

Ensaaios não destrutivos para avaliação da rigidez em elementos de concreto armado

Non-destructive tests for assessing stiffness in reinforced concrete elements

DOI:10.34117/bjdv7n2-576

Recebimento dos originais: 10/01/2021

Aceitação para publicação: 25/02/2021

Felipe Borges Fonseca

Discente do curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica pela
Universidade de Taubaté – UNITAU
Instituição: Universidade de Taubaté - UNITAU
Endereço: Rua Jacina, 106 – São Paulo - SP, Brasil
E-mail: felipevice713@gmail.com

Horácio Ferreira Dias Gonçalves

Discente do curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica pela
Universidade de Taubaté - UNITAU
Instituição: Universidade de Taubaté - UNITAU
Endereço: Rua das Graunas, 70, Cond. de Chácaras Bartira, Embú das Artes - SP,
Brasil
E-mail: hfdgoncalves@metrosp.com.br

Claudete Oliveira Kenvyn

Professora Me. da Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba
Instituição: Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba - FATEC
Endereço: Av. Antônio Pinheiro Júnior, 1805, Pindamonhangaba - SP, Brasil
E-mail: claudete.kenvyn@gmail.com

Cristian Cley Paterniani Rita

Professor Me. da Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba
Endereço: Antônio Teixeira de Souza, 240. Beira Rio II - Guaratinguetá - SP, Brasil
Instituição: Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba - FATEC
E-mail: cristian.paterniani@fatec.sp.gov.br

Wendell de Queiróz Lamas

Professor Dr. da Escola de Engenharia de Lorena – EEL-USP
Endereço: Estrada Municipal do Campinho, s/n. Ponte Nova – Lorena - SP, Brasil
Instituição: Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo – EEL-USP
E-mail: wendell.lamas@usp.br

José Rubens Camargo

Professor Dr. da Universidade de Taubaté - UNITAU
Instituição: Universidade de Taubaté - UNITAU
Endereço: Rua Daniel Danieli, S/N, Taubaté - SP, Brasil
E-mail: jrubenscamargo@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a apresentação dos métodos de ensaio não destrutivos, aplicados em edificações já existentes, para avaliação da vida útil restante em função da rigidez residual, que depende da integridade física e geométrica dos elementos estruturais de concreto armado. Com isso, avaliar a durabilidade e a vida útil em função da classe de agressividade ambiental, atendendo as normas ABNT NBR 15575 (2013) e ABNT NBR 6118 (2014). As principais técnicas utilizadas podem ser: Ensaio de esclerometria para determinação do índice esclerométrico (IE) na norma ABNT NBR 7584 (2012); Ensaio de Pacometria no código ACI 228 2R (2004). Ensaio de velocidade de propagação do pulso ultrassônico na norma ABNT NBR 8802 (2013). Portanto, a maior vantagem dentre todas as técnicas, sem dúvidas está relacionada a rapidez e custo para a realização de um ensaio em estruturas já existentes, e por ser consolidada com as curvas de correlação.

Palavras-chave: Pacometria, Ensaios Não Destrutivos, Esclerometria, Velocidade de Pulso Ultrassônico.

ABSTRACT

The present work aims to present the non-destructive test methods, applied in existing buildings, to evaluate the remaining useful life according to the residual stiffness, which depends on the physical and geometric integrity of the reinforced concrete structural elements. With this, evaluate the durability and useful life according to the class of environmental aggressiveness, complying with the standards ABNT NBR 15575 (2013) and ABNT NBR 6118 (2014). The main techniques used can be: Sclerometry test to determine the sclerometric index (IE) in the ABNT NBR 7584 (2012) standard; Pacometry test in code ACI 228 2R (2004). Ultrasonic pulse propagation speed test in ABNT NBR 8802 (2013). Therefore, the biggest advantage among all the techniques, without a doubt, is related to the speed and cost to perform a test on existing structures, and to be consolidated with the correlation curves.

Keywords: Pacometry, Non-Destructive Testing, Sclerometry, Ultrasonic Pulse Speed.

1 INTRODUÇÃO

A estrutura das edificações necessita de inspeções periódicas para assegurar sua integridade, e para garantir que a mesma possua os requisitos de desempenho concebidos em seu projeto. Entretanto, há muitos casos onde esta análise é negligenciada, principalmente nas regiões menos desenvolvidas, podendo causar prejuízos de diversas naturezas, desde a interrupção das atividades econômicas, até perda de vidas humanas ou patrimônio.

No mercado de telecomunicações é muito comum o aluguel de cobertura de edifícios altos, afim de efetuar a instalação de uma estação rádio base (E.R.B) nos quais são instaladas antenas que emitem sinais de radiação eletromagnética, afim de transmitir dados e ligações para os dispositivos móveis. Entretanto, todos os processos de melhorias na capacidade de dados, velocidade de conexão e etc., estão condicionados a

equipamentos que possuem elevado peso. Sendo assim, é necessário realizar uma vistoria para fins de mapeamento estrutural, e assim, projetar estruturas de transição que consigam transmitir com eficiência para os elementos mais rígidos das edificações, tais como pilares, paredes de caixa d'água, e até vigas, evitando ao máximo possível posicionar diretamente sobre a laje.

Com isso, evitando patologias de ordem estrutural, que, somados com os efeitos da degradação das estruturas de concreto armado frente os anos de existência, somados as intempéries que agem constantemente sobre a mesma, podem conduzir a diversos problemas para os moradores do condomínio, e até um colapso parcial ou total da edificação.

2 METODOLOGIA

2.1 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

Segundo a norma ABNT NBR 15575 (2013) durabilidade está diretamente relacionado a vida útil de projeto (VPU), que nada mais é que o requisito de desempenho ao longo do tempo sob condições de uso e manutenção especificadas. A norma ABNT NBR 6118 (2014) descreve os requisitos de durabilidade:

"ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem sua segurança, estabilidade e aptidão de serviço durante o período correspondente à vida útil"

Este conceito, está diretamente relacionado com a classe de agressividade ambiental, pois quanto maior for a mesma, maiores serão as medidas preventivas a serem adotadas, e periodicidade de manutenção. A norma ABNT NBR 6118 (2014) define a classe de agressividade ambiental de acordo com o Quadro 1:

Quadro 1 – Tabela de classes de agressividade ambiental.

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 ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^{1),}	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 2)}	Elevado
		Respingo de maré ^{1), 3)}	
¹⁾ Pode-se admitir um micro clima com classe de agressividade um nível mais brando para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviços de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).			
²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade um nível mais branda em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes das estruturas protegidas de chuvas em ambientes predominantemente secos ou regiões onde chove raramente.			
³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazém de fertilizantes, indústrias químicas.			

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

Foi realizado um estudo referente ao processo de degradação das estruturas, e a mesma foi dividida em estágios conforme a Figura 1:

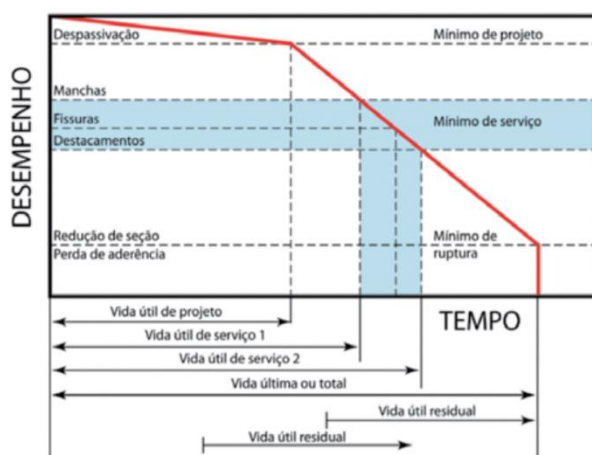


Figura 1 – Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão das armaduras.
Fonte: Medeiros (2011).

Segundo (Medeiros, 2011), a definição dos termos segue:

Vida útil de projeto: Período de tempo até atingir a despassivação das armaduras, devido a frente de carbonatação ou cloretos atinja a armadura.

Vida útil de serviço: Período de tempo até aparecer manchas na superfície do concreto, fissuras e/ou destacamento na região do cobrimento.

Vida útil residual: Corresponde ao período de tempo que a estrutura ainda é capaz de desempenhar suas funções, contatos a partir da data em que é relatado desde o diagnóstico até o prognóstico.

Vida útil última ou total: Período no qual ocorre a redução da seção resistente e/ou perda de aderência das armaduras, podendo acarretar o colapso parcial ou total da estrutura.

2.2 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Esse sistema é muito difundido na área de perícia estrutural, também conhecido como “método do esclerômetro de Schmidt”, que consiste no tempo de resposta de repercussão de uma massa, conforme apresentado na Figura 2. Ele mede a dureza superficial do concreto e correlaciona com a resistência a compressão desse concreto, com o objetivo de encontrar o índice esclerométrico (IE), onde o mesmo é normalizado pela norma ABNT NBR 7584 (2012). O valor calculado pode ser obtido pela Equação 1.

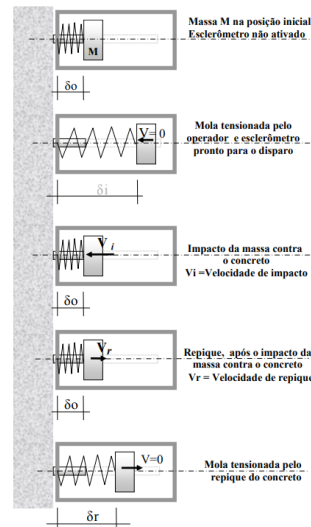


Figura 2 - Modelo simplificado do funcionamento mecânico do esclerômetro.
Fonte: Thomaz (2013).

$$\text{Sendo: IE} = \left(\frac{\delta r - \delta 0}{\delta i - \delta 0} \right) = \frac{\Delta r}{\Delta i}; \quad \text{Eq. 1}$$

Δi = deslocamento antes do impacto;

Δr = deslocamento após o repique;

$\delta 0$ = alongamento inicial de referência do embolo do esclerômetro.

A norma NBR 7584 (2012) determina que as medições estejam compreendidas entre 9 a 16 áreas de impactos por elemento ensaiado conforme Figura 3:

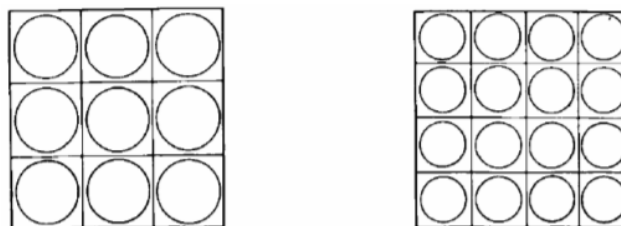


Figura 3 – Princípio do Rebound Schmidt Hammer.
Fonte: Escobar (2011).

Após realizar os impactos (9 ou 16), calcula-se a média aritmética e desprezam-se os valores que divergirem em mais de 10 % do valor médio alcançado e recalcula-se a nova média. Ainda segundo a norma NBR 7584 (2012) o índice esclerométrico final só poderá ser obtido com no mínimo cinco valores individuais, abandonando-se a área de impacto caso isso não for obtido.

2.3 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Na inexistência dos projetos executivos, é possível determinar a armadura, distância entre as mesmas e cobrimento de concreto. O ensaio de pacometria por sua vez não possui nenhum órgão nacional normativo, entretanto, existe o código ACI 228 2R (2004), conforme mostra a Figura 4.



Figura 4 – Medição do concreto com uso do Pacômetro (Imagem meramente ilustrativa).
Fonte: PROCEQ (2012).

O operador vai passando ao longo da peça de concreto armado, e fazendo anotações auxiliares na própria peça para marcar a distância, bitola de cada armadura e espessura de cobrimento para o concreto. Os aparelhos mais avançados utilizam o sistema de escaneamento por radar, trata-se de um método geofísico que utiliza a propagação de ondas eletromagnéticas de alta frequência (MOREIRA, 2020). A Figura 5 demonstra o princípio de funcionamento interno do pacômetro.

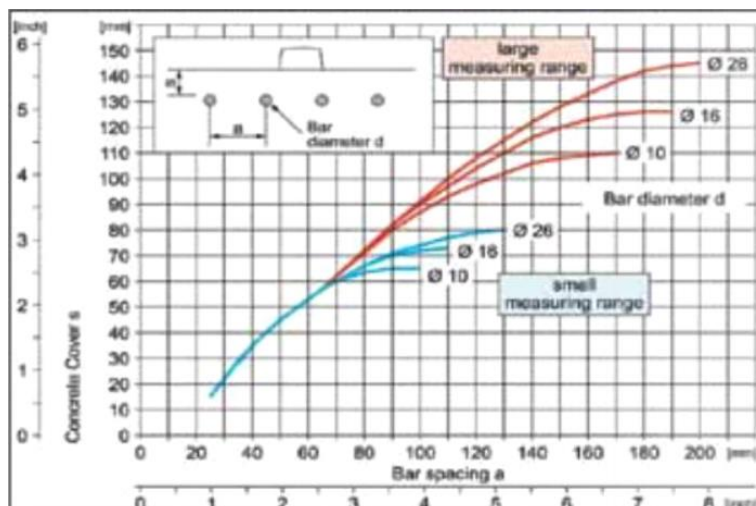


Figura 5 – Espaçamento das barras versus camada de concreto.
Fonte: PROCEQ (2012).

O diagrama mostra o espaçamento mínimo entre as barras (abscissa) para que possam ser individualmente detectadas em função da camada de concreto (ordenada).

2.4 ENSAIO DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO PULSO ULTRASSÔNICO

O ensaio ultrassônico é realizado de acordo com as prescrições contidas na norma ABNT NBR 8802 (2013) - concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. O ensaio constitui de inúmeras leituras de determinação da velocidade de propagação de pulsos ultrassônicos gerados, conforme mostra a Figura 6.

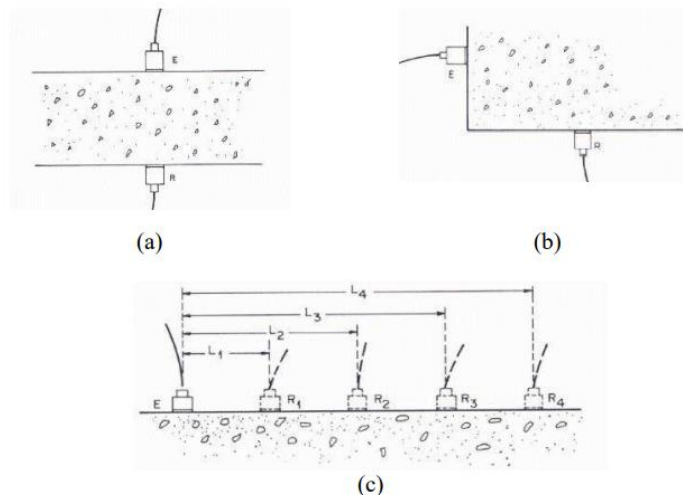


Figura 6 – Posições relativas entre os dois transdutores: (a) transmissão direta; (b) transmissão semidireta; (c) transmissão indireta.

Fonte: ABNT NBR 8802 (2013).

O método possui relação direta com as propriedades qualitativas do concreto, por exemplo, na verificação da homogeneidade do concreto, profundidade de uma fissura. A medição é feita colocando-se dois transdutores que produzem ondas de 10 kHz e 150 kHz, em contato com o concreto, sendo o mais indicado a primeira situação (a). Segundo Neville (2015), a velocidade da onda em um meio elástico, em sua forma analítica pode ser descrita pela Equação 2.

$$v^2 = \frac{E(1-\mu)}{\rho(1-\mu)(1-2\mu)} \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo:

E= Módulo de elasticidade dinâmico (kN/cm²);

ρ = Densidade do meio (kN/cm³) – 25 kN/cm³ - Concreto armado;

μ = Coeficiente de Poisson (Adimensional) – 0,20.

A velocidade também pode ser reescrita em função do tempo, conforme a Equação

3.

$$t = \frac{l}{v} \quad \text{Eq. 3}$$

v = velocidade na qual a onda demora para atravessar o elemento de concreto (m/s);

l = comprimento da peça;

t = tempo no qual a onda demora para atravessar a peça.

Portanto, após o ensaio, é possível mensurar o tempo que a onda demora para atravessar a peça de concreto, conseqüentemente, após a aferição obtém-se o módulo de elasticidade dinâmico por meio da Equação 4:

$$E = \rho v^2 \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \quad \text{Eq. 4}$$

Por fim, pode ser calculado a resistência a compressão (f^c) em Mpa, conforme a Equação 5.

$$f^c = \left(\frac{E}{5600}\right)^2 \quad \text{Eq. 5}$$

Após os ensaios e cálculos, em função da velocidade de propagação linear em m/s, é possível classificar a qualidade do concreto, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Correlação entre a velocidade propagada e qualidade do concreto.

Velocidade de propagação linear (m/s)	Qualidade do concreto
V > 4500	Excelente
3500 < V < 4500	Ótimo
3000 < V < 3500	Bom
2000 < V < 3000	Regular
V < 2000	Ruim

Fonte: Adaptado - Whitehurst (1951).

3 CONCLUSÃO

A maior vantagem dentre todas as técnicas, sem dúvidas está relacionada a rapidez e custo para a realização de um ensaio em estruturas já existentes, e também por ser consolidada com as curvas de correlação.

Entretanto, há algumas limitações de seu uso que refletem em um maior desvio nos resultados comparados com o tradicional ensaio de corpo de prova cilíndrico de compressão. Portanto, o ideal é combinar com outras técnicas semi-destrutivas e destrutivas, afim de obter a convergência entre ambas.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6118:2014. Projeto de estruturas de concreto armado – Procedimentos. 2014.

ABNT NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho. 2013.

ABNT NBR 7584:2012 - Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão, 2012.

ABNT NBR 8802:2013 – Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica, 2013.

ACI 228 2R Nondestructive Test Methods for Evaluation, 2004.

ESCOBAR, C. J.; CRUZ, D. A.; FABRO, G. – Avaliação de desempenho do ensaio de Esclerometria na determinação da resistência do concreto endurecido, 2011.

MEDEIROS, M. H. F – Durabilidade e Vida Útil das Estruturas, 2011.

MOREIRA K.A.W, Revista ACWeb -
<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/detectores-de-materiais-agregam-precisao-e-productividade-as-obras/17436>, 2020.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 5ª Edição – Bookman Editora, 2015.

PROCEQ S. A. Instruções operacionais do equipamento Profometer 5+ Modelo Scanlog – Sistema de detecção de barras de reforço, 2012.

THOMAZ, E. C. S. – Notas de aula, Instituto Militar de Engenharia, 2013.

WHITEHURST, E. A. -The Soniscope - A Device for Field Testing of Concrete, 1951.