetro da barra de aço, além da espessura do revestimento nominal das peças estruturais citadas anteriormente, objetivando então a verificação dos revestimentos executados de acordo ou não com as prescrições da ABNT NBR 6118:2003: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, norma técnica vigente à época da construção da edificação em estudo.

Para a realização do ensaio de pacometria não há norma brasileira atual vigente, entretanto, seguiu-se critérios técnicos para sua realização. Primeiramente, foram escolhidas peças estruturais que se apresentavam próximas aos lugares que foram diagnosticados com presença de anomalias ainda na inspeção visual preliminar a esta etapa de execução. Assim, os ensaios de pacometria foram realizados nos seguintes elementos de concreto armado:

- Ensaio 1: pilar localizado na vaga 113 (identificação do condomínio);
- Ensaio 2: pilar localizado na vaga 1011 (identificação do condomínio);
- Ensaio 3: laje nervurada acima da vaga 1011 (identificação do condomínio);
- Ensaio 4: pilar localizado na vaga 1005 (identificação do condomínio).

Logo em seguida, após a definição das peças listadas acima, realizou-se a identificação dos posicionamentos das armaduras de cada elemento estrutural e utilizou-se o equipamento eletrônico responsável pela realização deste ensaio, o pacômetro, registrando assim, o diâmetro da barra lida em seu monitor. Vale ressaltar que este processo de análise estrutural é realizado por meio de indução magnética. A Figura 40 apresenta o modelo Bosh D-tect 150 Professional, aparelho o qual foi utilizado nos ensaios de pacometria.

Figura 40 – Pacômetro modelo Bosch D-tect 150 Professional



Fonte: a) Bosh Acessórios Profissionais. b) Autora, 2018

Como mencionado no item 3.1 deste presente trabalho, foi possível observar manifestações patológicas e anomalias durante a inspeção visual. Assim sendo, a realização deste ensaio confirmou os dados que foram coletados nas vistorias preliminares, os quais se basearam em insuficiência da espessura do revestimento das barras de aço, característica a qual pode facilitar o processo de corrosão da armadura devido ao ataque da peça por carbonatação. A realização destes ensaios está salientada nas Figuras 41 a 44.

Figura 41 – Ensaio 1 de pacometria realizado no pilar da vaga 113 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 42 – Ensaio 2 de pacometria realizado no pilar da vaga 1011 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 43 – Ensaio 3 de pacometria realizado na laje nervurada acima da vaga 1011 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 44 – Ensaio 4 de pacometria realizado no pilar da vaga 1005 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

### 3.2.2. ESCLEROMETRIA

O ensaio técnico de esclerometria foi executado de acordo com os procedimentos presentes na ABNT NBR 7584/2013: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. Esta norma descreve o método para avaliação da dureza superficial do concreto endurecido, fornecendo assim elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido, estabelecendo uma correlação com a resistência (em Mpa) da peça em estudo e suspeita da corrosão por carbonatação.

O primeiro procedimento adotado para o ensaio foi a localização específica destes, os quais caracterizaram-se sendo pontos próximos de lugares onde foi verificada a exposição da armadura da peça de concreto armado. Este processo de escolha deve-se ao objetivo de se

atestar a influência da carbonatação nos resultados obtidos, pois a formação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) no concreto confere valores de resistência ao impacto. A seguir, estão listados os locais mapeados onde foram realizados os ensaios de esclerometria:

- Ensaio 1 : Laje nervurada acima das vagas 613/512 (identificação do condomínio);
- Ensaio 2: Laje nervurada acima das vaga 609 (identificação do condomínio);
- Ensaio 3: Laje nervurada acima da vaga 113(identificação do condomínio);
- Ensaio 4: Laje nervurada acima da vaga 1011(identificação do condomínio);
- Ensaio 5: Laje nervurada acima da vaga 1005(identificação do condomínio).

É importante destacar que os cinco ensaios de esclerometria foram realizados somente na laje nervurada do subsolo, quesito especificado devido à visualização de preocupantes sinais de infiltração e presença de eflorescência neste elemento estrutural.

Este END é fundamentado no princípio do ricochete e baseia-se na realização de impactos na superfície da estrutura de concreto armado e medir o retorno desta força aplicada após o seu impacto. Para a realização do ensaio foi utilizado o esclerômetro de Schmidt, da marca PROCEQ. A Figura 45 ilustra o aparelho utilizado durante a execução do ensaio *in locu*.

Figura 45 –Esclerômetro Schmidt PROCEQ utilizado nos ensaios de esclerometria na laje nervurada do subsolo da edificação



Fonte: Autora, 2018

As superfícies das áreas deste ensaio devem estar secas e preferencialmente planas. Superfícies de concreto úmidas, carbonatadas ou regiões afetadas por segregação, exsudação, concentração excessiva de armadura e até juntas de concretagem devem então ser evitadas. Assim, após a escolha do lugar, deve-se preparar a área do ensaio por meio de polimento energético com disco de carborundum (Figura 46), através de movimentos circulares.

Figura 46 – Disco de carborundum, o qual é utilizado para realização do ensaio de esclerometria



Fonte: Autora, 2018

Conforme estabelecido na norma, foram executados dezesseis impactos em pontos uniformemente distribuídos e espaçados em uma distância mínima de trinta milímetros. Esta malha dividida em dezesseis pontos foi realizada através da localização das barras de aço da laje nervurada, utilizando-se do recurso do pacômetro, e, por conseguinte, a demarcação das delimitações das áreas a serem ensaiadas com fita adesiva na cor branca. Vale ressaltar que este procedimento de demarcação pelo pacômetro não ocorreu, pois não foi necessário, uma vez que era possível visualizar nitidamente as posições das barras de aço na laje nervurada do subsolo, lugar onde foram executados todos os ensaios de esclerometria (Figura 47).

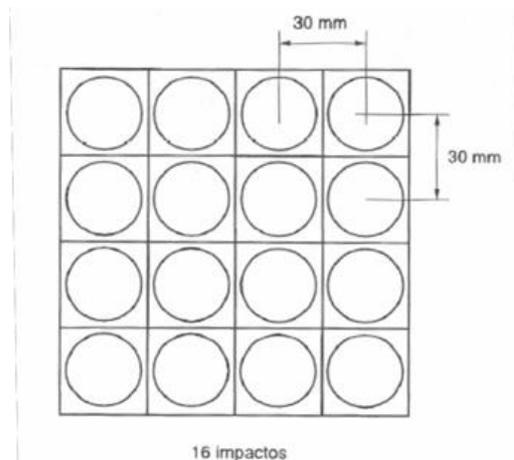
Figura 47 – Visualização nítida das exatas posições das barras de aço na laje nervurada



Fonte: Autora, 2018

A Figura 48 a seguir exemplifica essa malha divisória e a Figura 49 ilustra o processo de fabricação da mesma *in locu*.

Figura 48 – Esquema ilustrativo da malha dividida em 16 pontos para a realização do ensaio de esclerometria



Fonte: NBR 7584:2013 – ABNT (2013)

Figura 49 – Elaboração da malha in locu. a) Utilização de fita adesiva na cor branca. b) Utilização do pacômetro para mapeamento das barras de aço



Fonte: Autora, 2018

Por fim, é cabível ressaltar que a norma não permite mais de um impacto sobre o mesmo ponto de aplicação, tendo então que destacar o segundo valor lido no visor do aparelho caso seja realizado uma segunda aplicação de força. A realização deste ensaio está sendo corroborada pelas Figuras 50 a 54 a seguir.

Figura 50 – Realização do ensaio 1 de esclerometria na laje nervurada acima das vagas 613 e 512 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 51 – Realização do ensaio 2 de esclerometria na laje nervurada acima da vaga 609 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 52 – Realização do ensaio 3 de esclerometria na laje nervurada acima da vaga 113 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 53 – Realização do ensaio 4 de esclerometria na laje nervurada acima da vaga 1011 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 54 – Realização do ensaio 5 de esclerometria na laje nervurada acima da vaga 1005 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

### 3.2.3. AVALIAÇÃO DE FRENTE DE CARBONATAÇÃO

A fim de se obter um resultado de ensaio mais prático e com maior facilidade de visualização a respeito da carbonatação da peça estrutural em estudo, a laje nervurada do subsolo da edificação, optou-se pela realização de avaliação de frente de carbonatação do concreto. Este ensaio não é normatizado, todavia, seguiu-se critérios de procedimentos para se obter uma conformidade de ações para sua realização.

A avaliação de frente de carbonatação consiste então na visualização da alteração do Ph do cobrimento do concreto, por meio da aplicação da solução fenolftaleína. Esse indicador

reage quimicamente com os produtos das reações de hidratação do cimento, alterando assim a coloração do local de sua aplicação dependendo da alcalinidade atual do concreto.

Usualmente, é feita o escareamento do concreto para visualização das barras de aço da peça e possível aplicação da fenolftaleína. No entanto, não foi preciso esta ação, pois nos locais os quais foram escolhidos para a realização dos ensaios, já era possível visualizar as barras. Assim, com o auxílio de uma escada e funcionário do condomínio, foram feitas as aplicações desta substância, a qual foi borrifada nos locais listados a seguir:

- Ensaio 1: Laje nervurada acima da vaga 609 (identificação do condomínio);
- Ensaio 2: Laje nervurada acima da vaga 513 (identificação do condomínio);
- Ensaio 3: Laje nervurada acima da vaga 811 (identificação do condomínio);
- Ensaio 4: Laje nervurada acima da vaga 1010 (identificação do condomínio);
- Ensaio 5: Laje nervurada acima da vaga 1005 (identificação do condomínio);

O produto químico fenolftaleína ao reagir com componentes do concreto pode assumir uma coloração rosa, caso a região de aplicação não encontrar-se em processo de carbonatação (pH entre 8,5 e 9,5), ou pode manter-se incolor (pH inferior a 8,5), indicando que a região já está sofrendo processo de carbonatação em seu concreto, comprometendo assim a vida útil da peça em estudo devido à possibilidade de corrosão do aço da mesma.

As Figuras 55 a 59 ilustram este ensaio técnico de avaliação de frente de carbonatação do concreto no subsolo da edificação.

Figura 55 – Realização da aplicação 1 de fenolftaleína na laje nervurada acima da vaga 609 (identificação do condomínio)



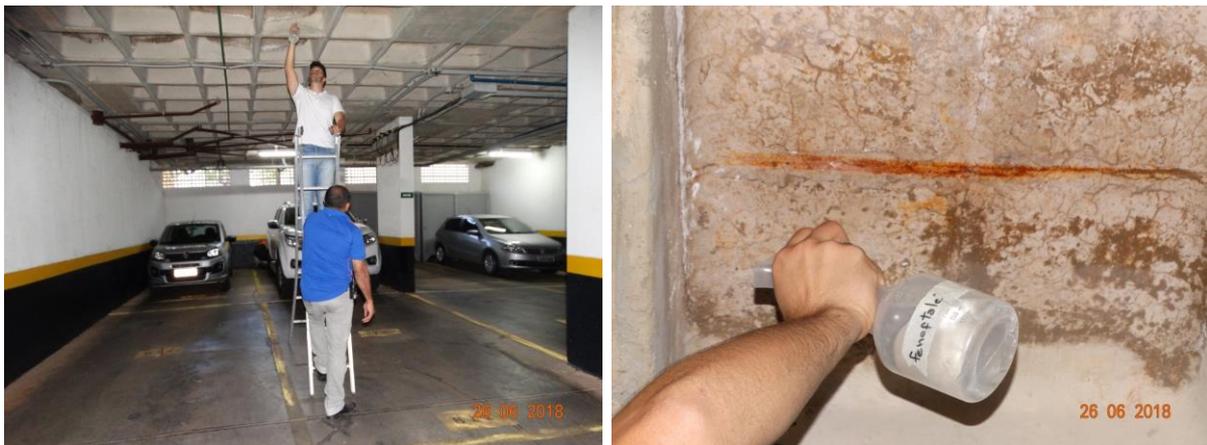
Fonte: Autora, 2018

Figura 56 - Realização da aplicação 2 de fenolftaleína na laje nervurada acima da vaga 513 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 57 - Realização da aplicação 3 de fenolftaleína na laje nervurada acima da vaga 811 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 58 - Realização da aplicação 4 de fenolftaleína na laje nervurada acima da vaga 1010 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 59 - Realização da aplicação 5 de fenolftaleína na laje nervurada acima da vaga 1005 (identificação do condomínio)

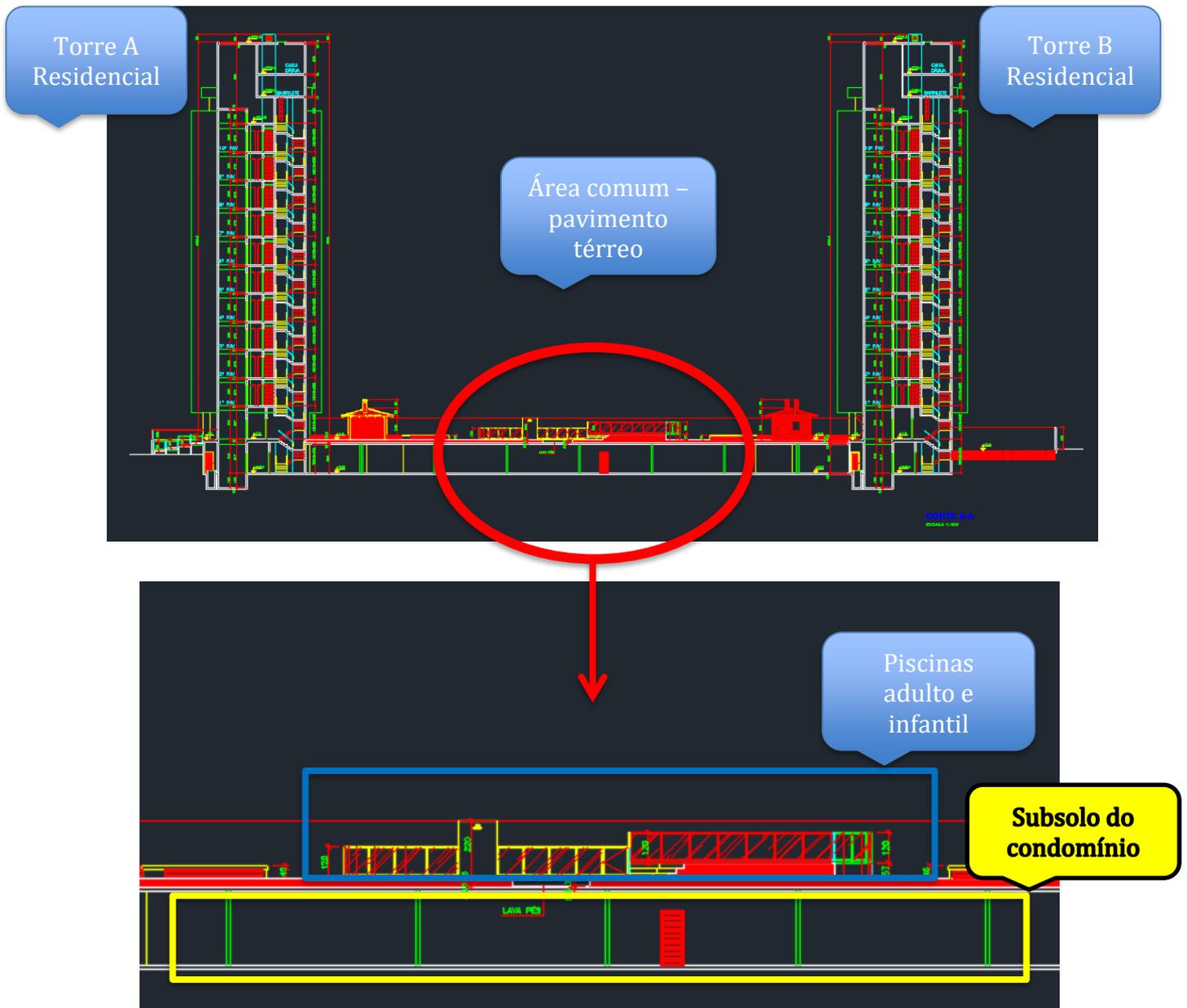


Fonte: Autora, 2018

### 3.3. ANÁLISE VISUAL DA REDUÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA DA PISCINA

Inserido no contexto da principal preocupação dos representantes legais do condomínio, notou-se durante as inspeções que o subsolo, local focal deste trabalho, localizava-se geograficamente abaixo da área comum do condomínio, mais especificadamente sob as piscinas de uso coletivo. A Planta Arquitetônica da edificação a seguir corrobora com esta informação (Figura 60 e Apêndice C).

Figura 60 – Corte AA da Planta Arquitetônica do condomínio em estudo



Fonte: Projetos Condomínio, 2018

Foi realizado então um rebaixamento do nível d'água na piscina adulto de até 03 centímetros abaixo dos bicos da estrutura a fim de se monitorar durante o período de sete dias algum diferencial entre os níveis de água nesta estrutura. Caso houvesse a percepção de um desnível de água, haveria de se suspeitar da existência de algum tipo de problema decorrente de falhas do sistema de vedação da piscina em questão, anomalia a qual se localizaria provavelmente nos dispositivos de drenagem, sucção, filtragem ou falhas gerais em seu sistema de impermeabilização.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo dedica-se à apresentação dos resultados aferidos a partir da conclusão de todas as vistorias técnicas e realização dos ensaios tecnológicos, além dos registros fotográficos e termográficos obtidos durante as inspeções. As discussões das respectivas análises têm como objetivo fomentar conclusões em cumprimento aos objetivos desta presente monografia.

### 4.1. ANÁLISE VISUAL DO SUBSOLO

A análise técnica visual do subsolo do edifício em estudo apresentou desde o início das inspeções aspectos de falhas e anomalias nas peças estruturais em avaliação. A descrição e comprovação da presença de cada manifestação patológica observada durante as diligências estão dispostas a seguir.

#### 4.1.1. SINAIS DE INFILTRAÇÃO NA LAJE NERVURADA DE CONCRETO ARMADO

Durante as inspeções técnicas foram identificados sinais que indicam processo de infiltração avançado, com manifestação de manchas de umidade, danos à estrutura de concreto armado da laje superior, como deslocamento do concreto, e formação de eflorescências. Este processo de infiltração na laje nervurada encontra-se em nível avançado de deterioração, ao ponto de devido ao seu alto nível de evolução, acarretou-se a formação de sal de candlot/estalactites na peça estrutural em questão, conforme indicam as Figuras 61 a 63.

Figura 61 – Sinais de infiltração na laje nervurada do subsolo



Fonte: Autora, 2018

Figura 62 – Sinais de eflorescência e manchas na laje de concreto armado do subsolo em estudo



Fonte: Autora, 2018

Figura 63 – Presença de sal de candlot na laje nervurada



Fonte: Autora, 2018

Analisando esta manifestação patológica é de extrema importância destacar a função do local da inspeção. O subsolo da edificação é destinado a vagas de garagem dos moradores do condomínio. Garagens localizadas em subsolo de edificações é por natureza um local de classe de agressividade II (segundo a NBR 6118:2003), exigindo então uma alta atenção no cobrimento do concreto o qual, pela mesma norma técnica (NBR 6118:2003) deve ser de 25 mm em lajes e 30 mm em vigas e pilares, devido a presença de gases nocivos à durabilidade do mesmo, como por exemplo, o dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , expelido por automóveis que transmutam constantemente no local.

Outro fator a se destacar além da função do local da vistoria é o local geográfico deste ambiente. Nota-se, como foi explicitado no item 3.3 do presente trabalho, que a laje nervurada em questão tem como função estrutural no edifício e encontra-se logo abaixo da área comum do condomínio. Por estes motivos, conclui-se que esta patologia na laje nervurada de concreto

armado do subsolo indica que provavelmente o sistema de impermeabilização das áreas do pavimento térreo do condomínio apresenta falhas de estanqueidade devendo ser imediatamente recuperado.

Por fim, assume-se que em torno de 90% da área total da laje nervurada encontra-se com sinais de infiltração. Assim, devido ao elevado grau de deterioração da peça por avançado sinais de infiltração, avaliou-se esta manifestação patológica na laje nervurada como grau risco crítico (IPABE-SP), pois falhas dos sistemas de impermeabilização, mesmo que pontuais, permitem a infiltração de água nas estruturas de concreto, causando a deterioração das barras de aço pelo processo de corrosão e comprometem assim a estabilidade da estrutura.

#### **4.1.2. SINAIS DE INFILTRAÇÃO NA CORTINA DE SUSTENTAÇÃO DE CONCRETO ARMADO**

Assim como descrito no item 4.1.1 anteriormente, foram também identificados sinais de infiltração na cortina de sustentação do subsolo do condomínio em estudo. Este elemento de concreto armado apresentou sinais de eflorescências, além de estufamento e descascamento de pintura, corroborando com a visualização e identificação de infiltrações, conforme Figuras 64 e 65.

Figura 64 – Sinais de estufamento e deslocamento da pintura na cortina de contenção localizada na vaga 505 (identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

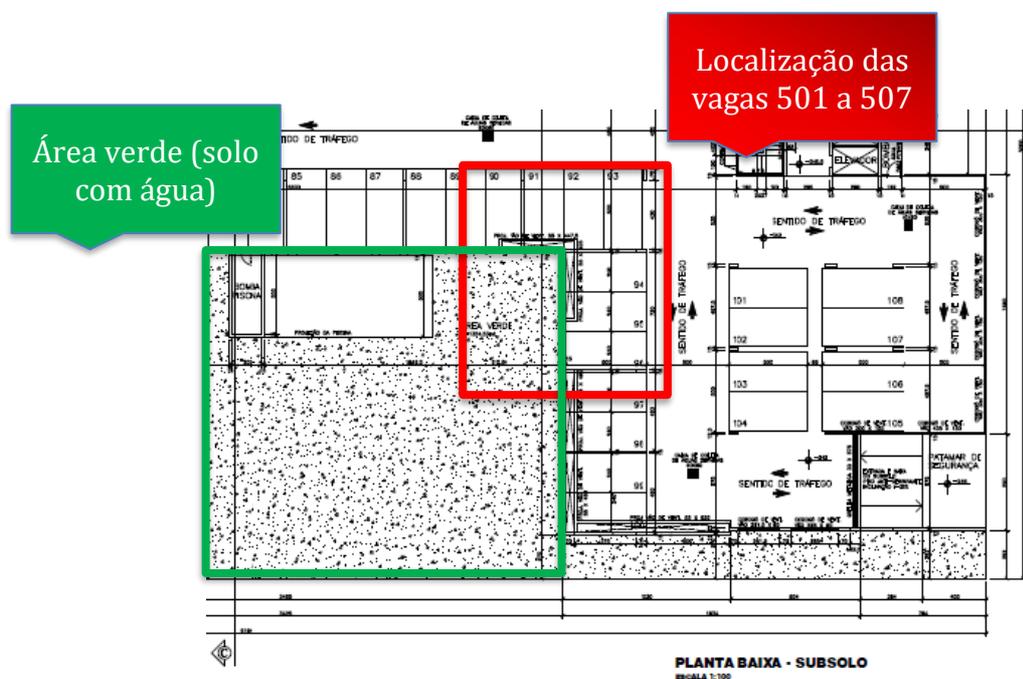
Figura 65 – Sinais de infiltração na cortina de concreto armado, além de presença de trincas/fissuras (localizada na vaga 503 – identificação do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

O fator interessante na visualização desta manifestação patológica é a sua localização precisa e a exata posição da trinca/fissura facilmente identificada na cortina. Em relação a sua localização, nota-se de acordo com as Plantas Arquitetônicas (Apêndice C) do subsolo a seguir que esta anomalia encontra-se assiduamente nas vagas de número 90 a 96 (identificação do croqui), sendo estas as vagas 501 a 507 (de acordo com a identificação do condomínio).

Figura 66 – Planta arquitetônica do subsolo indicando precisa localização da anomalia em estudo



Fonte: Projetos Condomínio, 2018

Assim, é notória a relação da falha do sistema de impermeabilização da área verde do pavimento térreo com a presença da infiltração na cortina de concreto armado do subsolo. Vale destacar que esta anomalia foi observada ao longo de toda esta estrutura de sustentação e não apenas nas vagas demarcadas no Croqui acima (Figura 66).

Faz-se o adendo da importância da localização das fissuras/trincas na ligação estrutura alvenaria, pois foi verificado que suas aberturas, ocasionadas pela movimentação estrutural do pilar, viga e alvenaria juntamente com a provável ausência de amarração adequada e falha do rejunte acentuaram a passagem da água ocasionando o aumento do grau de infiltração na cortina de sustentação. O assunto será abordado de maneira mais detalhada no item 4.1.5 do presente trabalho.

Concluiu-se que em torno de 70% da área total da cortina de contenção de concreto armado do condomínio apresenta sinais de infiltração. Pelos mesmos motivos da classificação dos sinais de infiltração na laje nervurada, esta anomalia na cortina de contenção de concreto armado classifica-se como grau de risco crítico (IBAPE-SP), pois está diretamente interligada à vida útil da edificação.

#### **4.1.3. SINAIS DE CORROSÃO DA ARMADURA NA LAJE NERVURADA**

Os sinais de corrosão da armadura na laje nervurada foram verificados desde a inspeção visual e confirmados com a leitura dos resultados dos ENDS realizados, os quais serão descritos posteriormente no item 4.3. As Figuras 67 e 68 ilustram essa manifestação patológica verificada neste ambiente vistoriado.

Figura 67 – Corrosão da armadura verificada na laje nervurada do subsolo da edificação



Fonte: Autora, 2018

Figura 68 – Comprovação de carbonatação do concreto e visualização de corrosão nas barras de aço da laje de concreto armado em estudo



Fonte: Autora, 2018

Segundo MARCELLI (2007), a corrosão dos aços consiste em um processo eletroquímico, o qual pode ter sua eficiência aumentada por fatores como agentes agressivos externos e internos (adicionados ao concreto ou gerados pelo ambiente). É de conhecimento que a corrosão ocorre somente com a presença de oxigênio, umidade e ocorrência de um processo eletroquímico, elementos os quais foram observados como presentes nesta peça estrutural (conceitos e mecanismo explicitados na metodologia do presente trabalho, item 3).

Além do mais, pode se afirmar que a corrosão da armadura provém de processos anteriores como o surgimento da ferrugem e sua expansão das barras de aço, causando então a fissuração da peça de concreto armado. É interessante ressaltar este conhecimento, pois durante as diligências foi possível visualizar com elevado grau de facilidade as trincas/fissuras na laje nervurada do subsolo, anomalia a qual será exposta no próximo item deste capítulo.

Assim sendo, conclui-se que em função da passagem da água, provinda da área comum no pavimento térreo do condomínio foi possível observar estes pontos de exposição e corrosão da armadura desta peça acompanhados de deslocamento da camada de concreto de cobertura em decorrência do processo de infiltração.

Avaliou-se que por volta de 60% da área total da laje nervurada apresentou sinais de corrosão da armadura. Esta manifestação patológica é então classificada como grau de risco crítico (IBAPE-SP) devido ao fato de que em estruturas de concreto armado, o processo de corrosão das barras de aço indica perda de desempenho da armadura e representa, portanto, riscos à estabilidade estrutural.

#### 4.1.4. TRINCAS/FISSURAS NA LAJE NERVURADA DE CONCRETO ARMADO

A existência de trincas/fissuras na laje superior de concreto armado do subsolo contribui diretamente na passagem da água do pavimento térreo para o subsolo através de suas aberturas. Ao longo das vistorias, foi verificada a presença de telhas fibrocimento/amianto com o propósito de redirecionar a água que está infiltrando através da laje superior, evitando assim seu contato com o eventual automóvel estacionado nos lugares que são destinados à vagas dos mesmos. A Figura 69 indica a presença desta patologia, sinalizada em vermelho, e a Figura 70 ilustra a localização exata das telhas mencionadas.

Figura 69 – Presença de trincas/fissuras na laje superior do subsolo do edifício



Fonte: Autora, 2018

Figura 70 – Telha fibrocimento/amianto acima da vaga 611 (localização do condomínio) utilizada para redirecionamento da água



Fonte: Autora, 2018

Concluiu-se que todas as cubetas apresentavam trincas/fissuras, ou seja, em torno de 85% da área total da laje contém este tipo de anomalia. Ademais, sabe-se que o concreto é um material poroso, onde há espaços vazios onde a água percorre naturalmente devido a ação da

gravidade justificada pela orientação e sentido do percurso da água proveniente do pavimento térreo. Juntamente com esta passagem, a abertura das trincas/fissuras neste elemento acentua mais ainda o processo de infiltração e corrosão das armaduras existentes no local. Por este motivo, esta anomalia classifica-se como grau de risco crítico (IBAPE – SP).

#### 4.1.5. TRINCAS/FISSURAS NA CORTINA DE CONTENÇÃO

Inspecionou-se também a existência de trincas/fissuras ao longo da peça de cortina de contenção do ambiente em estudo (Figuras 71 e 72). Foi utilizado o fissurômetro para a medição e estudo das aberturas destas patologias.

Figura 71 – Trincas/fissuras ocasionadas devido à falta de amarração estrutura-alvenaria-estrutura



Fonte: Autora, 2018

Figura 72 – Trincas/fissuras vistoriadas na cortina de contenção do subsolo

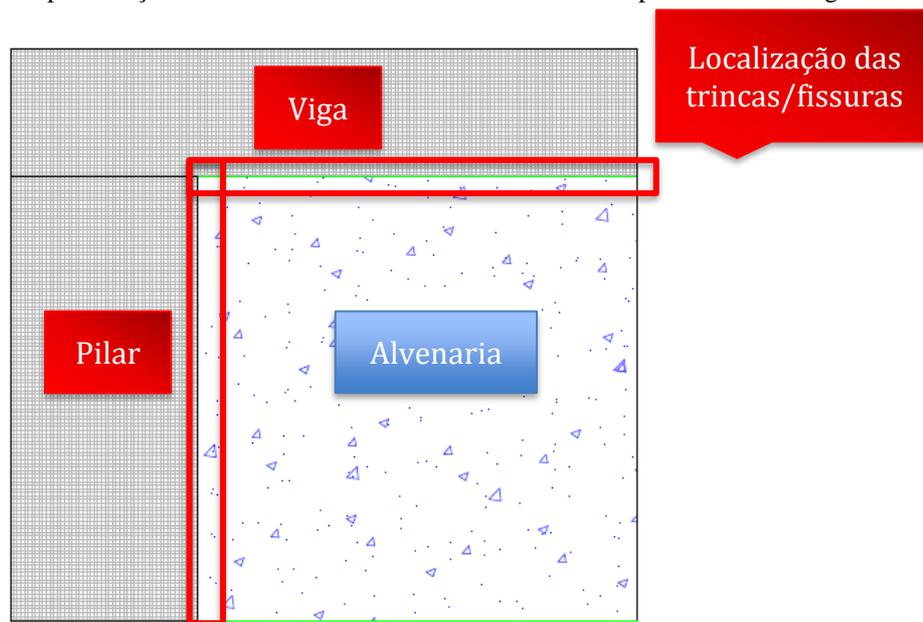


Fonte: Autora, 2018

Inferiu-se que assim como verificado e mencionado no item 4.1.2, as infiltrações vistoriadas descritas foram agravadas pela passagem da água, advinda do pavimento térreo do

condomínio, através das aberturas das trincas/fissuras (sinalizadas em vermelho), localizadas na cortina de contenção, as quais foram ocasionadas devido à movimentação estrutural ocorrida e a provável falta de amarração entre os sistemas construtivos pila-alvenaria-viga. O Croqui 1 (Figura 73) ilustra teoricamente o que foi vistoriado.

Figura 73 –Croqui 1- Representação das trincas/fissuras no sistema construtivo pilar-alvenaria-viga



Fonte: Autora, 2018

Devido ao agravamento das infiltrações no subsolo pela presença das trincas/fissuras inspecionadas, estas anomalias classificam-se como grau de risco crítico (IBAPE-SP), pois prejudicam diretamente a vida útil da edificação, em função do agravamento que o processo de infiltração pode causar na corrosão das armaduras da peça estrutural em questão. Apesar do seu grau crítico, quantificou-se visualmente que nesta peça estrutural somente 20% de sua área total apresentavam trincas/fissuras.

#### 4.1.6. DETERIORAÇÃO DAS JUNTAS DE DILATAÇÃO ESTRUTURAL

Ao fim das diligências realizadas, observou-se que a junta de dilatação estrutural do edifício apresenta anomalias/falhas no seu material elástico e selante, como sinais de ressecamento e fissuras/trincas (Figuras 74 e 75). Esta perda acentuada de desempenho contribui diretamente para a ocorrência de infiltrações e assim agrava o surgimento de corrosão das armaduras nas peças estruturais.

Figura 74 – Juntas de dilatação deterioradas entre as vagas 404 e 613 (identificação por parte do condomínio)



Fonte: Autora, 2018

Figura 75 – Falhas no material mastique e selante da junta de dilatação vistoriada



Fonte: Autora, 2018

Verificou-se que 100% das juntas encontram-se danificadas. Esta deterioração das juntas de dilatação no subsolo propicia a passagem da água pela estrutura, prejudicando então o desempenho e funcionalidade da edificação em estudo. Logo, esta manifestação patológica é classificada como grau de risco crítico (IBAPE-SP).

#### 4.2. ANÁLISE TERMOGRÁFICA

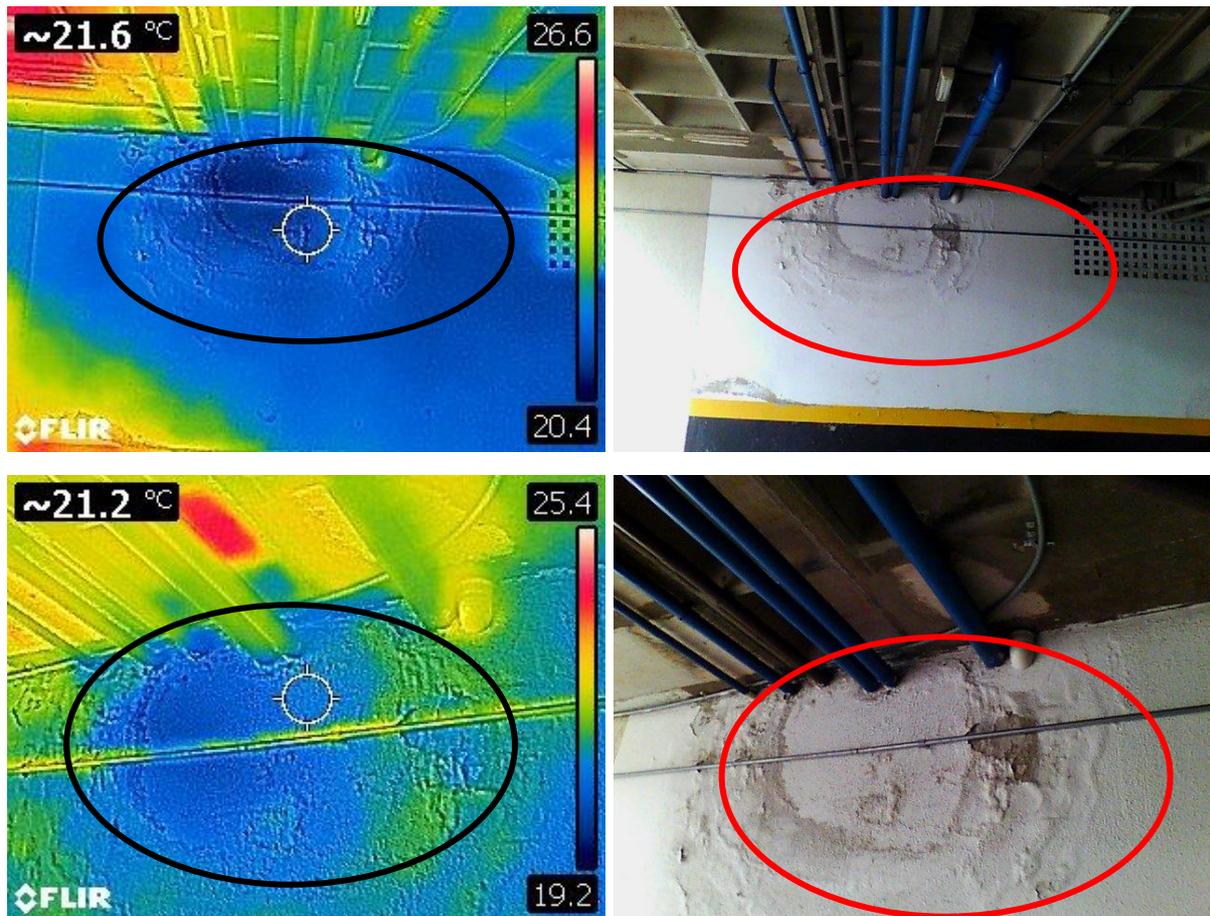
Avaliou-se preliminarmente a necessidade de, ao decorrer das inspeções técnicas, a realização de uma análise estrutural por meio de obtenção de imagens termográficas. Isso deve-se principalmente pela principal preocupação dos representantes legais do condomínio em relação aos sinais de manchas de infiltrações e sinais de eflorescência existentes na laje nervurada e na cortina de sustentação de concreto armado.

Para a obtenção das imagens termográficas no sistema construtivo do subsolo das Torres A e B da edificação utilizou-se a câmera térmica FLIR modelo C2. As infiltrações constatadas nas imagens por esse aparelho são simbolizadas pelas áreas de cor azul/roxo. A umidade presente em qualquer peça estrutural é indicada pelas diferentes cores presentes (vermelho/laranja representam locais com maiores temperaturas; em contraposição o azul/roxo indicam locais com menores temperaturas).

Vale destacar mais uma vez que essa passagem da água, agente responsável pela umidade presente no sistema, entre o meio exterior (pavimento térreo e área verde) para o meio interior (subsolo) dá-se através das falhas do sistema de impermeabilização e vedação constatadas.

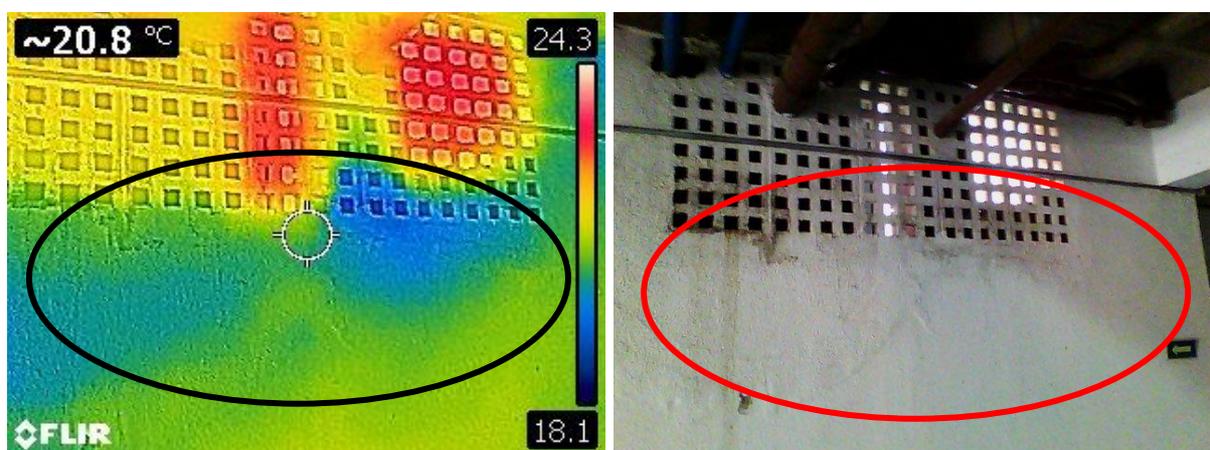
Os registros termográficos assimilados com os fotográficos facilitaram a identificação e localização precisa da presença de umidade nos elementos. As Figuras 76 a 79 comprovam então a existência de infiltração destacados pela marcação em preto e vermelho. Conclui-se mais uma vez a veracidade da existência desta manifestação patológica, a qual está corroborando com a corrosão das armaduras e diminuindo assim a resistência e durabilidade das peças estruturais no subsolo do edifício. Esta anomalia classifica-se, como já mencionado anteriormente, sendo então de grau de risco crítico (IBAPE-SP).

Figura 76 – Registro termográfico e fotográfico da cortina de contenção localizada na rampa de acesso ao subsolo do edifício



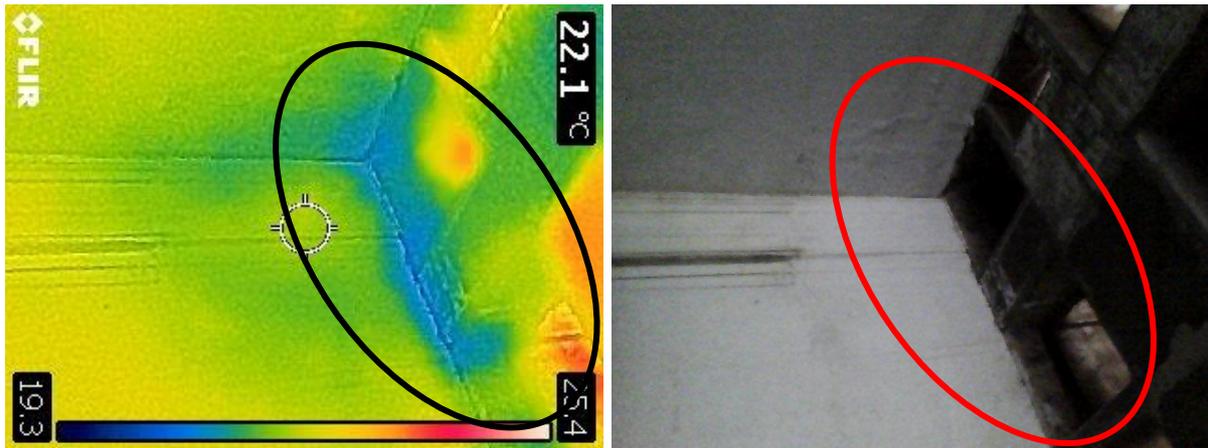
Fonte: Autora, 2018

Figura 77 – Registro termográfico e fotográfico da cortina de contenção localizada próxima a entrada de acesso à torre A



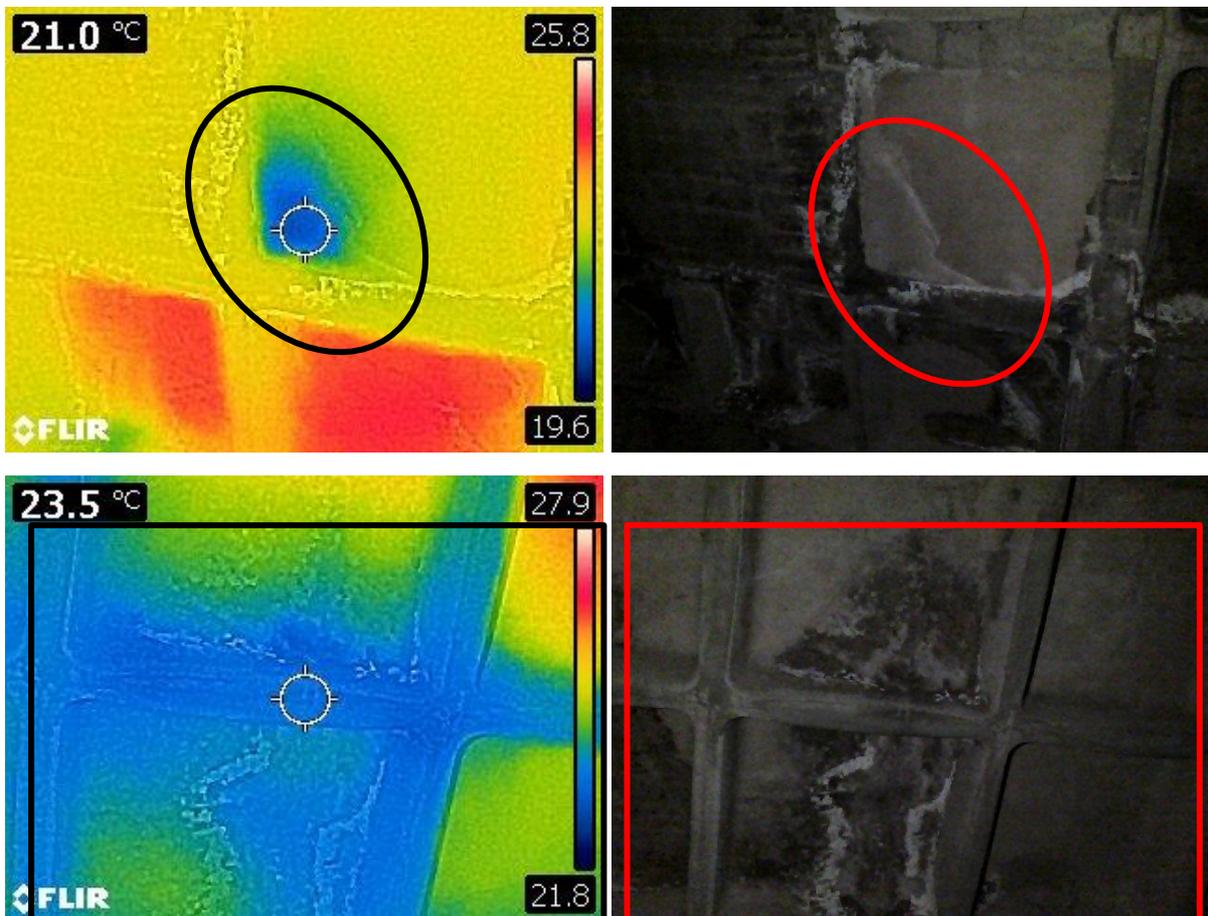
Fonte: Autora, 2018

Figura 78 – Registro termográfico e fotográfico do sistema estrutural com alvenaria



Fonte: Autora, 2018

Figura 79 – Registro termográfico e fotográfico da laje nervurada do subsolo



Fonte: Autora, 2018

### 4.3. ANÁLISE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

De acordo com o que foi acordado na metodologia do trabalho, foi realizada uma análise estrutural da laje nervurada e pilares, elementos de concreto armado, através de ensaios não destrutivos *in locu* (pacometria, esclerometria e avaliação da frente de carbonatação). A seguir, estão dispostos os resultados e discussões a respeito do estudo dos valores obtidos após o término de todas as diligências executadas.

#### 4.3.1. PACOMETRIA

O ensaio de pacometria é um END e tem como objetivo determinar o cobrimento das armaduras de peças de concreto armado, sendo executado nos elementos dispostos e localizados de acordo com o que foi explicitado no item 3.2.1. Os resultados deste ensaio técnico estão dispostos na Tabela 1 a seguir. Nesta mesma tabela também encontram-se os locais e elementos estruturais específicos nos quais foram realizados a pacometria.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de pacometria realizados no subsolo da edificação

<b>Cobrimento nominal</b>	<b>pilar da vaga 113</b>	<b>pilar da vaga 1011</b>	<b>laje acima da vaga 1011</b>	<b>pilar da vaga 1005</b>
Medida (mm)	9	24	20	21
Medida (mm)	9	21	20	17
Medida (mm)	8	22	21	16
Medida (mm)	9	22	23	16
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>18</b>

Fonte: Autora, 2018

Ao decorrer das inspeções, foram obtidas informações e dados a respeito do histórico da edificação. Foi possível obter então plantas arquitetônicas de toda a construção, as quais estão dispostas ao longo do presente trabalho. Sendo assim, verificou-se que o edifício utilizou como referência para a realização das obras a NBR 6118:2003: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, devido à data da última alteração do projeto de arquitetura aprovado (destacado em vermelho na Figura 80) fornecido pelo Condomínio.

Figura 80 – Print de informações a respeito de dados do projeto de arquitetura aprovado para construção da edificação em estudo

PROJETO DE ARQUITETURA				
RESIDENCIAL	PLANTA BAIXA SUBSOLO			02/10
	DATA	ÚLTIMA ALTERAÇÃO	ESCALA	DESENHO
	ABRIL/2003	05/06/2003	1:100	██████████
				ARQ: Q101lote6-TE

Fonte: Projetos Condomínio, 2018

Estudando-se a NBR 6118:2003, estabelece o subsolo da edificação como classe de agressividade ambiental II por apresentar maior risco de deterioração da estrutura devido à sua funcionalidade. Para essa classificação estabelece-se um cobrimento nominal de 25 milímetros para a laje nervurada e cobrimento de 30 milímetros para viga e pilar de concreto armado. A Tabela 2 a seguir ilustra esses valores de acordo com a norma explicitada.

Tabela 2 – Valores de cobrimento nominal para peças estruturais

**Tabela 7.2 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para  $\Delta c = 10$  mm**

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>3)</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido <sup>1)</sup>	Todos	30	35	45	55

<sup>1)</sup> Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

<sup>2)</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>3)</sup> Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: NBR 6118:2003

Conclui-se que a partir dos valores de cobrimento obtidos no ensaio de pacometria, a espessura do cobrimento das peças estruturais inspecionadas não se adequa às especificações da NBR 6118:2003, vigente à obra em estudo. Conseqüentemente, a insuficiência do cobrimento nominal acarreta numa desproteção às barras de aço, elemento responsável por

suportar tensões na estrutura como um todo. É notória então a necessidade de ações de manutenções corretivas, por parte do condomínio, nestes elementos estruturais, pois foi verificada a perda de durabilidade e eficiência em seu sistema estrutural.

#### **4.3.2. ESCLEROMETRIA**

O ensaio técnico de esclerometria é, como mencionado anteriormente em sua metodologia, normatizado pela NBR 7584:2013. Assim, seguindo os princípios da mesma, após a leitura dos índices esclerométricos (IE) de cada impacto realizado e fornecido pelo esclerômetro de Schmidt, calcula-se o resultado final em cada área de (6118, 2003) ensaio através do índice esclerométrico médio efetivo (IE MÉDIO), valor o qual será utilizado para análise estrutural das peças avaliadas. O IE MÉDIO é então obtido através dos seguintes cálculos:

1. Cálculo da média aritmética dos dezesseis índices esclerométricos (IE) correspondentes a uma única área de ensaio;
2. Exclusão de todo IE individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido (item 1 descrito acima) e calcula-se nova média aritmética;
3. Obtenção do índice médio final médio (IE MÉDIO), através de no mínimo cinco valores individuais.

A Tabela 3 a seguir (localizada também no Apêndice A) apresenta uma planilha com os valores obtidos a partir da realização dos ensaios e os cálculos executados na ferramenta Excel para a obtenção do IE MÉDIO (sinalizados em amarelo). É importante ressaltar a localização de cada ensaio, listado a seguir, para uma melhor leitura da planilha explicitada. Assim, os locais específicos dos ensaios foram:

- Ensaio 1 : Vaga 613/512
- Ensaio 2: Vaga 609
- Ensaio 3: Vaga 113
- Ensaio 4: Vaga 1011
- Ensaio 5: Vaga 1005

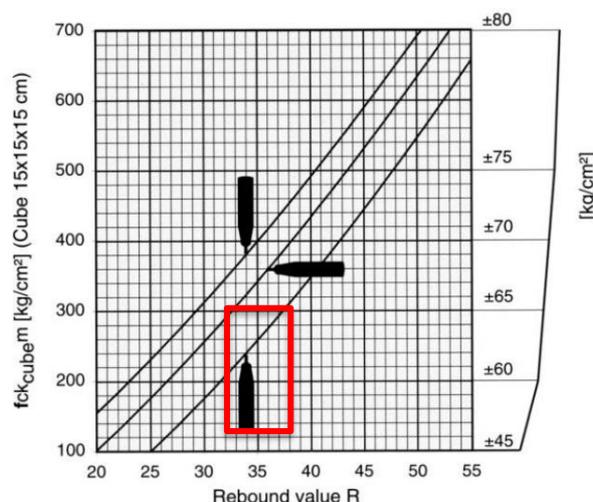
Tabela 3 - Planilha com os resultados dos ensaios de esclerometria realizados na laje nervurada

PONTO	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		ENSAIO 4		ENSAIO 5			
	IEI	VO (%)	IEI	V1 (%)	IEI	VO (%)	IEI	V1 (%)	IEI	VO (%)	IEI	V1 (%)
1	45	5,1%	45	2,9%	41	-3,1%	47	10,0%	46	0,3%	46	1,4%
2	42	-1,9%	42	-3,9%	43	1,6%	45	5,3%	44	-4,0%	52	14,7%
3	42	-1,9%	42	-3,9%	44	3,9%	42	-1,7%	42	-2,0%	43	-7,3%
4	44	2,8%	44	0,7%	40	-5,5%	44	3,0%	44	2,6%	46	0,3%
5	46	7,4%	46	5,2%	46	8,7%	42	-1,7%	42	-2,0%	45	-1,8%
6	44	2,8%	44	0,7%			46	7,7%	46	7,3%	42	-8,4%
7	38	-11,2%			41	-3,1%	43	0,7%	43	0,3%	48	4,7%
8	42	-1,9%	42	-3,9%	40	-5,5%	43	-0,5%	43	-0,9%	44	-4,0%
9	47	9,8%	47	7,5%	42	-0,8%	44	3,0%	44	2,6%	49	6,9%
10	45	5,1%	45	2,9%	42	-0,8%	48	12,4%	48	4,7%	44	-3,0%
11	42	-1,9%	42	-3,9%	45	5,1%	43	0,7%	43	0,3%	45	-2,9%
12	43	0,4%	43	-1,6%	44	3,9%	44	3,0%	44	2,6%	47	1,4%
13	45	5,1%	45	2,9%	41	-3,1%	39	-8,7%	39	-9,0%	47	2,5%
14	43	0,4%	43	-1,6%	43	1,6%	38	-11,0%	40	-6,4%	46	0,3%
15	35	-18,2%			43	0,4%	40	-6,4%	49	6,9%	44	-3,0%
16	42	-1,9%	42	-3,9%	41	-3,1%	36	-15,7%			46	0,3%
IE MÉDIO 0	43				42		43		46		45	
IE MÉDIO 1		44					43				45	

Fonte: Autora, 2018

Após a obtenção do índice esclerométrico médio de cada peça estrutural ensaiada, obteve-se os valores finais de resistência do concreto à compressão (em Mpa), por meio da correlação do índice IE MÉDIO efetivo com o sentido de aplicação do impacto do equipamento, através do ábaco representando na Figura 81. Vale ressaltar que todos os ensaios foram realizados somente na laje nervurada, pois verificou-se um maior grau de risco crítico à edificação devido a presença de um alto nível de sinais de infiltração e corrosão da armadura neste local. Assim sendo, foram lidos os valores finais de acordo com o aparelho sinalizado em vermelho na Figura 81.

Figura 81 – Ábaco empregado no ensaio de esclerometria.



Fonte: NBR7584:2013

Por último, segue a Tabela 4 com os valores de resistência à compressão do concreto em Mpa calculados de acordo com a leitura e cada IE MÉDIO obtido através do passo a passo descrito anteriormente.

Tabela 4 – Resultados dos valores de IE MÉDIO obtidos e os valores de resistência superficial do concreto, em Mpa, de cada lugar ensaiado.

<b>PONTO ENSAIADO</b>	<b>IE Médio</b>	<b>Resistência superficial do concreto (MPa) (*)</b>
Vaga 613/512	44	39
Vaga 609	42	38
Vaga 113	43	39
Vaga 1011	46	44
Vaga 1005	45	43
(*) Média de resistência do concreto à compressão obtida na curva de esclerometria do Ábaco de Schmidt		

Fonte: Autora, 2018

Conclui-se que a análise dos resultados obtidos através dos ensaios de esclerometria somados à avaliação de frente de carbonatação do concreto, a qual será descrita posteriormente no item 4.3.3 deste trabalho, permitem concluir que os valores de resistência superficial do concreto armado encontrados (Tabela 4) estão majorados, uma vez que o concreto sofreu carbonatação. Esta conclusão é obtida conforme o embasamento teórico de que o concreto ao perder sua camada passivadora e sofrer corrosão, mesmo o aço não estando diretamente exposto ao ambiente, o valor obtido da resistência superficial à compressão neste ensaio não se classifica como sendo completamente verídico (conforme explicado no item 2.5.3).

Em suma, o ensaio técnico não destrutivo de esclerometria interfere parcialmente na análise estrutural da laje nervurada devido à oxidação da armadura, manifestação patológica presente e já confirmada durante as inspeções visuais e outros ENDS realizados. Os resultados obtidos através da esclerometria permitem a conclusão de homogeneização do concreto, todavia, não fornecem o valor real do fck da peça ensaiada. Portanto, é interessante a execução de ensaio tecnológico destrutivo de extração de corpo de prova nesta peça estrutural para a obtenção do real valor de resistência de compressão do concreto da laje nervurada do subsolo da edificação.

### 4.3.3. AVALIAÇÃO DE FRENTE DE CARBONATAÇÃO

De acordo com o procedimento detalhado na metodologia, foi realizada a aplicação da solução fenolftaleína com o objetivo de realizar uma análise técnica e visual a respeito do nível de avanço da frente de carbonatação do cobrimento nominal do concreto. Os lugares de sua aplicação foram escolhidos, a fim de se obter uma amostra ampla do ambiente, todavia, manteve-se como único critério de escolha pontos onde foram constatados sinais de corrosão da armadura desde as inspeções visuais realizadas.

Ao término de todas as aplicações, foi comprovado visualmente e através de registros fotográficos que todas as regiões, onde se aplicou a solução química em questão, mantiveram-se incolor, ou seja, não houve nenhum tipo de alteração de cor (Figura 82). A partir de mais um método de avaliação, conclui-se então a comprovação da carbonatação do concreto da laje nervurada ensaiada. Por fim, analisou-se que pelo o que foi observado, cerca de 15% da superfície do concreto encontra-se carbonatada.

Figura 82 – Ensaio de avaliação da frente de penetração de carbonatação do concreto na laje superior do subsolo da edificação



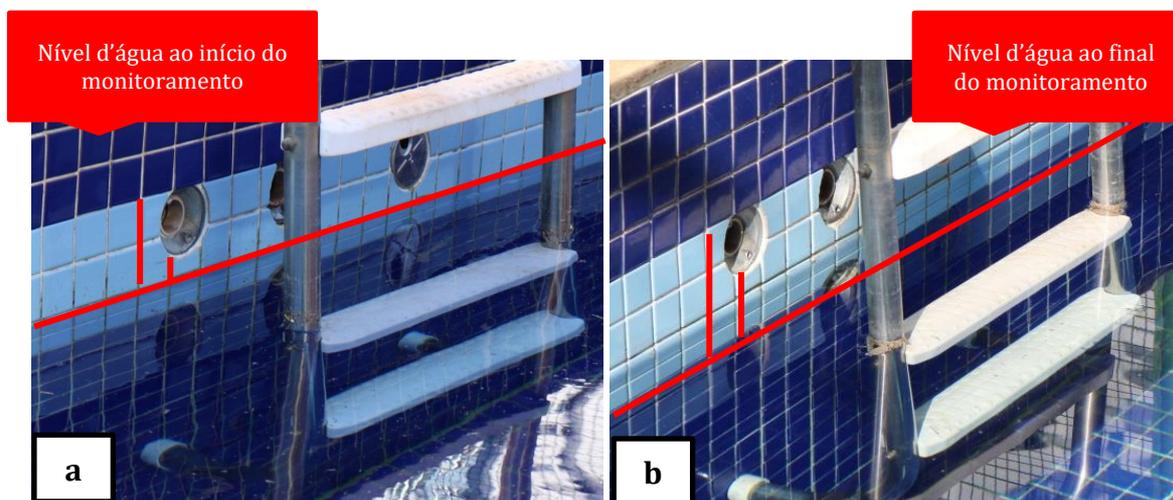
Fonte: Autora, 2018

### 4.4. ANÁLISE VISUAL DA REDUÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA DA PISCINA

Após o término do período de sete dias com a interrupção do uso da piscina adulto por parte dos moradores do condomínio verificou-se uma diminuição no nível da água, conforme pode ser corroborado pela Figura 83 a seguir. Deve-se mencionar que esta redução verificada classifica-se como grau de risco crítico (IBAPE-SP) por representar perda de desempenho

acentuada do sistema de impermeabilização da piscina e indica que há infiltração de água para a estrutura.

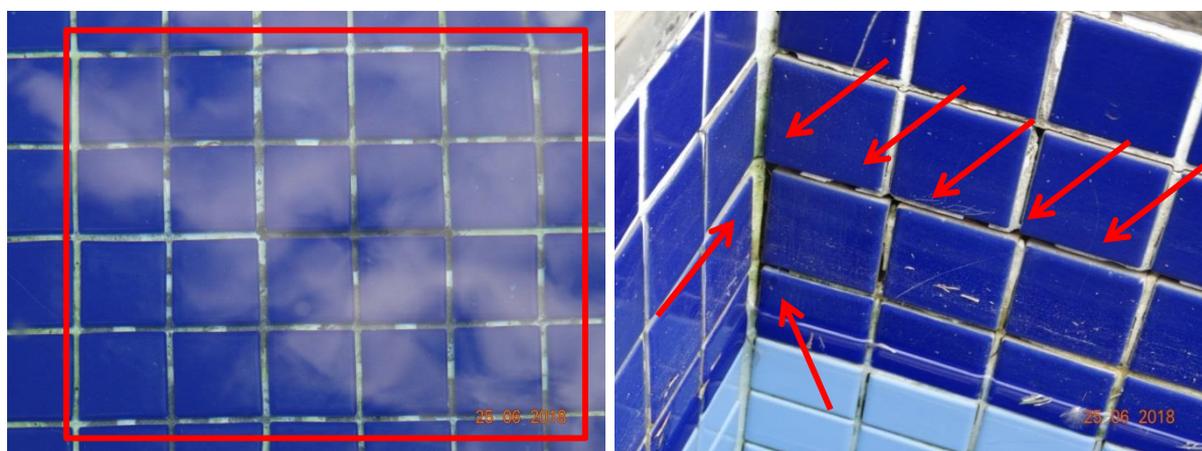
Figura 83 – Resultado do ensaio de redução do nível d'água solicitado. (a) Nível de água registrado ao início do monitoramento. (b) Nível de água registrado ao final do monitoramento



Fonte: Autora, 2018

Vale destacar que também foram realizadas inspeções técnicas visuais na área comum da edificação, especialmente na área destinada às piscinas, localizadas no pavimento térreo. Observou-se durante essas diligências a existência das seguintes anomalias: falhas nas juntas de assentamento; existência de sinais de eflorescência e deslocamento de peças cerâmicas. Todas estas manifestações patológicas classificam-se como grau de risco crítico (IBAPE-SP), pois indicam perda de estanqueidade e infiltração de água no revestimento, gerando deterioração das juntas de assentamento e falhas no sistema de impermeabilização do ambiente. As Figuras 84 a 86 corroboram com estas informações.

Figura 84 – Falhas nas juntas de assentamento de ambas as piscinas do condomínio



Fonte: Autora, 2018

Figura 85 – Sinais de eflorescência e deslocamento de peças vistoriados no revestimento cerâmico da piscina adulto



Fonte: Autora, 2018

Figura 86 – Falhas no rejuntamento da piscina infantil e peça cerâmica quebrada vistoriados na piscina infantil



Fonte: Autora, 2018

Este rebaixamento no nível da água da piscina adulto verificado juntamente com as anomalias e falhas do revestimento cerâmico de ambas as piscinas indicam falha de vedação e perda de desempenho avançada do sistema de impermeabilização deste local. Conclui-se desde já que essa infiltração de água para a estrutura evoluiu ao longo do tempo de uso da edificação e acabou gerando problemas graves, os quais foram vistoriados, em função da deterioração estrutural verificados no subsolo da edificação.

## 5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, as técnicas não destrutivas de pacometria, esclerometria, avaliação de frente de carbonatação e termografia foram utilizadas para análise do desempenho de elementos estruturais de concreto armado de um subsolo de uma edificação em condições *in locu*. Além da revisão bibliográfica, foram apresentados os resultados de um programa experimental que se dividiu em duas etapas.

Na primeira etapa, foram realizadas inspeções visuais e vistorias técnicas, além da realização dos ensaios tecnológicos não destrutivos somente no ambiente do subsolo, o qual tem função como garagem para os moradores da edificação. Na segunda etapa, se analisaram os resultados obtidos dos ENDS com os referenciais bibliográficos utilizados para esse trabalho de conclusão de curso. A partir dos resultados obtidos nas diferentes etapas e das considerações estabelecidas nos capítulos anteriores, são destacadas as conclusões dispostas nos parágrafos a seguir.

As técnicas de ensaios não destrutivos foram majoritariamente satisfatórias para se avaliar o desempenho estrutural dos elementos ensaiados. Os ensaios de pacometria na laje nervurada e nos pilares apresentaram uma média de 20 mm de cobrimento, ou seja, os cobrimentos nominais foram considerados insuficientes em todos os elementos ensaiados em relação à norma em vigor.

Os ensaios de esclerometria na laje superior do ambiente apresentaram valores superestimados devido à carbonatação do concreto e oxidação de sua armadura. Sendo assim, a resistência superficial obtida através do esclerômetro indica aumento da dureza superficial e não pode ser considerada válida para avaliação da resistência. A aplicação de fenolftaleína e as inspeções visuais apresentaram resultados que confirmam visualmente a presença de carbonatação do concreto e oxidação da armadura passiva na cortina de contenção e principalmente na laje nervurada. Por fim, a análise termográfica corroborou com as informações de presença de infiltrações nestes elementos.

Os dados coletados nas inspeções e a avaliação diagnóstica do subsolo e da área comum das piscinas do pavimento térreo permitiram concluir que o sistema estrutural dos elementos do subsolo e o sistema de vedação e impermeabilização das piscinas não estão satisfatórios em relação às condições técnicas, de uso e de manutenção no âmbito de desempenho dentro dos padrões convencionais e/ou integridade física e estrutural.

Em relação às origens das manifestações patológicas vistoriadas, concluiu-se que todas foram originadas através das condições de exposição do local adicionadas à perda de desempenho e falta de manutenção do sistema de impermeabilização e acentuadas pelo surgimento de trincas/fissuras originadas pela diferença de materiais construtivos à época da construção.

Vale ressaltar que em relação aos elementos estruturais os quais foram avaliados através dos ENDS, a que foi identificada com maior presença de patologias foi a laje nervurada. Em relação a esta peça do subsolo, concluiu-se que este elemento de concreto sofre diretamente ações de agentes químicos, os quais são considerados causadores de degradação extrínsecos, agindo então na vida útil da estrutura. Pode-se citar como agentes agressores deste local os gases monóxido de carbono e gás carbônico e águas agressivas (água com cloro proveniente da piscina). A patologia de corrosão da armadura deste elemento ocorreu principalmente em função da infiltração de água advinda do pavimento superior, pois foi comprovado pela avaliação de frente de carbonatação que somente 15% da superfície da peça estrutural encontra-se carbonatada.

Mesclando o estado de desempenho do subsolo da edificação e as manifestações patológicas identificadas no revestimento das piscinas e do piso da área comum do térreo é evidente que as infiltrações na estrutura do subsolo são preponderantemente decorrentes de falhas de estanqueidade dessas áreas. É válido ressaltar que foi identificada formação de eflorescências no revestimento, sinal este que indica que há perda de estanqueidade e infiltração de água no revestimento, e adverte para a existência de falhas no sistema de impermeabilização.

A entrada de água na estrutura de concreto armado do subsolo contribui para a deterioração acentuada da integridade física e química das barras de aço em função do processo eletroquímico de corrosão em meio aquoso. Com o decorrer do tempo a corrosão da armadura tende a se propagar, ou seja, o estado de deterioração da estrutura avança, o que pode causar a perda de capacidade portante de barras de aço e implicar no colapso de peças estruturais.

No Apêndice B do presente trabalho é apresentado um Quadro listando cada manifestação patológica identificada nos elementos construtivos do subsolo da edificação vistoriados. Cada item contém orientações técnicas de medidas corretivas que poderão ser

adotadas para manutenção dos itens danificados. É cabível ressaltar que todos os itens foram classificados como grau de risco crítico, segundo o IBAPE-SP (2012).

Em suma, infere-se a necessidade de recuperação total do sistema de revestimento cerâmico e argamassado (incluindo remoção e reexecução) e manutenção corretiva e posteriormente manutenção corretiva e preventiva do sistema de impermeabilização das piscinas para cessar o processo de infiltração de água nas estruturas de concreto armado do subsolo, a fim de se iniciar posteriormente a recuperação estrutural dos elementos construtivos do ambiente em estudo.

A execução do presente trabalho de conclusão de curso comprovou enfim a importância do controle tecnológico em obra, destacando-se a relevância do cuidado com o cobrimento nominal das peças estruturais e os sistemas de impermeabilização da edificação como um todo. Ademais, comprovou-se a importância da realização de inspeções prediais e suas respectivas ações de medidas preventivas e corretivas.

## **6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como sugestões para trabalhos futuros sugere-se:

- Avaliar o desempenho estrutural do concreto armado através de ensaios destrutivos, como extração testemunhos, furos no concreto e contaminação por cloretos;
- Realizar avaliação de corrosão de concretos estruturais através de outros ensaios não destrutivos, como o ensaio potencial de corrosão, ensaio de ultrassom, ensaio de resistividade elétrica superficial, ensaio de resistência à penetração, ensaio de permeabilidade da água;
- Simular condições similares em laboratório, a partir do projeto estrutural da edificação;
- Realizar análise da estrutura nas condições atuais (ano 2018) e comparar com as condições estruturais iniciais do projeto da construção pelo software Eberick;
- Avaliar e determinar a melhor proposta de manutenção corretiva para o sistema estrutural do subsolo do edifício;
- Orçar e analisar o melhor projeto de recuperação estrutural para o subsolo da edificação.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. (1987). Cement and aggregates in Repair of Concrete Structures. London: Blackie & Son Ltd.

ANDRADE, P. M. (1992). Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. São Paulo: PINI.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, A. 5. (2012). Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão e manutenção - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-NBR 5674. (2014). Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção - Especificação. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-NBR 6118. (2014). Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-NBR7584. (2013). Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio. Rio de Janeiro.

BASTOS, P. S. (2006). Estruturas de Concreto I - Fundamentos do Concreto Armado. Bauru.

BASTOS, P. S. (2015). Estruturas de Concreto I - Lajes de Concreto. Bauru - SP: UNESP.

BAUER, F. (2017). Controle Tecnológico - Ensaio para o controle de qualidade do concreto e de suas estruturas. Concreto & Construções - IBRACON.

BECKER, L. (2014). Notas de Aula da Disciplina de Estabilidade de Taludes e Estruturas de Contenção. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CARMONA, T. G. (2005). Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação. Dissertação para Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo - USP.

CARVALHO, C. (2013). Estudo comparativo das técnicas não destrutivas de ultrassom e esclerometria na avaliação do desempenho mecânico de estruturas em concreto armado.

CARVALHO, E., ROCHA, M., CARVALHO, C., & SENA, C. (2017). Utilização de Ensaio Não Destrutivo, Ultrassom e Pacômetro, como Métodos de Verificação de Resistência e Qualidade do Concreto em um Edifício em Aracaju - Sergipe. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada.

CASCUDO, O. (1997). O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: PINI.

CASCUDO, O. (2005). Inspeção e diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão de armaduras. - Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON.

COSTA, L. (1995). Registro de uma vivência. São Paulo: Empresa das Artes.

DA SILVA, T. J. (2002). Como estimar a vida útil de estruturas projetadas com critérios que visam a durabilidade. São José dos Campos: 2º Workshop sobre durabilidade das construções.

DEUTSCH, S. F. (2013). Perícias de engenharia: a apuração dos fatos. São Paulo: Leud.

ENGENHARIA, S. (2017). Solução Engenharia, Consultoria e Tecnologia. Fonte: <http://www.solucao.eng.br/novo/ensaios-nao-destrutivos-em-concreto.html>

EVANGELISTA, A. (2002). Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FARAH, B. C. (2018). Avaliação de desempenho estrutural de edificação com aplicação de ensaios não destrutivos - Estudo de caso em uma edificação situada na área residencial nobre de Brasília. Brasília: UniCEUB.

GENTIL, V. (1987). Corrosão. Rio de Janeiro: Guanabara.

GIONGO, J. S. (2007). Concreto armado: introdução e propriedades dos materiais. São Paulo : USP, EESC, SET.

GIONGO, L. C. (2015). Análise de processos corrosivos de armaduras em edificações de concreto armado. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria - UFSM.

GOMIDE, T. L. (28 de setembro de 2015). Investigações Técnicas na Engenharia Diagnóstica em Edificações - Instituto de Engenharia. São Paulo, São Paulo, Brasil.

GOMIDE, T. L., NETO, J. C., & GULLO, M. A. (2015). Engenharia Diagnóstica em Edificações. São Paulo: PINI.

HELENE, P. (2001). Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001. São José dos Campos: 2º Workshop sobre durabilidade das construções.

HELENE, P. R. (1986). Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo: PINI.

IBAPE. (2016). Inspeção Predial a Saúde dos Edifícios. São Paulo .

JACINTHO, A. E., & GIONGO, J. S. (2007). Concreto Armado: introdução e propriedades dos materiais. FEC - UNICAMP, USP - EESC - SET.

KAEFER, L. F. (1998). A Evolução do Concreto Armado. São Paulo.

LUIZ, B. J. (2014). Projeto Geotécnico de uma Estrutura de Contenção em Concreto. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MALHOTRA, V. C. (2004). Handbook on nondestructive testing of concrete. United States of America: CRC Press LLC.

MARCELLI, M. (2007). Sinistros na construção civil: Causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: PINI.

MEDEIROS, M. H., ANDRADE, J. J., & HELENE, P. (2011). Durabilidade e Vida útil das Estruturas do Concreto. IBRACON.

MEHTA, P. K., & MONTEIRO, P. J. (2014). Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais. IBRACON.

MENDONÇA, L., AMARAL, M., & CATARINO, P. (2012). A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios.

OLIVEIRA, J. A. (2017). Anotações Materiais da Construção. Brasília.

OTANI, M. M. (2008). A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. *Revista Gestão Industrial*.

PETRUCCI, E. (1976). *Materiais para construção* 2ed. Porto Alegre: Globo.

SAHUINCO, M. H. (2011). *Utilização de Métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade De São Paulo - USP.

SAMANIEGO, Y. T. (2014). *Ensaio não destrutivo para avaliação da resistência do concreto: Estudo de aplicação em obras*. Brasília, DF, Brasil.

SANTOS. (2008). *A armação do concreto no Brasil - História da difusão da tecnologia do concreto armado da construção de sua hegemonia*. Belo Horizonte.

SANTOS, P. F. (1961). *A arquitetura da sociedade industrial*. Belo Horizonte: EAUFMG.

SILVA, P. F. (2017). *Controle Tecnológico do concreto em obras*. *Concreto & Construções - IBRACON*.

SILVA, W. L. (2016). *Inspeção Predial: Diretrizes, Roteiro e Modelo de Laudo para Inspeções em Edificações Residenciais da cidade do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Escola Politécnica - UFRJ.

SOUZA, V. C., & RIPPER, T. (1998). *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. PINI.

SOUZA, V. C., & RIPPER, T. (2009). *Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto*. São Paulo: PINI.

TELLES, P. C. (1994). *História da engenharia no Brasil - Século XX*. Rio de Janeiro : Clavero.

VALERA, M. (2017). *Estruturas de Contenção*. Rio Grande : IFRN/NATAL.

VIANA, S. A., LIMA, G. E., & D'ÁVILA, C. (2018). *Estudo de caso de recuperação de junta de dilatação de viaduto em Belo Horizonte, MG*. Rio de Janeiro: POLI/UFRJ.

VIEIRA, M. A. (2016). Patologia Construtivas: Conceito, Origem e Método de Tratamento. ESPECIALIZE - IPOG.

## APÉNDICE A

PONTO	ENSAIO 1			ENSAIO 2			ENSAIO 3			ENSAIO 4			ENSAIO 5		
	IEI	V0 (%)	V1 (%)												
1	45	5,1%	2,9%	41	-3,1%		47	10,0%		46	0,3%		46	1,4%	1,7%
2	42	-1,9%	-3,9%	43	1,6%		45	5,3%	5,0%	44	-4,0%		52	14,7%	
3	42	-1,9%	-3,9%	44	3,9%		42	-1,7%	-2,0%	43	-7,3%		47	3,7%	3,9%
4	44	2,8%	0,7%	40	-5,5%		44	3,0%	2,6%	46	0,3%		46	1,4%	1,7%
5	46	7,4%	5,2%	46	8,7%		42	-1,7%	-2,0%	45	-1,8%		40	-11,8%	
6	44	2,8%	0,7%	44	0,7%		46	7,7%	7,3%	42	-8,4%		45	-0,8%	-0,6%
7	38	-11,2%		41	-3,1%		43	0,7%	0,3%	48	4,7%		44	-3,0%	-2,8%
8	42	-1,9%	-3,9%	40	-5,5%		43	-0,5%	-0,9%	44	-4,0%		44	-3,0%	-2,8%
9	47	9,8%	7,5%	42	-0,8%		44	3,0%	2,6%	49	6,9%		47	3,7%	3,9%
10	45	5,1%	2,9%	42	-0,8%		48	12,4%		48	4,7%		44	-3,0%	-2,8%
11	42	-1,9%	-3,9%	45	5,1%		43	0,7%	0,3%	45	-2,9%		46	1,4%	1,7%
12	43	0,4%	-1,6%	44	3,9%		44	3,0%	2,6%	47	1,4%		44	-3,0%	-2,8%
13	45	5,1%	2,9%	41	-3,1%		39	-8,7%	-9,0%	47	2,5%		44	-3,0%	-2,8%
14	43	0,4%	-1,6%	43	1,6%		38	-11,0%		46	0,3%		48	5,9%	6,1%
15	35	-18,2%		43	0,4%		40	-6,4%	-6,7%	49	6,9%		44	-3,0%	-2,8%
16	42	-1,9%	-3,9%	41	-3,1%		36	-15,7%		46	0,3%		45	-1,9%	-1,7%
IE MÉDIO 0	43			42			43			46			45		
IE MÉDIO 1				44			43			43			45		45

## APÊNDICE B

ITEM	ÁREA/SISTEMA INSPECIONADO	REFERÊNCIA/LOCALIZAÇÃO DO OBJETO VISTORIADO	ANOMALIAS - FALHAS - MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS - INCONFORMIDADES NORMATIVAS	GRAU DE RISCO	ORIENTAÇÃO TÉCNICA
1	Térreo - Área Comum	Piscina Adulto	Falhas nas juntas de assentamento, eflorescências e peças descoladas no revestimento cerâmico do tanque da piscina	Crítico	O processo de recuperação do revestimento da piscina inclui três etapas consecutivas: 1. Demolição de todo o revestimento cerâmico e regularização da piscina. 2. Manutenção corretiva do sistema de impermeabilização, incluindo remoção total da impermeabilização e aplicação de novo sistema caso necessário. 3. Aplicação de nova regularização e novo revestimento cerâmico.
2	Térreo - Área Comum	Piscina Adulto	Falhas no sistema de impermeabilização que causam redução frequente do nível d'água	Crítico	Manutenção corretiva do sistema de impermeabilização, incluindo remoção total da impermeabilização e aplicação de novo sistema caso necessário. (Procedimento incluído na medida corretiva do item numerado com código 73).
3	Térreo - Área Comum	Piscina Infantil	Falhas nas juntas de assentamento e peças descoladas no revestimento cerâmico do tanque da piscina	Crítico	O processo de recuperação do revestimento da piscina inclui quatro etapas consecutivas: 1. Demolição de todo o revestimento cerâmico e regularização da piscina. 2. Revisão de todo o sistema de impermeabilização da piscina para verificar se há falhas de estanqueidade. 3. Manutenção corretiva pontual ou total do sistema de impermeabilização, a depender do estado das falhas de estanqueidade, caso houver. Se as falhas estiverem generalizadas, deverá ser realizada remoção total da impermeabilização e aplicação de novo sistema. 4. Aplicação de nova regularização de piso e novo revestimento cerâmico.
4	Térreo - Área Comum	Deck das piscinas	Falhas nas juntas de assentamento, eflorescências e peças descoladas no revestimento cerâmico das paredes do deck	Crítico	O processo de recuperação do revestimento cerâmico do deck das piscinas inclui três etapas consecutivas: 1. Demolição de todo o revestimento cerâmico e regularização das paredes dos decks. 2. Manutenção corretiva do sistema de impermeabilização, incluindo remoção total da impermeabilização e aplicação de novo sistema caso necessário. 3. Aplicação de nova regularização de piso e novo revestimento cerâmico.
5	Térreo - Área Comum	Deck das piscinas	Regiões do revestimento cerâmico das paredes do deck das piscinas com falhas de aderência identificadas com termografia	Crítico	O processo de recuperação do revestimento cerâmico do deck das piscinas inclui três etapas consecutivas: 1. Demolição de todo o revestimento cerâmico e regularização das paredes dos decks. 2. Manutenção corretiva do sistema de impermeabilização, incluindo remoção total da impermeabilização e aplicação de novo sistema caso necessário. 3. Aplicação de nova regularização de piso e novo revestimento cerâmico.
6	Térreo - Área Comum	Deck das piscinas	Falhas nas juntas de assentamento do piso de pedra	Crítico	O processo de recuperação do revestimento de piso do deck das piscinas inclui quatro etapas: 1. Remoção de todo revestimento de pedra e regularização de piso do deck das piscinas. 2. Revisão do estado de desempenho do sistema de impermeabilização aplicado sob o piso. 3. Manutenção corretiva do sistema de impermeabilização, incluindo remoção total da impermeabilização e aplicação de novo sistema caso necessário. 4. Aplicação de nova regularização de piso e novo revestimento cerâmico.
7	Subsolo	Sistema estrutural	Infiltrações e eflorescências na laje nervurada	Crítico	O tratamento das infiltrações na laje do subsolo depende da manutenção no sistema de impermeabilização aplicado sobre o piso do térreo, principalmente das piscinas e deck das piscinas. Para recuperação estética da laje, posteriormente poderá ser aplicada esteatagem na superfície da laje para ocultar as manchas de umidade.
8	Subsolo	Sistema estrutural	Infiltrações, eflorescências, manchas escuras e descolamentos na pintura na cortina de conexão	Crítico	O processo de tratamento das infiltrações na cortina de concreto armado do subsolo inclui duas etapas consecutivas: 1. Manutenção corretiva do sistema de impermeabilização pelo método convencional, incluindo remoção total da impermeabilização e aplicação de novo sistema caso necessário. Também poderão ser adotadas novas técnicas com aplicação de sistema de impermeabilização negativa sem necessidade de remoção. 2. Aplicação de nova pintura texturizada.
9	Subsolo	Sistema estrutural	Comosão na armadura da laje nervurada	Crítico	Contratação de empresa especializada em recuperação estrutural para executar o tratamento das barras de aço que estão em processo de comosão.
10	Subsolo	Sistema estrutural	Fissuras e trincas na laje nervurada e na cortina de concreto armado	Crítico	Tratamento das fissuras e trincas com resina epoxidica.
11	Subsolo	Sistema estrutural	Junta estrutural deteriorada	Crítico	Remoção de todo o material deteriorado da junta estrutural. Limpeza do corte e aplicação de novo material selante.

## APÊNDICE C





