De 24/06/2026 a 27/06/2026
São Paulo
https://doi.org/10.67775/1ehzc513

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: ESTUDO DE CASO NO CENTRO CULTURAL DE CAMBÉ/PR

Vitor Hugo Astun Dionisio[1]*, Hugo Gabriel Fernandes Viotto[2]; Humberto Vicentin Neto[3]; Marcos Vinícius Domingos Benetatti[4], Berenice Martins Toralles[5] e Francisco Morato Leite[6]
*Autor de contato: vitorhdionisio@gmail.com

[1] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil
[2] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil
[3] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil
[4] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil
[5] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil
[6] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil

RESUMO

Este estudo apresenta o diagnóstico das manifestações patológicas identificadas nos pilares externos do Centro Cultural de Cambé/PR, edificação em concreto armado com aproximadamente 35 anos de uso. Foram realizados ensaios não destrutivos, incluindo pacometria, esclerometria e ultrassom, bem como ensaio destrutivo por meio da abertura de janelas de inspeção, além da análise da carbonatação com aplicação de solução de fenolftaleína. Os resultados evidenciaram variações significativas no cobrimento das armaduras, entre 1,4 cm e 3,0 cm, valores inferiores aos recomendados pela ABNT NBR 6118:2023. Essa condição favoreceu a progressão da carbonatação, a corrosão das armaduras e o desplacamento do concreto, com maior criticidade no Pilar 4, intensificada pela ação localizada de agentes agressivos de baixo pH. Os pilares P3, P4 e P5 apresentaram maior vulnerabilidade, enquanto P1, P2 e P6 demonstraram desempenho satisfatório. A classificação da vida útil, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, enquadra a edificação no grupo de edifícios comuns, com vida útil de projeto mínima de 50 anos, sendo recomendadas inspeções periódicas e intervenções corretivas para assegurar a durabilidade estrutural.
Palavras-chave*:* manifestações patológicas; concreto armado; durabilidade; ensaios não destrutivos; vida útil.

ABSTRACT

This study presents the diagnosis of pathological manifestations identified in the external reinforced concrete columns of the Cambé Cultural Center, a structure with approximately 35 years of service life. Non-destructive tests were performed, including covermeter measurements, rebound hammer testing, and ultrasonic pulse velocity, in addition to a destructive test involving the opening of inspection windows and carbonation analysis using phenolphthalein solution. The results revealed significant variations in reinforcement cover, ranging from 1.4 cm to 3.0 cm, values below those recommended by ABNT NBR 6118:2023. This condition favored carbonation progression, reinforcement corrosion, and concrete spalling, with greater severity observed in Column 4, intensified by localized exposure to aggressive low-pH agents. Columns P3, P4, and P5 exhibited higher vulnerability, whereas P1, P2, and P6 showed satisfactory performance. According to ABNT NBR 15575-1:2021, the service life classification places the building in the minimum design service life of 50 years for common buildings; however, the observed deterioration indicates the need for periodic inspections, reassessment of the residual service life, and corrective interventions to ensure structural durability.
Keywords: pathological manifestations; reinforced concrete; durability; non-destructive testing; service life.

1. INTRODUÇÃO

As edificações construídas no Brasil nas décadas de 1980 e 1990 apresentam características construtivas influenciadas pelo contexto socioeconômico e pelas limitações tecnológicas da época, sendo comum o emprego de concretos de baixa resistência, entre 10 e 15 MPa, sobretudo em obras públicas de pequeno e médio porte, em razão do reduzido controle tecnológico e de dosagens empíricas (Souza; Ripper, 1998). Essas condições conferiram maior suscetibilidade a mecanismos de deterioração associados à elevada permeabilidade, cobrimentos insuficientes e baixa qualidade do concreto superficial (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

No âmbito normativo, a discussão sobre vida útil de projeto no Brasil ocorreu de forma tardia, sendo somente a partir da ABNT NBR 15575:2021 estabelecidos requisitos mínimos de vida útil para edificações, o que dificultava, anteriormente, a previsibilidade do desempenho estrutural ao longo do tempo. Entre os principais processos patológicos, destaca-se a corrosão das armaduras, que reduz a seção resistente do aço e gera fissuração, desplacamento do cobrimento e perda de aderência, comprometendo a segurança estrutural (LELE; BEUSHAUSEN; ALEXANDER, 2023; BENTO; MONTEIRO, 2024; MEIRA, 2017).

Ademais, observa-se a atuação sinérgica entre diferentes agentes de degradação, uma vez que processos como a carbonatação e a ação de cloretos afetam principalmente a armadura, enquanto agentes agressivos de baixo pH deterioram o concreto superficial, facilitando a penetração desses agentes e acelerando a corrosão (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; NEVILLE, 2016).

Nesse contexto, justifica-se a realização do presente estudo pela necessidade de compreender o comportamento de estruturas de concreto armado com idade avançada, especialmente edificações públicas construídas antes da consolidação dos critérios atuais de durabilidade e vida útil. O Centro Cultural de Cambé/PR foi selecionado como objeto de estudo por sua relevância social e pelas condições específicas de exposição ambiental de seus elementos estruturais externos, sendo a aplicação integrada de ensaios não destrutivos e destrutivos fundamental para a avaliação do estado de conservação, da vida útil residual e para o embasamento técnico de intervenções corretivas e estratégias de manutenção.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no Centro Cultural de Cambé/PR, edificação pública localizada na região central do município de Cambé–PR, inaugurada em 1990 e com aproximadamente 35 anos de uso. A construção está inserida em zona urbana consolidada, sob clima subtropical, caracterizado por variações térmicas, elevada umidade e chuvas frequentes, condições que influenciam diretamente os processos de degradação do concreto.

A edificação ocupa um lote de esquina, delimitado pelas ruas Dinamarca e Portugal, conforme ilustrado na Figura 1, estando inserida em um setor urbano com tráfego moderado, presença de edificações residenciais no entorno e áreas arborizadas que promovem sombreamento parcial das fachadas.

Figura 1 - Localização dos pilares avaliados na fachada oeste do Centro Cultural de Cambé, destacados em vermelho



Fonte: Google Earth Pro, 2025

Foram selecionados seis pilares de concreto armado, com seção transversal de 15 × 38 cm, localizados na face oeste da edificação (Figura 2) e diretamente expostos às intempéries. A escolha dessa região também considerou relatos de deposição de urina por transeuntes, potencial fonte de agentes agressivos de baixo pH. Os elementos foram identificados como P1 a P6, sendo avaliada uma face de cada pilar.

Figura 2 **- Vista da fachada oeste do Centro Cultural de Cambé, com identificação dos seis pilares analisados**



Fonte: Google Earth Pro, 2025

No momento da vistoria, os pilares P1, P2, P3, P5 e P6 apresentavam superfícies aparentes contínuas, sem exposição visível das armaduras, com presença de manchas superficiais de umidade e alterações de coloração típicas de elementos estruturais externos. O pilar P4, por sua vez, apresentava perda localizada do cobrimento, com exposição das armaduras longitudinais e transversais, sendo essa condição considerada para a definição dos procedimentos de ensaio aplicados ao elemento.

2.2 Ensaios realizados

2.2.1 Ensaio com Pacômetro

O ensaio com pacômetro teve como objetivo identificar o posicionamento das armaduras longitudinais e transversais nos pilares avaliados. Utilizou-se o equipamento Bosch GMS 120 Professional, baseado em indução eletromagnética, realizando-se varredura da superfície dos elementos. Os eixos das armaduras detectadas foram marcados, permitindo a correta localização das zonas armadas e orientando a aplicação dos ensaios subsequentes.

2.2.1 Ensaio Esclerométrico

O ensaio esclerométrico foi executado conforme a ABNT NBR 7584:2012, utilizando martelo de Schmidt tipo N. Em cada pilar foi definida uma malha de 16 pontos de impacto, distribuídos em quadrante 4×4. Os valores obtidos foram analisados estatisticamente, com exclusão de resultados discrepantes (±10% da média inicial), e a média corrigida foi convertida em estimativa da resistência à compressão aparente do concreto por meio do gráfico do equipamento.

2.2.2 Ensaio Ultrassônico

O ensaio de velocidade de pulso ultrassônico foi realizado com preparo prévio da superfície mediante aplicação de vaselina sólida, assegurando adequado acoplamento dos transdutores. A velocidade de propagação das ondas foi determinada pela relação entre a distância percorrida e o tempo de trânsito, conforme a ABNT NBR 8802:2019 e a ASTM C597. Para interpretação qualitativa, adotou-se a classificação proposta por Cánovas, 1992. O ensaio foi aplicado nos pilares P1, P2 e P3, selecionados por apresentarem condições superficiais adequadas à execução do método.

2.2.3 Ensaio Destrutivo – Janela de Inspeção

Foram abertas janelas mínimas de inspeção para verificação direta do cobrimento e da condição superficial das armaduras. As aberturas foram executadas a aproximadamente 1,0 m do solo, no encontro de faces perpendiculares dos pilares, com auxílio de máquina de corte. O cobrimento foi medido diretamente com escalímetro, possibilitando a comparação com os valores estimados pelo pacômetro.

2.2.4 Ensaio de Carbonatação

A profundidade de carbonatação foi determinada por meio da aplicação de solução de fenolftaleína a 1% em etanol nas superfícies expostas após a abertura das janelas de inspeção. A delimitação visual entre regiões carbonatadas e não carbonatadas permitiu medir a profundidade do avanço do

processo, utilizando escalímetro, com leituras em diferentes pontos para avaliação da variabilidade local.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Agressividade Ambiental da Edificação

A interpretação dos resultados requer a correta classificação da agressividade ambiental, uma vez que os processos de deterioração do concreto estão associados às ações físicas e químicas atuantes ao longo do tempo, conforme discutido por Medeiros, Andrade e Helene, 2011.

O Centro Cultural de Cambé está inserido em meio urbano residencial/comercial, sem influência industrial significativa, caracterizado pela presença de tráfego veicular e concentrações atmosféricas usuais de dióxido de carbono. De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, essa condição enquadra a edificação na Classe de Agressividade Ambiental II (CAA II), correspondente a ambiente urbano, distinto do ambiente rural, classificado como CAA I.

Esse enquadramento é compatível com o comportamento observado na maioria dos pilares avaliados, nos quais não se verificaram manifestações patológicas generalizadas após aproximadamente 35 anos de exposição, indicando evolução moderada dos mecanismos de deterioração em ambiente urbano.

Entretanto, o desempenho diferenciado do pilar P4 não está associado à classe ambiental normativa, mas à ação antrópica localizada decorrente da deposição recorrente de urina por transeuntes. Trata-se de um agente agressivo de natureza química, com baixo pH e presença de sais, não contemplado explicitamente na classificação da CAA, mas capaz de promover a degradação do cobrimento e acelerar processos corrosivos de forma localizada.

Dessa forma, os resultados demonstram que, embora a edificação esteja corretamente enquadrada em ambiente urbano (CAA II), a presença de ações antrópicas pontuais pode alterar significativamente o desempenho de elementos estruturais específicos, reforçando a necessidade de avaliações individualizadas no diagnóstico de durabilidade.

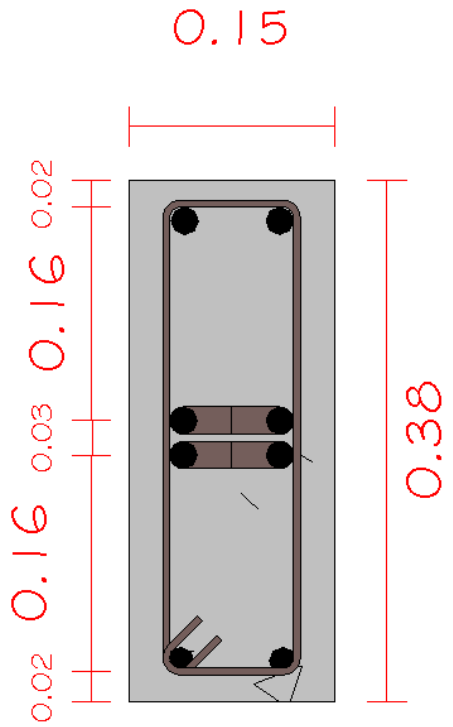
3.2 Geometria da Seção e Distribuição das Armaduras Identificadas

A pacometria permitiu identificar a presença e a disposição relativa das armaduras longitudinais, indicando barras intermediárias organizadas em duas fiadas centrais, posicionadas aproximadamente na região média da seção transversal (Figura 3). Embora o método não possibilite a determinação exata do eixo das barras, os resultados foram suficientes para caracterizar o arranjo estrutural adotado, limitação amplamente reconhecida na literatura para concretos heterogêneos e com cobrimentos reduzidos (SOEIRO, 2018; SOUSA, 2025).

Os resultados evidenciaram cobrimentos inferiores aos valores mínimos prescritos à época da construção para estruturas em concreto aparente ao ar livre (2,5 cm), conforme a NB-1/1978. Essa condição é relevante do ponto de vista da durabilidade, uma vez que cobrimentos reduzidos favorecem a corrosão das armaduras e o desplacamento do concreto, especialmente em ambientes urbanos com elevada umidade, conforme também relatado por Fonseca *et al*., 2021.

A configuração das armaduras identificada mostra-se compatível com o porte da edificação, composta por subsolo, térreo e primeiro pavimento, e com as práticas usuais de detalhamento estrutural vigentes no período de sua execução, não sendo esperados elevados índices de armadura ou seções de maior dimensão.

Figura 3 - Representação esquemática da seção transversal do pilar, indicando o posicionamento das armaduras longitudinais



Fonte: Os autores, 2026.

Ressalta-se que os valores obtidos por pacometria devem ser interpretados como estimativas, uma vez que fatores como profundidade real das barras, orientação do sensor e condições do concreto podem influenciar as leituras. Assim, a representação esquemática da seção transversal (Figura 3) constitui um modelo interpretativo fundamentado nas evidências obtidas em campo, não correspondendo necessariamente ao detalhamento original de projeto.

3.3 Avaliação esclerométrica

O ensaio esclerométrico foi aplicado em seis pilares de uma edificação com aproximadamente 35 anos de idade, com o objetivo de avaliar a variabilidade da dureza superficial do concreto. Os elementos apresentavam superfície lisa, ausência de juntas de concretagem e condições típicas de exposição prolongada em ambiente urbano, com presença de carbonatação identificada por ensaios específicos.

Os índices esclerométricos médios obtidos variaram entre 34 e 47, evidenciando heterogeneidade no comportamento mecânico superficial do concreto. A partir da curva de correlação do equipamento, esses valores resultaram em estimativas de resistência à compressão entre

aproximadamente 25 MPa e 42 MPa (Tabela 1), as quais devem ser interpretadas como indicativas de tendência, e não como valores absolutos de resistência.

Tabela 1 - Resultados do Ensaio Esclerométrico e Estimativa da Resistência à Compressão do Concreto

Pilar	Índice esclerométrico médio	Resistência estimada à compressão (fck)
P1	46	40
P2	43	36,5
P3	34	25
P4	47	42
P5	45	39
P6	42	35,5

Fonte: Os autores, 2026.

A dispersão observada, com desvio padrão aproximado de 4,5 pontos no Índice Esclerométrico, é compatível com estruturas antigas, nas quais fatores como variações de execução, cura original e diferentes condições de exposição ao dióxido de carbono e à umidade influenciam os resultados (Campos, 2019). A carbonatação, em particular, promove o endurecimento da camada superficial do concreto, elevando artificialmente o índice esclerométrico e podendo superestimar a resistência correlacionada em até 50%, conforme indicado pela ABNT NBR 7584 e pela ASTM C805.

Os maiores índices foram observados nos pilares P1, P4 e P5, enquanto valores intermediários foram registrados em P2 e P6. O pilar P3 apresentou o menor índice esclerométrico, indicando menor influência da carbonatação superficial, resultado compatível com as condições observadas no elemento e com possíveis não conformidades de execução, conforme discutido por Araújo, 2018.

Com base nas recomendações normativas, foi aplicada uma redução de 50% nas resistências estimadas (Tabela 2). Observa-se, entretanto, que no caso do pilar P3 a reduzida profundidade de carbonatação identificada não justifica a aplicação desse fator corretivo, evidenciando que não existe relação direta e linear entre a profundidade de carbonatação e os valores esclerométricos obtidos. Ainda assim, a aplicação do fator de correção resultou em valores de resistência compatíveis com os concretos historicamente utilizados no período de construção da edificação.

Tabela 2 - Resultados do Ensaio Esclerométrico com Resistência Corrigida (Redução de 50%)

Pilar	Índice esclerométrico médio	Resistência estimada à compressão (fck) original	Resistência estimada à compressão (fck) corrigida
P1	46	40	20
P2	43	36,5	18,25
P3	34	25	12,5
P4	47	42	21
P5	45	39	19,5
P6	42	35,5	17,75

Fonte: Os autores, 2026.

A variabilidade observada reforça a necessidade de interpretação cautelosa dos resultados esclerométricos e da realização de ensaios complementares, como ultrassom ou extração de

testemunhos, para validação das estimativas e melhor caracterização da durabilidade da estrutura, especialmente em regiões com comportamento diferenciado ao longo do tempo (THOMAZ, 2007; ESCOBAR ET AL., 2011).

3.4 Análise do concreto por ultrassom

Os resultados do ensaio de velocidade de pulso ultrassônico (UPV) permitiram avaliar, de forma indireta, a integridade interna do concreto dos pilares analisados. As velocidades de propagação variaram entre 3129,35 m/s e 4083,48 m/s (Tabela 3), indicando diferentes níveis de qualidade do concreto, conforme a classificação proposta por Cánovas, 1992.

Tabela 3 - Valores de Tempo de Propagação e Velocidade do Pulso Ultrassônico

Pilar	Velocidade média do pulso (µs)	Velocidade de propagação (m/s)	Qualidade do concreto (Cánovas, 1992)
P1	38,27	3919,86	Ótimo
P2	36,73	4083,48	Ótimo
P3	47,3	3129,35	Bom

Fonte: Os autores, 2026.

Os pilares P1 e P2 apresentaram velocidades de 3919,86 m/s e 4083,48 m/s, respectivamente, sendo classificados como de ótima qualidade. Esses valores são compatíveis com concretos relativamente homogêneos, com boa coesão interna e ausência de descontinuidades significativas ao longo do percurso ultrassônico. Em estruturas com cerca de 35 anos, a presença de carbonatação superficial pode contribuir para a elevação moderada da velocidade de propagação, comportamento coerente com os resultados observados.

O pilar P3 apresentou a menor velocidade registrada (3129,35 m/s), enquadrando-se na classe de boa qualidade. Esse resultado indica maior heterogeneidade interna, possivelmente associada a aumento de porosidade ou microfissuração, interpretação coerente com o menor índice esclerométrico previamente obtido para esse elemento. Tal convergência sugere desempenho inferior em relação aos demais pilares ensaiados, recomendando maior atenção em avaliações futuras.

Os ensaios ultrassônicos não foram realizados nos pilares P4, P5 e P6, em razão das condições superficiais inadequadas, caracterizadas pela presença de agentes agressivos de origem biológica e química, além de umidade contaminada. Essas condições poderiam comprometer o acoplamento dos transdutores, gerar leituras imprecisas e representar risco ao equipamento, justificando tecnicamente a exclusão desses elementos do ensaio.

De modo geral, os resultados do UPV indicam que o concreto dos pilares avaliados apresenta integridade interna satisfatória, com variações compatíveis com a idade da edificação e com os mecanismos de deterioração identificados. A coerência entre os resultados do ultrassom e da esclerometria reforça a confiabilidade do diagnóstico estrutural e contribui para a delimitação dos elementos com comportamento diferenciado ao longo do tempo (BENTO; MONTEIRO, 2024).

3.5 Avaliação da Carbonatação por Fenolftaleína

A profundidade de carbonatação foi avaliada por meio da aplicação de solução alcoólica de fenolftaleína a 1%, permitindo identificar a perda de alcalinidade do concreto nos pilares

analisados. O ensaio baseia-se na mudança de coloração do indicador, que adquire tonalidade roxa em meios com pH superior a aproximadamente 9,0 e permanece incolor em regiões carbonatadas.

Os resultados evidenciaram comportamentos distintos entre os pilares avaliados (Figura 4). Nos pilares P3 e P5, não foi observada coloração roxa, indicando carbonatação avançada e perda integral da alcalinidade do cobrimento. Esse comportamento é coerente com os resultados obtidos nos ensaios esclerométricos e ultrassônicos, que apontaram desempenho inferior nesses elementos.

Figura 4 - Resultados da Aplicação de Fenolftaleína nos Pilares P3, P4, P5 e P6



Fonte: Os autores, 2026.

O pilar P4 apresentou coloração roxa apenas em regiões pontuais, caracterizando carbonatação parcial do cobrimento, com avanço significativo da frente carbonatada. Em contraste, o pilar P6 exibiu coloração roxa intensa e contínua, indicando manutenção da alcalinidade do concreto e menor suscetibilidade à corrosão das armaduras.

De modo geral, os resultados confirmam que a associação entre cobrimento reduzido, avanço da carbonatação e presença de agentes agressivos tem contribuído para a deterioração localizada de alguns elementos estruturais, especialmente nos pilares P3, P4 e P5, reforçando a importância da avaliação integrada dos mecanismos de durabilidade (WANG et al., 2024).

3.6 Janela de inspeção

A análise geométrica realizada a partir da abertura das janelas de inspeção e da configuração armada identificada revelou variações significativas nos valores de cobrimento dos pilares, oscilando entre 1,4 cm e 3,0 cm, conforme observado na Figura 5.

Figura 5 - Determinação do Cobrimento por Abertura de Janela de Inspeção



Fonte: Os autores, 2026.

A quantificação dos cobrimentos medidos é apresentada na Tabela 4, na qual se observa que a maioria dos elementos avaliados apresenta valores inferiores ao mínimo recomendado, tanto pelas normas vigentes à época da construção quanto pelas diretrizes atuais da ABNT NBR 6118:2023, que estabelece cobrimento mínimo de 2,5 cm para estruturas de concreto aparente inseridas em ambientes classificados como CAA I e II.

Tabela 4 - Determinação do cobrimento dos pilares após abertura da janela de inspeção6 - Determinação do cobrimento dos pilares após abertura da janela de inspeção

Pilar	Cobrimento
P1	2,0 cm
P2	2,0 cm
P3	2,0 cm
P4	1,4 cm
P5	2,4 cm
P6	3,0 cm

Fonte: Os autores, 2026.

Cobrimentos reduzidos comprometem diretamente a durabilidade das armaduras, uma vez que diminuem a espessura da principal barreira física contra a carbonatação, a penetração de umidade e a ação de agentes agressivos. Em pilares externos, mesmo em ambiente urbano de agressividade moderada, a exposição contínua a chuvas, variações térmicas e umidade favorece o avanço acelerado da frente de carbonatação, que tende a atingir rapidamente profundidades de cobrimento insuficientes.

A realização das janelas de inspeção mostrou-se fundamental para a confirmação dos valores de cobrimento, uma vez que o pacômetro fornece apenas estimativas indiretas, sujeitas a interferências decorrentes da heterogeneidade do concreto e da profundidade efetiva das armaduras. Assim, a associação entre pacometria e inspeção direta aumentou a confiabilidade do diagnóstico, permitindo a identificação precisa de inconformidades construtivas e uma avaliação mais fiel das condições reais de proteção das armaduras.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico dos pilares da fachada oeste do Centro Cultural de Cambé, realizado por meio de ensaios não destrutivos e destrutivos, evidenciou manifestações patológicas associadas a cobrimentos insuficientes e à ação antrópica localizada de agentes de pH reduzido. Embora a edificação esteja inserida em ambiente urbano classificado como CAA II, observou-se degradação localizada, especialmente no pilar P4, agravada pela reduzida espessura de cobrimento.

Os resultados dos ensaios apresentaram coerência entre si, destacando desempenho inferior no pilar P3 e condições satisfatórias no pilar P6. Considerando que a ABNT NBR 15575-1:2021 estabelece vida útil de projeto mínima de 50 anos para sistemas estruturais em edificações habitacionais, e a idade atual da edificação, torna-se necessária a adoção de inspeções periódicas, plano de manutenção e reavaliação da vida útil residual, a fim de garantir a segurança, o desempenho e a durabilidade da estrutura.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Prefeitura Municipal de Cambé pelo apoio institucional e pela autorização para a realização das inspeções na edificação estudada. Agradecem, ainda, ao Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, pelo suporte técnico e acadêmico fornecido durante o desenvolvimento do trabalho. Registram também agradecimento ao Engenheiro Civil Fernando Nakao, do Departamento de Obras da Prefeitura Municipal de Cambé, pelo apoio técnico, pelas informações disponibilizadas e pela colaboração durante as atividades de campo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802: Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica.** Rio de Janeiro, 2019.

ASTM INTERNATIONAL**. ASTM C597***: Standard test method for pulse velocity through concrete.* West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.

ASTM INTERNATIONAL**. ASTM C805/C805M***: Standard test method for rebound number of hardened concrete.* West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

BENTO, A. J.; MONTEIRO, E. C. B. **Avaliação do estado de conservação de viadutos em concreto armado: estudo de caso da ferrovia Recife/Gravatá-PE.** *Scientific Journal ANAP*, v. 2, n. 11, 2024. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/4910.

CÁNOVAS, M. F**. Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1992.

ESCOBAR, C. J. *et al*. **Avaliação de desempenho do ensaio de esclerometria na determinação da resistência do concreto endurecido**. Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto, 2011.

FONSECA, F. B. *et al*. En**saios não destrutivos para avaliação da rigidez em elementos de concreto armado**. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 20009- 20018, fev. 2021.

LELE, H. R. F.; BEUSHAUSEN, H.; ALEXANDER, M. G. **A practical carbonation model for service life design of reinforced concrete structures.** *Scientific African*, v. 20, e01677, 2023. DOI: 10.1016/j.sciaf.2023.e01677.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 22.

MEIRA, G. R. **Corrosão das Armaduras em Estruturas de Concreto**. São Paulo: Elsevier, 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016

PACHECO, F. et al. **Proposed variations in nominal reinforcement cover based on the environmental aggressivity class (EAC) of concrete exposure**. Rev. IBRACON Estrut. Mater., v. 17, n. 6, e17609, 2024. DOI: 10.1590/S1983-41952024000600009.

SOEIRO, Joaquim Martins; TRANCOSO, Herika. **Inspeção e diagnóstico de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado:** estudo de caso. Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 61–74, jan./jun. 2018. ISSN 2318-6127.

SOUSA, Henrique Rêgo Bandeira. **Análise das manifestações patológicas em edificações históricas**: um estudo de caso em casarão do Centro Histórico de São Luís – MA. 2025. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

TEODORO, C. P.; CARRAZEDO, R. **Impact of carbonation on reinforced concrete structures, considering the increase of CO2 due to climate change in Brazil**. Rev. IBRACON Estrut. Mater., v. 18, n. 1, e18114, 2025. DOI: 10.1590/S1983-41952025000800014.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios:** causas, prevenção e recuperação. São Paulo: PINI, 2007.

WANG, X. *et al***. A review of concrete carbonation depth evaluation models.** *Coatings*, v. 14, n. 4, art. 386, 2024. DOI: 10.3390/coatings14040386.