

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UM EDIFÍCIO GARAGEM: ESTUDO DE CASO

Rosalvo Rodrigues de Lima¹

rosalvorlima@gmail.com

Inês Sterphanne Gurjão Freitas²

ines.sterphanne@gmail.com

Sara Ferreira Lobo³

saraferreiralobo@gmail.com

Alex Júnior Carvalho de Nascimento⁴

alex_aj_nascimento@hotmail.com

Marcus Vinícius Pereira de Freitas⁵

mvpengenharia@hotmail.com

Maurício de Pina Ferreira⁶

mpinaf@gmail.com

ÁREA: PATOLOGIA

Resumo

As manifestações patológicas nas estruturas podem provocar a redução de sua vida útil e ocasionar acidentes fatais. Inúmeros são os fatores que geram danos às estruturas, em função disso, torna-se imprescindível o conhecimento dessas causas, com o intuito de proporcionar soluções adequadas aos elementos afetados, a fim de restaurá-los e inibir a recorrência da ação patológica. Nessa conjuntura, o presente trabalho objetiva a realização de um levantamento das manifestações patológicas referentes a um edifício garagem composto por um pavimento térreo, um pavimento superior e cobertura em estrutura metálica, localizado na cidade de Belém do Pará. A estrutura deste edifício é composta em concreto armado, constituída por pilares, vigas e lajes maciças bidirecionais. Esta edificação apresentava manifestações patológicas visíveis, a exemplo das relacionadas com deslocamentos e fissuração excessiva tanto em elementos estruturais quanto em componentes não estruturais, como em alvenarias de vedação. Com o propósito de promover uma análise da estrutura, realizou-se o levantamento estrutural do edifício garagem, assim como uma inspeção visual preliminar, com a intenção de identificar de maneira global as patologias existentes. Posteriormente, executou-se uma inspeção detalhada do edifício, elaborando um mapeamento minucioso de patologias e danos, com a realização de ensaios não-destrutivos, sendo estes os de esclerometria, carbonatação e pacometria, feitos com o objetivo de determinar parâmetros de qualidade do concreto e das armaduras existentes nos principais elementos estruturais. Mediante todas as análises, levantou-se as possíveis causas dos problemas e chegou-se à conclusão de que a edificação estava bastante comprometida, apresentando anomalias graves, que poderiam comprometer a integridade da edificação em médio prazo.

Palavras-chave: Manifestações patológicas

Estudo de caso

Inspeção

¹ Graduando em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

² Graduanda em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

³ Graduanda em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

⁴ Graduando em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

⁵ Mestrando em Engenharia Civil, FEC, PPGINDE, Universidade Federal do Pará.

⁶ Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Civil, ITEC, Universidade Federal do Pará.

MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS EN UN EDIFICIO GARAJE: ESTUDIO DE CASO

Rosalvo Rodrigues de Lima¹

rosalvorlima@gmail.com

Inês Sterphanne Gurjão Freitas²

ines.sterphanne@gmail.com

Sara Ferreira Lobo³

saraferreiralobo@gmail.com

**Alex Júnior Carvalho de
Nascimento⁴**

Alex_aj_nascimento@hotmail.com

**Marcus Vinícius Pereira de
Freitas⁵**

mvpengenharia@hotmail.com

Maurício de Pina Ferreira⁶

mpinaf@gmail.com

ÁREA: PATOLOGÍA

Resumen

Las manifestaciones patológicas estructurales pueden provocar la reducción de su vida útil y ocasionar accidentes fatales, así, se hace imprescindible el conocimiento de esas patologías, con el fin de proporcionar soluciones adecuadas a los elementos afectados, a fin de restaurarlos e inhibir la recurrencia de la acción patológica. Así, el presente trabajo objetiva la realización de un levantamiento de las manifestaciones patológicas referentes a un edificio garaje compuesto por una planta baja, un pavimento superior y una cubierta de estructura metálica, situado en la ciudad de Belém-Pa. La estructura de este edificio se compone de hormigón armado, constituida por pilares, igas y losas macizas bidireccionales. Esta edificación presentaba manifestaciones patológicas visibles, como las relacionadas con los desplazamientos y la fisuración excesiva tanto en elementos estructurales como en no estructurales, como em albañilería de vedación. Con el propósito de promover un análisis de la estructura, se realizó el levantamiento estructural del edificio, así como una inspección visual preliminar, con la intención de identificar de manera global las patologías existentes. Posteriormente, se ejecutó una inspección detallada del edificio, elaborando un mapeo minucioso de patologías y daños, con la realización de ensayos no destructivos, como los de esclerometría, carbonatación y pacometría, jecutados con el objetivo de determinar parámetros de calidad del concreto y de las armaduras en los principales elementos estructurales. Con los análisis, se levantaron las posibles causas de los problemas concluyendo que la edificación estaba bastante comprometida, presentando anomalías graves, que podrían comprometer la integridad de la edificación a medio plazo.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas

Estudio de caso

Inspección

Introdução

Afirma-se, na engenharia civil, que o aparecimento de patologias em edificações está relacionado a vários fatores que, isolada ou conjuntamente, acabam provocando modificações estruturais ou funcionais, acarretando em perdas ou redução do desempenho de um componente ou da estrutura como um todo. A soma dos efeitos que os elementos nocivos causam à estrutura motiva o estudo de patologias.

Conforme Steen (1991, apud ANDRADE, 1997)⁽¹⁾, dentre os valores do estudo da Patologia das Construções está a percepção do avanço dos problemas, de forma que o quanto antes diagnosticado, menor é o custo e maior é a facilidade para restaurar os elementos afetados. Para que o tratamento seja bem sucedido, é preciso uma inspeção, um diagnóstico e um prognóstico apropriado e completo, tornando os mecanismos, as origens, os sintomas e as causas conhecidas.

Segundo HELENE (2003)⁽²⁾, “o processo de construção e uso pode ser dividido em cinco etapas: planejamento, projeto, fabricação dos materiais e componentes fora do canteiro, execução e uso”. Sendo assim, as manifestações patológicas em uma estrutura são oriundas de falhas em uma ou mais etapas desde processo. Encontrar a origem dos problemas patológicos na estrutura é um passo necessário na busca de uma solução satisfatória para os mesmos.

Ressalta-se que as patologias podem ou não ser externadas por meio de sintomas. Olivari (2003)⁽³⁾ destaca as fissuras ou trincas em elementos estruturais e alvenarias, degradação, esmagamento e ruptura do concreto, carbonatação, corrosão da armadura e manchas, trincas e descolamento de revestimentos como os principais sintomas patológicos em uma estrutura. Além de conhecer a origem e os sintomas das mesmas, faz-se necessário conhecer e estudar as causas dos problemas. Dentre estas, destaca-se o recalque das fundações, movimentação térmica, excesso de deformação das peças estruturais, sobrecargas ou acúmulo de tensões, carbonatação e corrosão.

Quando construções são sujeitas a fatores que podem ocasionar anomalias, somadas às condições ambientais onde a estrutura está localizada, há a probabilidade de redução da sua vida útil, bem como o comprometimento da segurança. Com isso, percebe-se a necessidade de uma avaliação do estado das edificações, visando a reabilitação e manutenção destas.

Diante disto, o propósito do presente trabalho é apresentar um estudo de caso realizado em um edifício garagem localizado em Belém do Pará, o qual evidencia manifestações patológicas tanto em elementos estruturais quanto em elementos não-estruturais, destacando os processos de investigação utilizados, como levantamento e mapeamento das manifestações patológicas e danos detectados, com uso de ensaios não destrutivos, além de listar as possíveis causas dos problemas.

Metodologia

A sistemática utilizada para este estudo foi dividida em etapas. Em uma primeira fase, realizou-se um levantamento estrutural do edifício garagem a fim de gerar plantas do local, executando conjuntamente uma identificação visual dos materiais empregados. Em seguida, foi realizada uma inspeção preliminar, a partir de exame visual e mapeamento das manifestações patológicas a fim de identificar de forma geral os danos existentes e o estado da edificação, colaborando na determinação dos pontos de maior interesse e planejamento dos serviços de inspeção detalhada. Abordou-se, ainda, moradores e funcionários com o intuito de coletar informações da estrutura a respeito de sua utilização e eventuais anomalias, por exemplo.

Após análise da inspeção preliminar, executou-se inspeção detalhada do edifício, aplicando-se ensaios não-destrutivos (esclerometria, carbonatação e pacometria) visando estimar a

resistência e a integridade do concreto, bem como detectar qualitativamente as armaduras existentes em determinados elementos estruturais. Após estudo do material coletado, sugeriu-se soluções para os problemas constatados.

Levantamento Estrutural

A edificação consiste em um prédio anexo a um condomínio residencial, utilizado como garagem, sendo composto por 1 (um) pavimento térreo e 1 (um) pavimento superior, além de 1 (um) pavimento cobertura composto por estrutura em treliças metálicas e telhas de aço galvanizado. A estrutura deste edifício é em concreto armado, composta por pilares, vigas e lajes maciças bidirecionais. As vedações foram executadas com tijolos cerâmicos e não foram disponibilizadas informações sobre as fundações, não sendo estas alvos de avaliação neste estudo. Relatos dos moradores atestam que a edificação objeto deste artigo foi inicialmente utilizada por uma escola, sendo posteriormente comprada e anexada ao edifício, passando a funcionar como garagem. Ainda segundo os moradores, a edificação já passou por um procedimento de reforço, buscando conter os recalques excessivos observados nos cantos ao longo da divisa nos fundos do terreno, mas ainda assim as manifestações patológicas retornaram.

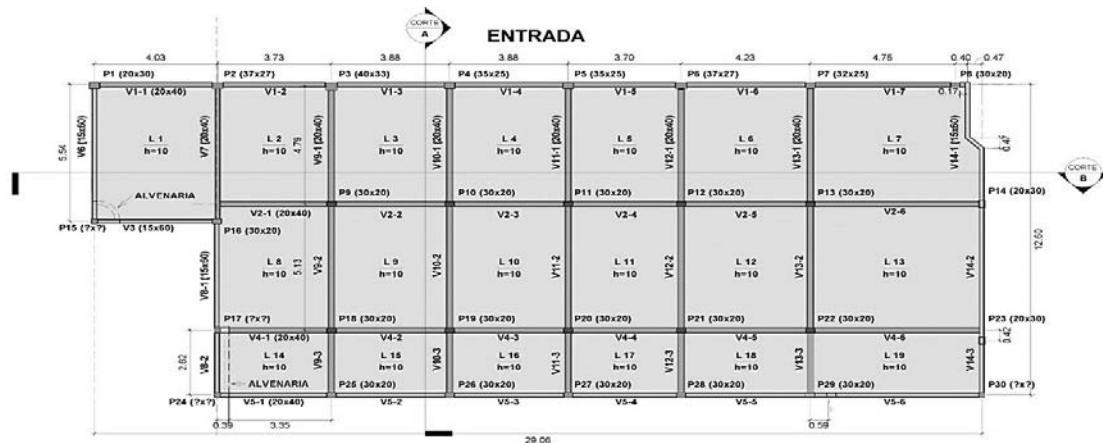


Figura 1: Forma do pavimento superior.

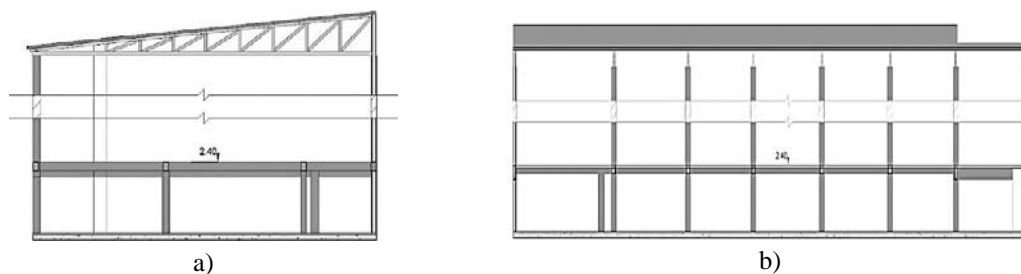


Figura 2: Cortes; a) Corte A-A; b) Corte B-B

Ensaio Não Destrutivos

Selecionou-se os elementos estruturais que apresentavam maiores evidências de manifestações patológicas para a realização dos ensaios, e estão apresentados nas Figuras 3 e 4.



Figura 3: Elementos selecionados para os ensaios de pacometria e carbonatação do concreto.



Figura 4: Elementos selecionados para os ensaios de esclerometria.

Ensaio de Pacometria

Realizou-se o ensaio de pacometria, visando a avaliação das armaduras existentes na estrutura de forma qualitativa e representativa, auxiliado pelo método do ACI 228 2R- 98⁽⁴⁾. Utilizou-se um escâner para concreto tencionando a determinação de quantidade, disposição e cobertura das armaduras existentes dentro dos elementos estruturais de concreto armado. O diâmetro das armaduras foi detectado a partir de aberturas nos elementos de concreto na posição determinada pelo escâner. Este ensaio auxiliou na execução do ensaio de esclerometria, visto que as barras de aço influenciam na dureza superficial. A Figura 5 (a e b) exibem os equipamentos utilizados no escaneamento e medição das armaduras.

Ensaio de Carbonatação do Concreto

O ensaio de carbonatação de concreto, que possui recomendações por Rilem (1988)⁽⁵⁾, indica o grau de proteção que o concreto confere às armaduras nele imersas. O ensaio foi executado a partir de uma solução alcoólica com 0,1% de fenolftaleína, que funciona como um indicador de pH. A solução de fenolftaleína mantém-se incolor em contato com materiais com pH menor que 8, assumindo coloração rosa ou carmim quando em contato com elementos com pH entre 8 a 12, vide Figura 5c. Os pontos ensaiados foram os mesmos aonde foram feitas aberturas para medir o diâmetro das barras.

Ensaio de Esclerometria

O ensaio de esclerometria, realizado de acordo com as prescrições da ABNT NBR 7584:2012⁽⁶⁾, mede a dureza superficial do concreto, definida pelo índice esclerométrico. A partir de correlações entre o índice e a resistência à compressão, é possível estimar esta última. Utilizou-se curvas de correlação fornecidas pelo fabricante do aparelho usado (Original Schmidt Hammer - Type N, Proceq). Em cada ponto, foram aplicados 16 (dezesseis) golpes na posição horizontal, determinando-se o valor médio e o valor característico da resistência do concreto no ponto. A Figura 5d ilustra a realização do ensaio de esclerometria em vigas.

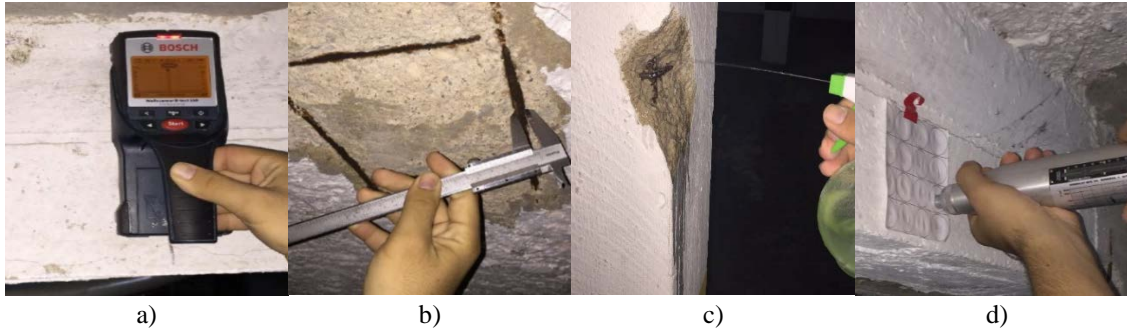


Figura 5: Realização de ensaios não destrutivos; a) Escâner para concreto para o ensaio de pacometria; b) Medição das armaduras com paquímetro no ensaio de pacometria; c) Carbonatação; d) Ensaio de esclerometria em viga.

Resultados

Vigas

De maneira geral as vigas do edifício apresentam alto grau de fissuração, onde se observou: fissuras de flexão (Figura 6a); fissuras causadas pela corrosão das armaduras de cisalhamento, mostradas na Figura 6b; fissuras de cisalhamento (Figura 6c); e fissuras características de recalque diferencial das fundações, a exemplo da Figura 6d.

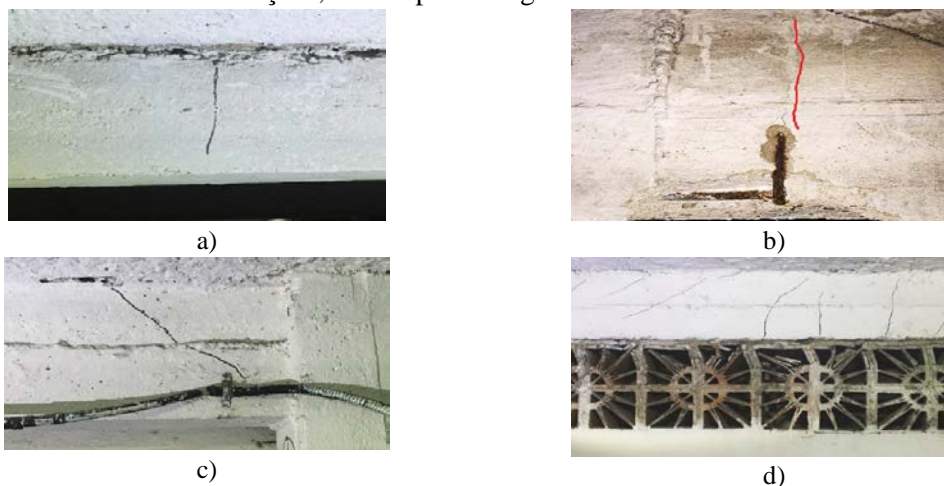


Figura 6: Patologia nas vigas; a) Fissuras de flexão; b) Fissuras devido à corrosão das armaduras de cisalhamento; c) Fissuras de cisalhamento; d) Fissuras devido ao recalque diferencial nas fundações.

Sobre as fissuras de flexão, cisalhamento e recalque diferencial, uma análise da estrutura e das fundações torna-se necessária a fim de constatar essa hipótese. Os casos das vigas com

fissura de cisalhamento devem ser tratados com maior cautela devido ao modo de ruptura frágil associado a esse esforço. Ressalta-se, ainda, que a redução da parcela de concreto não-fissurado para resistir a esforços combinado com a oxidação das armaduras diminui a resistência dos elementos.

Lajes

Algumas lajes do pavimento apresentam fissuras inclinadas saindo do encontro das vigas, seguindo em direção ao centro da laje (Figura 7a). Apenas uma análise mais específica pode confirmar a origem das fissuras, mas assume-se como hipótese inicial que as mesmas são de origem estrutural, especificamente de um possível recalque excessivo das fundações. Além disso, observam-se danos nas lajes provenientes da corrosão das armaduras de flexão, que provoca destacamento do concreto de cobrimento (Figura 7b).

Pilares

O destacamento da camada de cobrimento do concreto associado à corrosão das armaduras é a manifestação patológica mais presente nos pilares do edifício (Figura 7c), podendo comprometer as armaduras, reduzindo a capacidade resistente do pilar e a segurança da edificação. As origens do problema podem estar relacionadas às falhas na concretagem, devido a possível execução incorreta e ao não cumprimento das recomendações normativas acerca do cobrimento mínimo das armaduras.

Alvenarias

Vários panos de alvenaria apresentam fissuras inclinadas. Uma hipótese inicial é que estas sejam oriundas de aberturas de portas e janelas por conta da proximidade desses elementos. Porém, mesmo em panos com vãos pequenos (Figura 7d) há a ocorrência de fissuração. Logo, uma análise estrutural é necessária afim de comprovar a origem da patologia. Acredita-se inicialmente que estas são oriundas de recalque diferencial das fundações.

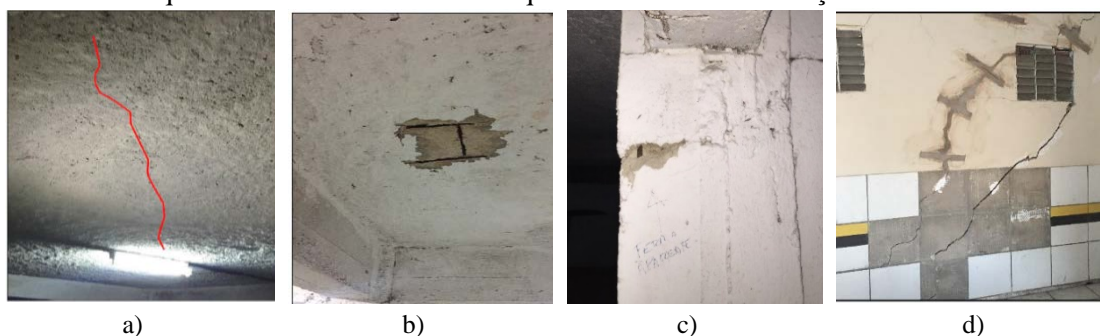


Figura 7: Manifestações patológicas nos elementos analisados. a) Possível fissura de flexão em laje; b) Destacamento do concreto de cobrimento da laje; c) Manifestações patológicas nos pilares; d) Fissuras em alvenaria de vedação.

Ensaio Não-Destrutivos

Ensaio de Pacometria

A Tabela 1 apresenta os resultados de cobrimento fornecidos no ensaio de pacometria nas vigas, lajes e pilares, respectivamente.

Tabela 1: Cobrimento dos elementos estruturais.

Elemento		c (mm)	
Vigas	V1-1, V1-6, V1-7, V2-5, V2-6, V4-5 e V7	2	
	V10-1, V10-2 e V10-3	1	
Lajes	L3	2	
	L6 e L15	0	
Pilares	-	cx (mm)	cy (mm)
	P1	--	20
	P2	5	15
	P4	40	22
	P7	50	15
	P8	2	2
	P10	18	7
	P13	2	5
	P16 e P18	5	5

em que:

c — Cobrimento da armadura longitudinal das vigas e lajes;

cx, cy — Cobrimento da armadura dos pilares na direção x e y, respectivamente;

Com base na ABNT NBR 6118 (2014)⁽⁷⁾, o local onde o edifício em estudo se encontra, possui grau de agressividade II (moderada), referente à área urbana, ou seja, o cobrimento mínimo para laje é de 25mm e para vigas e pilares é de 30mm. Os resultados mostram que a ampla maioria dos elementos estruturais não apresentam cobrimento mínimo normativo, confirmando-se as hipóteses levantadas na fase de inspeção visual, ou seja, a corrosão das armaduras é proveniente da falta de proteção das mesmas. Ainda sobre o cobrimento, observa-se que não houve uma padronização durante a execução do projeto, onde alguns elementos apresentam cobrimento excessivo (50 mm em P7) enquanto que em algumas lajes o cobrimento é zero (armadura exposta).

Ensaio de Esclerometria

Para estimar a resistência característica ($f_{ck,est}$) do concreto, em MPa, foi utilizado o procedimento especificado na ABNT NBR 12655 (2015)⁽⁸⁾. Para os pilares e vigas, a resistência característica à compressão estimada do concreto foi determinada usando a equação 1, recomendada no caso em que o número de ensaios é entre 6 e 20.

$$f_{ck,est} = 2 \cdot \left(\frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} \right) - f_m \quad (1)$$

em que:

m é a metade do número de n exemplares. Se n for ímpar e $f_1 < f_2 < \dots < f_m < f_n$, despreza-se o mais alto valor de n .

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de esclerometria realizados nos pilares e vigas, contendo o índice esclerométrico médio efetivo (IE_a), a resistência à compressão estimada para cada elemento (f_{cj}) e a resistência a compressão do concreto estimada para o grupo de elementos ($f_{ck,est}$).

Tabela 2: Resultados dos ensaios de esclerometria.

Pilares	Elemento	P7	P8	P10	P13	P16	P18	P20	P25	P28	-
	IE_a	29,9	31,2	26,3	27,6	27,1	31,1	32,1	30,1	33,2	-
	f_{cj} (MPa)	19,6	21,2	15,2	16,7	16,1	21,2	22,5	19,9	24,2	-
	$f_{ck,est}$ (MPa)								14,36		
Vigas	Elemento	V1-1	V1-6	V1-7	V2-5	V2-6	V4-5	V7	V10-1	V10-2	V10-3
	IE_a	33,5	31,2	34,5	32,0	31,2	30,5	29,3	33,3	36,4	34,3
	f_{cj} (MPa)	24,6	21,3	26,0	22,4	21,3	20,4	18,8	24,2	28,9	25,7
	$f_{ck,est}$ (MPa)								19,3		

Os resultados obtidos após o ensaio mostram uma baixa resistência a compressão do concreto, obtendo valores de 14,36 e 19,3 MPa para pilares e vigas, respectivamente, ou seja, abaixo do recomendado pela ABNT NBR 6118 (2014)⁽⁷⁾ para a classe de agressividade II, que é de 25MPa para elementos em concreto armado. No caso específico dos pilares, uma baixa resistência a compressão pode comprometer a segurança da edificação uma vez que esses elementos trabalham principalmente à compressão. Uma baixa resistência a compressão das vigas pode gerar ruptura brusca através do esmagamento da biela, visto que este modo de ruptura está associado diretamente ao f_{ck} do concreto.

Carbonatação do Concreto

Os resultados do ensaio de carbonatação dos pilares e vigas são mostrados, respectivamente, nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 3: Resultados dos ensaios de carbonatação nos pilares.

Elemento	c (mm)	Prof. de Carbonatação (mm)	Status das Armaduras
P1 e P4	20	>30	Desprotegida
P2 e P18	5	>30	Desprotegida
P7	15	>30	Desprotegida
P8 e P13	2	>30	Desprotegida
P10	7	>50	Desprotegida
P16	4	>40	Desprotegida

Tabela 4: Resultados dos ensaios de carbonatação nas vigas.

Elemento	c (mm)	Prof. de Carbonatação (mm)	Status das Armaduras
V1-1, V1-6, V1-7, V2-5, V2-6, V4-5 e V7	2	>15	Desprotegida
V10-1, V10-2 e V10-3	1	>20	Desprotegida

De maneira geral, as armaduras das vigas e pilares apresentaram total desproteção, uma vez que a profundidade de carbonatação atingiu valores acima dos cobrimentos das armaduras, tendo, desta forma, atingido-as, o que leva a despassivação do aço e vulnerabilidade à corrosão, explicando o grande número encontrado de armaduras em processo corrosivo.

Conclusões

Diante de todos os resultados apresentados, nota-se que no geral o edifício apresentou diversas manifestações patológicas em elementos estruturais e de vedação, sendo a corrosão das armaduras a mais recorrente devido, principalmente, a falta de adequado cobrimento de

concreto, que, combinado ao ambiente agressivo de uma garagem (presença de dióxido de carbono) pode levar à ocorrência da manifestação patológica supracitada. Além disso, devido a elevada profundidade de carbonatação, as armaduras apresentam desproteção, colaborando para o alto grau de corrosão dos elementos estruturais.

Com as análises realizadas, não foi possível determinar a origem das fissurações, porém parte-se de um pressuposto de que as mesmas sejam oriundas de sobrecarga e de recalque diferencial das fundações. A verificação das resistências dos elementos estruturais, realizada pelo ensaio de esclerometria, demonstra que diversos desses elementos apresentam resistência inferior à normativa.

Sendo assim, recomenda-se um estudo mais aprofundado, a fim de buscar as origens das manifestações patológicas não detectadas nesta pesquisa, realizando uma verificação estrutural detalhada, comparando resultados computacionais, como os limites últimos e de serviço, com os recomendados pela norma brasileira, sugerindo-se a solução adequada para reabilitação do edifício através do reforço e reparo estrutural com o objetivo de promover a segurança e bem-estar dos usuários.

Bibliografia

- (1) ANDRADE, J.J.O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- (2) HELENE, Paulo R. L. **Manual de reabilitação de Estruturas de Concreto – Reparo, Reforço e Proteção**. São Paulo: Red Rehabilitar, editores, 2003.
- (3) OLIVARI, Giorgio. **Patologia em Edificações**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo: Monografia, 2003
- (4) American Concrete Institute; **ACI 228.2r-98: Nondestructive Test Methods For Evaluation of Concrete in Structure**, 1998.
- (5) **RILEM Committee, TC56**. CPC 18: Measurement of hardened concrete carbonation depth. **Street. 21 (126) (1988) 453-455**.
- (6) Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7584: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**. Rio de Janeiro, 2012.
- (7) Associação brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, 2014.
- (8) Associação brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12655 – Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.