



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DAVI MOREIRA MAIA

**MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO DESTRUTIVOS**

MOSSORÓ

2022

DAVI MOREIRA MAIA

**MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO DESTRUTIVOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Matos Xavier

MOSSORÓ/RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

MM217    Maia, Davi Moreira.  
m        Métodos de Avaliação Estrutural Não Destrutivos /  
          Davi Moreira Maia. - 2022.  
          54 f. : il.

          Orientador: João Paulo Matos Xavier.  
          Monografia (graduação) - Universidade Federal  
          Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia  
          Civil, 2022.

          1. métodos não destrutivos. 2. avaliação  
          estrutural. 3. inspeção. 4. detecção de defeitos.  
          5. concreto armado. I. Xavier, João Paulo Matos,  
          orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com  
AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).  
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência  
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva  
CRB: 15/120

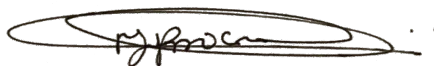
DAVI MOREIRA MAIA

## MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO DESTRUTIVOS

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

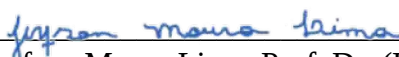
Defendida em: 15 / 06 / 2022.

### BANCA EXAMINADORA



---

João Paulo Matos Xavier, Prof. Dr. (UFERSA)  
Presidente



---

Jefferson Moura Lima, Prof. Dr. (UFC)  
Membro Examinador



---

Robson Lopes Pereira, Prof. Me. (PUC-GO)  
Membro Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, à Deus por ter me dado a oportunidade de chegar até aqui e por não me deixar desistir, mesmo diante das dificuldades.

À toda a minha família, e em especial, aos meus pais, por toda a orientação e apoio nos estudos. Sempre guardarei e perpetuarei todos os conselhos e ensinamentos.

À minha namorada Aksa, pela compreensão, suporte e apoio durante tantos momentos difíceis no decorrer do semestre. Por me proporcionar momentos felizes e por estar, literalmente, ao meu lado enquanto eu produzia este trabalho.

Ao meu orientador, prof. Dr. João Paulo Matos Xavier, pelo esforço e colaboração neste período. Sempre solícito, presente e preocupado com o andamento do texto.

Ao meu primo, Eduardo, por ser um grande companheiro em todos os momentos.

Aos meus amigos de Limoeiro e colegas da universidade, por me proporcionarem tantos momentos e experiências dentro e fora do contexto acadêmico.

A todos os meus amigos espalhados pelo Brasil.

Entre o solo rachado e o sol forte, a bússola aponta para tudo, menos para o norte, entre o escudo da fé e o golpe de sorte, o mártir que acredita na causa e luta até a morte, entre o sândalo que perfuma o machado sendo condecorado com o mais profundo corte, desavença faz parte, mano a mano é esporte, então está tudo certo, com o tempo retornam ao pó e às paisagens no deserto, uma oração para amolecer os corações de concreto.

Geizon

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é realizar um levantamento teórico sobre o uso dos métodos de avaliação estrutural não destrutivos, que são ferramentas simples e interessantes para o monitoramento e supervisão dos componentes estruturais. O acompanhamento do desempenho das estruturas de concreto armado pode ser realizado com o auxílio de métodos específicos que podem ser destrutivos ou não destrutivos. Os métodos destrutivos acabam danificando a estrutura ou parte dela, enquanto os métodos não destrutivos não geram desgaste estrutural, além de serem executados com mais simplicidade. Dentre eles, os principais estudados foram: Ensaio de Esclerometria, Ensaio de Pacometria, Ensaio de Ultrassonografia, Ensaio de Tomografia, Ensaio do Georadar (GPR), Ensaio de Termografia. Essas escolhas foram realizadas por meio de uma seleção de trabalhos da área de Patologia e Reabilitação das Estruturas em que têm sido objeto de estudo de muitos trabalhos no meio científico. A partir do levantamento de dados e da pesquisa realizada neste trabalho, pôde-se concluir que o Ensaio de Pacometria é o mais adequado quando a inspeção das barras de aço necessita ser rápida e ágil, entretanto quando é preciso uma melhor visualização desses elementos, é mais indicado o uso do GPR, embora a tomografia ultrassônica possua o melhor resultado de imagens tridimensionais das armaduras, já que utiliza instrumentos mais complexos. Por outro lado, a esclerometria é conveniente para casos rápidos na inspeção do concreto, enquanto a ultrassonografia deve ser utilizada quando é exigido mais conhecimento técnico. Por conta dessa capacidade de detecção de defeitos no concreto armado, os métodos não destrutivos se tornam aliados importantes em inspeções prediais.

**Palavras-chave:** métodos não destrutivos; avaliação estrutural; inspeção; detecção de defeitos; concreto armado.

## ABSTRACT

The objective of this work is to perform a theoretical survey on the use of non-destructive structural evaluation methods, which are simple and interesting tools for the monitoring and supervision of structural components. The monitoring of the performance of reinforced concrete structures can be performed with the help of specific methods that can be destructive or non-destructive. Destructive methods end up damaging the structure or part of it, while the non-destructive methods do not generate structural wear, besides being executed with more simplicity. Among them, the main ones studied were: Sclerometry Test, Pacometry Test, Ultrasound Test, Tomography Test, Georadar Test (GPR), and Thermography Test. These choices were made through a selection of works in the area of Pathology and Rehabilitation of Structures, that have been the subject of many studies in the scientific environment. From the data collection and research carried out in this work, it was possible to conclude that the pacometer method is the most appropriate when the inspection of the steel bars needs to be fast and agile, but when a better visualization of these elements is required, the use of GPR is more indicated, although ultrasonic tomography has the best result of three-dimensional images of the reinforcement, since it uses more complex instruments. On the other hand, sclerometry is convenient for quick cases in concrete inspection, while ultrasound should be used when more technical knowledge is required. Because of this ability to detect defects in reinforced concrete, non-destructive methods become important allies in building inspections.

**Keywords:** non-destructive methods; structural assessment; inspection; defect detection; reinforced concrete

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                             |                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Figura 1 – Fluxograma para revisão bibliográfica sobre os métodos de avaliação estrutural não-destrutivos. ....                             | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| Figura 2 - Esclerômetro de Schmidt. ....                                                                                                    | 18                                   |
| Figura 3 - Esclerômetro de Schmidt em posição de ensaio. ....                                                                               | 19                                   |
| Figura 4 - Ábaco de correlação para o esclerômetro de Schmidt. ....                                                                         | 20                                   |
| Figura 5 - Calibração do esclerômetro na bigorna. ....                                                                                      | 21                                   |
| Figura 6 - Ábaco de correlação para o esclerômetro de Schmidt. ....                                                                         | 22                                   |
| Figura 7 - Área de ensaio e pontos de impacto ....                                                                                          | 22                                   |
| Figura 8 - Ensaio de esclerometria realizado em pilar. ....                                                                                 | 23                                   |
| Figura 9 - Arranjo mostrando o posicionamento do pacômetro sobre a superfície. ....                                                         | 24                                   |
| Figura 10 - Operador manuseando o pacômetro. ....                                                                                           | 24                                   |
| Figura 11 - a) Equipamento de ultrassom. b) Equipamento durante o uso. ....                                                                 | 26                                   |
| Figura 12 - Posicionamento dos transdutores em transmissão direta. ....                                                                     | 28                                   |
| Figura 13 - Posicionamento dos transdutores em transmissão semidireta. ....                                                                 | 28                                   |
| Figura 14 - Arranjo para transmissão indireta. ....                                                                                         | 29                                   |
| Figura 15 - Tomógrafo A1040 - MIRA® ....                                                                                                    | 31                                   |
| Figura 16 - Aplicação de tomografia ultrassônica em uma viga de concreto armado. ....                                                       | 31                                   |
| Figura 17 - Representação dos resultados de uma tomografia ultrassônica. ....                                                               | 32                                   |
| Figura 18 - Resultados da tomografia ultrassônica para a vista superior da laje. ....                                                       | 32                                   |
| Figura 19 - Identificação dos alvéolos por meio do corte transversal. ....                                                                  | 33                                   |
| Figura 20 - Ensaio de GPR na cúpula do Theatro do Rio de Janeiro. ....                                                                      | 35                                   |
| Figura 21 - Seção transversal da cúpula e seu radargrama. ....                                                                              | 35                                   |
| Figura 22 – Aplicação do GPR em viaduto. ....                                                                                               | 36                                   |
| Figura 23 - Processamento da seção de radar da parte inferior de um viaduto. ....                                                           | 36                                   |
| Figura 24 - Imagens fornecidas pela câmera termal que mostram a barra de aço em posição horizontal. ....                                    | 38                                   |
| Figura 25 - Câmera termográfica FLIR E-60 ....                                                                                              | 38                                   |
| Figura 26 - Poste a) com corrosão de armaduras; b) termograma indicando a presença de corrosão pela diferença de temperaturas. ....         | 39                                   |
| Figura 27 - Termograma ilustrando a frente de um imóvel. ....                                                                               | 39                                   |
| Figura 28 - Termograma da superfície de uma alvenaria evidenciando a presença de infiltração. ....                                          | 40                                   |
| Figura 29 - a) Método da pacometria indicando a espessura do cobrimento; b) Marcação e interligação dos pontos de detecção da armadura .... | 41                                   |
| Figura 30 - Ensaio de esclerometria na face inferior de uma laje ....                                                                       | 41                                   |
| Figura 31 - Armadura pelo método a) da tomografia; b) do GPR. ....                                                                          | 43                                   |
| Figura 32 - Utilização de tomografia ultrassônica para inspeção de uma fissura numa viga. ....                                              | 43                                   |
| Figura 33 - Resultados dos tomogramas a) antes da recuperação da fissura; b) após a injeção de epóxi na fissura. ....                       | 44                                   |
| Figura 34 - Termograma referente a corpos de prova com corrosão de armaduras. ....                                                          | 45                                   |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 35 - Resultados das velocidades do ensaio de ultrassom para os corpos de prova indicados..... | 45 |
| Figura 36 - Fluxograma para os métodos não destrutivos.....                                          | 46 |

## **LISTA DE QUADROS**

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Métodos não destrutivos ..... | 42 |
|------------------------------------------|----|

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|      |                                            |
|------|--------------------------------------------|
| ABNT | ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS   |
| ASTM | AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS |
| BS   | BRITISH STANDARDS                          |
| GDE  | GRAU DE DETERIORAÇÃO                       |
| NBR  | NORMA BRASILEIRA                           |
| UnB  | UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA                   |

## SUMÁRIO

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                     | <b>13</b> |
| <b>2 OBJETIVOS .....</b>                                      | <b>16</b> |
| <b>2.1 Objetivo Geral .....</b>                               | <b>16</b> |
| <b>2.2 Objetivos Específicos.....</b>                         | <b>16</b> |
| <b>3 METODOLOGIA .....</b>                                    | <b>17</b> |
| <b>4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO DESTRUTIVOS.....</b> | <b>16</b> |
| <b>4.1 Esclerometria .....</b>                                | <b>16</b> |
| <b>2.2 Pacometria.....</b>                                    | <b>22</b> |
| <b>4.3 Ensaio de Ultrassonografia .....</b>                   | <b>24</b> |
| <b>4.4 Ensaio de Tomografia .....</b>                         | <b>29</b> |
| <b>4.5 Ensaio de GPR .....</b>                                | <b>32</b> |
| <b>4.6 Ensaio de Termografia.....</b>                         | <b>36</b> |
| <b>5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS ESTUDADOS .....</b>      | <b>39</b> |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                           | <b>47</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                       | <b>48</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da construção civil sucede desde as primeiras civilizações e, historicamente, essa indústria evoluiu visando, apenas, a conclusão de obras, sem preocupar-se devidamente com o controle e manutenção das estruturas finalizadas (MORAIS FILHO; BORGES, 2019). Atualmente, sabe-se que essa falta de inspeção pode facilitar o aparecimento e o agravamento de problemas construtivos, conhecidos na literatura como manifestações patológicas (SANT'ANA; POZNYAKOV, 2020).

Por conta disso, tornam-se relevantes os estudos destinados à conservação e durabilidade das estruturas, pois estas estão sujeitas a diversos fatores que podem contribuir com a diminuição de sua vida útil. A avaliação da qualidade do concreto estrutural está associada à resistência a compressão, que é uma propriedade vinculada ao dimensionamento das estruturas, e mostra um valor no qual o concreto pode alcançar em seu estado de serviço, qualificando-o em termos de segurança e estabilidade estrutural (SOEIRO et al., 2018)

A avaliação e o controle da resistência à compressão do concreto são considerados partes constituintes do processo construtivo, sendo fundamental que a resistência da estrutura seja realmente determinada e avaliada (LIMA et al., 2018). Para que a integridade e o funcionamento dessa estrutura sejam garantidos, ela precisa de constantes inspeções para que possa desempenhar corretamente de acordo com o seu projeto (FONSECA et al., 2021).

Tendo em vista a quantidade de informações disponíveis atualmente, juntamente com uma maior acessibilidade, a demanda de um bom controle de qualidade do concreto tornou-se uma questão fundamental (LORENZI et al., 2019). O acompanhamento do desempenho das estruturas de concreto armado pode ser realizado com o auxílio de métodos específicos, que podem ser destrutivos ou não destrutivos, esses métodos são utilizados para determinação da resistência do concreto “in loco” (CRISTOFARO; VITI; TANGANELLI, 2020).

Os métodos destrutivos são utilizados pois, através deles, pode-se obter informações relacionadas à qualidade do concreto, como o teor de cloretos, homogeneidade, aderência das armaduras, entre outras; porém, seu uso acaba danificando a estrutura ou parte dela (ESTACEHEN, 2020). O ensaio destrutivo mais utilizado diz respeito à extração de peças cilíndricas de concreto que são comumente conhecidas por testemunhos, ele é bastante aplicado pois opera com uma amostra da própria estrutura, o que garante um resultado confiável (GOMES, 2020). As dimensões, formas, tipo, tempo de cura e forma de moldagem são padronizados pelas normas ABNT NBR 5738 (2015) e ABNT NBR 5739 (2018). A resistência

à compressão do concreto estudado é obtida a partir do rompimento do corpo de prova pela prensa (ALVES, 2017).

Os ensaios não destrutivos compreendem técnicas mais modernas, que garantem a diminuição da quantidade de resíduos que é gerada no processo de análise estrutural, reduzindo o impacto da indústria da construção civil no meio ambiente (NEUMANN; NEUMANN, 2019).

Os principais ensaios não destrutivos no Brasil são: pacometria, esclerometria, ultrassonografia, tomografia, termografia e radares. O ensaio de esclerometria é um dos mais conhecidos pois possui norma brasileira para sua regulamentação, a NBR 7584 (NASCIMENTO et al.; 2021), este ensaio, por exemplo, estima a resistência à compressão a partir da dureza superficial, além de caracterizar a homogeneidade do concreto endurecido (ABNT NBR 7584:2012).

Existem diversos fatores responsáveis ou que podem contribuir com o mau desempenho de uma estrutura, isso varia desde erros na fase de projeto, na execução, e até na utilização. Então, os métodos de avaliação estrutural têm o propósito de reduzir as chances de ocorrer acidentes provenientes desses fatores, contudo, cada método possui detalhes e particularidades, como sistema, precisão, equipamentos, execução, custo e danos, que indicarão se as técnicas podem ser utilizadas sozinhas ou em conjunto, dependendo de cada caso e também da necessidade da inspeção (GOMES, 2020).

É muito comum uma edificação ser executada sem um projeto estrutural, ou, muitas vezes, até existe um projeto estrutural referente à construção, mas esse encontra-se inacessível, seja por descuido dos encarregados, ou até mesmo pela idade do prédio.

O estudo sobre os métodos não destrutivos para avaliação estrutural, então, se torna um aliado frente aos problemas relacionados a reforços em estruturas ou à falta de projeto, pois estes são capazes de obter informações cruciais apenas com o auxílio de alguns equipamentos, cálculos e correlações. Além disso, é um tema que acompanha o desenvolvimento tecnológico, pois utiliza técnicas novas e, muitas vezes, proveniente de outras áreas como a medicina.

Com a finalidade de resolver essas questões e contribuir com o estudo dos métodos não destrutivos para avaliação estrutural, esta pesquisa se justifica e está inserida na linha de pesquisa “Patologia, Recuperação e Manutenção de Estruturas”, proposta pela área de Estruturas do Curso de Engenharia Civil (UFERSA/Mossoró), na qual vêm realizando pesquisas com temas afins, dos quais pode-se destacar: Costa Júnior (2013); Oliveira (2013); Nolasco (2013); Mesquita (2014); Vasconcelos (2014); Mendonça (2014); Lima (2014); Pinheiro (2015); e outros.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma pesquisa de caráter bibliográfico, no qual serão apresentados diferentes métodos de avaliação estrutural não destrutivos, contribuindo com o entendimento desses ensaios na análise do comportamento, resistência do concreto em seu estado endurecido, existência de infiltração, detecção de armaduras e de problemas associados ao concreto.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos, pretende-se:

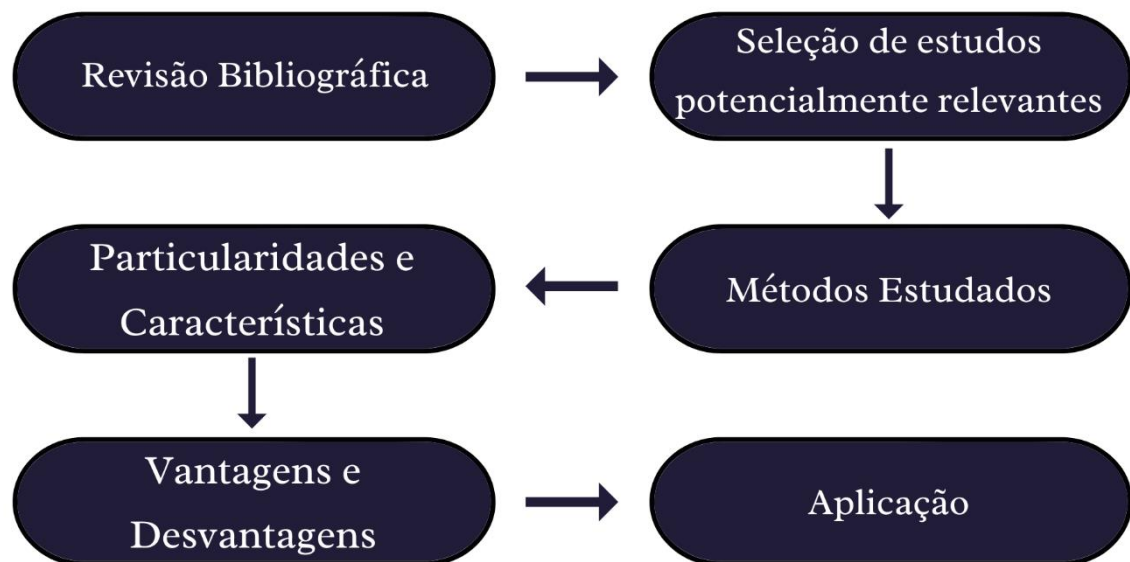
- Avaliar a influência dos métodos não destrutivos na inspeção predial;
- Identificar as particularidades dos métodos não destrutivos estudados;
- Comparar e descrever esses métodos de acordo com suas possíveis aplicações e finalidades;
- Reunir informações importantes para a continuidade de pesquisas nessa área.

### 3 METODOLOGIA

Para este trabalho, serão pesquisados artigos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado sobre os métodos de avaliação estrutural não destrutivos com o intuito de realizar uma revisão bibliográfica.

Dessa forma, serão descritos os principais métodos estudados, assim como a apresentação de suas particularidades, vantagens, desvantagens, com a finalidade de compreender e discutir os ensaios e as eventuais falhas detectadas por eles. Por fim, essas informações serão utilizadas para o entendimento da aplicabilidade de cada técnica nas diferentes situações previstas (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma para revisão bibliográfica sobre os métodos de avaliação estrutural não-destrutivos.



Fonte: Autoria própria (2022)

## 4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO DESTRUTIVOS

Ao ser submetida à uma inspeção, uma peça de concreto armado, na maioria dos casos, passa por processos agressivos que terminam lesionando uma parte de sua estrutura (VALIN JR et al., 2017). Esses danos são causados por conta do método de obtenção dos valores de resistência à compressão do concreto, que são essenciais para avaliar a segurança do material, sendo, portanto, uma de suas propriedades principais (BANDEIRA et al., 2021).

Em virtude da importância desses dados, é fundamental a utilização de métodos que sejam capazes de entregar os resultados, garantindo, ainda, que a estrutura não seja danificada (NUNES et al., 2021). Além disso, a avaliação do concreto pode ser feita “*in loco*”, ou seja, no próprio local, e em diferentes idades, o que aprimora os resultados obtidos a longo prazo, já que os ensaios não destrutivos mostram a resistência da peça em seu estado de serviço (ESTACECHEN, 2020).

Normalmente, os ensaios destrutivos são mais caros e demorados do que os métodos não destrutivos, além destes oferecerem dados mais amplos acerca das propriedades do material (POORARBABI; GHASEMI; MOGHADDAM, 2020). Além disso, os ensaios não destrutivos ainda podem ser utilizados tanto em estruturas mais antigas, na avaliação da integridade estrutural, por exemplo, quanto nas mais recentes, como no controle de qualidade dos materiais de construção envolvidos (ASTERIS; MOKOS, 2020).

### 4.1 Esclerometria

O ensaio de esclerometria, também conhecido como método do esclerômetro de Schmidt, é um dos métodos não destrutivos mais antigos, mas, apesar disso, é muito utilizado atualmente (VIEIRA, 2021). O processo consiste no tempo de resposta de repercussão de uma massa no interior do equipamento e é capaz de mensurar a dureza superficial correlacionada com a resistência à compressão do concreto (FONSECA et al., 2021).

O ensaio do esclerômetro é normatizado pela ABNT NBR 7584:2012 que trata sobre a qualidade do concreto em seu estado endurecido e a avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. A norma exige que a superfície examinada seja limpa, regular, e plana, evitando, assim, resultados heterogêneos.

De acordo com o item 3.1.1 da ABNT NBR 7584 (2012), existem quatro tipos de esclerômetros, em função das características da estrutura de concreto e o grau de precisão. Com

energia de percussão de 30 N.m, 2,25 N.m, 0,90 N.m e 0,75 N.m, indicados, respectivamente, para obras de grandes volumes de concreto, obras comuns com casos normais de construção, obras com concreto de baixa resistência e para concretos mais sensíveis com pequenas dimensões.

Para o funcionamento, o operador comprime o esclerômetro contra a peça de concreto, tensionando a mola em seu interior, que, após liberada, causará um impacto na superfície da peça, onde parte da energia será transmitida para o concreto, e outra parcela retorna para o sistema massa-mola, o que causa um repique no equipamento (VIEIRA, 2021). O concreto absorve mais energia, conforme menor for sua dureza, ou seja, quanto maior a dureza do concreto, mais energia retornará ao sistema, acarretando em maiores repiques. Os valores de repique serão utilizados para a determinação matemática do índice esclerométrico. A Figura 2 mostra o esclerômetro de Schmidt da empresa Proceq®, e a Figura 3 apresenta outro modelo de esclerômetro posicionado contra a superfície de uma estrutura no momento do ensaio (MARVILAR et al., 2019).

Figura 2 - Esclerômetro de Schmidt.



Fonte: Paiva (2017)

Figura 3 - Esclerômetro de Schmidt em posição de ensaio.



Fonte: Silva (2019)

O objetivo do processo é determinar o índice esclerométrico (IE), valor que é fornecido diretamente pelo aparelho de medição (item 3.1.2, ABNT NBR 7584:2012) e corresponde ao número de recuo do martelo, a cada impacto do esclerômetro na bigorna de aço. A Equação (1) determina o índice esclerométrico em função dos deslocamentos antes do impacto e após o repique (FONSECA et al., 2021).

$$IE = \frac{\Delta_r}{\Delta_i} = \left( \frac{\delta_r - \delta_0}{\delta_i - \delta_0} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$\Delta_r$  = deslocamento após o repique;

$\Delta_i$  = deslocamento antes do impacto;

$\delta_r$  = alongamento após o repique;

$\delta_i$  = alongamento antes do impacto;

$\delta_0$  = alongamento inicial do êmbolo do esclerômetro.

A correlação entre o índice esclerométrico e a resistência a compressão do concreto é feita por meio de um ábaco (Figura 4) fornecido pelo próprio fabricante do equipamento, utilizando valores como o índice encontrado e o ângulo de ensaio (VIEIRA, 2021). O ângulo de ensaio é indicado pelas linhas de tendência presentes no ábaco (0°, 45° e 90°, tanto no sentido horário, quanto no anti-horário), além dos tradicionais eixos x e y, onde o primeiro refere-se

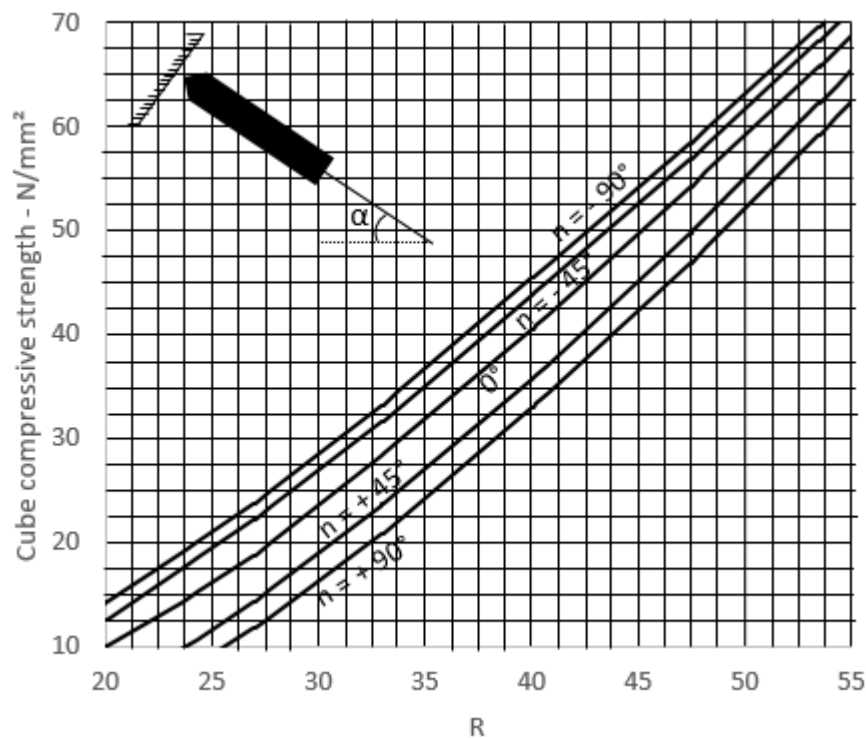
aos valores dos índices esclerométricos, enquanto o eixo y expressa os valores de resistência superficial de reflexão, como mostra a Figura 6 (SILVA, 2019).

Antes do uso do esclerômetro, é necessário delimitar a área em que será realizada o ensaio e, nesta área, no mínimo dezesseis novas subdivisões, equivalentes aos impactos do equipamento. No item 4.3 da ABNT NBR:7584 (2012), recomenda-se desenhar um quadrado na superfície da estrutura, e aplicar o esclerômetro uma vez em cada uma das dezesseis subdivisões, como mostra a Figura 7.

Cada leitura é marcada assim que houver o impacto no interior do esclerômetro, que, em seu visor, informará o valor que deverá ser registrado para posterior aplicação. As dezesseis leituras servem para que seja estimado um valor de resistência mais próximo da resistência real da peça de concreto (ABNT NBR 7584, 2012).

Segundo o item 5 da ABNT NBR 7584 (2012), o resultado do ensaio será alcançado por meio do cálculo da média aritmética dos dezesseis valores de índices esclerométricos registrados. Além disso, se algum valor se afastar em mais de 10% da média obtida, este deverá ser desconsiderado.

Figura 4 - Ábaco de correlação para o esclerômetro de Schmidt.



Fonte: Proceq (2017, p. 32)

De acordo com Fontana (2015), é necessário que o esclerômetro seja calibrado para que o ensaio tenha uma acurácia melhor, ou seja, os resultados tenham o máximo de precisão. Normalmente o equipamento de reflexão é calibrado na bigorna (Figura 5), onde, por meio da leitura de dez golpes é obtido um índice esclerométrico que será utilizado para corrigir o índice exibido no esclerômetro. A Equação (2) mostra o coeficiente de correlação entre o índice de impacto e o índice esclerométrico. A Equação (3) mostra a obtenção do índice esclerométrico efetivo a partir do coeficiente calculado e da média dos índices esclerométricos.

$$k = \frac{n \cdot IE_{nom}}{\sum_{i=1}^n IE_i} \quad \text{Equação (2)}$$

$$IE_{ef} = k \cdot IE \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$k$  = coeficiente de correlação do índice de impacto;

$n$  = número de impactos na bigorna de aço;

$IE_{nom}$  = Índice esclerométrico nominal, informado pelo fabricante;

$IE_i$  = Índice esclerométrico obtido inicialmente;

$IE_{ef}$  = Índice esclerométrico médio efetivo;

$IE$  = Índice esclerométrico médio.

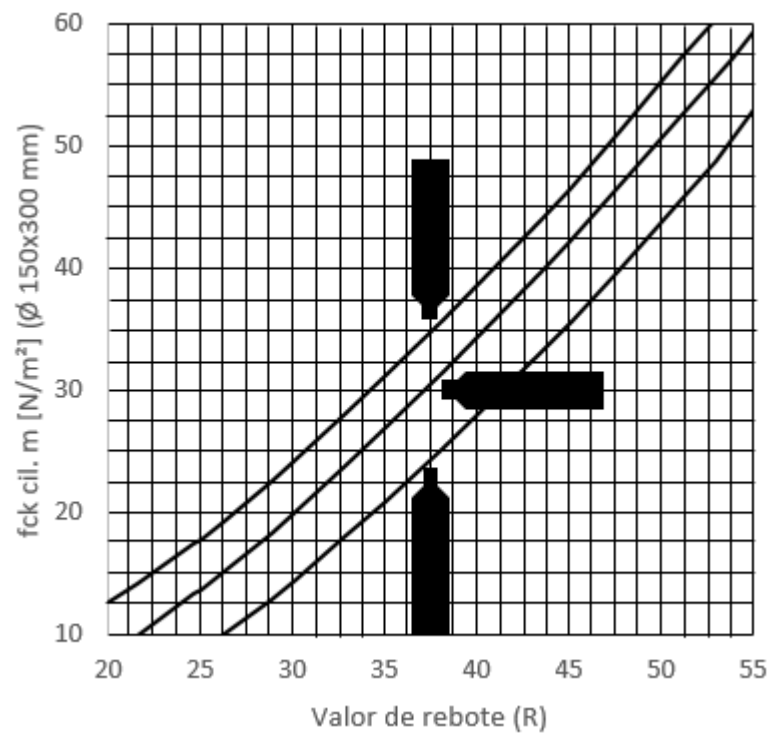
Figura 5 - Calibração do esclerômetro na bigorna.



Fonte: Almeida Júnior (2019)

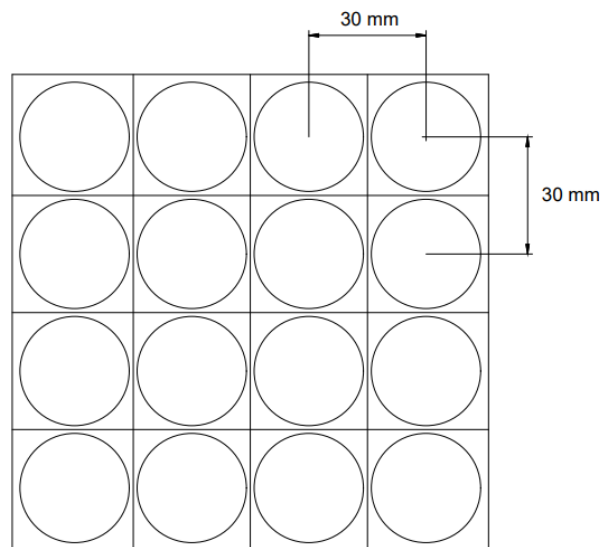
Após a obtenção do coeficiente de correlação do índice de impacto, é possível a realização do ensaio de forma segura, garantindo que o resultado do índice esclerométrico efetivo será mais preciso (FONTANA, 2015).

Figura 6 - Ábaco de correlação para o esclerômetro de Schmidt.



Fonte: Proceq (2017, p. 29)

Figura 7 - Área de ensaio e pontos de impacto



16 impactos

Fonte: ABNT NBR:7584 (2012, p. 4)

Morais Filho e Borges (2019) realizaram um estudo no qual um pilar de uma obra (Figura 8) foi submetido a dois tipos de ensaios: ensaio de compressão axial (método destrutivo) e ensaio de esclerometria (método não destrutivo). Por meio dos resultados obtidos após a aplicação de cada método, concluiu-se que, em comparação com a esclerometria, o ensaio de compressão axial apresentou resultados inferiores em relação à resistência à compressão, com o decorrer da idade de rompimento do concreto.

Figura 8 - Ensaio de esclerometria realizado em pilar.



Fonte: Moraes Filho; Borges (2019)

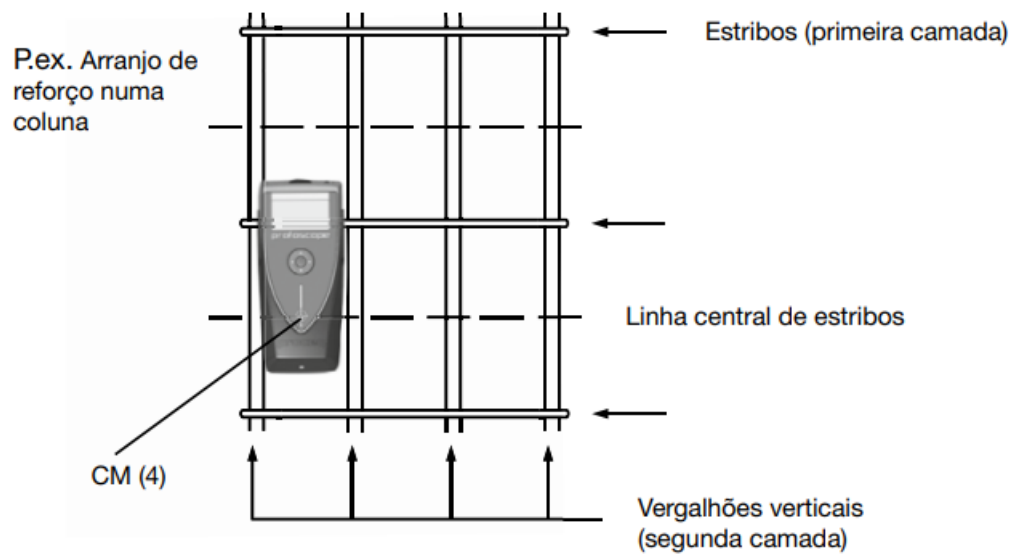
#### 4.2 Pacometria

O ensaio de pacometria é realizado por meio do pacômetro, aparelho capaz de verificar o posicionamento das armaduras através de ondas eletromagnéticas de baixa frequência (SOEIRO, 2018). Esse método pode ser usado para determinar, também, as dimensões das barras de aço, seus espaçamentos e, ainda, a espessura do cobrimento do concreto (ALVES; ABREU, 2021).

Este método fundamenta-se na detecção magnética de armadura, pois o aço presente no interior do concreto afeta o campo magnético do eletroímã, emitindo um alerta sonoro e visual na superfície do visor do dispositivo sempre que o aparelho detectar a barra de aço (PEDROZA, 2018).

Para utilizar o pacômetro, é necessário ter uma noção básica de localização das armaduras, pois para uma melhor detecção, é indicado realizar uma movimentação no sentido longitudinal das barras, pressionando o equipamento na superfície até o final do procedimento, sendo possível, portanto, a localização e orientação das armaduras. As Figuras 9 e 10 mostram, respectivamente, um esquema da técnica da pacometria e um operador manuseando o equipamento (PEDROZA, 2018; SANTOS, 2021).

Figura 9 - Arranjo mostrando o posicionamento do pacômetro sobre a superfície.



Fonte: Proceq (2014, p. 17)

Figura 10 - Operador manuseando o pacômetro.



Fonte: Proceq (2017, p. 4)

As leituras são realizadas quando o equipamento é deslizado ao longo da peça e, no momento em que emitir o sinal, significa que o pacômetro encontrou uma barra, então o operador faz anotações na própria superfície da estrutura, registrando os dados necessários para a execução do ensaio, como diâmetro, espaçamento, e quantidade de barras. (FONSECA et al., 2021).

De acordo com Pedroza (2018), em casos onde a densidade de armadura é muito alta, o pacômetro não oferece resultados satisfatórios, pois o equipamento tem dificuldade de identificar barras muito próximas ou sobrepostas. Ainda assim, os resultados do ensaio de pacometria são úteis em estudos de avaliação e manutenção de estruturas de concreto, além de auxiliar na execução de outros ensaios (ALVES; ABREU, 2021).

Diferentemente do método do esclerômetro, o ensaio de pacometria não é regulamentado por normas brasileiras, embora exista o código ACI 228 2R-98, que apresenta uma revisão sobre os métodos não destrutivos para avaliação das condições das armaduras do concreto e sua aplicabilidade (ACI 228 2R-98, 2004).

#### **4.3 Ensaio de Ultrassonografia**

O ensaio de ultrassom é um método não destrutivo de alta sensibilidade que permite avaliar as propriedades mecânicas do concreto e identificar eventuais falhas, descontinuidades e manifestações patológicas no material (CARNIEL, 2021). Esse método fundamenta-se na propagação de ondas ultrassônicas entre os transdutores emissor e receptor, e a velocidade que essa onda se propaga no interior do concreto, permitindo, assim, a obtenção de dados como módulo de elasticidade, massa específica, além de detectar anomalias no material, como trincas, fissuras, e corrosão de armaduras (ROCHA; PÓVOAS, 2019).

O ensaio ultrassônico é normatizado pela ABNT NBR 8802:2019, que também diz respeito ao concreto endurecido e à determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. O objetivo do ensaio é obter a velocidade de propagação da onda, que pode ser entendida como a distância que a onda percorre em um determinado tempo, seguindo as particularidades de cada material, já que depende das características de cada meio (PAIVA, 2017).

Além da norma brasileira, o ensaio de ultrassom também é regulamentado pelas normas inglesas ASTM C597-09 e BS 1881: Part 203-86. A Figura 11 apresenta um aparelho de ultrassom do modelo PunditLab<sup>+</sup> da Proceq®.

Figura 11 - a) Equipamento de ultrassom. b) Equipamento durante o uso.



a)

b)

Fonte: Paiva (2017)

Para a execução do ensaio, de acordo com o item 5 da ABNT NBR 8802 (2019), os transdutores podem ser posicionados na face do concreto de três maneiras distintas: transmissão direta, transmissão indireta e transmissão semidireta; que representam, respectivamente, os transdutores em faces opostas, os transdutores na mesma face e os transdutores em faces adjacentes.

O funcionamento do aparelho de ultrassom fundamenta-se na propagação de uma onda no interior do concreto pelo transdutor emissor, que será captada pelo transdutor receptor, percorrendo uma distância pré-estabelecida. O tempo em que a onda leva para atravessar o concreto será mostrado no visor do equipamento (PAIVA, 2017)

De acordo com a ASTM C597 (2009), a velocidade de propagação das ondas em uma massa de concreto está associada tanto às suas propriedades elásticas, quanto à densidade do meio, e pode ser obtida por meio da Equação (4), que relaciona a velocidade com o módulo de elasticidade dinâmico, o coeficiente de Poisson

$$V = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \mu)}{\rho \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$V$  = velocidade de propagação das ondas (m/s);

$E$  = módulo de elasticidade dinâmico (N/m<sup>2</sup>);

$\mu$  = coeficiente de Poisson dinâmico;

$\rho$  = peso específico (kg/m<sup>3</sup>).

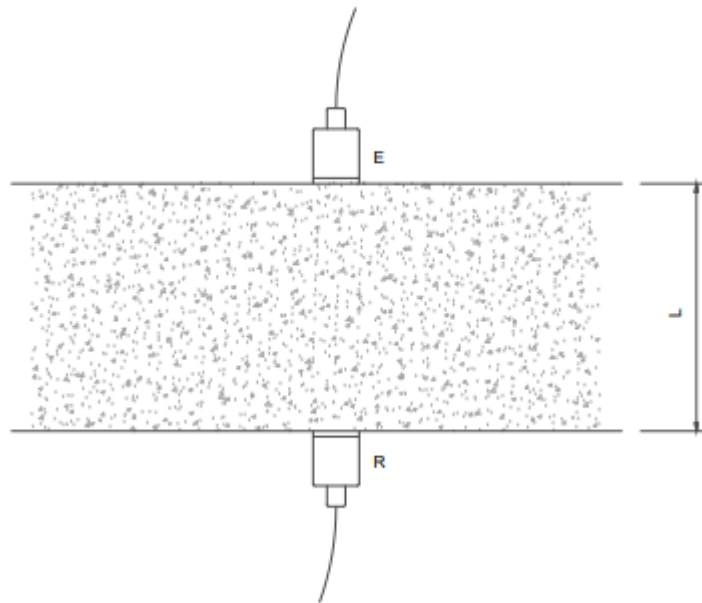
O módulo de elasticidade dinâmico é utilizado, na maioria das vezes, em testes de durabilidade do concreto, para avaliação de estruturas que estão submetidas a carregamentos dinâmicos, e a vantagem dessa técnica é a possibilidade de obtenção do módulo de elasticidade de estruturas existentes (SOUZA, 2018). De acordo com a ACI CT (2018), o módulo de elasticidade dinâmico é um parâmetro obtido a partir de variáveis como geometria, dimensões, peso e frequência fundamental de vibração. Ainda não existe no Brasil uma norma própria para determinar o módulo de elasticidade dinâmico do concreto, dessa forma, a norma mais utilizada para este ensaio é a ASTM E1876-09 (PACHECO et al, 2014; THOMAZ, 2020).

De acordo com Silva (2021), o coeficiente de Poisson é um parâmetro que depende exclusivamente das características do material, e pode ser entendido como um quociente entre a deformação transversal e a deformação longitudinal. Na equação (5) é mostrada a razão entre as deformações.

$$\nu = - \frac{\varepsilon_{transversal}}{\varepsilon_{longitudinal}} \quad \text{Equação (5)}$$

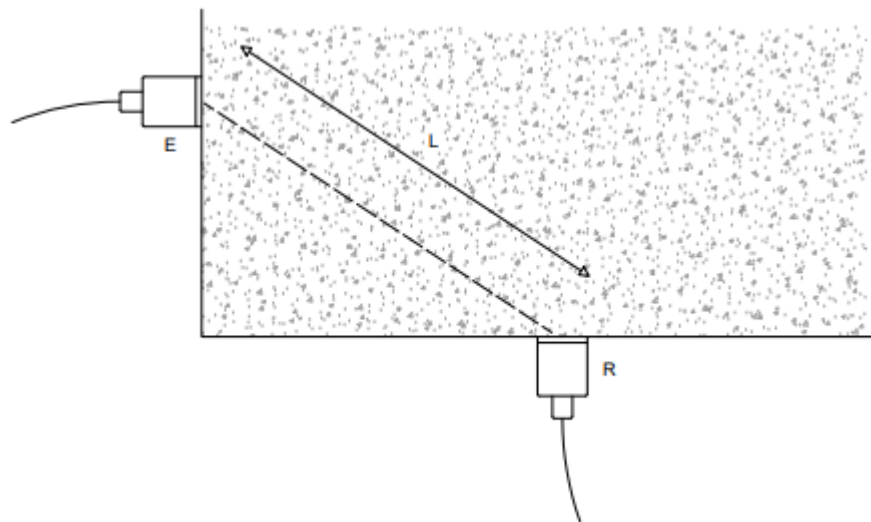
De acordo com a BS1881: Part 203-86 (2004), embora seja possível detectar pulsos que tenham percorrido qualquer direção no concreto, os transdutores receptores identificam primeiramente os impulsos longitudinais, e detectam a energia máxima quando formam um ângulo reto com a face do transmissor, ou seja, quando estão em faces opostas. Assim, segundo Paiva (2017), o tipo de medição será determinado de acordo com a posição relativa entre os dois transdutores, e estas podem ser: transmissão direta, transmissão indireta, ou transmissão semidireta, como mostram, respectivamente, as Figuras 12, 13 e 14.

Figura 12 - Posicionamento dos transdutores em transmissão direta.



Fonte: ABNT NBR 8802 (2019, p. 6)

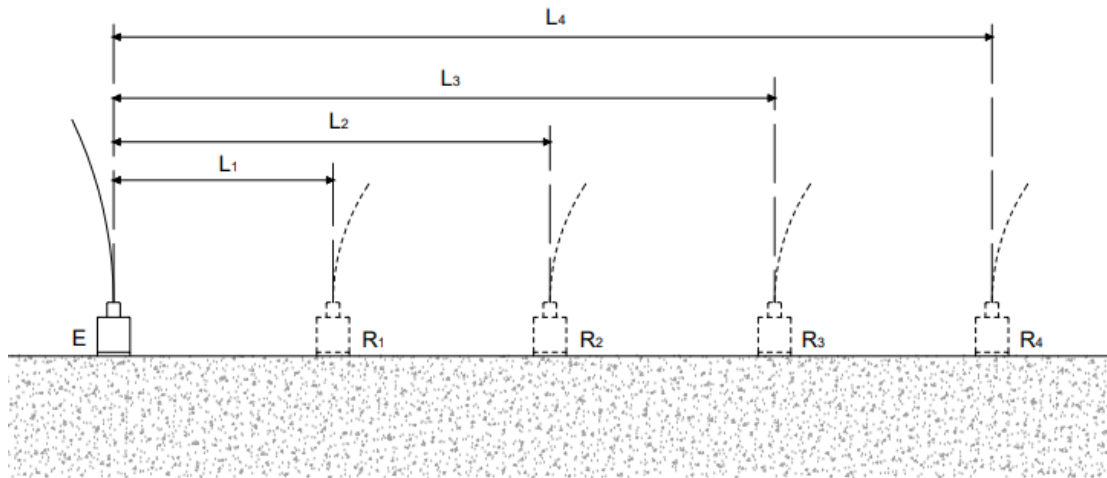
Figura 13 - Posicionamento dos transdutores em transmissão semidireta.



Fonte: ABNT NBR 8802 (2019, p. 8)

De acordo com o item B.3 do Anexo B da ABNT NBR 8802 (2019), a transmissão do tipo semidireta só deve ser utilizada em casos onde não seja possível o acesso às duas faces opostas da estrutura, enquanto o arranjo do tipo indireto (Figura 14) é usado quando se tem acesso a apenas uma das faces do elemento de concreto, atentando-se à distância entre os transdutores, já que estes encontram-se na mesma face.

Figura 14 - Arranjo para transmissão indireta.



Fonte: ABNT NBR 8802 (2019, p. 7)

Os principais fatores que podem influenciar nos resultados do ensaio de ultrassom são listados no item C.1 do Anexo C da ABNT NBR 8802 (2019), que são: a distância entre as superfícies de contato dos transdutores; presença de armadura na direção de propagação da onda; densidade do concreto, traço e condições de concretagem; características dos agregados; tipo de cimento e grau de hidratação; direção, forma e tamanho da peça ensaiada; tipo de adensamento do concreto; idade, umidade e temperatura do concreto.

De acordo com Paiva (2017), os fatores que podem influenciar na velocidade do pulso ultrassônico podem se dividir em dois grupos, de acordo com a dependência das propriedades do concreto. Assim, os fatores que estão ligados às propriedades do concreto são: relação água/cimento, que pode alterar a porosidade do concreto, alterando, também, a velocidade do pulso; agregados, visto que a velocidade de propagação é maior nestes do que na pasta; e idade do concreto. Enquanto os fatores que não dependem das propriedades do concreto são: teor de umidade, visto que a velocidade de propagação é maior em objetos úmidos do que em secos; temperatura; tamanho do percurso, pois a velocidade não é influenciada pela distância do percurso, a menos que o concreto seja muito heterogêneo, o que pode afetar a velocidade da onda; tensão aplicada, pois, quanto maior for, menor a velocidade do pulso no concreto; armadura, pois a velocidade de propagação no aço é alta, o que pode gerar conflitos no resultado (PAIVA, 2017).

#### 4.4 Ensaio de Tomografia

O método da tomografia tem como objetivo mapear uma seção interna do concreto a partir de múltiplas projeções de resultados de ensaios de ultrassom, tornando possível um aprimoramento considerável dos resultados obtidos através dos ensaios convencionais (RAMIREZ, 2015). O tomógrafo é um equipamento preparado para identificar falhas no concreto. Também conhecida como tomografia ultrassônica, este ensaio utiliza ondas de cisalhamento, permitindo um conhecimento do interior do material, facilitando o controle de qualidade e os reparos, já que essa técnica também pode gerar imagens tridimensionais tomográficas (REGINATTO et al., 2016)

Através deste método, é possível determinar a quantidade, a posição e as dimensões das barras de aço no interior do concreto com bastante precisão, além da identificação de eventuais manifestações patológicas, por meio das imagens geradas no ensaio (SANDES, 2020). Segundo Hoegh e Khazanovich (2012), os testes com tomografia ultrassônica utilizam ondas de alta frequência, superiores a 20.000 Hz, geradas pelos transdutores que percorrem o interior do material e são refletidas de volta à superfície no momento em que encontram uma mudança na impedância, significando que são capazes de detectar defeitos escondidos através da análise das ondas recebidas na superfície. A Figura 15 mostra um tomógrafo do modelo A1040 da marca MIRA®.

O ensaio de tomografia permite a realização de uma avaliação da qualidade das estruturas de concreto armado, pois é capaz de examinar suas propriedades e encontrar possíveis defeitos, como falhas de concretagem, fissuras, heterogeneidade, além de poder medir as espessuras dos objetos analisados em um limite que chega a até dois metros de comprimento, ou seja, através deste ensaio é possível inspecionar e gerar resultados bem detalhados sobre, por exemplo, elementos como barras de armaduras no interior de estruturas de concreto (LORENZI et al., 2016).

A tomografia ultrassônica é um método que agrega diversas condições e parâmetros significativos que, embora complexo, proporciona uma simples identificação das características físicas, morfológicas e dos defeitos do concreto através da reconstrução das imagens, que são geradas em escalas de cores que simbolizam os elementos presentes no interior do material (RAMIREZ, 2015).

Figura 15 - Tomógrafo A1040 - MIRA®



Fonte: LORENZI et al. (2016)

Aggelis e Shiotani (2007) realizaram uma análise por meio de uma tomografia ultrassônica em uma viga de concreto armado que apresentava uma fissura. Utilizando o princípio de propagação de ondas ultrassônicas, foram posicionados cinco transdutores na superfície da viga estudada, tanto em sua parte superior, quanto inferior. Os resultados dos tomogramas permitiram a identificação de uma fissura transversal na viga estudada. A Figura 16 mostra a aplicação da técnica na superfície da viga.

Figura 16 - Aplicação de tomografia ultrassônica em uma viga de concreto armado.



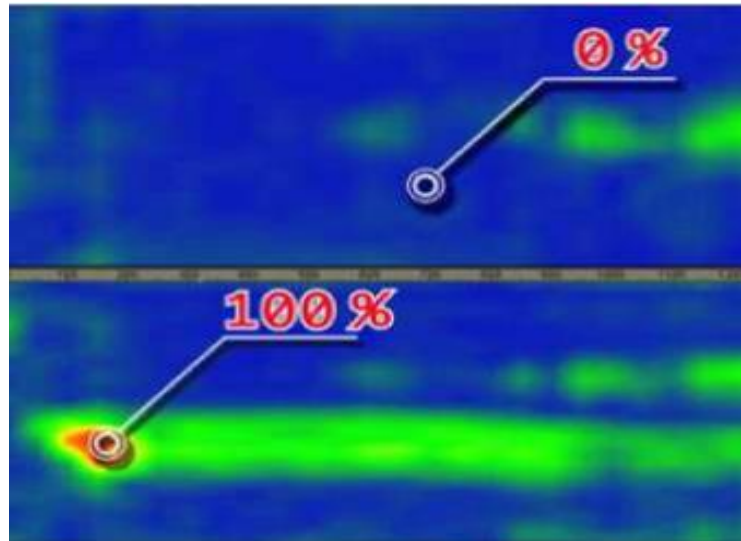
a)

b)

Fonte: AGGELIS; SHIOTANI (2007)

Lorenzi et al. (2013) utilizaram um tomógrafo para analisar o interior de uma laje constituída por elementos alveolares pré-fabricados, usando uma frequência de 70 kHz e 3.040 m/s de velocidade de pulso. A Figura 17 ilustra a representação dos resultados de uma tomografia ultrassônica, caracterizando a cor azul como uma região com 0% de vazios, a cor vermelha como uma região com 100% de vazios, e as demais cores decorrem da interpolação dos dois valores extremos.

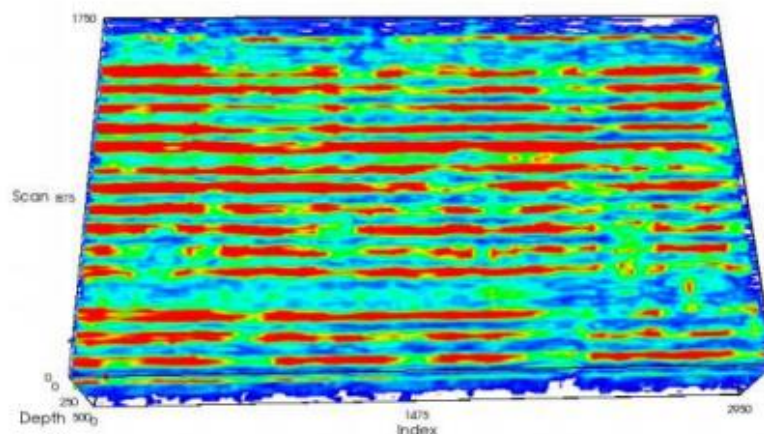
Figura 17 - Representação dos resultados de uma tomografia ultrassônica.



Fonte: Lorenzi et al. (2013)

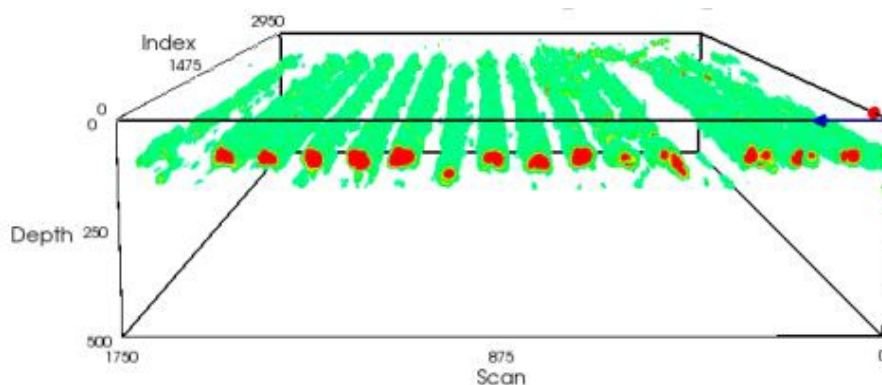
O tomógrafo é um equipamento ideal quando o objetivo é a geração de imagens tridimensionais do interior de estruturas, tornando possível uma análise completa e minuciosa dos elementos presentes nas imagens representadas (LORENZI et al., 2013). As Figuras 18 e 19 representam, respectivamente, a vista superior da tomografia da laje alveolar, e um corte transversal da mesma laje, obtidas, pelos autores, por meio do processamento da tomografia ultrassônica.

Figura 18 - Resultados da tomografia ultrassônica para a vista superior da laje.



Fonte: Lorenzi et al. (2013)

Figura 19 - Identificação dos alvéolos por meio do corte transversal.



Fonte: Lorenzi et al. (2013)

Dessa forma, foi possível observar com nitidez a posição e localização dos alvéolos da laje, identificados pela cor vermelha, além dos seus espaçamentos, formas e distâncias até a face superior (LORENZI et al., 2013).

#### 4.5 Ensaio de GPR

Também conhecido como Georadar, a sigla GPR significa *Ground Penetrating Radar*, ou seja, Radar de Penetração em Solos, que, inicialmente, era uma tecnologia usada apenas em geofísica, geologia e geotecnia, introduzindo-se no campo da construção civil somente após a possibilidade de operação com frequências muito mais altas (BERNARDES JÚNIOR, 2016). Essa técnica tem sido usada, entre outras aplicações, na identificação de vergalhões, fissuras, vazios, além de avaliar a espessura de peças e camadas de estruturas de concreto (GALLI; GUIRARDI; BRESSAN, 2014).

Esse método fundamenta-se na propagação de sinais eletromagnéticos, com antenas usadas para emissão e detecção das ondas eletromagnéticas. O tipo de operação varia de acordo com a faixa de frequência utilizada, por exemplo, uma faixa de até 100 MHz é indicada para obras profundas, com escala de dezenas de metros, já uma faixa de 100 a 1000 MHz é normalmente utilizada para pavimentação, enquanto a faixa de 1.000 a 5.000 MHz é indicada para avaliação de estruturas na escala de centímetros (RAMOS, 2019).

De acordo com Cintra et al. (2020), a velocidade e a forma como as ondas se propagam em um meio dependem das propriedades dielétricas de cada material, ou seja, a capacidade de armazenar carga elétrica na presença de um campo elétrico. Quanto maior a quantidade de água

presente em um material, maior sua constante dielétrica e menor será sua velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas. A Equação (6) define a velocidade de propagação de um pulso de onda eletromagnética em materiais em função da permissividade do meio e da velocidade da luz no vácuo (BERNARDES JÚNIOR, 2016).

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

$v$  = velocidade de propagação de pulso de onda eletromagnética (m/ns);

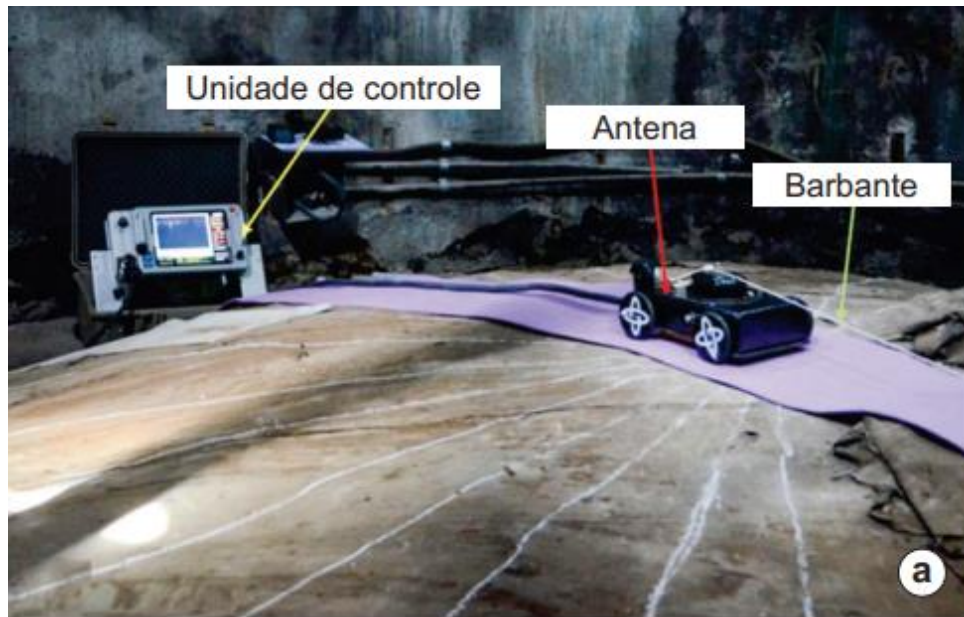
$c$  = velocidade da luz do vácuo (m/ns);

$\varepsilon$  = permissividade do meio, ou constante dielétrica do material.

Cintra et al. (2020) aplicaram a técnica do GPR nas estruturas da cúpula e da abóbada do Theatro Municipal do Rio de Janeiro com uma antena de 1.2 GHz de frequência, e conseguiram estimar as espessuras e camadas presentes na estrutura, verificando as características construtivas, e identificando elementos estruturais. Para se tornar possível a determinação de fissuras e vazios, seria necessário um equipamento com antenas de maior frequência, garantindo uma resolução mais adequada às dimensões do elemento. A Figura 20 mostra o método utilizado, constituído de uma unidade móvel sobre rodas, disposta de um odômetro acoplado na parte traseira para aquisição dos deslocamentos, uma faixa de espuma sintética de etileno acetato de vinila (EVA) com 3 mm de espessura para facilitar evitar a rugosidade da superfície e facilitar o movimento das rodas, e um barbante para auxiliar na condução do veículo sobre as linhas de eixo marcadas (CINTRA et al., 2020).

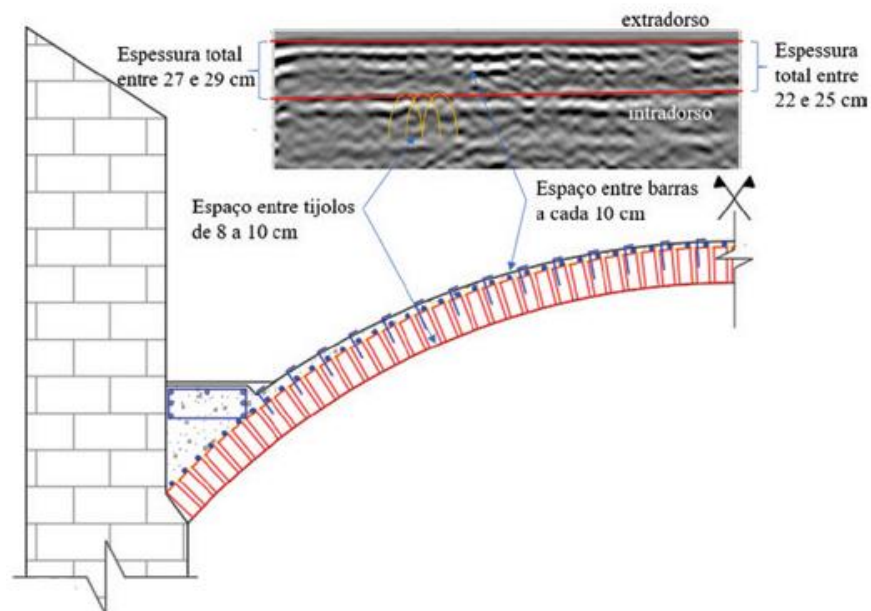
O radargrama é um gráfico onde são plotadas todas as reflexões obtidas nas leituras do GPR, onde o eixo x representa a posição na direção da leitura, e o eixo y os valores de profundidades das reflexões, e no lado oposto, o tempo percorrido pelo sinal até atingir o objeto, uma vez que quando o sinal da antena intercepta um alvo, uma reflexão é gerada e registrada (BERNARDES JÚNIOR, 2016). A Figura 21 ilustra a seção transversal da cúpula do Theatro Municipal do Rio de Janeiro em conjunto com seu radargrama, obtido através do ensaio de GPR, por meio do qual foi possível a determinação da espessura da casca estudada.

Figura 20 - Ensaio de GPR na cúpula do Theatro do Rio de Janeiro.



Fonte: Cintra et al. (2020)

Figura 21 - Seção transversal da cúpula e seu radargrama.



Fonte: Cintra et al. (2020)

Galli, Guirardi e Bressan (2014) mostraram o uso do GPR para a localização de vergalhões em um viaduto por meio da reflexão de ondas do radar. Uma antena dipolar foi posicionada e deslocada sobre a superfície da estrutura, transmitindo pequenos pulsos de onda

eletromagnéticas que se propagam no material e são refletidas no concreto e nos vergalhões. A Figura 22 apresenta o trabalho realizado sobre a superfície lateral da estrutura.

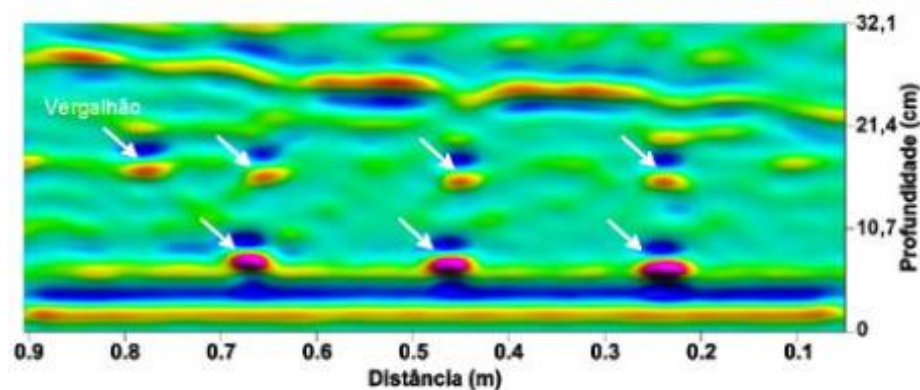
Figura 22 – Aplicação do GPR em viaduto.



Fonte: Galli; Guirardi; Bressan (2014)

A Figura 23 evidencia anomalias que foram causadas pelos vergalhões, demonstrando o uso do método como satisfatório para a avaliação da condição da estrutura do viaduto (GALLI; GUIRARDI; BRESSAN, 2014).

Figura 23 - Processamento da seção de radar da parte inferior de um viaduto.



Fonte: Galli; Guirardi; Bressan (2014)

#### 4.6 Ensaio de Termografia

No Brasil, esse ensaio costumava ser utilizado, normalmente, apenas para a detecção de umidade, infiltrações ou problemas similares como deslocamentos em elementos de vedação, embora tenha potencial para outras aplicações (OLIVEIRA et al., 2019). A termografia é um método não destrutivo que faz uso da análise de temperatura de uma superfície, tornando possível a detecção de defeitos internos no concreto com uma precisão razoável, esses defeitos podem ser vazios, destacamentos ou até mesmo corrosão de armaduras. Trata-se de um método rápido e fácil em relação à coleta de dados, quando comparado com outros métodos não destrutivos (HIASA; BIRGUL; CATBAS, 2017)

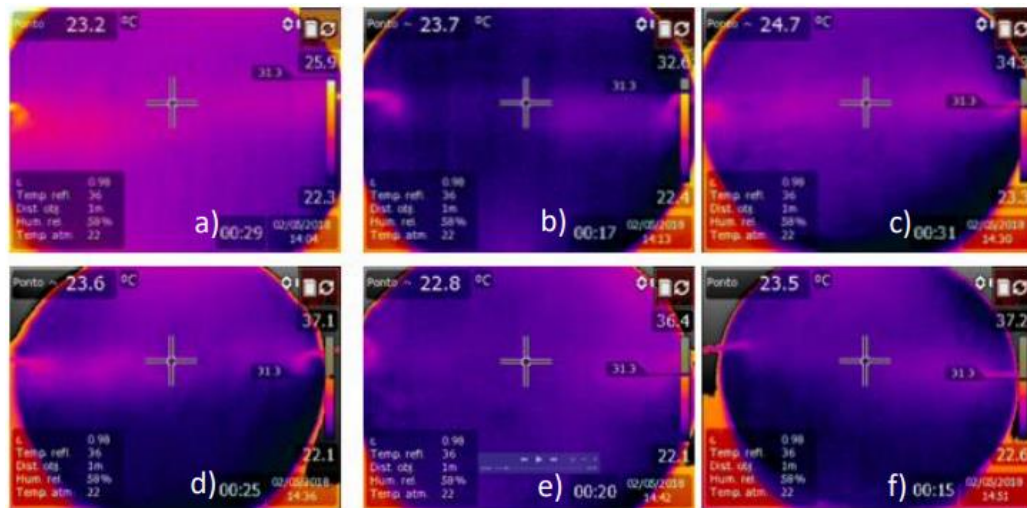
Os danos são identificados por meio da medição da condutividade térmica e são indicados por diferenças na temperatura da superfície da peça estudada (RAMIREZ, 2015). As diferenças de temperatura são avaliadas por meio dos termogramas, que são as imagens geradas no ensaio. Assim, a termografia se baseia na percepção da temperatura na superfície de um corpo devido aos mecanismos de transferência de calor, já que acima do zero absoluto, os corpos são capazes de emitir radiação térmica que é captada pelos sistemas de termografia (MENEZES; PÓVOAS; VIÉGAS, 2022).

É necessário cuidado com as interpretações dos resultados pois, os termogramas podem ser influenciados por condições térmicas do objeto, do meio em que estão, e da presença de fontes externas de calor, o que pode gerar equívocos (SAKAMOTO; FIORITI, 2017).

A capacidade do objeto de emitir radiação é chamada de emissividade. Assim, quanto mais quente está um objeto, maior é sua radiação para uma mesma emissividade (BURITY FILHO et al., 2021). A Figura 24 mostra os momentos (em horas) em que foi possível a visualização de uma barra de 6,3 mm posicionada horizontalmente analisada em corpos de prova de concreto armado aquecidos por indução eletromagnética (OLIVEIRA et al., 2019).

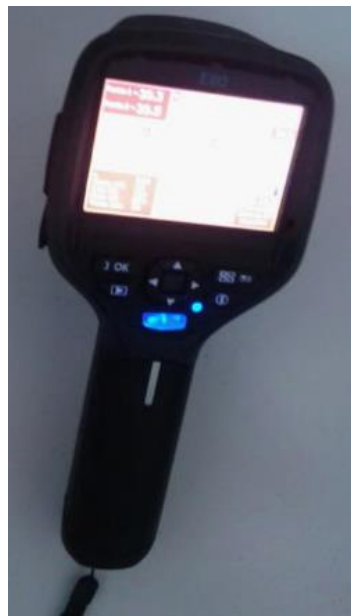
Menezes, Póvoas e Viégas (2022) avaliaram as armaduras contidas em postes de concreto armado na orla de Olinda através de relatórios fotográficos e termografia infravermelha. A emissividade foi determinada pelo método da fita isolante, que consiste em colocar uma fita de emissividade conhecida sobre a superfície e medir a sua temperatura com a câmera térmica. O valor da emissividade introduzida no equipamento é alterado até que a temperatura da peça seja a mesma, com e sem a fita isolante, encontrando o valor da emissividade da superfície do objeto. A Figura 25 mostra a câmera termográfica utilizada pelos autores, que captou os raios infravermelhos e, através dos dados de entrada, apresentou a temperatura superficial do objeto estudado

Figura 24 - Imagens fornecidas pela câmera termal que mostram a barra de aço em posição horizontal.



Fonte: Oliveira et al. (2019)

Figura 25 - Câmera termográfica FLIR E-60



Fonte: Menezes; Póvoas; Viégas (2022)

Dessa forma, foi possível verificar a presença de corrosão nos postes de concreto armado estudados, e que o ensaio mostrou que a temperatura estava mais elevada nos locais onde existiam trincas, o que indicou a possibilidade de haver corrosão das armaduras (MENEZES; PÓVOAS; VIÉGAS, 2022). A Figura 26 mostra um dos postes que apresentava

corrosão e que, nesses casos, a diferença de temperatura foi ainda mais evidente; a região que apresentou corrosão das armaduras pode ser visualizada no termograma referente à mesma estrutura.

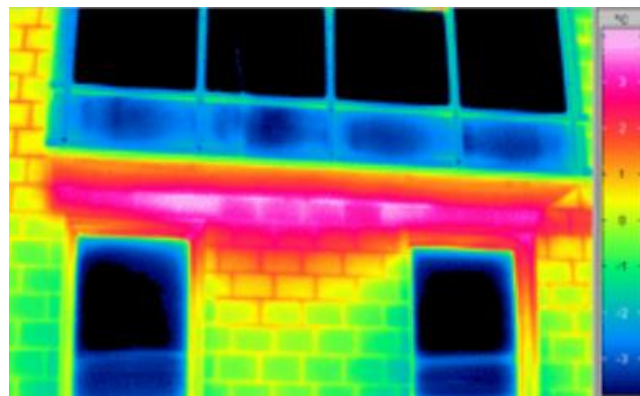
Figura 26 - Poste a) com corrosão de armaduras; b) termograma indicando a presença de corrosão pela diferença de temperaturas.



Fonte: Menezes; Póvoas; Viégas (2022)

Em um trabalho realizado por Cunha, Qualharini e Mello (2020), utilizando-se a termografia, concluiu-se que este método é eficiente na detecção de manifestações patológicas, como corrosão de armaduras e defeitos em camadas internas, de forma rápida e assertiva. A Figura 27 mostra um termograma da fachada de uma edificação.

Figura 27 - Termograma ilustrando a frente de um imóvel.

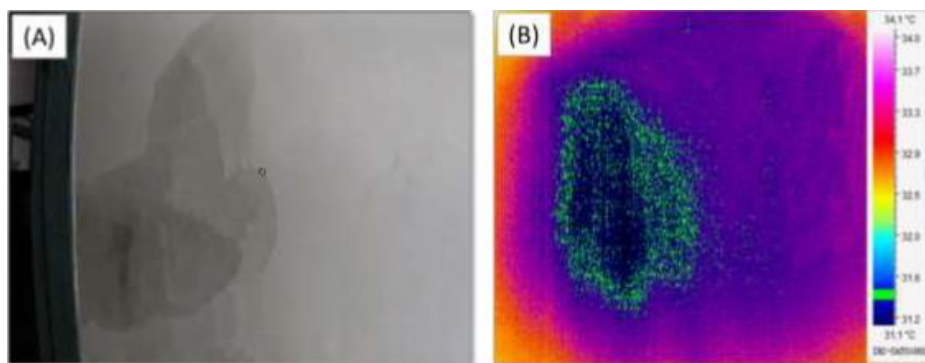


Fonte: Cunha; Qualharini; Mello (2020)

Burity Filho et al. (2021) desenvolveram um trabalho na tentativa de identificar tubulações e detectar umidade numa edificação utilizando-se a termografia. Foram identificados pontos com presença de infiltrações, algumas com sinais visíveis a olho nu, e

outras mais difíceis de serem detectadas. A Figura 28 mostra um dos pontos inspecionados pela câmera térmica juntamente com seu termograma, revelando um resultado satisfatório para a identificação de áreas secas e áreas úmidas.

Figura 28 - Termograma da superfície de uma alvenaria evidenciando a presença de infiltração.



Fonte: Burity Filho et al. (2021)

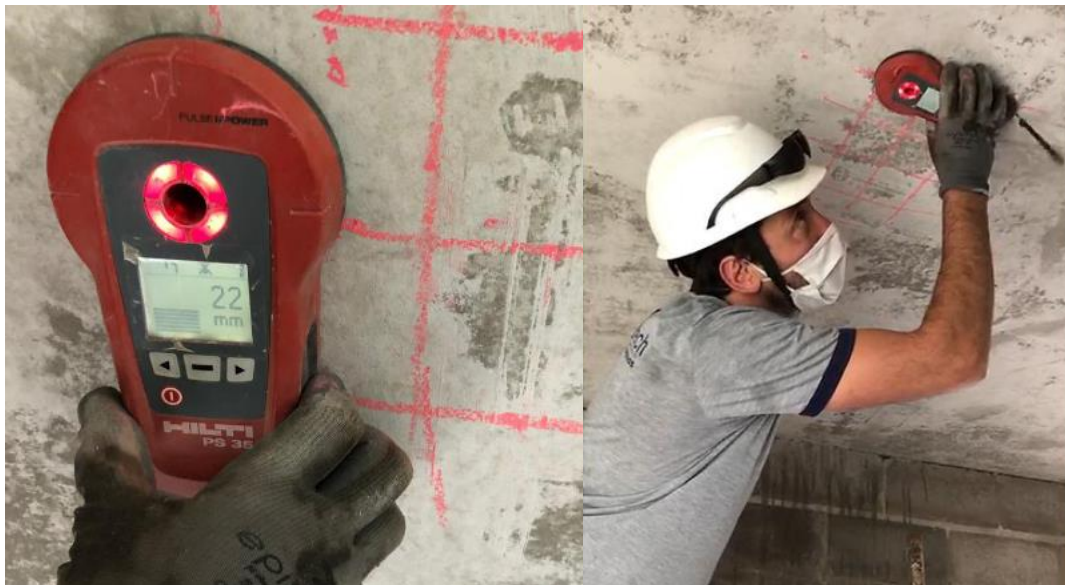
## 5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS ESTUDADOS

O método do pacômetro é interessante quando o projeto estrutural ou executivo é inexistente ou inacessível, pois, por meio deste equipamento é possível determinar as dimensões, posição e espaçamento das barras de aço, para que, assim, seja possível refazer os cálculos, o modelo, e a determinação da capacidade de resistência da estrutura investigada (FONSECA et al., 2021).

De maneira similar, na falta de dados é possível mesclar o uso da pacometria com o método do esclerômetro, para então ser possível obter informações sobre a armadura existente na estrutura, sua posição, além de dados sobre a condição do concreto.

Neste cenário, Souza (2020) foi capaz de determinar a capacidade de carga de uma laje de propriedade da Universidade de Caxias do Sul (UCS) e avaliar se seu uso estava compatível e de acordo com o que é prescrito na ABNT NBR 6120:2019, mesmo sem conhecer o seu projeto estrutural. As Figuras 29 e 30 mostram o uso dos equipamentos pela autora.

Figura 29 - a) Método da pacometria indicando a espessura do cobrimento; b) Marcação e interligação dos pontos de detecção da armadura



a)

b)

Fonte: Souza (2020)

Figura 30 - Ensaio de esclerometria na face inferior de uma laje



Fonte: Souza (2020)

Alguns elementos podem afetar os métodos de maneiras diferentes, como é o caso da água presente no concreto, que, de acordo com Sperandio e Carelli (2019), quanto maior for a

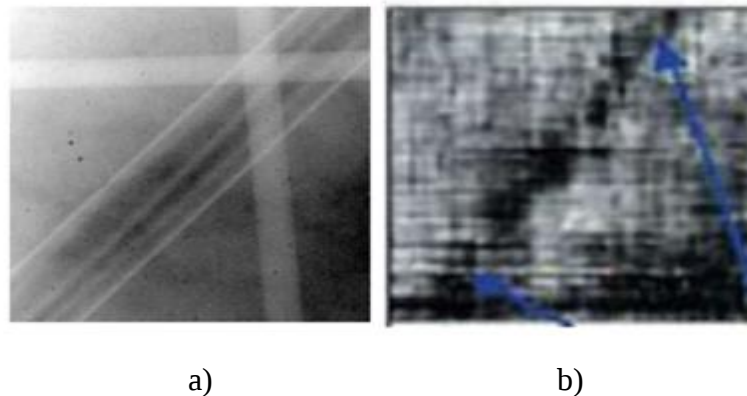
relação água/cimento na mistura, menor será o índice esclerométrico associado, e segundo Godinho et al. (2018), o aumento na umidade do concreto também aumenta a velocidade de propagação das ondas de ultrassom, já que dentro do concreto, a água é melhor condutor do que o ar presente nos poros do elemento. Assim, o efeito da água pode ser minimizado quando esses dois métodos são combinados, aumentando a acuracidade do experimento (EVANGELISTA, 2002).

Almeida Júnior (2019) realizou um estudo em que mostra a confiabilidade do uso combinado dos métodos de esclerometria e ultrassom na avaliação da resistência à compressão do concreto na cidade de Fortaleza, Ceará, a partir de equações e curvas características possibilitadas por meio dos dados obtidos através dos ensaios citados, o que os torna opções viáveis para possíveis inspeções.

Carvalho et al. (2021) mostraram o uso da tomografia computadorizada na análise de corpos de prova para obter resultados para a visualização interna, como o conteúdo volumétrico e vazios no concreto, além da visualização tridimensional da peça, contribuindo para uma proposta metodológica atualizada, eficiente e detalhada. De maneira similar, Kulzer (2020) realizou um experimento com tomografia computadorizada para verificar a porosidade do concreto no Rio Grande do Sul, para avaliar sua configuração, e os diferentes sentidos de lançamento do concreto.

Dentre os métodos de caráter não destrutivos citados, a pacometria, a tomografia e o GPR são os que mais apresentam semelhanças, no que diz respeito às suas finalidades. De acordo com Sandes (2020), a pacometria é o método mais indicado quando a inspeção precisa ser rápida e ágil, porém, este método não é capaz de gerar imagens das estruturas, além de não ser muito indicado para casos onde as armaduras são muito próximas. Já o GPR é capaz de gerar imagens da armadura do concreto, o que o deixa em vantagem em relação ao método do pacômetro (SANDES, 2020). De acordo com o mesmo autor, o método da tomografia traz os mesmos resultados que os outros dois métodos, porém com um nível de precisão muito maior, como mostra a figura a seguir (Figura 31). Assim, o método da tomografia se torna a melhor alternativa quando o interesse da inspeção é ter grande precisão e detalhe, ainda mais quando a estrutura apresenta alta densidade de armadura disposta em várias camadas, condição que dificultaria o uso dos outros dois métodos.

Figura 31 - Armadura pelo método a) da tomografia; b) do GPR

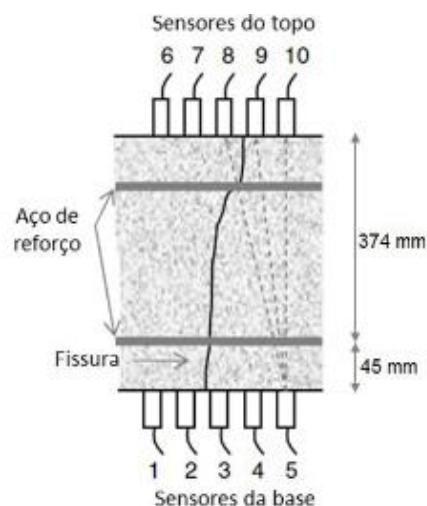


Fonte: Mariscotti (2010)

De acordo com Perlin (2015), apesar do método de ultrassom ser viável, por conseguir identificar áreas de heterogeneidades, algumas vezes ele não consegue determinar de maneira exata a sua localização, o que revela uma limitação do método. Dessa forma, por conta dessa imprecisão, sugere-se que a aplicação da tomografia ultrassônica seja uma alternativa para aperfeiçoar os resultados obtidos, já que o tomógrafo é uma ferramenta ideal no que diz respeito à geração de imagens tridimensionais do interior de estruturas (LORENZI et al., 2013).

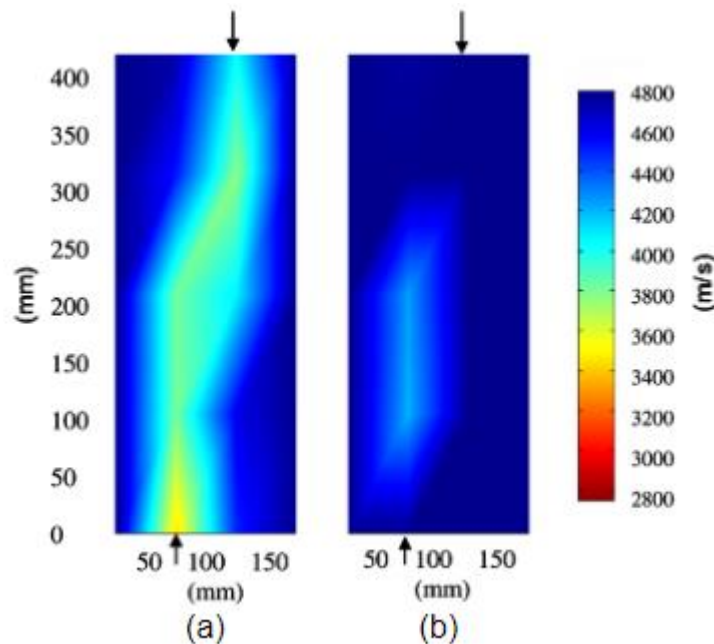
Em um estudo feito por Aggelis e Shiotani (2007), foi utilizada a técnica da tomografia ultrassônica na análise e avaliação de uma fissura numa viga de uma ponte feita de concreto armado. Para a recuperação da viga, foi utilizado injeções de resina epóxi para preenchimento. As Figuras 32 e 33 ilustram, respectivamente, a peça de concreto antes e após o reparo da fissura.

Figura 32 - Utilização de tomografia ultrassônica para inspeção de uma fissura numa viga.



Fonte: Adaptado de AGGELIS; SHIOTANI (2007)

Figura 33 - Resultados dos tomogramas a) antes da recuperação da fissura; b) após a injeção de epóxi na fissura.

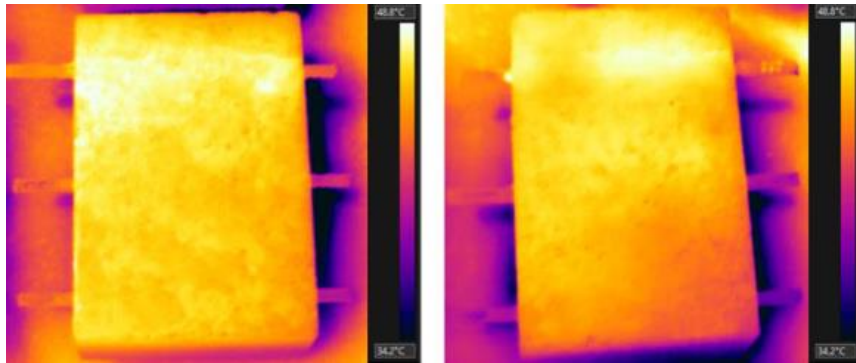


Fonte: AGGELIS; SHIOTANI (2007)

É possível observar, de acordo com Ramirez (2015), uma região de baixas velocidades na seção recuperada, representada no tomograma pela coloração azul clara, indicando a existência de um concreto de menor qualidade, provavelmente por conta dos efeitos da fissura original na viga de concreto, que podem gerar pequenas expansões a partir da fissura (AGGELIS; SHIOTANI, 2007).

Rocha e Póvoas (2019) fizeram um experimento de detecção de corrosão através dos métodos de termografia infravermelha e ultrassom, concluindo que o primeiro método não foi capaz de distinguir os problemas de corrosão de maneira eficaz, apresentando dificuldades de aplicação em horários que não fossem de manhã, e identificando apenas os processos corrosivos que já estavam em um grau mais avançado. No entanto, o método de ultrassom conseguiu caracterizar melhor a corrosão no concreto, mostrando-se mais sensível em comparação ao primeiro, pois apresentou resultados com diferenças significativas. Apesar disso, para garantir um resultado ainda mais satisfatório, o uso combinado dos dois métodos é capaz de localizar as áreas com corrosão (termografia), e avaliar o grau de corrosão (ultrassom) (ROCHA; PÓVOAS, 2019). A Figura 34 mostra o termograma associado a este ensaio.

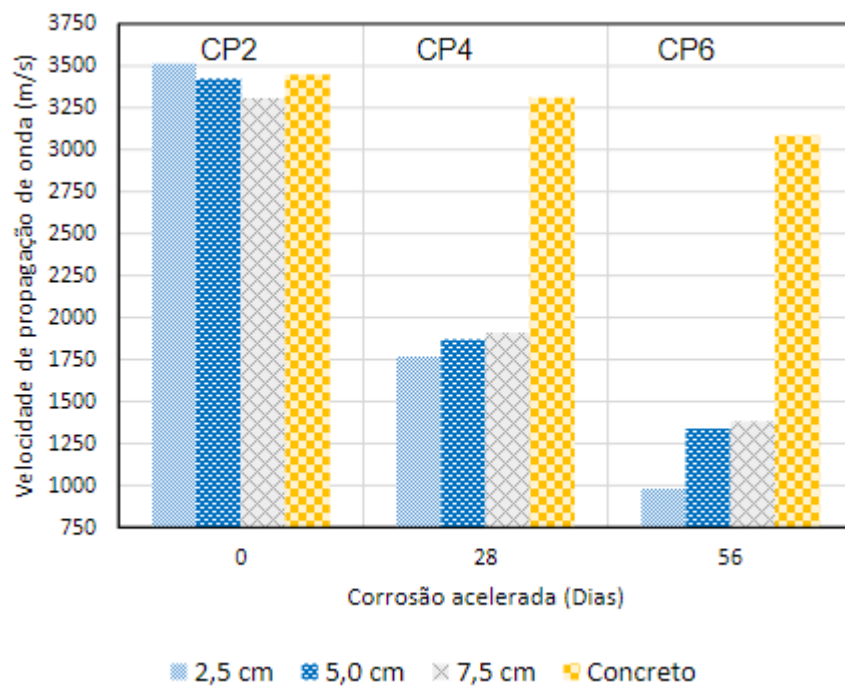
Figura 34 - Termograma referente a corpos de prova com corrosão de armaduras.



Fonte: Rocha; Póvoas (2019)

A Figura 35 mostra os resultados referentes às velocidades de propagação das ondas nos corpos de prova, sendo possível verificar que esses valores foram altos. As ondas ultrassônicas variam de acordo com o meio onde são propagadas, e têm sua velocidade reduzida quando existem descontinuidades. Assim, é possível concluir que o corpo de prova 2 não apresentava problemas, pois a velocidade se manteve constante nos seus componentes, diferentemente dos demais, onde fica claro que há descontinuidades entre o concreto e as barras de aço, justificando uma diminuição da velocidade de propagação das ondas (ROCHA; PÓVOAS, 2019).

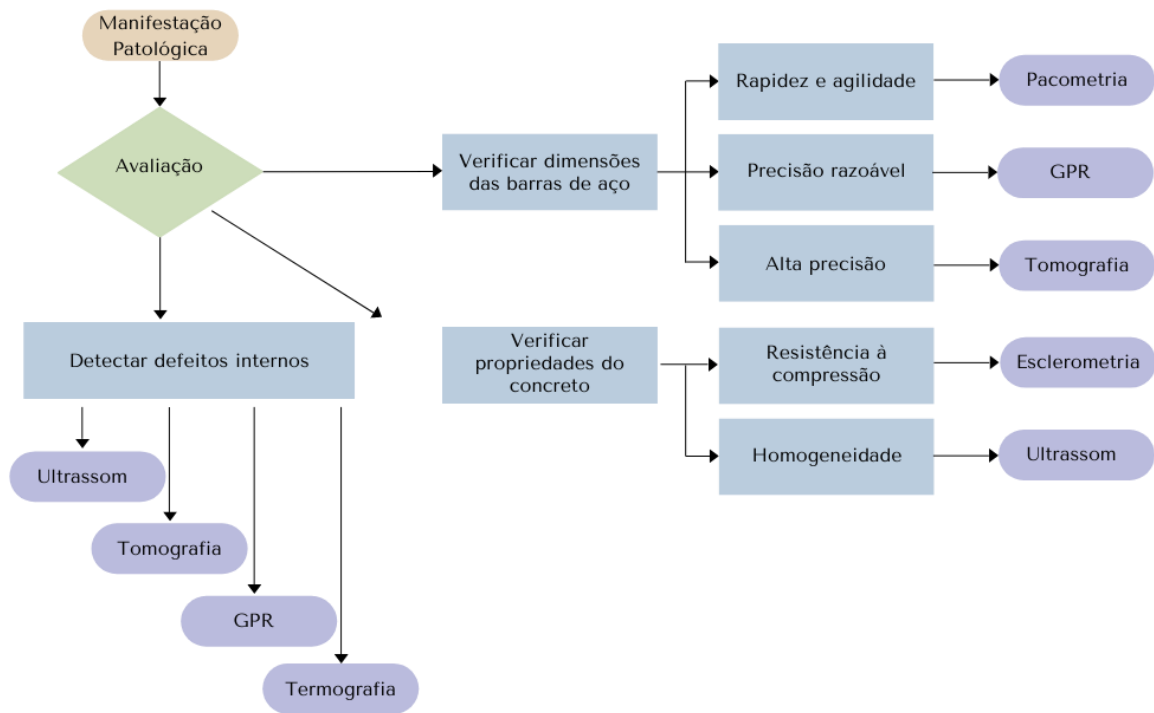
Figura 35 - Resultados das velocidades do ensaio de ultrassom para os corpos de prova indicados.



Fonte: Rocha; Póvoas (2019)

A Figura 36 sintetiza a utilização de cada método descrito, de acordo com suas características e peculiaridades, enquanto o Quadro 1 mostra os métodos não destrutivos citados, relacionando-os com a possibilidade de avaliação de parâmetros importantes no processo de inspeção e diagnóstico de estruturas.

Figura 36 - Fluxograma para os métodos não destrutivos



Fonte: Autoria própria (2022)

Quadro 1 – Métodos não destrutivos

| MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS | ANÁLISE DA ARMADURA | VISUALIZAÇÃO DA ARMADURA | ANALISAR AS PROPRIEDADES DO CONCRETO | DETECÇÃO DE DEFEITOS INTERNOS |
|-------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Esclerometria           | ✗                   | ✗                        | ✓                                    | ✗                             |
| Pacometria              | ✓                   | ✗                        | ✗                                    | ✗                             |
| Ultrassonografia        | ✗                   | ✗                        | ✓                                    | ✓                             |
| Tomografia              | ✓                   | ✓                        | ✓                                    | ✓                             |
| Georadar                | ✓                   | ✓                        | ✗                                    | ✓                             |
| Termografia             | ✗                   | ✗                        | ✓                                    | ✓                             |

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de métodos não destrutivos para avaliação estrutural compreende diversas estratégias viáveis na caracterização de parâmetros solicitados. O fato de não danificarem as estruturas é o que os torna mais interessante com relação à escolha do tipo de inspeção, e mesmo que, muitas vezes, precisem de estimativas e correlações, os ensaios citados ainda se destacam, de maneira geral, pela sua simplicidade e facilidade de aplicação.

Nesse sentido, através da revisão bibliográfica foi possível apresentar, avaliar e entender as particularidades de cada método listado, bem como suas aplicações e importância em inspeções prediais.

Levando-se em consideração a busca pela análise das armaduras no interior do concreto, o método da tomografia ultrassônica é o mais indicado quando existe um investimento maior, pois essa técnica é capaz de gerar resultados com maior precisão, e visualmente agradáveis, embora o método do pacômetro seja mais acessível e razoável em casos em que a taxa de armadura não seja tão densa. A escolha do método do georadar é mais uma opção entre essas, pois também permite a visualização da barra de aço e dispensa equipamentos sofisticados como o tomógrafo.

O ensaio de esclerometria também é mais viável economicamente que o de ultrassom, o que o torna mais popular, além do fato de ser um método mais rápido e descomplicado, pois necessita, apenas, do próprio aparelho para realização da inspeção, além de que o ensaio de ultrassom pode sofrer interferências dependendo-se do meio avaliado ou do tráfego em questão.

Com o intuito de entender melhor esse tema, fica claro a necessidade de mais estudos que possam: agrupar métodos com finalidades similares para reunir informações mais aprofundadas; aumentar o número de métodos estudados; mesclar o estudo de métodos destrutivos e não destrutivos; utilizar a metodologia GDE/UnB para avaliar o grau de risco das manifestações patológicas diagnosticadas com os métodos; realizar testes práticos e comparar seus resultados com os dados de projeto originais; e analisar os custos de mercado para a aplicação de diferentes métodos não destrutivos.

## REFERÊNCIAS

- AGGELIS, D. G.; SHIOTANI, T. Repair evaluation of concrete cracks using surface and through-transmission wave measurements. **Cement & Concrete Composites**, v. 29, p. 700-711, 2007.
- ALMEIDA JÚNIOR, R. P. **Análise da correlação dos ensaios de esclerometria e ultrassom com a resistência à compressão do concreto**. 2019. 56f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) -Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2019.
- ALVES, A. S.; ABREU, G. M. **Análise qualitativa e quantitativa da execução do cobrimento de armadura em estruturas de concreto armado na cidade de catalão-go**. 2021. 29f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade UNA de Catalão - Campus Santa Cruz. Catalão, 2021.
- ALVES, R. **Resistência mecânica de concreto de cimento Portland: correlação de ensaio à compressão axial com esclerometria**. 2017. 100f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – UNIVATES. Lajeado, 2017.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 228 2R-98 (Reapproved 2004)**: Nondestructive test methods for evaluation of concrete in structures. Detroit, 2004. p. 62.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C597-09**: Standart Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. London, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 7584**: Concreto Endurecido – Avaliação da Dureza Superficial pelo Esclerômetro de Reflexão – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2012. p. 14
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 8802**: Concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2019. p.15
- ASTERIS, P. G.; MOKOS, V. G. Concrete compressive strength using artificial neural networks. **Neural Computing and Applications**, v. 32, n. 15, p. 11807-11826, dez 2020.
- BANDEIRA, F. I. *et al.* Elaboração de um modelo matemático para determinação da resistência do concreto através de ensaios não destrutivos. **Salão do Conhecimento**, Ijuí, v. 7, n. 7, out 2021.

BERNARDES JÚNIOR, P. L. **Uso do GPR (ground penetrating radar) como ferramenta não destrutiva na avaliação e inspeção de estruturas em concreto armado**. 2016. 80f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2016.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 1881-203:1886. Testing concrete – Part 203: Recommendations for measurements of the velocity of ultrasonic pulses in concrete**. London, 2004. 25p

BURITY FILHO, R. L. *et al.* Aplicação da termografia na identificação de infiltrações e tubulações para condução de água fria e água quente embutidas em alvenaria. **Research, Society and Development**. v. 10. n. 8, jul 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/15642>

CARNIEL, A. J. Z. *et al.* **Avaliação da sensibilidade dos parâmetros de ultrassom difuso na caracterização de misturas de concreto**. 2021. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2021.

CARVALHO, A. R. A. *et al.* Prevenção patológica: análise e caracterização de corpos de prova de concreto por meio de raio X. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 36599-36618, mar 2021.

CINTRA, D. C. B. *et al.* Avaliação da técnica de GPR (1, 2 GHz) na caracterização das cascas em alvenaria do Theatro Municipal do Rio de Janeiro. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 13, p. 274-297, abr 2020.

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

CUNHA, L. B.; QUALHARINI, E. L.; MELLO, I. Detecção de patologias estruturais através de técnicas de ensaios não destrutivos. **Boletim do Gerenciamento**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 12, p. 1-8, mar 2020.

ESTACECHEN, T. A. C. Comparativo da resistência à compressão do concreto através de ensaios destrutivos e não destrutivos. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 12, n. 2, p. 23-37, ago 2020.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 240f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

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

GALLI, V. L.; GUIRARDI, D. M.; BRESSAN, D. L. GPR aplicado na localização de armadura em estrutura de concreto. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 2014, **Publicação [...]** Porto Alegre, 2014.

GODINHO, J. P. *et al.* Influência do tipo de cimento, da idade de cura e da umidade dos corpos de prova de concreto nas leituras de velocidade de propagação de onda ultrassônica. In: ENCONTRO LUSO-BRASILEIRO DE DEGRADAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 3, 2018. **Anais [...]**. São Carlos/SP: UFPR, 2018.

GOMES, M. H. S. **Análise comparativa dos métodos destrutivos e não destrutivos para a determinação do fck do concreto**. 2020. 53f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Luterano de Palmas, 2020.

HOEGH, K. KHAZANOVICH, L. Correlation analysis of 2D tomographic images for flaw detection in pavements. **ASTM Journal of Testing and Evaluation**, v.40, n. 2, 2012. Disponível em: [https://www.germann.org/TestSystems/MIRA%20Tomographer/ASTM\\_JTE\\_2012.pdf](https://www.germann.org/TestSystems/MIRA%20Tomographer/ASTM_JTE_2012.pdf). Acesso em 28/abr/2022.

KÜLZER, F. E.. **Estudo de tirantes produzidos com concreto autoadensável moldado na vertical e horizontal**. 2020. 86f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2020.

LIMA, H. J. N. *et al.* Avaliação da resistência à compressão do concreto: comparativo entre corpo de provas de moldados e testemunhos extraídos. **Revista InterScientia**, Distrito Federal, v. 6, n. 2, p. 2-11, nov. 2018.

LORENZI A. *et al.* **Utilização de tomografia ultrassônica 3d para avaliação de estruturas de concreto**. Porto Alegre: UFRGS, 2013.

LORENZI, A. *et al.* Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 3, n. 1, p. 3-13, jun 2016.

LORENZI, A. *et al.* Inspeção de obras através da aplicação de ensaios não destrutivos. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE CONTRUCCIÓN, 2019, **Anais [...]** Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 2019.

MARISCOTTI, M. A. J. Desenvolvimento e Aplicação da Tomografia por Raios Gama na Inspeção de Estruturas de Engenharia Civil. In: REABILITAR 2010 – CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS, 2010, **Publicação[...]**, Lisboa: LNEC, 2010. 10 p. Disponível em: <http://asec.eng.br/wp-content/uploads/2017/09/APLICAÇÃO-DE-TOMOGRAFIA-NA-INSPEÇÃO-DOS-CONCRETOS.pdf>. Acesso em: 28/abr/2022

MENEZES, L. A. A.; PÓVOAS, Y. V.; VIÉGAS, D. J. A. O uso da termografia infravermelha para verificação de corrosão de armaduras em postes de concreto armado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, abr 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28065>

MORAIS FILHO, F. J.; BORGES, J. F. **Estudo comparativo de técnicas destrutiva e não destrutiva na avaliação da resistência mecânica em pilares em concreto armado**. 2019. 74f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2019.

NEUMANN, O.; NEUMANN, H. Tecnologia não destrutiva para avaliação estrutural de edifícios utilizando geofísica. *In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GESTÃO, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO (EIGEDIN)*, 2019, **Publicação [...] v. 3, n. 1**, Naviraí, 2019.

NUNES, J. C. *et al.* Principais métodos de ensaios não destrutivos utilizados para análise de pontes de concreto armado em ambientes marinhos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 48645-48664, maio 2021.

OLIVEIRA, L. C. *et al.* O potencial da termografia na detecção do aço em estruturas de argamassa armada. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 3, n. 5, p. 2072-2084, out 2019.

PAIVA, M. A. C. **Análise das propriedades mecânicas nas primeiras idades do concreto de lajes alveolares utilizando o ensaio de ultrassom**. 2017. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PEDROZA, L. F. M. **Avaliação do desempenho do ensaio não destrutivo de pacometria para verificação do cobrimento e posicionamento de barras de aço**. 2018. 46f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Brasília (UniCEUB/FATECS). Brasília, DF, 2018.

PERLIN, L. **Tomografia ultrassônica em concreto e madeira: desenvolvimento de ferramenta computacional**. 2015. 278f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Catarina. Santa Catarina, 2015.

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.

PROCEQ. Betonprüfhammer concrete test hammer scléromètre à béton, 2017. Disponível em: [https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/OriginalSchmidt\\_Operating%20Instructions\\_Multilingual\\_high.pdf](https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/OriginalSchmidt_Operating%20Instructions_Multilingual_high.pdf). Acesso em: 30/05/2022.

PROCEQ. Profoscope detector de vergalhões totalmente integrado, 2017. Disponível em: [https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/Profoscope\\_Sales%20Flyer\\_Portuguese\\_high.pdf](https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/Profoscope_Sales%20Flyer_Portuguese_high.pdf). Acesso em: 30/05/2022.

PROCEQ. **Profoscope instruções de operação**, 2014. Disponível em: [https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/Profoscope\\_Operating%20Instructions\\_Portuguese\\_high.pdf](https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/Profoscope_Operating%20Instructions_Portuguese_high.pdf). Acesso em: 30/05/2022.

PROCEQ. Punditlab soma funcionalidade de campo ao instrumento ultrassônico de teste em concreto, 2017. Disponível em: [https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/Pundit%20Lab\\_Sales%20Flyer\\_Portuguese\\_high.pdf](https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/Pundit%20Lab_Sales%20Flyer_Portuguese_high.pdf). Acesso em: 30/05/2022.

RAMOS, D. H. **Avaliação de ensaios não destrutivos aplicados ao concreto armado**. 2019. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

REGINATTO, L. A. *et al.* Monitoramento de estruturas de concreto armado através de ensaios ultrassônicos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 72942-72960, 2021.

ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, Y. V. Detecção de corrosão em concreto armado com termografia infravermelha e ultrassom. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, p. 53-68, out 2019.

SAKAMOTO, C. A.; FIORITI, C. F. Estudo de parâmetros relevantes na obtenção de termograma para diagnóstico de problemas patológicos. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiás, v. 13, n. 2, abr 2017.

SANDES, N. R. **Inspeção de pontilhão urbano em concreto armado segundo a NBR 9452: 2019 – inspeções de OAEs**. 2020. 101f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju. Aracaju, 2020.

SANT'ANA, M. M. S; POZNYAKOV, K. Levantamentos de manifestações patológicas em edificações de interesse social. **Boletim do Gerenciamento**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 20, p. 34-44, set. 2020.

SANTOS, V. G. V. **Inspeção em estrutura de concreto armado de um ginásio poliesportivo com uso e ensaios não destrutivos**. 2021. 73f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju. Aracaju, 2021.

SCREENING EAGLE. **The original schmidt hammer**, 2022. Disponível em: <https://screeningeagle.com/en/product-family/schmidt-rebound-hammers>. Acesso em: 30/maio 2022.

SILVA, R. A. **Análise das manifestações patológicas da ponte sobre o rio pedra no município de Delmiro Gouveia-AL: estudo de caso**. 2019. 63f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Alagoas - Campus Sertão, 2019.

SOEIRO, J. M. *et al.* Ensaio não destrutivo-ensaio de ultrassom e pacômetro na avaliação da qualidade do concreto armado. *In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA*, 2018, **Anais [...]** Maceió-AL, 2018.

SOUZA, F. H. F. **Avaliação da relação entre os módulos de elasticidade estático e dinâmico de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados em substituição aos agregados graúdos naturais**. 2018. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UNISINOS, São Leopoldo, 2018.

SOUZA, T. Z. **Avaliação da capacidade de carga de uma laje existente sem acesso ao projeto estrutural: estudo de caso**. 2020. 84f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020.

SPERANDIO, G. S.; CARELLI, J. M. Definição de uma curva de correlação entre a resistência à compressão axial e o índice esclerométrico utilizando diferentes relações água/cimento. **Conhecimento em Construção**, Joaçaba, v. 6. p. 73-88, ago 2019.

VALIN JR, M. O. *et al.* Aplicação de ensaios não destrutivos de concreto para avaliação estrutural da fundação de torre de linha de transmissão. **E&S Engineering and Science**, Mato Grosso, v. 6, n. 2, p. 46-59, nov 2017.

VIEIRA, A. C. **Análise da esclerometria no controle tecnológico do concreto**. 2021. 14f. Artigo (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário UNIFACIG, 2021.

FONTANA, T. B. **Ensaio não destrutivo para determinação da resistência à compressão sob tensão**. 2015. 75f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015)