

INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO

INSPECTION AND DIAGNOSIS OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS IN ARMED CONCRETE STRUCTURES: CASE STUDY

SOEIRO, Joaquim Martins

Esp. Engenharia Diagnóstica, INBEC, CONSUENG

jmsoeiro@hotmail.com

TRANCOSO, Herika

Engenheira civil, Multivix

euherika@hotmail.com

RESUMO

O estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, é um tema que vem sendo estudado a muito tempo e que tem ganhado maior abrangência nos últimos anos devido a problemas de cunho estrutural. Este trabalho tem como objetivo apresentar um método detalhado de inspeções de estruturas de concreto armado de uma edificação localizado na Cidade de Belo Horizonte/MG com aproximadamente 22 anos, por meio de análise documental e ensaios expeditos, a fim de gerar um prognóstico que possa servir de subsídio para o reparo e recuperação da edificação. Conclui-se com o presente estudo que as principais causas de corrosão da armadura, são: baixo cobrimento da armadura, deslocamento do concreto, armaduras expostas em diversos pontos, infiltrações, desagregação do concreto, avanço da carbonatação e conseqüentemente despasse das armaduras. As intervenções corretivas, consistem em reparos localizados, nos pontos onde apresentam corrosão, realizando limpeza das armaduras e do concreto e recomposição do cobrimento onde for necessário.

Palavras-chave: Corrosão. Manifestações patológicas. Diagnóstico. Concreto.

ABSTRACT

The study of pathological manifestations in reinforced concrete structures, is a topic that has been studied a long time and that has gained greater scope in recent years due to the structural nature of problems. This work aims to present a detailed method of concrete structures inspections armed of a building located in the city of Belo Horizonte / MG approximately 22 years, through document analysis and expeditious trials in order to generate a prediction that can serve allowance for repair and restoration of the building. It is concluded that in this study the major causes corrosion of equipment are: low armor coatings, concrete deslocamento exposed armor at several points, infiltrations of concrete breakdown, and therefore advancing the carbonation depassivation of reinforcement.

Keywords: Corrosion. Pathological manifestations. Diagnosis. Concrete.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento e elevado número de casos de manifestações patológicas em todo o Brasil desde os anos 70, pode-se concluir que nenhum elemento estrutural é eternamente durável, devido sua interação com o meio ambiente. Fenômenos patológicos, apresentam alguma manifestação externa característica, que através de inspeções visuais e ensaios, é possível produzir um diagnóstico, em função da sua natureza, origem e mecanismos de deterioração (HELENE, 2003).

As manifestações patológicas, se originam na concentração de uma combinação de fatores, e sofrem influência de uma soma de variáveis, podendo ser classificadas de acordo com o mecanismo patológico, os sintomas, a origem da causa e ainda no processo construtivo em que ocorrem (COSTA Jr., 2001).

Segundo ABNT NBR 15575-1, o concreto armado ou as estruturas confeccionadas com este material, teriam que ser duráveis ao longo do tempo, levando em consideração as normas técnicas para elaboração de projetos e construção, assim como as boas práticas construtivas, assim como em concordância com o meio de agressividade em que se encontra a edificação e atendendo às manutenções preventivas.

Atualmente os grandes centros urbanos possuem menos espaços para novas edificações, logo, a necessidade de revitalizar edificações antigas e/ou sem terminalidade, se tornaram uma alternativa para algumas construtoras. Quando se parte para uma revitalização de uma edificação, é importante ter conhecimento da concepção estrutural do empreendimento, que muitas vezes não possui mais históricos.

O presente trabalho tem como objetivo identificar as principais manifestações patológicas através de uma inspeção detalhada e ensaios expeditos, a fim de gerar um prognóstico que pudesse servir de subsídio para a recuperação e reparo estrutural, garantido a durabilidade e a preservação de sua integridade, consequentemente aumento da vida útil da edificação.

2. HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento, objeto de estudo, foi projetado e comercializado, exclusivamente para fins residenciais multifamiliar. O edifício motivo deste trabalho teve seu início de execução em meados de 1991, mas não se sabe ao certo quando ocorreu a paralisação da construção. Em uma entrevista com o responsável técnico pelo empreendimento, registra-se que a paralisação ocorreu em meados de 1996 devido à falência da então construtora na época.

A edificação construída em meados dos anos 90 encontrava-se inacabada, tendo executado somente as estruturas de concreto armado, alvenarias externas, parcialmente o revestimento externo e as instalações hidráulicas. Os demais sistemas que compõem a edificação não foram construídos devido à paralisação da obra.

A retomada do empreendimento se deu em 2016, após quase 22 anos de paralisação, no qual uma construtora local comprou o empreendimento a fim de revitalizá-lo e torna-lo habitável novamente.

3.1 DADOS GEOMÉTRICOS

O empreendimento é composto por duas torres, apelidados de “Torres Gêmeas”, possuem 19 andares, sendo 17 pavimentos tipo com 4 apartamentos por andar, subsolo, garagem, pilotis e caixa d’água. No Quadro 1, tem-se a divisão dos compartimentos e suas respectivas áreas construída.

Quadro 1 - Divisão de área

Tipo	Piso	Uso	Área Construída(m ²)
SUBSOLO	1	GARAGEM	3016.4
PAVIMENTO	1	PILOTIS	524.54
PAVIMENTO	2 a 18	RESIDENCIAL	524.54 (cada)
PAVIMENTO	19	CAIXA D’ÁGUA	34.84
ÁREA CONSTRUÍDA TOTAL:			12492,9600

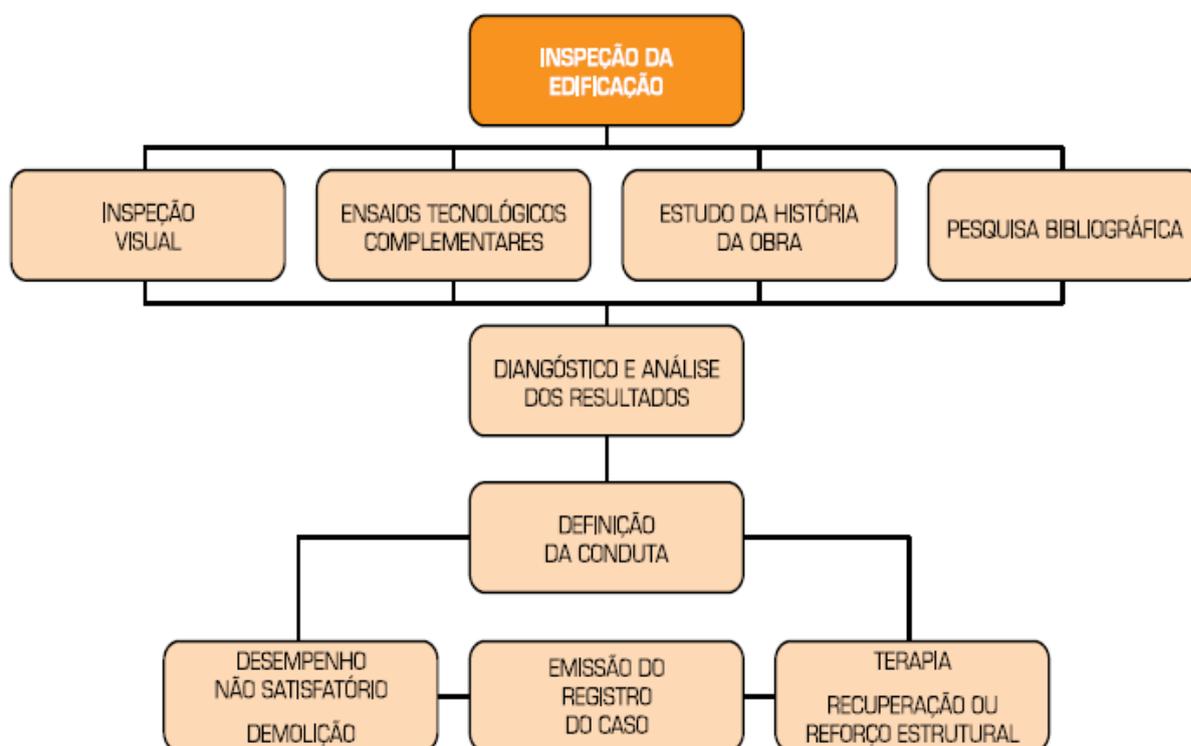
Fonte: Alvará de construção do prédio, Construtora, 2018.

A edificação localiza-se dentro da área urbana, em ambiente com classe de agressividade II, moderada, de acordo com a NBR 6118:2014.

3. INSPEÇÃO VISUAL

O método de inspeção visual, utilizado neste trabalho, fundamenta-se no “Check List Para Vistoria de Edificações em Concreto Armado” da ABECE (2005), através entrevista com os responsáveis pelo empreendimento, inspeção visual *in loco* e ensaios expeditos, conforme Figura 1. A Figura 1 detalha a sequência realizada para o correto diagnóstico das manifestações patológicas em uma edificação, com objetivo de estudar as causas e as possíveis soluções terapêuticas.

Figura 1 - Organograma para análise de problemas patológicos.



Fonte: Revista Concreto, Nº 49, pág. 15,2008.

A inspeção visual foi realizada nas duas torres em todos os pavimentos conforme descrito sucintamente: subsolo, pilotis, escadas, pavimentos tipo e caixa d'água. O fosso dos elevadores foi o único local não vistoriado, pois encontravam-se lacrados em diversos andares.

O edifício está inacabado, as fachadas encontram-se parcialmente revestidas por argamassa de reboco. O subsolo com piso ainda em terreno nu e desnivelado, possui um muro de arrimo em sua parte frontal, com trechos executados em alvenaria e trechos em concreto

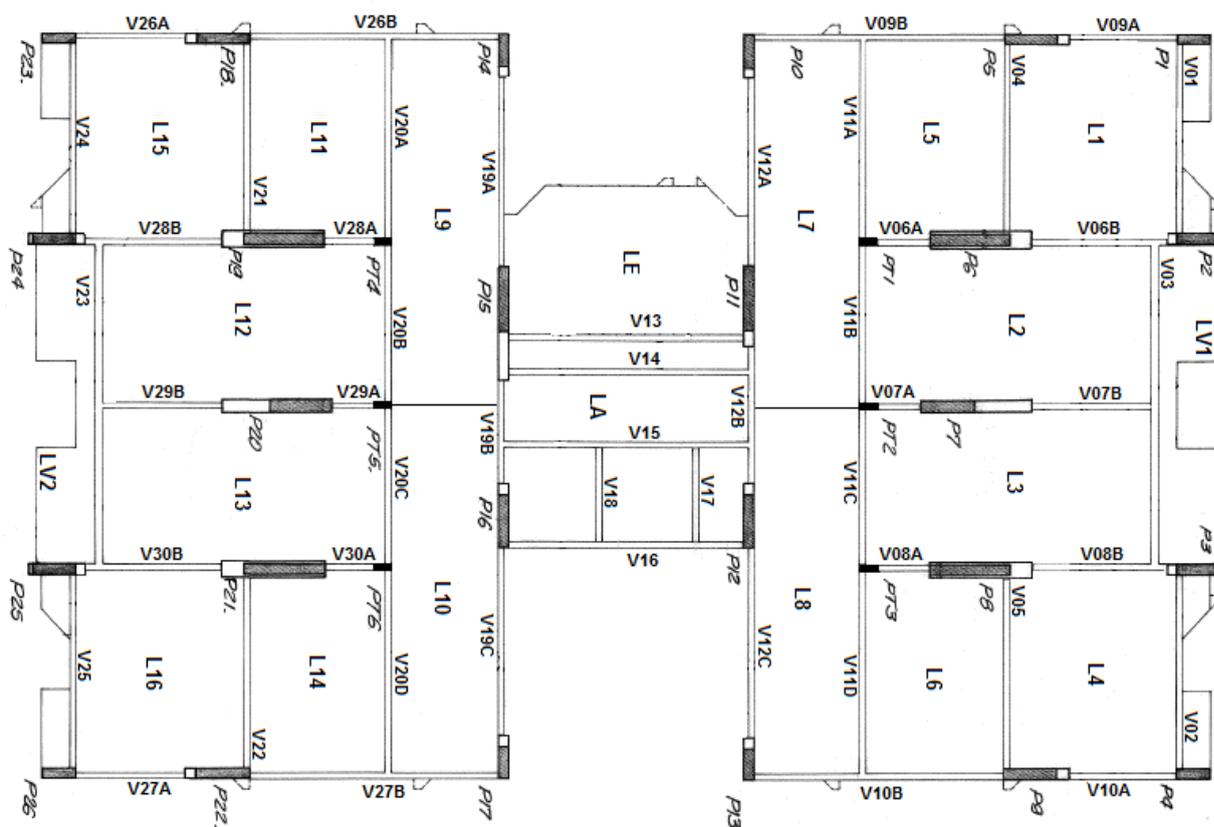
armado, com uma “mina” d’água de fluxo constante, sem um sistema de drenagem para captação e destinação de água. Foi observado que o muro apresenta uma trinca com abertura de 2,0 cm – visivelmente não foram constatados problemas que caracterizasse falta de estabilidade. Nos pavimentos tipo, as lajes dos banheiros, tanto da suíte quanto e social possuem tubulações de esgoto mal instaladas, causando infiltrações e pontos com destacamento de concreto e armaduras em processo de corrosão.

O sistema de esgotamento do prédio encontra-se canalizado, porém no pilotis as tubulações aparentes apresentam diversas anomalias, com peças danificadas e desaprumadas. Devido essas irregularidades e de quebras existentes no sistema hidros-sanitário, o esgoto está sendo lançado no subsolo, por onde escoar a céu aberto ou com valetas escavadas.

Nas fachadas, o revestimento apresenta pontos com trincas e fissuras, além de destacamentos. Em alguns pontos visualizam-se a presença de lodo e vegetação. Nos pilares, vigas e lajes do subsolo e pilotis, existem vários pontos com destacamento de concreto e armadura exposta, principalmente na parte inferior dos pilares e face inferior das vigas.

A inspeção visual teve sua concentração principalmente nos pavimentos tipos e subsolo devido à dificuldade de acesso em outros locais da edificação, conforme croqui representado na Figura 2.

Figura 2 - Croqui do pavimento tipo das duas torres.



Fonte: Construtora, 2018.

3.1 ENSAIOS EXPEDITOS

Além da inspeção visual, alguns ensaios foram solicitados a fim de analisar o edifício do ponto de vista estrutural e do ponto de vista da durabilidade, sendo eles:

- Ensaio de profundidade de carbonatação;
- Determinação do cobrimento das armaduras;
- Extração de testemunhos

3.1.1 Ensaio de profundidade de carbonatação

Para o ensaio de profundidade de carbonatação, foram extraídos corpos de prova de vigas, pilares e lajes. No laboratório foi aplicado solução de fenolftaleína diluída a 1%, conforme estabelece a BS EN 14630:2006, ao reagir com o concreto, deixa a superfície carbonatada incolor (para $\text{pH} \leq 9$) e a região alcalina na coloração rósea a vermelho-carmim,

correspondente à região de camada de concreto não-carbonatada, conforme exemplo da Figura 03.

Figura 3 - Vistas do corpo de prova 09 - Subsolo-Pilar P30



Fonte: Construtora, 2018.

Foram extraídos um corpo de prova de laje, um corpo de prova de viga e quatro corpos de prova dos pilares, sendo somente permitidos pela construtora a extração desses seis corpos de prova para realização dos ensaios.

3.1.3 Determinação do cobrimento das armaduras

O ensaio de pacometria foi utilizado para verificar o cobrimento das armaduras, utilizando um equipamento portátil - PS-20 da HILTI-Ferrosan, ao longo das estruturas de concreto armado do empreendimento, representado na Figura 4.

Figura 4 - Detalhe de uma das leituras da espessura de cobrimento das armaduras, apresentando 30 mm de espessura



Fonte: Construtora, 2018.

Foram feitos em torno de seis leituras em cada peça estrutural, afim de obter uma média do cobrimento das armaduras, sendo essas leituras em alturas distintas – no terço superior, terço médio e terço inferior da estrutura.

3.1.3 Extração de testemunhos

Conforme procedimento da NBR 7680:2015, foram realizadas extrações de testemunhos (Figura 5) com objetivo de avaliar a resistência do concreto à compressão e verificar se está de acordo com a resistência estabelecida em projeto à época.

Figura 5 - Vista geral da extração do CP.



Fonte: Construtora, 2018.

Com o uso do pacômetro para detecção das barras de aço, foi feito a marcação das armaduras longitudinais e verticais, evitando assim corte das mesmas. Foram extraídos 6 testemunhos, sendo um em viga, um em laje e quatro em pilares, com diâmetro aproximado

de 75mm e comprimento de aproximadamente de 150mm para vigas e pilares e 90mm para laje.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A inspeção técnica visual realizada nas estruturas do empreendimento residencial não detectou problemas na edificação, como recalques, fissuras de cisalhamento, movimentações da estrutura ou outras evidências que pudessem comprometer a estabilidade da edificação.

Foram observadas anomalias que comprometem a durabilidade da edificação, que caso não sejam tratadas, poderão com o passar do tempo comprometer a estabilidade, afetando a segurança do prédio e gerando riscos à integridade do usuário e bens.

Pode-se observar, conforme Figura 6, um estado avançado de oxidação de armadura nas lajes de forma generalizada, em locais que haviam umidade e infiltração, causando o deslocamento de concreto.

Figura 6 - Destacamento do concreto e oxidação das armaduras.



Fonte: Autor, 2018.

As lajes tiveram mais deslocamentos do concreto, em locais onde foram identificados cobrimento inferiores ao estabelecidos em projeto, principalmente nos ambientes próximos de tubulações hidráulicas.

Nos pilares ocorreram deslocamentos principalmente no terço inferior, como mostra a Figura 7, com armadura em processo de corrosão.

Figura 7 - presença de armaduras expostas em corrosão devido a segregação.



Fonte: Autor, 2018.

4.1. CONCRETO CARBONATADO

Os valores médios de avanço de carbonatação estão descritos no Quadro 2, após extração e aspersão de fenolftaleína nos corpos de prova das vigas, pilares e lajes.

Quadro 2 - Profundidade de carbonatação

CP	Local de Extração	Comprimento CP (mm)	Espessura Carbonatada (mm)
6	Subsolo - VT 16	200	20
7	Subsolo - Pilar P25	160	10
8	Subsolo - Pilar P08	290	20
9	Subsolo - Pilar 30	200	20
10	Pilotis - Pilar P08	220	20
12	Subsolo - Laje	90	20

Fonte: Autor, 2018.

Com os valores médios do avanço de carbonatação, o valor de cobrimento das armaduras em projeto e a idade estimada da edificação, pode-se estimar a vida útil dos elementos estruturais, aplicando-se a Equação 1. Com isso é possível verificar a evolução da frente de carbonatação através do concreto, representado pela letra “d”, onde t é o tempo (anos) e K é o coeficiente de carbonatação (Revista ALCONPAT, 2013).

$$d = K_{CO_2} \cdot \sqrt{t} \quad \text{Equação 1}$$

Calculando o coeficiente de carbonatação para viga, pilar e laje, com espessura carbonatada de 20 mm, têm-se:

$$K_{CO_2} = \frac{20}{\sqrt{22}} = 4,2640$$

Com os valores nominais de cobrimento da armadura e o coeficiente de carbonatação calculado acima, calcula-se a vida útil de cada elemento estrutural, conforme Tabela 1 abaixo:

Tabela 1- Previsão de vida útil dos elementos estruturais

Espeçura Carbonatada (mm)	Tempo (anos)	K (mm/vano)	Espeçura Carbonatada (mm)	Tempo (anos)	K (mm/vano)
Subsolo - VT 16			Subsolo - Pilar P25		
20	22	4,2640	10	22	2,1320
21,83 (menor cobrim.)	26	4,2640	34,33 (real)	259	2,1320
Subsolo - Pilar P08			Pilotis - Pilar P08		
20	22	4,2640	20	22	4,2640
29,16 (menor cobrim.)	47	4,2640	60 (real)	198	4,2640
Subsolo - Pilar P30			Subsolo - Laje		
20	22	4,2640	20	22	4,2640
29,16 (menor cobrim.)	47	4,2640	26,83 (menor cobrim.)	40	4,2640

Fonte: Autor, 2018.

Para os pilares P25 do subsolo e P08 do pilotis, foram levados em consideração o valor médio do cobrimento da armadura, sendo 34,33mm e 60,00mm respectivamente, e para os pilares, vigas e lajes restantes, foram considerados os menores valores de cobrimentos do pavimento, a favor da segurança, conforme Quadro 3.

4.2. COBRIMENTO DAS ARMADURAS

O Quadro 3, indica o valor médio do cobrimento das armaduras principais, para verificar se atendem ao cobrimento estabelecido na NBR 6118:2014.

Quadro 3 - Espessura média do cobrimento das armaduras principais – medidas em mm

Local:	Medidas	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Média
Subsolo-Pilar P01		25	47	29	28	53	38	36,66
Subsolo-Pilar P12		26	35	37	56	39	61	42,33
Subsolo-Pilar P13		24	44	47	46	58	29	41,33
Subsolo-Pilar P21		36	39	62	51	36	36	43,33
Subsolo-Pilar P25		20	37	30	29	36	54	34,33
Subsolo-Pilar P29		22	48	24	32	29	29	30,66
Subsolo-Pilar P31		27	48	72	28	25	33	38,83
Subsolo-Pilar P36		26	23	26	47	30	38	31,66
Subsolo-Pilar P42		28	42	21	19	37	28	29,16
Subsolo-Viga VT01		17	20	31	15	33FI	15FI	21,83
Subsolo-Viga VT11		26	38	27	37	13FI	23FI	27,33
Subsolo-Viga VT13		29	59	32	51	11FI	20FI	33,66
Subsolo-Viga VT14		24	34	28	86	29FI	35FI	39,33
Subsolo- Laje Pilotis		75FI	48FI	87FI	34FI	40FI	43FI	54,50
Subsolo- Laje Pilotis		17FI	72FI	20FI	19FI	16FI	17FI	26,83
Pilotis-Pilar P01		29	48	46	33	34	29	36,50
Pilotis-Pilar P02		22	60	46	43	62	43	46,00
Pilotis-Pilar P02		29	34	40	36	63	57	43,16
Pilotis-Pilar P07		27	45	33	32	44	53	39,00
Pilotis-Pilar P08		46	60	65	84	70	41	60,00
Pilotis-Pilar P13		20	70	21	47	74	42	45,66
Pilotis-Pilar P17		18	31	25	30	37	43	30,66
Pilotis-Pilar P18		19	35	50	46	76	42	44,66
Pilotis-Pilar P21		22	52	79	85	34	52	54,00

Fonte: Construtora, 2018.

Para classe de agressividade II – Urbana é recomendado espessura de cobrimento nominal de 25 mm para lajes e 30 mm para vigas e pilares, conforme NBR 6118:2014. De acordo com os ensaios realizados, 12% das vigas e pilares apresentam valores de cobrimento abaixo do estabelecido pela norma técnica.

4.3. RESISTÊNCIA DO CONCRETO

Os testemunhos, após terem sido ensaiados com fenolftaleína para determinar a profundidade de carbonatação, foram submetidos a ensaios de resistência à compressão axial, com intuito de verificar a resistência do concreto. Segue no Quadro 4 os resultados apurados.

Quadro 1 - Resistência a Compressão do Concreto

CP	Localização	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Resistência à Compressa (MPa)
6	Subsolo-VT16	152,0	74,4	20,20
7	Subsolo-Pilar P25	153,2	74,0	26,20
8	Subsolo-Pilar P08	153,2	74,2	32,40
9	Subsolo-Pilar P30	150,8	74,4	28,50
10	Pilotis-Pilar P08	154,3	74,4	26,20
12	Subsolo-Laje	90,4	74,1	24,30

Fonte: Construtora, 2018.

O projeto estrutural de 1991, especifica um F_{ck} de 15 MPa. Os resultados atestaram um concreto com boa resistência e compacidade em média de 26,30 MPa.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar o desempenho estrutural de uma edificação, através da análise documental, inspeção visual e ensaios de campo. Foram constatadas diversas manifestações patológicas, como: baixo cobrimento da armadura, deslocamento do concreto, armaduras expostas em diversos pontos, infiltrações, desagregação do concreto, avanço da carbonatação e conseqüentemente despassivação das armaduras.

A estrutura apresentou bons resultados de cobrimento médio da armadura, dentro do

estabelecido pela norma NBR 6118:2014, assim como, resistência do concreto, com valor médio de 26,30 MPa.

Os resultados dos ensaios de campo e laboratoriais, conduziram à elaboração de medidas e ações necessárias para recuperação e reforço da estrutura, com objetivo de garantir a durabilidade e o desempenho estrutural da edificação.

As intervenções corretivas, consistem em reparos localizados, nos pontos onde apresentam corrosão, realizando limpeza das armaduras e do concreto e recomposição do cobrimento onde for necessário.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL - ABECE **Check-List Para Vistoria de Edificações em Concreto Armado**. São Paulo, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1 – **Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7680:2015 - **Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Parte 1: Resistência à compressão**, Rio de Janeiro, 2015.

BRANCO, F.; PAULO, P.; GARRIDO, M. **Boletim técnico - Vida Útil na Construção Civil**. Revista ALCONPAT Internacional, Universidade técnica de Lisboa - Portugal, v. 04, n. 3, 2013. Disponível em: 02.04.2018 <<http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B4-Vida-%C3%9Atil-na-Constru%C3%A7%C3%A3o-Civil.pdf>>. Acesso em: 02.04.2018.

British Standards Institution. BS EN 14630: **Products and systems for the protection and repair of concrete structures: test methods: determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method**. London, United Kingdom, 2006.

COSTA Jr. M. P. **Avaliação Pós–Ocupação e manutenção estratégica de escolas públicas**. 2001. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

RED REHABILITAR. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto.
Editores: P. Helene & F. Pereira. São Paulo, 2003.

TOMAZELI, A.; MARTINS, E. de C. Condomínio Central Park Ibirapuera: **A importância de um laudo técnico para a obtenção da excelência na recuperação das fachadas em edifícios, Projeto e Consultoria Estrutural.** Revista Concreto - IBRACON, São Paulo, v.49, pag. 13-20, Jan Fev Mar 2008. Disponível em: 04.04.2018 <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_49.pdf>. Acesso em: 05.04.2018.