

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO

Maria Amanda Chaves de Almeida

maca1@discente.ifppe.edu.br

Antônio Augusto Costa de Azevedo

antonioazevedo@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

O concreto é o material mais empregado na construção civil, tendo a resistência à compressão como sua principal propriedade para a avaliação de caráter mecânico do desempenho e da segurança estrutural. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar um estado da arte dos ensaios destrutivos e não destrutivos aplicados ao concreto, seguido de uma componente experimental para validação da pesquisa, visando analisar e comparar os resultados obtidos por meio desses ensaios na avaliação mecânica do concreto em elementos estruturais de um edifício localizado no município de Olinda–PE. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica e científica sobre o tema, fundamentada em normas técnicas e estudos consolidados. Em seguida, desenvolveu-se a etapa experimental, na qual foram analisados os resultados dos ensaios de resistência à compressão realizados aos 28 dias em corpos de prova moldados em obra, sendo identificadas três peças estruturais que apresentaram valores inferiores à resistência especificada em projeto, de 30 MPa, com resultados variando entre 16,6 e 26,7 MPa. A partir dessa constatação, foram realizados ensaios de esclerometria nas peças selecionadas, seguidos da extração de testemunhos de concreto. Os testemunhos extraídos foram encaminhados ao laboratório para preparo, regularização das faces e posterior ensaio de compressão axial. Os resultados obtidos evidenciaram diferenças entre os métodos, sendo os valores estimados pela esclerometria inferiores aos obtidos nos ensaios de compressão dos testemunhos. Ressalta-se que a esclerometria apresenta limitações relacionadas a fatores superficiais do concreto, enquanto a extração de testemunhos permite a avaliação direta da resistência do material. Contudo, destaca-se que a amostragem restrita a apenas três elementos estruturais não permite conclusões definitivas, sendo necessária a ampliação da amostragem para maior confiabilidade dos resultados.

Palavras-chave: Concreto estrutural; Esclerometria; Extração de testemunhos.

ABSTRACT

Concrete is the most widely used material in civil construction, with compressive strength being its main property for evaluating the mechanical character of its performance and structural safety. In this context, this article aimed to conduct a state-of-the-art review of destructive and non-destructive tests applied to concrete, followed by an experimental component to validate the research, aiming to analyze and compare the results obtained through these tests in the mechanical evaluation of concrete in structural elements of a building located in the municipality of Olinda–PE. Initially, a bibliographic and scientific review on the subject was carried out, based on technical standards and consolidated studies. Subsequently, the experimental stage was developed, in which the results of compressive strength tests performed at 28 days on specimens molded on site were evaluated, identifying three structural elements with values lower than the resistance specified in the project. Based on this finding, sclerometry tests were performed on the selected elements, followed by the extraction of concrete cores. The extracted cores were sent to the laboratory for preparation, face regularization, and subsequent axial compression testing. The results obtained showed differences between the methods, with the values estimated by sclerometry being lower than those obtained in the compression tests of the cores. It should be noted that sclerometry has limitations related to surface factors of the concrete, while core extraction allows for a direct evaluation of the material's resistance. However, it is important to highlight that the sampling restricted to only three structural elements does not allow for definitive conclusions, and it is necessary to expand the sampling for greater reliability of the results.

Keywords: Structural concrete; Sclerometry; Core extraction.

1 INTRODUÇÃO

O concreto empregado em obras de pequeno, médio e grande porte, é formado basicamente por um aglomerante (cimento), água, agregado miúdo (areia) e um agregado graúdo (pedra britada), sendo possível adicionar a essa mistura determinados aditivos que lhes acrescentam características com o objetivo de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (Bastos, 2019).

O controle tecnológico visa o estudo do concreto para que, ao utilizá-lo em estruturas, possam ser asseguradas as propriedades prescritas em projeto. A forma como o concreto foi misturado, sua dosagem, tipo de agregado, o armazenamento dos componentes da mistura, a adição de água, transporte, lançamento e adensamento são algumas das características que influem diretamente nas propriedades do concreto em seu estado endurecido, seja ele produzido na obra ou em centrais de dosagem e devem ser criteriosamente analisadas (Vilela; Coimbra; Borba, 2018).

Em decorrência destes fatores, a resistência à compressão é a principal propriedade a ser analisada na avaliação das estruturas (Yang; Xu; Bian, 2020). Segundo Helene e Pacheco (2013), esta propriedade do concreto é adotada por ocasião do dimensionamento das estruturas, estando diretamente ligada à sua segurança e à estabilidade, sendo o principal parâmetro característico do concreto.

A avaliação das estruturas existentes, principalmente ao que se refere a resistência à compressão é uma questão importante enfrentada pelos engenheiros que trabalham na construção civil (Poorarbabi; Ghasemi; Moghaddam, 2020)

Segundo Lima, Santos, Freitas e Bueno (2024), a confirmação que o concreto utilizado na execução da estrutura atingiu a resistência estipulada em projeto, é feita a partir do ensaio de compressão axial geralmente aos 28 dias, em corpos de prova cilíndricos de acordo com a ABNT NBR 5739.

Porém quando acontece alguma falha neste processo podem ocorrer diversos problemas na estrutura, o mais danoso é o não alcance da resistência estipulada em projeto, podendo levar a estrutura a ruína. Para isso, desenvolveram-se diversos métodos de ensaios para verificar a resistência do concreto “in situ” (Escobar, Cruz, Fabro, 2008).

Entre os métodos de ensaios utilizados para determinação da resistência do concreto “in loco” estão os ensaios destrutivos e os ensaios não destrutivos (Cristofaro; Viti; Tanganelli, 2020).

O Ensaio Destrutivo (ED) que envolve a extração e rompimento de amostras da própria estrutura é o método mais tradicional utilizado para avaliação da resistência do concreto (Samaniego et al., 2013). Este ensaio é regido pela norma ABNT NBR 7680-1 – “Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estrutura de concreto - Parte 1: Resistência à compressão axial”. O equipamento utilizado para a extração de testemunhos deve permitir a obtenção de amostras homogêneas e íntegras do concreto da estrutura já curado, com o objetivo de realizar o ensaio de resistência à compressão.

A realização de Ensaio Não Destrutivo (END) em estruturas existentes consiste em processos rápidos, simples e econômicos que possibilitam a obtenção de informações das propriedades do concreto e uma estimativa da sua resistência à compressão (Asteris; Mokos, 2020). Com a possibilidade de dano numa peça

estrutural, é possível adotar ensaios não destrutivos, como a utilização do esclerômetro. Este ensaio pode ser realizado in loco e tem como principal característica a não danificação da peça a ser avaliada (Escobar; Andreotti; Fabro, 2011).

Este ensaio é regido pela norma ABNT NBR 7584 – “Concreto Endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de Ensaio”. Neste ensaio, um aparelho chamado esclerômetro é colocado na superfície do concreto, e um martelo de impacto é acionado para atingir essa superfície. O esclerômetro mede a velocidade com que o martelo rebate na superfície e fornece uma estimativa da resistência superficial do concreto.

Apesar das vantagens na utilização, o mesmo tem limitações associadas a fatores que podem influenciar os resultados como a carbonatação, tipo de agregado, tipo de acabamento da superfície, proporção do concreto, inclinação do esclerômetro, idade e tipo de cimento (Evangelista, 2002; Palacios, 2012; Samaniego, 2014).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar um estado da arte dos ensaios destrutivos e não destrutivos aplicados ao concreto, e posteriormente desenvolver a etapa experimental, na qual foram aplicados os ensaios de esclerometria, caracterizados como ensaios não destrutivos, e o ensaios destrutivo a partir da extração de testemunhos de concreto, possibilitando a análise comparativa dos resultados obtidos em elementos estruturais de uma obra localizada no município de Olinda-PE.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Concreto na construção civil

O cimento é produto de uma atividade industrial integrada, obtido a partir da lavra e do beneficiamento de calcário e argila: sua industrialização ocorre mediante moagem, homogeneização e produção da farinha (mistura crua) e posterior processamento físico-químico em clínquer (cimento não pulverizado) e respectiva moagem (SINIC, 2023).

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil em virtude de sua versatilidade, durabilidade e elevada resistência sob compressão. Ele é amplamente aplicado em elementos estruturais como pilares, vigas e lajes, devido à

sua capacidade de suportar cargas intensas sem deformações significativas (Criado; Pagoto; Pereira, 2024).

Segundo Criado, Pagoto e Pereira (2024), o concreto pode ser classificado em diferentes tipos — como concreto normal, autoadensável e de alto desempenho — de acordo com sua composição e finalidade. Essa diversidade decorre da necessidade de atender a requisitos específicos de resistência, trabalhabilidade e durabilidade em diferentes contextos de obra.

De acordo com Chahar et al. (2022), no concreto armado o concreto é responsável pela resistência à compressão enquanto o aço reforçado fornece a resistência à tração, resultando em um material estrutural eficiente para suportar esforços complexos.

O parâmetro preponderante necessário para o controle de qualidade do concreto, resultado dessa composição, é a sua resistência característica a compressão, FCK (Bastos, 2019).

A resistência mecânica é considerada como o principal parâmetro, ou, o mais objetivo, isoladamente, para se avaliar a qualidade do concreto na estrutura. Em particular, a resistência à compressão simples, avaliada por rupturas de corpos de prova moldados do concreto ao sair da betoneira, os quais, obviamente representam uma resistência potencial a qual o concreto pode atingir na estrutura (Vieira, 2007).

Segundo a ABNT NBR 5739, a resistência à compressão do concreto é usualmente determinada por meio de ensaios realizados em corpos de prova cilíndricos moldados durante a execução da obra, conforme procedimentos normativos específicos. De acordo com a ABNT NBR 6118, o valor obtido aos 28 dias de idade é adotado como referência para avaliação da conformidade do concreto em relação à resistência característica especificada em projeto.

Embora os ensaios em corpos de prova moldados sejam amplamente utilizados para o controle tecnológico do concreto, os resultados obtidos nem sempre representam fielmente as condições reais do material aplicado na estrutura, uma vez que fatores como lançamento, adensamento, cura e condições ambientais podem influenciar o desempenho final do concreto in loco. Além disso, em edificações existentes ou quando não se dispõe de informações confiáveis sobre o histórico executivo e as características do concreto utilizado, torna-se necessária a avaliação

direta do concreto endurecido nos elementos estruturais, especialmente diante de indícios de não conformidade ou da necessidade de verificação da capacidade resistente da estrutura.

A avaliação da resistência e do desempenho do concreto estrutural pode ser realizada por meio de ensaios destrutivos e não destrutivos, os quais apresentam características distintas quanto ao grau de intervenção na estrutura, confiabilidade dos resultados e aplicabilidade em diferentes situações (Helene; Terzian, 2021).

Bottega (2010) salienta, também, a necessidade de realização de no mínimo dois ensaios, sendo um não destrutivo e outro destrutivo, ou até mesmo, dois ensaios não destrutivos, para que assim abra a possibilidade de conferir os resultados obtidos.

Vale salientar, que segundo Malhorta (1984) e Vieira (2007), os ensaios não destrutivos não devem ser encarados como substitutos dos ensaios de resistência a compressão, mas somente como uma técnica adicional.

2.2 Ensaio não destrutivo (END)

Os ensaios não destrutivos caracterizam-se por permitir a avaliação do concreto sem causar danos significativos à estrutura, possibilitando a continuidade do uso do elemento avaliado após a realização do ensaio. Entre esses métodos, destacam-se a esclerometria, o ultrassom e a pacometria, amplamente utilizados em inspeções, diagnósticos preliminares e avaliações de estruturas existentes (Neville, 2021). Segundo Mehta e Monteiro (2020), esses ensaios apresentam como principal vantagem a rapidez na execução, o baixo custo relativo e a possibilidade de realização de um grande número de medições em diferentes pontos da estrutura. Segundo Machado (2005), os ensaios não destrutivos possuem uma grande versatilidade vendo que eles podem ser aplicados tanto em estruturas antigas como também em estruturas recentes.

Em estruturas que já estão em serviço, quando é necessário conhecer o valor de resistência à compressão, devido à ausência de projeto estrutural, problemas patológicos ou abandono da construção, fica inviável realizar o ensaio destrutivo, uma vez que retirar parte da estrutura é inviável. Nesse caso os ensaios mais indicados são os ensaios não destrutivos.

O ensaio de ultrassom (UPV) é um método não destrutivo utilizado na avaliação da qualidade, homogeneidade e integridade do concreto, baseado na velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no material (ABNT, 2019). Essa velocidade está relacionada à densidade, ao módulo de elasticidade e à presença de descontinuidades internas, permitindo a identificação de regiões com menor qualidade do concreto (Vanalli; Forigo; Lopes, 2021). Embora não forneça diretamente a resistência à compressão, o método pode ser empregado em estimativas indiretas quando associado a correlações experimentais ou a ensaios destrutivos, sendo útil em estruturas existentes; entretanto, seus resultados são influenciados por fatores como umidade, tipo de agregado, presença de armaduras e condições de ensaio, devendo ser utilizado de forma complementar a outros métodos de avaliação (Silva, 2022; Leonel et al., 2024).

A pacometria é um ensaio não destrutivo empregado para localizar armaduras e estimar o cobrimento em estruturas de concreto armado, sendo amplamente utilizada em inspeções e avaliações estruturais (Andrade, 2017; Pedroza, 2018). O método baseia-se na detecção de campos eletromagnéticos gerados por elementos metálicos, permitindo a identificação das barras sem danos à estrutura. Segundo Helene e Terzian (2021), a técnica é especialmente útil como etapa prévia à execução de ensaios destrutivos, como a extração de testemunhos, contribuindo para a preservação das armaduras. Contudo, seus resultados podem ser influenciados pela disposição e diâmetro das barras e pela profundidade do cobrimento, devendo ser utilizada de forma complementar a outros métodos de avaliação (Santos, 2020).

Evangelista (2002) e Almeida (2020) afirmam que a escolha do ensaio de esclerometria como método não destrutivo para a avaliação da resistência do concreto fundamenta-se em sua ampla aplicabilidade prática, facilidade de execução e rapidez na obtenção dos resultados, características que o tornam um dos métodos mais utilizados em inspeções e diagnósticos de estruturas existentes. Diversos autores destacam que a esclerometria apresenta boa correlação com a resistência à compressão do concreto quando aplicada de forma adequada e associada a critérios normativos, sendo especialmente indicada para avaliações preliminares do desempenho mecânico do material.

Em comparação com o ensaio de ultrassom, autores como Helene e Terzian (2021) ressaltam que a esclerometria apresenta menor complexidade operacional e

menor sensibilidade a fatores como o grau de umidade interna do concreto e as condições de acoplamento dos transdutores, aspectos que podem influenciar significativamente os resultados obtidos por métodos ultrassônicos.

Em relação à pacometria, estudos indicam que, embora esse método seja essencial para a localização de armaduras e verificação do cobrimento do concreto, sua aplicação não tem como finalidade principal a estimativa da resistência à compressão, limitando-se à avaliação geométrica e à identificação do posicionamento do aço (Pedroza, 2018).

Almeida (2020) e Helene e Terzian (2021) apontam que a esclerometria se apresenta como uma alternativa adequada quando se busca uma estimativa rápida e não invasiva da resistência superficial do concreto, sendo amplamente empregada como método inicial de investigação, especialmente quando associada a ensaios destrutivos, como a extração de testemunhos, para validação dos resultados obtidos.

2.2.1 Esclerometria

Uma das técnicas mais amplamente utilizadas para a avaliação da resistência à compressão indireta ou dureza superficial de estruturas consiste na utilização de esclerômetros de reflexão (Lázaro; Cunha; Oliveira, 2019).

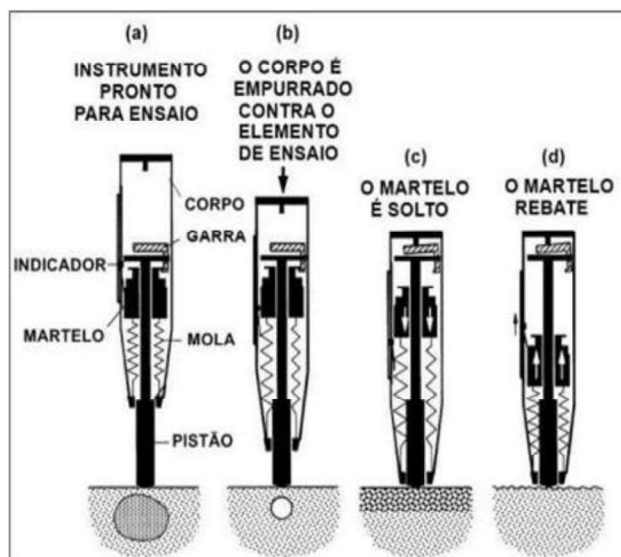
O esclerômetro, ou martelo de Schmidt, foi desenvolvido em 1948 pelo engenheiro suíço Ernest Schmidt. No Brasil, o ensaio é normatizado pela ABNT NBR 7584. O método envolve a aplicação de impactos na superfície a ser avaliada, com o próprio equipamento medindo a recuperação de energia do impacto. Com base nesses dados e considerando os coeficientes de correlação e tabelas específicas do equipamento, é possível determinar a resistência à compressão (f_{ck}) através do índice esclerométrico (IE).

Para a realização do ensaio com o esclerômetro, a superfície da amostra deve estar seca, limpa e, preferencialmente, plana. É importante evitar superfícies úmidas ou carbonatadas. A área do ensaio deve ser polida utilizando um prisma ou disco de carborundum em movimentos circulares, e remover todo o pó e poeira superficial.

Como mostra a Figura 1, na primeira demonstração do esclerômetro (a), o instrumento está pronto para o ensaio, com sua haste (pistão) totalmente esticada. Na demonstração dois (b), o corpo é empurrado contra o elemento de concreto, e essa

ação faz com que a mola seja tracionada e o conjunto martelo e trava (garra) seja levada até a base superior. Na terceira demonstração (c), o conjunto garra e martelo chegam ao ponto limite, ocorre o destravamento e o martelo é solto, simultaneamente toda energia colocada inicialmente na mola é cedida, contra o elemento de concreto, fazendo com o que haja um impacto de massa específica. Na última demonstração (d), logo depois do impacto o martelo rebate, acontecerá à reflexão do martelo (retração) segundo a dureza superficial do elemento de concreto fazendo com o que o indicador seja ativo, e o mesmo dará a força do impacto que varia de 10 a 100 em escala linear (Almeida, 2020).

Figura 1 – Funcionamento do esclerômetro



Fonte: Galvão (2019)

A distância do ricochete (índice esclerométrico) é gravada pelo indicador. O índice esclerométrico, antes do impacto com o pistão, e da parte de energia incorporada pelo concreto no impacto conecta-se a energia cinética existente no martelo. Essa energia vem da relação tensão-deformação do concreto ensaiado, a mesma tem relação direta com a rigidez do concreto. Nesse intuito, quanto menor a resistência do concreto, menor o ricochete (Galvão, 2019).

A superfície do objeto de estudo é marcada com uma malha quadricular de, no máximo, 200x200 mm, na qual são feitos até 16 impactos. É importante observar que não é permitido realizar mais de um impacto sobre o mesmo ponto; se isso ocorrer, o

segundo valor lido não será considerado no cálculo dos resultados. Os pontos de impacto devem estar a uma distância mínima de 30 mm entre si. Os valores obtidos de cada impacto são registrados, e a média desses valores é utilizada para calcular o índice esclerométrico médio.

2.3 Ensaio destrutivo (ED)

Os ensaios destrutivos no concreto são métodos de avaliação que envolvem a retirada de amostras do material ou a aplicação de carregamentos até a ruptura, possibilitando a determinação direta de suas propriedades mecânicas. Esses ensaios são amplamente utilizados quando se busca maior confiabilidade na verificação da resistência do concreto estrutural, especialmente em situações de não conformidade identificadas no controle tecnológico inicial (Mehta; Monteiro, 2020).

Bottega (2010) afirma que o método destrutivo de ensaio a compressão de testemunhos é o mais preciso, uma vez que a resistência é obtida diretamente na peça, sem a necessidade de comparação com demais fatores, como a propriedades físicas dos agregados.

Entretanto, para a realização deste método existe a desvantagem de se atentar a possíveis restrições, tais como: barras de aço próximo a superfície de extração, retiradas de peças de sustentação, geração de volume de entulho, dentre outros; acarretando custos adicionais a obra, além de retrabalho para consertar uma peça caso a mesma seja danificada (Santana; Miranda, 2016).

De acordo com a ABNT NBR 7680-1, quando a resistência característica à compressão do concreto não é atingida a partir do resultado negativo dos corpos de prova moldados, é aplicável o planejamento da extração de testemunhos (ensaio destrutivo) de estruturas já executadas, permitindo uma avaliação direta do concreto in loco, fornecendo dados mais representativos do material efetivamente incorporado à estrutura. Helene e Terzian (2021) destacam que, apesar de seu caráter invasivo, esse método é considerado um dos mais confiáveis para diagnóstico estrutural, desde que executado de forma criteriosa e com posterior reparo das regiões afetadas.

Além desses métodos, também são utilizados ensaios destrutivos voltados à avaliação de outras propriedades do concreto, como o ensaio de tração por compressão diametral e o ensaio de flexão. Segundo Neville (2021), esses ensaios

permitem estimar a resistência à tração e o comportamento do concreto sob esforços flexurais, contribuindo para uma análise mais completa do desempenho do material. Entretanto, Mehta e Monteiro (2020) ressaltam que esses métodos possuem aplicação mais específica e são menos empregados em estruturas convencionais de concreto armado.

2.3.1 Extração de testemunho

A extração de testemunhos de concreto é um método destrutivo utilizado para a avaliação direta da resistência e das condições do concreto executado na estrutura. Esse procedimento é especialmente indicado quando há necessidade de verificação da resistência real do concreto in loco, principalmente em situações nas quais os resultados dos ensaios de controle tecnológico apresentam valores inferiores aos especificados em projeto.

O local para a extração de testemunhos em uma estrutura deve ser determinado por consenso entre o tecnologista de concreto, o construtor e o projetista da estrutura, de forma a reduzir os riscos de extração em locais inadequados (ABNT, 2015).

A ABNT NBR 7680-1 também orienta que a extração seja realizada com equipamento adequado, utilizando perfuração rotativa com coroa diamantada e refrigeração contínua, de modo a minimizar danos ao concreto adjacente e evitar o aquecimento excessivo da amostra.

De acordo com a ABNT NBR 7680-1, os testemunhos devem possuir formato cilíndrico, com diâmetro nominal preferencialmente igual ou superior a 75 mm, com relação entre a altura e o diâmetro do testemunho deve ser preferencialmente, entre 1,0 e 2,0, sendo admitidos ajustes por meio de fatores de correção quando essa relação não for atendida.

Conforme a ABNT NBR 7680-1, deve também ser atendida as seguintes condições: (a) os testemunhos devem ser extraídos a uma distância maior ou igual ao seu diâmetro com relação às bordas do elemento estrutural ou a juntas de concretagem; (b) a distância mínima entre as bordas das perfurações não pode ser inferior a um diâmetro do testemunho; (c) não podem ser cortadas armaduras. Para

evitar este risco, deve ser usado um detector de metais (pacômetro), ou procedimento equivalente, ou prospecção por retirada do cobrimento.

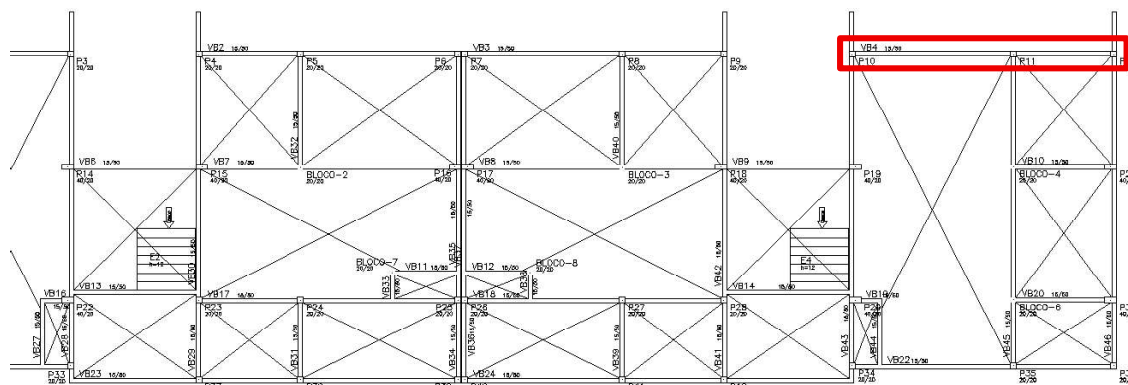
Após a extração, os vazios deixados nos elementos estruturais devem ser devidamente reparados com materiais compatíveis, garantindo a recomposição da seção e a durabilidade da estrutura.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho foi desenvolvida em duas etapas principais. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica e científica, fundamentada em normas técnicas vigentes e em estudos consolidados, com o objetivo de compreender os princípios, critérios de aplicação, vantagens e limitações dos ensaios destrutivos e não destrutivos utilizados na avaliação da resistência mecânica do concreto. Posteriormente, desenvolveu-se a etapa experimental em uma obra localizada no município de Olinda–PE, na qual foram analisados os resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias em corpos de prova moldados em obra, sendo identificados elementos estruturais com valores inferiores à resistência especificada em projeto.

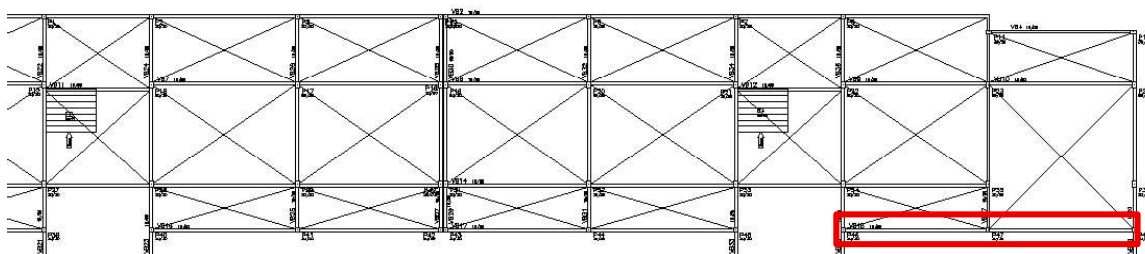
A partir dessa análise, foram identificadas três peças estruturais: uma sapata isolada (S11), localizada no Bloco 1, cuja resistência atingiu 24,4 MPa, e duas vigas baldrame — VB18, localizada no Bloco 1, e VB4, localizada no Bloco 2 — com resistências de 16,6 MPa e 26,7 MPa, respectivamente, as quais apresentaram valores de resistência inferiores à resistência característica especificada em projeto, de 30 MPa. Essas peças foram selecionadas para a realização de ensaios complementares de esclerometria, seguidos da extração de testemunhos de concreto, com o objetivo de verificar a real condição do concreto executado na estrutura, sendo que a localização dessas peças estruturais está apresentada nas figuras 2, 3 e 4. O concreto utilizado na obra foi produzido e submetido ao controle tecnológico no próprio canteiro de obras.

Figura 2 – Localização da VB4 no bloco 2



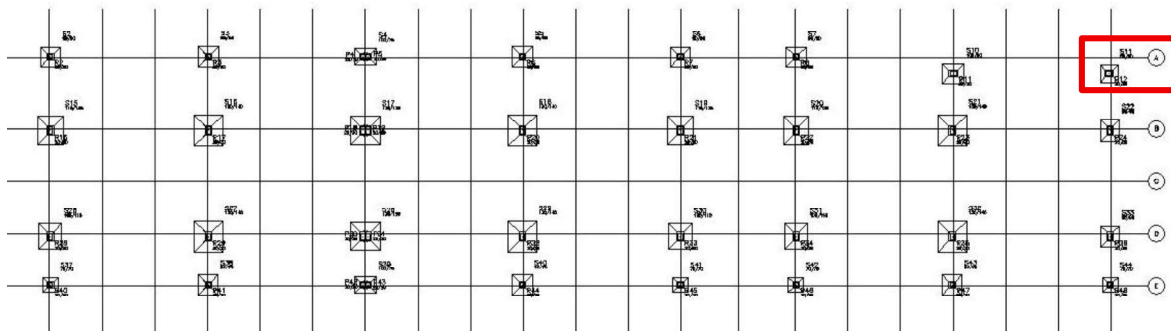
Fonte: Adaptado do projeto estrutural da obra, com marcação do autor (2025).

Figura 3 – Localização da VB18 no bloco 1



Fonte: Adaptado do projeto estrutural da obra, com marcação do autor (2025).

Figura 4 – Localização da S11 no bloco 1



Fonte: Adaptado do projeto estrutural da obra, com marcação do autor (2025).

Foi iniciado com o procedimento do ensaio de esclerometria, seguindo as prescrições da norma ABNT NBR 7584 - Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio. Foi utilizado o esclerômetro da marca Metrotokyo (MKT-1015) devidamente aferido (figura 5).

Figura 5 – Esclerômetro utilizado no ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As áreas foram determinadas e preparadas com superfície polida, limpa e seca, sem apresentar deformidades. Foram marcados 16 locais de impacto, em cada área, cada um com um mínimo de 3 cm de distância do outro. As figuras 6 e 7 mostram a marcação do gabarito.

Figuras 6 e 7 – Marcação do gabarito



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com os dados coletados, foi feita a média aritmética com os valores obtidos em cada estrutura analisada, depois foi calculado os limites inferiores e superiores a 10%

do valor da média. Desprezados os valores que estavam fora dos limites, foi feita uma nova média aritmética e seu resultado foi considerado o índice esclerométrico final. Com esse índice foi possível correlacionar a provável resistência em “MPa” das regiões ensaiadas através do ábaco fornecido no esclerômetro.

Após a conclusão dos ensaios de esclerometria, procedeu-se à extração de testemunhos de concreto nas mesmas peças estruturais avaliadas anteriormente, sendo feita 6 extrações no total, sendo duas amostras para cada elemento, seguindo as recomendações da ABNT NBR 7680-1 - Concreto — Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial.

A definição dos pontos de extração dos testemunhos foi realizada a partir de uma análise prévia da estrutura, com o objetivo de identificar regiões com menor concentração de armaduras, minimizando o risco de interceptação de barras de aço durante a perfuração, utilizando um equipamento de detecção de armaduras (pacômetro) (figura 8).

Figura 8 – Verificação da armação com o auxílio do pacômetro



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Além disso, foram respeitadas as distâncias mínimas estabelecidas em norma técnica em relação às bordas dos elementos estruturais, entre os próprios pontos de extração e em relação a descontinuidades da estrutura, garantindo a

representatividade das amostras e a integridade dos elementos avaliados. Para a extração, foi utilizada uma perfuratriz com cálice acoplado com uma broca de 75 mm de diâmetro (figuras 9 e 10).

Figuras 9 e 10 – Equipamento acoplado realizando a extração de testemunho de concreto



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Após a extração, os testemunhos de concreto são devidamente identificados, acondicionados e transportados ao laboratório, de forma a evitar danos ou alterações em suas características (figura 11).

Figura 11 – Testemunhos identificados



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em laboratório, as amostras passam inicialmente por inspeção visual e medição de suas dimensões, sendo posteriormente submetidas aos procedimentos de regularização e nivelamento das faces, por meio de corte ou capeamento, garantindo superfícies planas e a correção da relação altura/diâmetro, não podendo ser superior a dois ou inferior a um (figura 12).

Figura 12 – Testemunhos devidamente tratados no laboratório



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em seguida, os testemunhos são posicionados na prensa hidráulica (figura 13) e submetidos ao ensaio de compressão axial, no qual a carga é aplicada de forma contínua e crescente, a uma velocidade controlada, até a ruptura da amostra. Durante o ensaio, é registrada a carga máxima suportada pelo testemunho, a partir da qual é calculada a resistência à compressão do concreto.

Figura 13 – Testemunho posicionado na prensa hidráulica



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Após 28 dias da sua concretagem, os testes de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos revelaram que as peças apresentaram resultados abaixo do esperado de 30 MPa. Devido ao resultado seguiram-se testes adicionais de esclerometria e a extração de testemunhos do concreto para a realização dos ensaios à compressão.

De acordo com a ABNT NBR 7680-1, quando a resistência característica à compressão do concreto não é atingida a partir do resultado negativo dos corpos de prova moldados, é aplicável o planejamento da extração de testemunhos (ensaio destrutivo) de estruturas já executadas.

De acordo com Machado (2005) e Evangelista (2002), a estimativa da resistência à compressão do concreto, nos ensaios realizados em corpos de prova com o esclerômetro, apresenta uma confiabilidade de $\pm 20\%$ e o coeficiente de variação médio é de aproximadamente 10%. No entanto, para Malhotra (1984), estes ensaios devem ser encarados como uma técnica adicional, e não como substitutos dos ensaios destrutivos.

A tabela 1 apresenta os valores lidos pelo ensaio de esclerometria.

Tabela 1 – Valores lidos pelo esclerômetro

ELEMENTO	ÍNDICES ESCLERIMÉTRICOS INDIVIDUAIS															
VB18	29	25	25	29	27	44	34	32	30	29	24	35	32	27	34	28
VB4	33	26	26	34	30	26	25	30	29	26	28	29	27	31	22	31
S11	30	50	27	48	24	30	24	29	30	28	25	33	32	28	30	30

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os índices esclerométricos obtidos nos ensaios realizados foram analisados conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 7584 (2012). Inicialmente, todos os valores registrados foram considerados, sendo posteriormente excluídos aqueles que apresentaram afastamento superior a 10% em relação ao conjunto de resultados, para mais ou para menos e refeita a média (II) com os valores que sobraram, conforme a tabela 2.

Tabela 2 – Índice Esclerométrico Médio (IE)

ELEMENTO	MÉDIA (I)	MÉDIA (II) = ÍNDICE ESCLERIMÉTRICO MÉDIO (IE)
VB18	30,25	29,9
VB4	28,313	28,3
S11	31,125	30,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Na próxima etapa encontra-se o índice esclerométrico efetivo $IE\alpha$, de cada área de ensaio, conforme a equação (1) a seguir:

$$IE\alpha = k \times IE \quad (1)$$

Onde,

$IE\alpha$ – representa o índice esclerométrico médio efetivo;

k – é o coeficiente de correção do índice esclerométrico;

IE – é o coeficiente esclerométrico médio.

O esclerômetro utilizado encontrava-se devidamente aferido e obteve-se o índice esclerométrico k igual a 1,00. Com os valores de $IE\alpha$ calculados, utilizou-se o ábaco fornecido pelo fabricante para estimar a resistência a compressão do concreto, apresentado na tabela 3.

Tabela 3 – Valor da resistência em MPa

ELEMENTO	$IE\alpha$	VALOR EM MPA (ÁBACO)
VB18	29,857	26
VB4	28,25	22
S11	30,5	17

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Procedeu-se à extração de seis testemunhos de concreto com diâmetro de 75,0 mm, todas as amostras foram ensaiadas a compressão, sendo extraído duas amostras em cada elemento ensaiado. Como previsto na ABNT NBR 7680-1, é necessário realizar os cálculos de correção do $f_{ci,ext, inicial}$, conforme a equação (2) a seguir:

$$f_{ci,ext} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] \times f_{ci,ext, inicial} \quad (2)$$

Onde,

$f_{ci,ext}$ – resistência final, após correção;

k_1 - dado pela relação h/d ;

k_2 - efeito do broqueamento em função do diâmetro do testemunho;

k_3 - direção da extração em relação ao lançamento do concreto;

k_4 - efeito da umidade do testemunho.

Na tabela 4, temos os seguintes resultados corrigidos ($f_{ci,ext}$).

Tabela 4 – Correção dos valores de resistência

ELEMENTO	massa específica (kg/m³)	diâmetro (mm)	comprimento (mm)	carga (kgf)	$f_{ci,ext, inicial}$ (MPa)	relação h/d	k_1	K_2	K_3	K_4	$f_{ci,ext}$ (MPa)
VB18 (1)	2276	74,0	128,4	10.507	24,0	1,73	-0,02	0,09	0,05	-0,04	25,8
VB18 (2)	2297	74,0	119,3	7.964	18,2	1,61	-0,03	0,09	0,05	-0,04	19,4
VB4 (1)	2303	74,0	134,2	12.597	28,7	1,81	-0,01	0,09	0,00	-0,04	29,7
VB4 (2)	2272	74,2	99,4	13.347	30,3	1,34	-0,06	0,09	0,00	-0,04	30,0
S11 (1)	2392	74,1	132,5	11.703	26,6	1,79	-0,02	0,09	0,05	-0,04	28,8
S11 (2)	2366	74,1	130,5	14.960	34,0	1,76	-0,02	0,09	0,05	-0,04	36,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A estimativa da resistência característica do lote para fins de verificação da segurança estrutural é dada pela média dos resultados individuais daquele lote, conforme tabela 5.

Tabela 5 – Média dos valores da resistência para o lote em Mpa

ELEMENTO	DIÂMETRO	RESISTÊNCIA ($f_{ci,ext}$)	RESISTÊNCIA (MPa)
VB18	75	25,8	22,6
		19,4	
VB4	75	28,8	32,8
		36,8	
S11	75	29,7	29,85
		30	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Assim, os valores finais de resistência à compressão determinados pelos métodos avaliados são apresentados na Tabela 6, expressos em MPa.

Tabela 6 – Valor da resistência em Mpa

ELEMENTO	ESCLEROMETRIA	EXTRAÇÃO
VB18	26	22,6
VB4	22	32,8
S11	17	29,85

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A Tabela 7 apresenta a comparação entre os resultados de resistência à compressão obtidos nos ensaios realizados em corpos de prova rompidos aos 28 dias, nas estimativas provenientes do ensaio de esclerometria e nos testemunhos extraídos da estrutura, permitindo a análise das diferenças entre os métodos aplicados.

Tabela 7 – Valor da resistência em Mpa para os 3 métodos

ELEMENTO	MOLDADOS EM OBRA (28 DIAS)	ESCLEROMETRIA	EXTRAÇÃO
VB18	16,6	26	22,6
VB4	26,7	22	32,8
S11	24,4	17	29,85

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5 CONCLUSÃO

A análise dos resultados evidenciou diferenças dos resultados de resistência (Mpa) entre os métodos aplicados, sendo observado que os valores estimados pelo ensaio de esclerometria foram inferiores aos obtidos nos ensaios de compressão axial realizados nos testemunhos de concreto extraídos da estrutura.

A comparação entre os resultados de resistência à compressão obtidos nos ensaios realizados em corpos de prova rompidos aos 28 dias e aqueles determinados a partir dos testemunhos extraídos da estrutura evidenciou um aumento nos valores de resistência do concreto. Esse comportamento é considerado esperado, uma vez que o concreto tem ganho de resistência ao longo do tempo, especialmente em idades superiores a 28 dias.

Esse comportamento está relacionado às limitações inerentes ao ensaio de esclerometria, que avalia predominantemente a dureza superficial do concreto e é influenciado pelas condições da superfície, pela cura e pela heterogeneidade do material.

Os resultados dos testemunhos mostraram-se mais representativos da resistência do concreto executado na estrutura, reforçando que a esclerometria deve ser utilizada como método complementar e não de forma isolada.

Vale ressaltar, entretanto, que a amostragem utilizada neste estudo foi limitada, uma vez que os ensaios foram realizados em apenas três peças estruturais. Dessa forma, os resultados obtidos não permitem generalizações conclusivas, sendo recomendável, para análises mais abrangentes, a ampliação da amostragem e a realização de ensaios em um número maior de elementos estruturais, de modo a aumentar a representatividade e a confiabilidade dos resultados.

Dessa forma, conclui-se que a associação entre ensaios não destrutivos e destrutivos é essencial para uma avaliação mais confiável do desempenho do concreto, contribuindo para a segurança e a conformidade estrutural.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Bruno Feltrin. **Análise da dureza superficial do concreto através da esclerometria em obras residenciais unifamiliares em Fernandópolis-SP**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, ano 5, ed. 8, v. 1, p. 21–35, ago. 2020. ISSN 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/analise-da-dureza>. Acesso em: 22 de dez. 2025.
- ANDRADE, Gabriela Mendes Romero de. **Avaliação do desempenho da precisão de diferentes equipamentos para realização dos ensaios não destrutivos de pacometria**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7584**: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro, 2022.

ASTERIS, P.; MOKOS, V. **Concrete compressive strength using artificial neural networks**. Neural Computing and Applications, 2020.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Fundamentos do concreto armado**. 2019. 89 f. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.

BOTTEGA, Fábio. **Análise do ensaio esclerométrico, um ensaio não destrutivo, nas estruturas de concreto**. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

CHAHAR, A. S.; et al. **Study on various properties of reinforced concrete – A review**. Construction and Building Materials, v. (número não especificado), 2022.

CRIADO, Tayla Castilho; PAGOTO, Leticia Martelo; PEREIRA, Adriana Maria. **Concretos Especiais em Construção Civil: Desempenho, Resistência e Inovação**, 2024.

CRISTOFARO, M.; VITI, S.; TANGANELLI, M. **New predictive models to evaluate concrete compressive strength using the sonreb method**. Journal of Building Engineering, v. 27, p. 100962, 2020.

ERGÜETA, M.; QUINO, J. **Application of ultrasonic testing for evaluation of concrete integrity**. Revista ALCONPAT, v. 14, n. 1, 2024.

ESCOBAR, Celcio José; ANDREOTTI, Darlinton; FABRO, Gilmar. **Avaliação de desempenho do ensaio de esclerometria na determinação da resistência do concreto endurecido**. Ibracon, Salvador, v. 1, n. 1, p.1-16, set. 2011. Anual. Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto 2008.

EVANGELISTA, Antônio Carlos José. **Avaliação da resistência do concreto utilizando ensaios não destrutivos**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

GALVÃO, Gabriel Moreira. **Estudo da aplicação do ensaio esclerométrico em estruturas de concreto**. 2019. 32 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Atenas, Paracatu, 2019.

HELENE, P., PACHECO, J., **Controle da resistência do concreto**, México, Alconpat Int., 2013.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de controle tecnológico do concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2021.

LÁZARO, Bruno de Oliveira. CUNHA, Rodrigo Rodrigues da. OLIVEIRA, Andrielli Moraes de. **Estudo da resistência superficial de estacas de fundação em concreto armado por esclerometria de Reflexão e por extração de testemunhos**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 07, Vol. 10, pp. 20-31, 2019

LEONEL, A. C. et al. **Non-destructive testing methods for inspection of concrete structures: a review**. Revista TECNIA, v. 9, n. 2, 2024.

LIMA, Rogerio Cattelan Antochaves de; SANTOS, Robson Walter dos; FREITAS, Allison Irassoquy de; BUENO, Charles Nícolas Moura. **Análise do ensaio de esclerometria de reflexão em concretos de diferentes tipos**. +INGENIO – Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación, v. 4, n. 2, p. 9-19, 15 nov. 2024. Disponível em: <https://revistas.fio.unam.edu.ar/index.php/masingenio/article/view/206/1091>. Acesso em: 16 dez. 2025.

MACHADO, M. D. **Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no rio de janeiro por meio de ensaios não destrutivos**. Dissertation (Master in sciences in civil engineering) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

MALHOTRA, V. M. **In Situ / Nondestructive Testing of Concrete – A Global Review**. In: Situ/Nondestructive Testing of Concrete, Special Publication SP – 82, American Concrete Institute, Detroit, p.1–16, 1984.

- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2020.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2021.
- PALACIOS, J. A. **Avaliação da resistência à compressão do concreto por meio do ensaio de esclerometria**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- PEDROZA, Luis Felipe Minieri. **Avaliação do desempenho do ensaio não destrutivo de pacometria para verificação do cobrimento e posicionamento de barras de aço**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2018.
- POORARBABI, A.; GHASEMI, M.; MOGHADDAM, M. A. **Concrete compressive strength prediction using non-destructive tests through response surface methodology**. Ain Shams Engineering Journal, v. 11, n. 4, p. 939–949, 2020.
- SAMANIEGO, Y. et al. **Avaliação da resistência efetiva do concreto mediante ensaios in loco estudo de caso em Brasília**. In: Congresso Brasileiro do Concreto. [S.l.: s.n.], 2013.
- SAMANIEGO, L. F. **Avaliação da resistência do concreto por métodos não destrutivos: correlação entre esclerometria e compressão axial**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- SANTANA, Caio Henrique Santos; MIRANDA, Rodrigo Manzan. **Análise comparativa da resistência à compressão aferida por métodos não destrutivos**. Ucb, Brasília, v. 1, n. 1, p.1-35, 17 jun. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ucb.br/jspui/handle/123456789/8193>. Acesso em: 22 dez. 2025.
- SANTOS, R. A. **Aplicação de ensaios não destrutivos na avaliação de estruturas de concreto armado**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- SILVA, L. F. **Aplicação do ensaio de ultrassom na avaliação de propriedades mecânicas do concreto**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.

SINIC, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Disponível em: <http://snic.org.br/cimento.php>. Acesso em: 19 dezembro. 2025.

VANALLI, R.; FORIGO, M.; LOPES, A. N. **Avaliação da resistência do concreto por meio da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas**. HOLOS, v. 37, n. 4, 2021.

VIEIRA, José Orlando. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

VILELA, D. T. N.; COIMBRA, K. F.; BORBA, J. C. J.; *et al.* **Estudo do controle tecnológico do concreto em obras civis na cidade de Ouro Branco, MG**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 60., 2018, Foz do Iguaçu, PR. *Anais...* Foz do Iguaçu: IBRACON, 2018.

YANG, S.; XU, Z.; BIAN, Z. **Prediction on compressive strength concrete using modified pull-off testing method (MPTM)**. Construction and Building Materials, v. 250, p. 118834, 2020.