

**ANÁLISE DE ESTRUTURAS POR MEIO DE INVESTIGAÇÕES NÃO  
DESTRUTIVAS**

**ANALYSIS OF STRUCTURES THROUGH NON-DESTRUCTIVE RESEARCH**

<sup>1</sup> Aline Santana da Silva

<sup>2</sup> Brena Ramos da Silva

<sup>3</sup> Karolina Vanessa Nascimento de Lima

<sup>4</sup> Thaís Rocha Silva

<sup>5</sup> Thiago Mendonça Pacheco

<sup>1</sup> UNEF; Feira de Santana; Bahia.

E-mail: [alline.santana@outlook.com](mailto:alline.santana@outlook.com)

<sup>2</sup> UNEF; Feira de Santana; Bahia.

E-mail: [ramos.brena@hotmail.com](mailto:ramos.brena@hotmail.com)

<sup>3</sup> UNEF; Feira de Santana; Bahia.

E-mail: [karolinavanessa03@gmail.com](mailto:karolinavanessa03@gmail.com)

<sup>4</sup> Especialista; Feira de Santana; Bahia.

E-mail: [civil.thais@gmail.com](mailto:civil.thais@gmail.com)

<sup>5</sup> Mestre; Feira de Santana; Bahia.

E-mail: [thiago.ecivil@hotmail.com](mailto:thiago.ecivil@hotmail.com)

## RESUMO

As investigações não destrutivas são uma possibilidade de inspecionar locais de maneira rápida, sem alterar permanentemente a estrutura e capazes de proporcionar resultados satisfatórios ao campo técnico. Como uma grande vantagem desse tipo de ensaio tem-se a possibilidade de investigar estruturas já em uso, sem a necessidade de desocupação do local estudado, evitando transtornos e custos adicionais. O presente trabalho descreve métodos não destrutivos que podem ser utilizados para estudar uma estrutura de concreto, focando nos parâmetros de avaliação de sua durabilidade e resistência. Este trabalho também possibilita analisar as vantagens e desvantagens de utilizar esses ensaios para avaliar a integridade das estruturas, identificar possíveis manifestações patológicas e a existência de riscos, além de fazer uma comparação entre os ensaios de esclerometria x ultrassom com o intuito de avaliar a resistência da estrutura, e potencial de corrosão x resistividade elétrica para estudo de durabilidade do concreto armado num elemento já executado, fazendo-se possível analisar qual ensaio é o mais indicado para determinada situação e os benefícios que ele traz.

**Palavras-chave:** END, concreto, corrosão, resistência, durabilidade.

## ABSTRACT

Non-destructive investigations are a possibility to inspect sites quickly, without permanently altering the structure and capable of providing satisfactory results in the technical field. As a great advantage of this type of test, there is the possibility of investigating structures already in use, without the need to vacate the studied

site, avoiding inconvenience and additional costs. The present work describes non-destructive methods that can be used to study a concrete structure, focusing on the parameters of evaluation of its durability and strength. This work also makes it possible to analyze the advantages and disadvantages of using these tests to evaluate the integrity of the structures, identify possible pathological manifestations and the existence of risks, in addition to making a comparison between the sclerometry x ultrasound tests in order to evaluate the resistance of the structure, and corrosion potential x electrical resistivity to study the durability of reinforced concrete in an element already executed, making it possible to analyze which test is the most suitable for a given situation and the benefits it brings.

**Keywords:** NDI, concrete, corrosion, strength, durability.

## INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais de construção mais aplicado e que continua sendo bastante valorizado no país por sua durabilidade e resistência, em especial o concreto armado, sendo este ainda mais utilizado devido ao seu bom comportamento mecânico quando se trata da necessidade de boa vida útil.

Entretanto, ainda que o concreto seja tão empregado na Engenharia Civil e durável quando executado dentro das normas técnicas de aplicação e com suas devidas manutenções preventivas, torna-se necessário testar sua durabilidade e resistência através de um rigoroso controle tecnológico desde o período de concretagem até a finalização da obra. Existe também a possibilidade de ensaiar obras que já possuem um longo tempo que foram realizadas, a fim de analisar sua condição atual e prever possíveis melhorias para a estrutura.

Para a realização destes testes, atualmente tem-se os ensaios destrutivos e não destrutivos. Os Ensaio Destrutivos, comumente deixam marcas nas estruturas, uma vez que se torna necessário a extração de testemunhos/amostras para realizar avaliação em laboratório, sem que acarrete inutilização da peça. Zolin (2011, p. 35) afirma que esse tipo de ensaio “em certos casos, produz um pequeno dano. Esse efeito (marcas) não chega a destruir a peça ensaiada, porém deixa sinais que serão pontos de concentração de tensão e fonte de possíveis falhas.” Esses ensaios servem para determinar as resistências à tração e a compressão do concreto, realizadas seguindo as diretrizes da ABNT NBR 7222:2011 e 5739:2018, respectivamente.

Tem-se também utilizado os Ensaios Não Destrutivos (END), que se tratam de métodos mais rápidos e com a possibilidade de maior abrangência de estudo da estrutura, sendo eles eficazes e confiáveis.

O ponto mais alto do uso desse tipo de ensaio talvez seja a não alteração nas peças, já que existe a possibilidade de analisar estruturas em pleno funcionamento sem a necessidade de retirada de testemunhos. Para melhor conhecimento dessas técnicas, é preciso analisar os possíveis métodos de investigação e discutir a sua confiabilidade, vantagens e desvantagens de cada um deles.

## **JUSTIFICATIVA**

Conforme a ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, a durabilidade da estrutura se refere à sua competência em resistir a intempéries e agressividades ambientais do meio que devem ser previstas em projeto. Isso está diretamente relacionado com o desempenho que é esperado da edificação, que consiste na capacidade da estrutura manter boas condições de uso durante a vida útil do projeto. Ainda de acordo com a Norma, essa vida útil será mantida se realizadas manutenções e reparos solicitados pelo projetista.

Quando se trata de Cimento Portland, outra maneira de garantir a resistência do concreto é seguir os parâmetros estabelecidos para a relação de água/cimento, fazendo ligação com a classe de agressividade prevista anteriormente e a tipologia do concreto que vai ser adotado.

Essas últimas mudanças de Normas brasileiras, quando se trata da qualidade do concreto, acompanham as diretrizes de padrão internacional, como a Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.

Como um excelente método de analisar as condições do concreto, principalmente voltada para a durabilidade e resistência desse material, é possível se aplicar Ensaios Não-Destrutivos em estruturas de maneira que não

irão comprometê-las, como a inspeção visual, pacometria, ultrassom, termografia, líquido penetrante, permeabilidade, esclerometria, potencial de corrosão e resistividade elétrica.

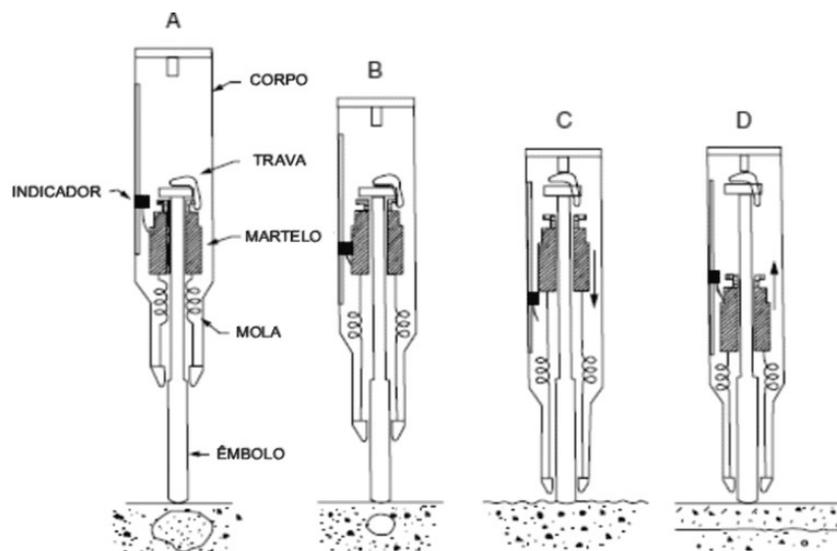
Deste modo, este trabalho propõe-se a apresentar análise entre métodos de ensaios não destrutivos, correlacionando esclerometria e ultrassom para estudo da resistência dos materiais, e potencial de corrosão e resistividade elétrica para análise de durabilidade do concreto armado, apresentando seus diferentes benefícios, comparando-os com os métodos e resultados obtidos e suas reais vantagens.

## **ESCLEROMETRIA**

A esclerometria é um ensaio não-destrutivo, sendo o ensaio mais simples para medir a resistência superficial do concreto, podendo avaliar através deste a qualidade do concreto endurecido. O ensaio se dá através do impacto do equipamento sobre a área ensaiada, e seu resultado corresponde ao número de recuo do martelo.

O equipamento forma-se do indicador, corpo, êmbolo, martelo, mola e trava, como mostrado na Figura 1, e seu funcionamento consiste em uma massa-martelo que é impulsionada por mola e se choca através da haste esférica, com a área ensaiada. O mesmo permite avaliar a compatibilidade da resistência mecânica do concreto no local, o método é formado pela determinação da energia do impacto do martelo na estrutura de concreto, essa energia provoca deformações na área ensaiada, conservando sua parte elástica e retornando o martelo ao fim do impacto. Sendo assim, quanto menor a energia aplicada, maior a dureza da superfície de ensaio.

**Figura 1.** Esquema estático do esclerômetro.



Fonte: Silva (2017, p.3).

Pode-se definir os tipos de esclerômetro de acordo com as características da estrutura e com base no grau de precisão desejado, podendo variar a energia de percussão. A norma 7584 descreve que “Com energia de percussão de 30N.m, que é indicado para obras de grande volume de concreto, como concreto-massa e pistas protendidas de aeroporto; Com energia de percussão de 2,25N.m, com ou sem fita registradora automática, que pode ser utilizado em casos normais de construção de edifícios e elementos estruturais; Com energia de percussão de 0,90N.m, com ou sem aumento da área da calota esférica da ponta da haste, indicado para concretos de baixa resistência; Com

energia de percussão de 0,75 N.m, com ou sem fita registradora automática, que é o tipo mais apropriado para elementos, componentes e peças de concreto de pequenas dimensões e sensíveis aos golpes.” (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012, p.1-2).

De acordo com a Norma ABNT NBR 7584:2012, é necessário a aferição do esclerômetro antes de sua utilização ou a cada 300 impactos realizados na mesma inspeção, feita através da verificação do índice esclerométrico por meio da bigorna, onde este índice individual não deve espaçar o índice médio de  $\pm 3$  quando o resultado esclerométrico individual é obtido entre 10 impactos.

Para dar início ao ensaio faz-se necessário a preparação da área a ser ensaiada, onde é feito um polimento energético com pedra de debaste ou pedra diamantada, com movimentos circulares, onde todo pó superficial deve ser removido. Superfícies ásperas, curvas, talhas ou com irregularidades não oferecem resultados confiáveis, devendo ser evitados.

O número de área a serem ensaiadas é definida em função da diversidade do concreto, devendo ser ensaiada pelo menos uma área por peça ou elemento de concreto inclusos na estrutura em estudo. Se tratando de elementos com maior volume de concreto passa para duas a amostragem de áreas de ensaios, devendo preferencialmente se localizar em faces opostas.

A ABNT NBR 7584:2012 descreve que para cada área ensaiada não é permitido efetuar mais de um impacto sobre o mesmo ponto, devendo ser desconsiderado no cálculo o segundo resultado. A distribuição é feita uniformemente, totalizando 16 pontos que receberão os impactos, identificando na área ensaiada os pontos, que devem ter espaçamento de 30mm de um para o outro.

A definição dos pontos influencia diretamente nos resultados, para se obter o resultado deve ser calculado a média aritmética dos 16 valores dos pontos individuais da esclerometria, em que cada grupo de 16 pontos

corresponde a uma área de ensaio. Faz-se a média total e os resultados que ficarem 10% acima ou abaixo da média final, estes devem ser desconsiderados. Os resultados são corrigidos por meio dos coeficientes de correção fornecidos pelo fabricante do equipamento.

Segundo ABNT NBR 7584:2012, a carbonatação pode influenciar diretamente nos índices esclerométricos obtendo resultados não compatíveis com sua real dureza. Quando carbonatado, a superfície do concreto pode ultrapassar 50% dos resultados reais, isso acontece pelo decorrer da espessura da camada carbonatada.

Um outro fator que influencia na dureza superficial do concreto é a sua idade, relacionada aos resultados estabelecidos normativamente aos 28 dias, proveniente do modo em que é realizada a cura e presença de carbonatação. Sendo assim, os resultados válidos na condição de idades inferiores a 14 dias e superiores a 60 dias não são automaticamente considerados válidos.

## **ULTRASSOM**

O ensaio de ultrassom em estruturas de concreto é regulamentado pela ABNT NBR 8802:2019: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica, e utiliza o equipamento para propagar, através de um transdutor gerador, uma onda sonora que percorre nas peças fazendo uso de frequências altas consideradas indetectáveis para a audição humana (entre 20kHz a 150kHz), sendo possível determinar as falhas encontradas nelas, baseado na leitura técnica de recepção dessa onda através de um transdutor receptor, utilizando variações diferentes para cada tipo de material, já que cada material reage de maneiras diferentes às ondas recebidas e ao tipo de onda que se recebe.

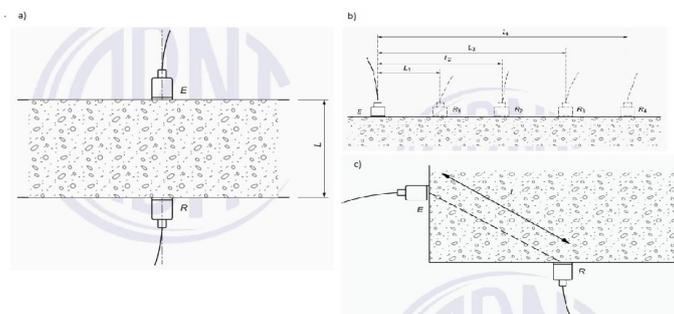
É importante salientar que a superfície deve ser preparada para a execução do ensaio, onde é necessário se atentar para que ela seja plana e previamente limpa, sendo permitido sua regularização através de procedimentos

mecânicos ou até mesmo o uso de resinas apropriadas, para que não exista interferência nos resultados. Além disso, é preciso também calibrar o aparelho com uma barra de referência presente no ultrassom.

De maneira geral, o conceito deste ensaio consiste no tempo entre a emissão e recepção dessas ondas no meio em que elas foram aplicadas, e assim fazer uma correlação com seu módulo de elasticidade e densidade do material estudado, obtidos de dados empíricos.

Ainda de acordo com a Norma, os transdutores do aparelho podem ser posicionados de três formas: em faces contrárias, na mesma face ou em faces adjacentes, como mostrado na Figura 2.

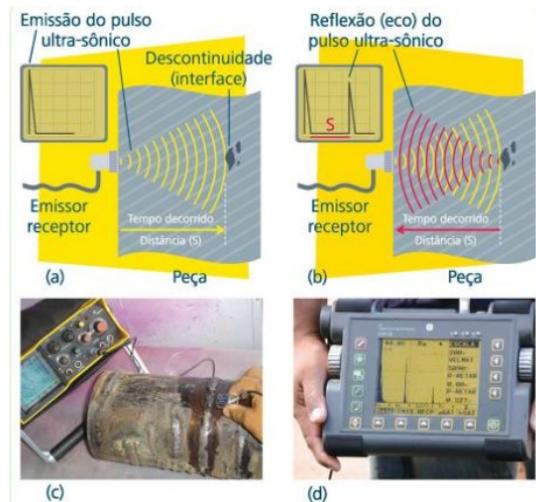
**Figura 2.** a) Emissão de ondas em face opostas. b) Emissão de ondas na mesma face. c) Emissão de ondas em faces adjacentes.



Fonte: ABNT NBR 8802:2019.

O princípio básico empregado nesse método é exposto por Zolin na Figura 3.

**Figura 3.** (a) Emissão do pulso de ultrassom; (b) eco gerado pelo reflexo da onda na descontinuidade; (c) inspeção de peça por meio de ultrassom e (d) detalhe do gráfico formado pela emissão e eco do ultrassom.



Fonte: ZOLIN, 2011, p. 23.

Considerando um concreto de boa qualidade, a tendência é que a velocidade dessa onda seja recebida mais rapidamente pelo transdutor após a emissão do pulso. Já para concretos de baixa qualidade essa onda tem mais dificuldade de atravessar o material pela existência de vazios, e assim demora mais para o sinal ser captado pelo transdutor receptor.

Um dos problemas desse método, é a necessidade de um avaliador treinado, que consiga compreender e interpretar com precisão as informações presentes nos transdutores, além de um custo mais elevado quando comparado à esclerometria. Entretanto, ele é bastante eficaz, por exemplo, para constatar fissuras e suas profundidades, detectar descontinuidades internas, analisar a homogeneidade do concreto.

## POTENCIAL DE CORROSÃO

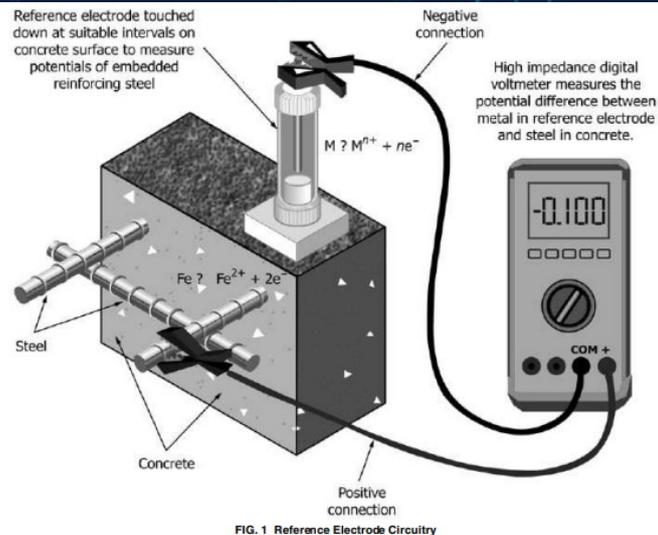
O conceito de corrosão se baseia na deterioração de objetos metálicos por meio do fenômeno químico de oxirredução. Essa reação é similar ao efeito de de pilha, onde acontece uma interação química para transformar em elétrica.

Então, para ser possível detectar se determinada peça está apresentando atividade de corrosão na armadura é preciso medir a corrente elétrica e avaliar, através do seu resultado, o potencial de corrosão existente no meio. As diretrizes desse ensaio são estabelecidas através da ASTM C876 – 15: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.

A corrente elétrica é medida por um voltímetro ligado a duas conexões. A primeira é ligada a um eletrodo de cobre utilizado como referência que fica imerso num pequeno recipiente não condutor preenchido por uma solução de sulfato de cobre. Na extremidade desse recipiente é necessário ter uma superfície porosa, de preferência cerâmica, seguida de uma esponja pré-umedecida, que entrará em contato com os pontos de estudo previamente definidos na estrutura em análise. Vale lembrar que o ensaio perde consideravelmente a capacidade de medir as variações de cargas em estruturas onde o cobrimento de concreto seja acima de 75mm, assim como não devem ser feitas leituras com espaçamentos considerados irrelevantes ou muito amplos, julgando 1,20m uma distância ideal de distanciamento.

Já a segunda conexão é ligada diretamente à barra de aço como mostrado na Figura 4, que deve ser primeiramente limpa através de escovação ou até mesmo por raspagem, a fim de garantir uma baixa resistência elétrica na conexão.

**Figura 4.** Ligações dos eletrodos no multímetro.



Fonte: ASTM C876 – 15: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.

## RESISTIVIDADE ELÉTRICA

A resistividade elétrica medida no concreto é uma propriedade física que indica sua resistência à passagem de corrente elétrica na peça ensaiada. Esse método pode ser feito seguindo diversas técnicas, como a de três eletrodos, regida pela ABNT NBR 9204:2012 Concreto endurecido - Determinação da resistividade elétrico-volumétrica - Método de Ensaio, onde define em seu item 3.2 a resistividade elétrica-volumétrica de um material como: “relação entre o gradiente de potencial paralelo à direção da corrente nesse material e a densidade da corrente”.

Já na técnica de quatro eletrodos é formado um campo elétrico que será lido a partir da diferença de captação desses sinais emitidos, onde os dois pinos externos emite corrente elétrica de um para o outro, e os dois pinos internos fazem a leitura da diferença de potencial que está sendo passado entre os pinos externos. É importante salientar que para iniciar o ensaio deve-se umedecer os quatro pinos de saída do aparelho, e a face que será ensaiada para facilitar a passagem da corrente elétrica, desta forma é feita a leitura pelo equipamento, onde esse resultado gerará um gráfico de resistividade elétrica que será

correlacionada com o risco de corrosão. Quanto maior a resistividade elétrica menor será o risco de corrosão da estrutura de concreto armado.

Esse método destaca-se por possibilitar o estudo de estruturas de concreto e sua durabilidade, sendo realizados in-loco, sem necessidade de extração de testemunhos e com baixo custo, embora seja necessária uma análise criteriosa dos resultados. Embora não exista norma oficial para esse método, existem documentações importantes que podem ser tomadas como base, como a “*Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica. Parte 2: Método de las cuatro puntas o de Wenner*” (UNE 83988-2:2014).

Pode-se verificar também através do ensaio de resistência elétrica a presença de corrosão nas estruturas de concreto armado. Ele é aplicado para o monitoramento do desenvolvimento da corrosão da armadura em estrutura, controlando o fluxo de íons que transmite através de solução presente nos poros pelo concreto, já que o concreto em sua própria composição dispõe de uma estrutura complexa, sendo formado por componentes sólidos e vazios, onde a pasta de cimento é combinada com agregados com diversas formas e tamanhos. Suas características estão diretamente ligadas ao cimento, agregado e o percentual de água usado na mistura. A durabilidade da estrutura de concreto armado está associada a sua microestrutura, desta forma a resistividade elétrica se destaca na investigação de corrosão das armaduras descrevendo o fluxo entre a corrente positiva e negativa. Segundo Aguiar apud Hornbostel, Larsen e Geiker (2018) “A relação entre a resistividade do concreto e a taxa de corrosão consequentemente possibilitaria a avaliação do estado de corrosão de estruturas em concreto armado de forma eficiente e economicamente viável.”

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

É possível concluir que a determinação do uso de cada ensaio dependerá do fim específico e de sua necessidade, já que ambos têm limitações em determinadas situações.

Por ser um ensaio rápido, de baixo custo e simples execução, a esclerometria é amplamente utilizada para analisar a resistência do concreto, porém, existe um fator limitador quando se diz respeito à utilização exclusiva deste ensaio para definir parâmetros de qualidade, já que ele é considerado um ensaio complementar, recomendando um maior cabedal de ensaios adicionais para definir melhor o objeto estudado. Pode existir também a interferência pelo tipo de agregado utilizado na produção do concreto e pela umidade do meio em que a estrutura está inserida.

Quando se trata do ensaio de ultrassom, ele é considerado um método qualitativo da estrutura, onde através dele é possível detectar manifestações patológicas internas, como a presença e profundidade de fissuras, falhas de concretagem e heterogeneidade do material.

Para fins comparativos, é importante considerar a necessidade de usar diferentes tipos de esclerômetros para se adequar a necessidade da situação, enquanto o ensaio de ultrassom consegue ser utilizado apenas um equipamento de uma maneira mais abrangente de casos. Além disso, enquanto a esclerometria consegue medir a dureza superficial do concreto, o ultrassom consegue varrer possíveis falhas internas do material, sendo assim um ensaio com maior riqueza de detalhes, embora, para ter leituras assertivas e precisas, necessite de um conhecimento teórico mais amplo por parte do especialista que irá realizar este procedimento. A profundidade de carbonatação também interfere de maneira significativa quando esses ensaios são comparados, já que método esclerométrico é altamente influenciado por ela, e pode obter um resultado não preciso devido ao seu poder de superestimar o resultado do ensaio.

Um outro fator é a influência da idade da estrutura em estudo, que pode afetar na dureza do concreto como no caso do ensaio de esclerometria, sendo esse uma vantagem da ultrassom em relação ao ensaio de esclerométrico.

Além disso, é possível comparar os custos necessários para a realização desses ensaios. Comparando o ensaio em si, a esclerometria tem muito mais

vantagens em relação ao custo necessário para realizar o ensaio, porém é um ensaio superficial, que limita um estudo mais abrangente do material analisado. A ultrassom é um ensaio de custo mais elevado, tornando-se uma desvantagem a utilização deste método financeiramente, em contrapartida, é um ensaio muito mais abrangente, onde os resultados obtidos são satisfatórios, pois permite uma análise profunda da estrutura. Ambos são ensaios com resultados rápidos, o que possibilita uma resolução de problemas imediata.

É possível usar o ensaio de resistividade elétrica para obter parâmetros de análise de corrosão na armadura da peça de concreto, onde através dele é possível verificar se o concreto está com qualidade suficiente para resistir aos ataques físicos e químicos tanto no exterior, quanto no interior da peça.

Com a análise da corrente elétrica que percorre a estrutura é possível identificar a presença de poros, principalmente quando estão saturados e resultam num grande fluxo de cargas. Comparando variação dos resultados em pontos distintos de uma mesma peça é possível identificar ainda a heterogeneidade e grau de saturação do material.

O processo de carbonatação também é um limitador quando se trata desse ensaio, já que seu resultado pode até mesmo triplicar por interferência dessa patologia. De forma genérica, superfícies com menor umidade têm menos tendência a iniciar o processo de corrosão, porém, no seu máximo grau de saturação, onde existe limitação da presença do oxigênio, esse efeito também é atenuado.

O potencial de corrosão é outro método que possibilita medir a corrosão nas armaduras de concreto, sendo considerado uma forma rápida e de baixo custo, por não precisar de equipamentos sofisticados. Com ele, é possível identificar as zonas de aço e a necessidade de análise ou reparo. Porém, seus resultados podem sofrer alterações que estão ligadas aos métodos adotados no momento de realizar a leitura, além de fornecer somente um resultado

aproximado do processo de corrosão da peça, não funcionando como um ensaio quantitativo.

Assim como no ensaio de resistividade elétrica, a umidade interfere de maneira significativa na obtenção do resultado de potencial de corrosão, deixando seus valores cada vez mais eletronegativos à medida que o teor de umidade aumenta.

## **REFERÊNCIAS**

AGUIAR, L.C. Os efeitos da variação de temperatura nas medidas de resistividade elétrica superficial do concreto. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. p. 08. 2018.

ARAÚJO, Carla Cavalcante. Estudo de Correlações entre Propriedades do Concreto e Ensaio Não Destrutivos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, p. 167, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 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 8802. Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9204: Concreto endurecido – Determinação da resistividade elétrico-volumétrica – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

BRIONES-ROCHA, et al., Análise de comportamento da onda ultrassônica e a resistência de concretos com diferentes agregados. Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, Foz do Iguaçu, 2018.

HORNBOSTEL, K.; LARSEN, C. K.; GEIKER, M. R. Relationship between concrete resistivity and corrosion rate – A literature review. *Cement & Concrete Composites*. v. 39, 60-72. 2022.

LORENZI, Alexandre. et al., Emprego de Ensaios Não Destrutivos para Inspeção de Estruturas de Concreto. In Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, 11., 2016, São Leopoldo – RS. Anais. *Revista de Engenharia Civil IMED*, 3(1), 3- 13, 2016.

Norma ASTM C876: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. 2015.

Norma Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. 2004.

Norma UNE 83988-2: Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica. Parte 2: Método de las cuatro puntas o de Wenner. 2014.

PEREIRA, João Adriano Vieira. Estudo e Aplicação de Ensaios Não Destrutivos: Líquidos Penetrantes, Ultra Sons, Radiografia Digital – Técnica Tangencial medição de Espessuras. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Faculdade de Engenharia (FEUP), Universidade do Porto, Porto, p. 85, 2013.

ZOLIN, Ivan. Curso técnico em automação industrial: ensaios mecânicos e análises de falhas / Ivan Zolin. – 3. ed. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.