ANÁLISE DA QUALIDADE DO CONCRETO EM PILARES DE VIADUTOS POR MEIO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA FINS DE REABILITAÇÃO

BAUTZ, Rebeca Sprengel[1]. MACIOSKI, Gustavo[2]. WEBER, Silvana Leonita[3].
MOREIRA, Amacin Rodrigues[4].

[1] UTFPR, Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, rebecasprengel@gmail.com
[2] UTFPR, Chefe de Laboratório, Graduando em Engenharia Civil, gmacioski@utfpr.edu.br
[3] UTFPR, Professor Adjunto, Doutorado em Engenharia, silweber@uol.com.br
[4] UTFPR, Professor Adjunto, Mestrado em Engenharia, amacinrm@utfpr.edu.br

RESUMO

Estruturas em concreto, como viadutos, estão sujeitas a uma série de ações que podem levar à sua deterioração. As anomalias que comprometem o desempenho do concreto têm origem nos mecanismos de degradação tanto dos seus próprios constituintes quanto da interação da estrutura com os agentes externos presentes no local de sua implantação. O processo de deterioração é afetado por fatores como chuva, poluição, variação de temperatura e umidade, intensidade de tráfego, sobrecargas e ausência de manutenção. Para evitar que o processo de deterioração possa chegar à degradação e resultar no colapso da estrutura, é necessário realizar inspeções periódicas. Este trabalho tem como objetivo a avaliação da qualidade do concreto, para fins de reabilitação, de pilares de quatro viadutos na cidade de Curitiba-PR, no Contorno Sul, através de métodos de ensaios não destrutivos. Na inspeção puderam ser observadas algumas não conformidades, como desagregação leve do concreto na base dos pilares e armaduras expostas localizadas em alguns pontos, tanto nas pistas sentido norte quanto no sentido sul. Foram realizados ensaios em oito pilares de cada estrutura utilizando-se os métodos de ensaios não destrutivos de esclerometria e ultrassom. Estes métodos de ensaios não destrutivos são quantitativos e podem determinar danos no interior da estrutura, complementando a inspeção visual realizada nos pilares e que é qualitativa. Os resultados obtidos pelo ensaio não destrutivo de esclerometria, com nove pontos de estudo, forneceram na Rua Eduardo Sprada valores médios de 50 MPa para a resistência estimada à compressão. Na Rua Raul Pompéia, as pistas apresentaram valores médios de 60 MPa. Os resultados do ensaio não destrutivo de ultrassom apresentaram velocidade média de ondas de 3900 m/s. Com estes resultados foi possível demonstrar a eficácia dos ensaios de esclerometria e ultrassom para fins de orientação do projeto de reabilitação das estruturas estudadas.

Palavras chave: Estruturas de concreto; ensaios não destrutivos; viaduto; reabilitação.

ABSTRACT

Concrete structures, such as bridges, are subject to a great number of actions that can lead to its deterioration. Abnormalities that compromise the performance of the concrete has its origin in degradation mechanisms of its own constituents as the interaction of the structure with external agents present at the site of implantation. The deterioration process is affected by factors such as rain, pollution, changes in temperature and humidity, traffic intensity, overload and lack of maintenance. To prevent the deterioration process came to degradation resulting in the collapse of the structure, it is necessary to conduct periodic inspections. This study aims to assess the quality of the concrete, for rehabilitation purposes, four pillars of flyovers in the city of Curitiba - PR, South Route, through nondestructive testing methods. During the inspection some nonconformity were observed as mild breakdown of the concrete at the base of the pillars and exposed reinforcement located at some points, in both directions: north and south. There was eight pillars tested using the methods of non-destructive as rebound hammer and ultrasound. These methods of non-destructive tests are quantitative and they can determine the damage inside the structure, complementing the visual inspection performed on the pillars which is qualitative.
The results obtained by non-destructive rebound hammer testing with nine points of study, provided at Eduardo Sprada Street the average values of 50MPa. And at Raul Pompeia Street, the structures achieved values of 60MPa. The results of ultrasonic non-destructive testing showed average velocity of waves of 3900 m / s. With these results it was possible to demonstrate the effectiveness of hammer tests and ultrasound for guidance of the rehabilitation project of the structures.

Keywords: Concrete structures, non-destructive testing; flyover; rehabilitation.

1. INTRODUÇÃO

Estruturas em concreto, como a de viadutos, estão sujeitas a uma série de ações que podem levar à sua degradação. As anomalias que comprometem o desempenho do concreto têm origem nos mecanismos de degradação tanto dos seus próprios constituintes quanto da interação da estrutura com os agentes externos presentes no local de sua implantação. O processo de deterioração é afetado por fatores como chuva, poluição, variação de temperatura e umidade, intensidade de tráfego, sobrecargas e ausência de manutenção. Para evitar que o processo de deterioração possa chegar à degradação e resultar no colapso da estrutura, é necessário realizar inspeções periódicas.

Este trabalho tem como objetivo realizar inspeções para avaliar através de métodos de ensaios não destrutivos as patologias existentes para fins de reabilitação. Dentro desse contexto, a proposta deste trabalho é analisar a qualidade do concreto em pilares de viadutos, correlacionando as velocidades de propagação das ondas ultrassonoras com os índices esclerométricos na avaliação da resistência a compressão através dos ensaios já citados.

Neste artigo foram avaliados os viadutos da Avenida Juscelino Kubitschek, construídos na década de 70. No trecho situado entre as ruas Eduardo Sprada e Raul Pompéia, podem ser observadas algumas não conformidades como desagregação leve do concreto na base dos pilares e armaduras expostas localizadas em alguns pontos das pistas norte e sul, conforme Figura 1.

Figura 1: Desplacamento do concreto na base do pilar.



Fonte: Autores

Para realizar a análise da qualidade do concreto dos pontos citados, foram utilizados métodos de ensaio não destrutivos (NDT), os quais permitem o controle dos materiais, com economia

de tempo e recursos financeiros; mantendo assim a integridade da estrutura. No caso estudado, foram aplicados dois métodos de ensaio não destrutivos (NDT), são eles: Ultrassom e Esclerometria.

2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Os ensaios não-destrutivos permitem a inspeção de uma peça antes de sua utilização inicial ou também inspeções contínuas ao longo da vida útil de uma determinada peça, apontando o momento exato de sua substituição antes mesmo de sua ruptura em serviço.

O método de ensaio não destrutivo de ultrassom é utilizado em diversas aplicações como, análise de falhas e integridade física de juntas de concretagem, assim como em injeções de resina aplicadas em fissuras e análise de falhas no interior das estruturas de concreto.

A ultrassonografia consiste na propagação de ondas sonoras de alta freqüência pelo material analisado. Estas ondas variam de velocidade em função da quantidade de cheios e vazios, o que permite a detecção de descontinuidades. A idéia é projetar o som para o interior do material, medindo o tempo até que o mesmo se propague até o outro ponto. Sabendo-se a distância entre os pontos, é possível determinar a velocidade média no trecho de propagação da onda sonora, que irá depender de diversos fatores como à natureza do material, a porosidade do mesmo, a presença ou não de água nos poros, entre outros (LORENZI, 2003).

A determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica permite detectar eventuais falhas de concretagem, verificar a uniformidade do concreto, avaliar a profundidade de fissuras e imperfeições, determinar o módulo de deformação e a resistência à compressão; além de monitorar as variações das características do concreto ao longo do tempo (FIGUEIREDO, 2005).

CÁNOVAS (1998) apresentou uma correlação entre as velocidades de onda e a qualidade do concreto para avaliação da integridade de estruturas, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Qualidade do concreto em função da velocidade de propagação da onda.

VELOCIDADE DA ONDA (m/s)	QUALIDADE DO CONCRETO
V < 4500	Excelente
3500 < V < 4500	Ótimo
3000 < V < 3500	Bom
2000 < V < 3000	Regular
V < 2000	Ruim

Fonte: CÁNOVAS (1998)

As leituras podem ser realizadas através de transmissão direta, com os transdutores nas faces opostas do material; transmissão indireta, com os transdutores na mesma face e transmissão semidireta, com os transdutores nas faces adjacentes (PERLIN, 2011).

Neste estudo, também foi utilizado o método não destrutivo do esclerômetro ou Martelo de Schmidt, este ensaio possibilita obter o índice esclerométrico. Embora seja amplamente utilizada é importante ressaltar que a esclerometria permite inferir apenas na qualidade do concreto de forma superficial enquanto que o ultrassom tem a capacidade de penetrar na matriz do concreto e obter informações a respeito de falhas internas, que auxiliará em uma avaliação mais segura quanto ás condições reais do sistema (CARVALHO, 2013).

Segundo a ABNT NBR 7584/2012, o índice esclerométrico é um valor obtido através do impacto de um esclerômetro de reflexão sobre uma área de ensaio, fornecido diretamente pelo aparelho correspondente ao número de recuo do martelo.

Ainda segundo a NBR 7584/2012,, o esclerômetro de reflexão consiste em uma massa-martelo que impulsionada por uma mola, se choca através de uma haste, com ponta e forma de calota esférica, com área de ensaio. A energia do impacto é, em parte, utilizada na deformação permanente provocada a área de ensaio e, em parte, conservada elasticamente, proporcionando, ao fim do impacto, o retorno do martelo. Desta forma, quanto maior a dureza da superfície ensaiada, menor a parcela de energia que se converte em deformação permanente, e, maior deve ser o recuo ou a reflexão do martelo.

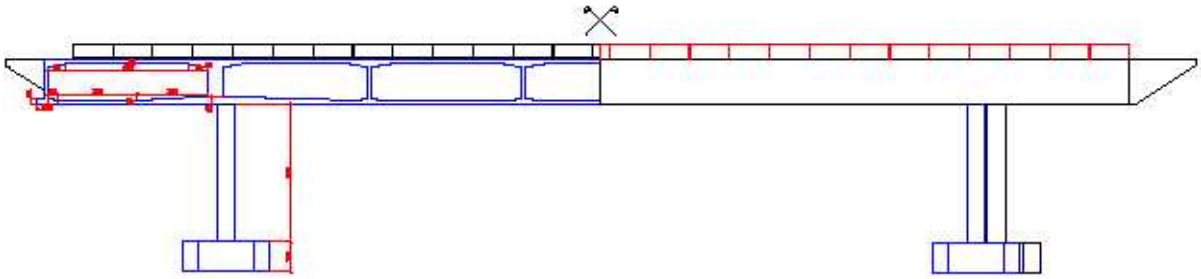
Sabe-se que são diversos os fatores que influenciam os resultados do ensaio como: tipo de cimento, tipo de agregado, tipo de superfície, condições de umidade da superfície, carbonatação da peça, idade, operação do aparelho, entre outros.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os objetos de estudo deste artigo foram quatro viadutos em concreto armado da Avenida Juscelino Kubitschek de Oliveira na cidade de Curitiba-PR. Cada um conta com quatro pilares circulares, conforme indicações do projeto, que foram avaliados através de dois métodos não destrutivos: esclerometria por reflexão e ondas ultrassônicas.

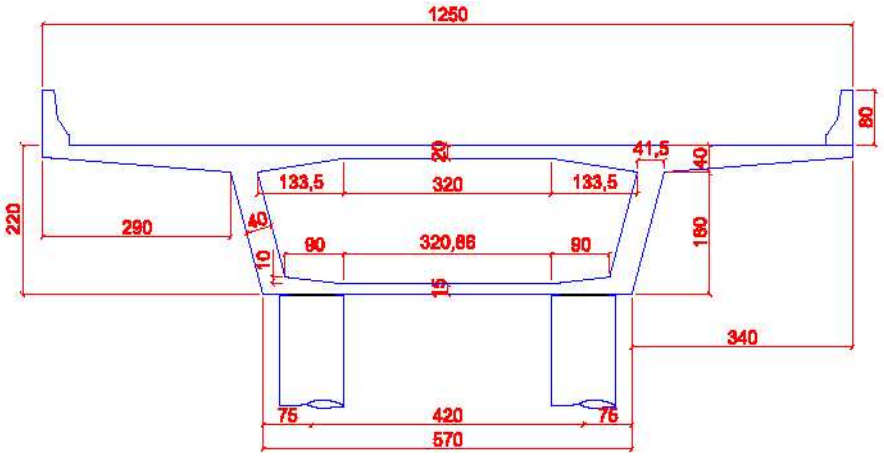
Para ambos os viadutos, ao longo da seção caixão existem duas transversinas de apoio (sobre os pilares) e quatro transversinas de vão. Nas Figuras 2 e 3 são apresentados cortes longitudinais e transversais da estrutura, respectivamente.

Figura 2: Seção longitudinal dos viadutos.



Fonte: DNIT (2013).

Figura 3: Seção Transversal das vigas caixão.



Fonte: DNIT (2013).

As demais informações sobre a geometria do viaduto são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Dados geométricos e estruturais.

Supraestrutura	Viga seção caixão protendida e transversinas de apoio e centrais
Classe do concreto	C18
Comprimento do tabuleiro	55,00 metros
Largura do tabuleiro	12,50 metros
Vão entre pilares do tabuleiro	28,00 metros
Balanço do tabuleiro	13,50 metros
Diâmetro dos pilares	0,90 metros

Fonte: Adaptado de DNIT.

3.1 Viaduto sobre a Rua Eduardo Sprada

Na intersecção da BR 376 com a Rua Eduardo Sprada existem dois viadutos de mesma geometria e condição de implantação, como pode ser observado nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Viaduto sobre a Eduardo Sprada.



Fonte: Autores

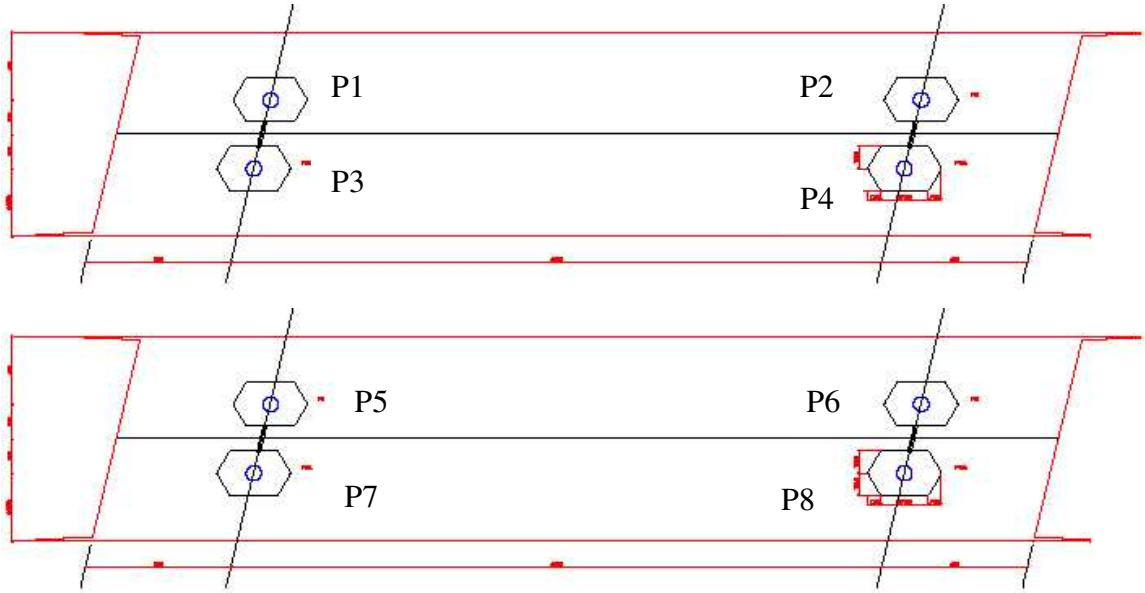
Figura 5: Viaduto sobre a Raul Pompéia.



Fonte: Autores

Quanto à geometria da obra de arte especial, a estrutura dos viadutos sobre a Rua Eduardo Sprada é esconsa e composta por viga em seção caixão protendida apoiada em pilares circulares. Estes pilares foram numerados de P1 a P8 de acordo com a ordenação apresentada na Figura 6.

Figura 6: Numeração dos pilares.

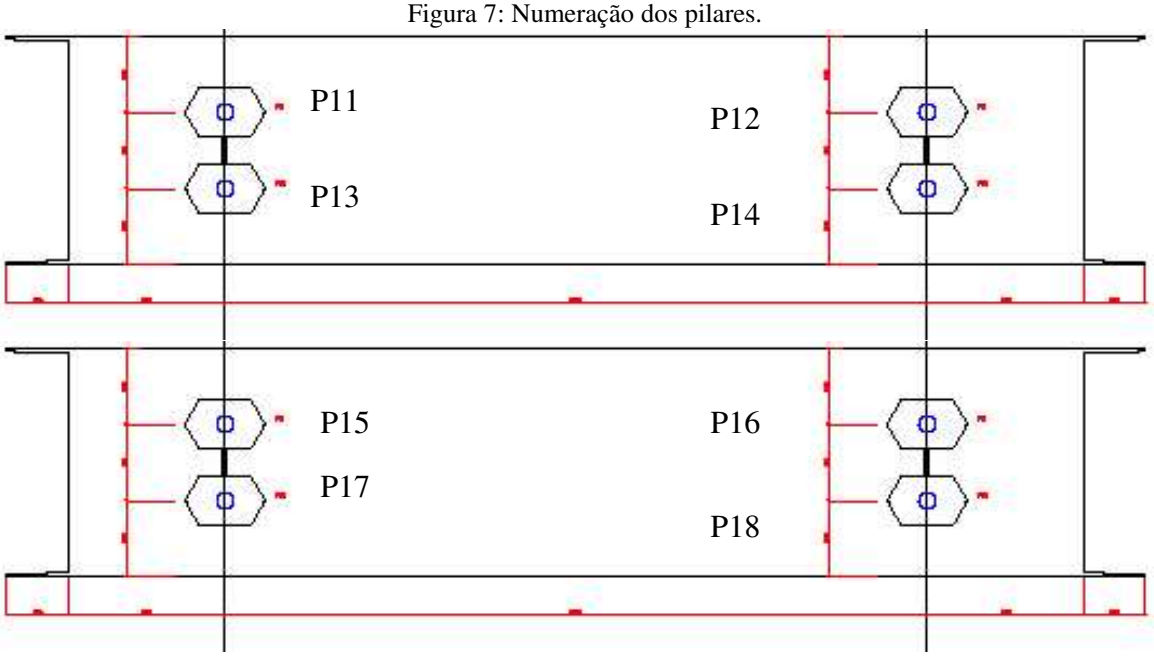


Fonte: Adaptado de DNIT.

3.2 Viaduto sobre a Rua Raul Pompéia

Na intersecção da BR 376 com a Rua Raul Pompéia, assim como na intersecção com a Rua Eduardo Sprada, também existem dois viadutos de mesma geometria e condição de implantação. Na Figura 7 é apresentada a numeração dos elementos.

Figura 7: Numeração dos pilares.



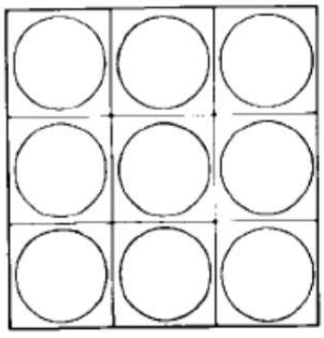
Fonte: Adaptado de DNIT.

3.3 Ensaios esclerométricos

Para a avaliação do índice esclerométrico nos pontos de interesse da estrutura foi seguida a ABNT NBR 7584:2012. O aparelho utilizado foi um esclerômetro da marca Proceq modelo N/NR com energia de percussão de 2,25 M.m.

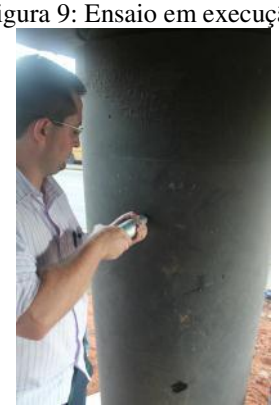
O ensaio foi realizado nas áreas de interesses indicadas no projeto. Foram utilizadas faces planas, polidas e limpas. Foram realizados 9 impactos na área de ensaio afastados 5cm entre si conforme Figuras 8 e 9.

Figura 8: Pontos de execução do ensaio.



Fonte: ABNT NBR 7584:2012.

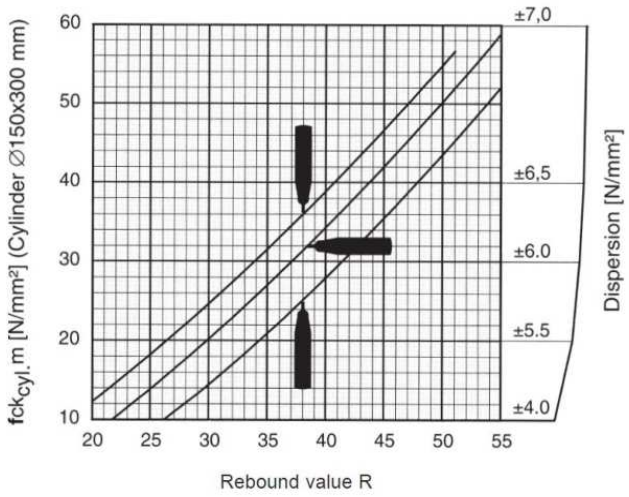
Figura 9: Ensaio em execução.



Fonte: Autores.

Foi realizada a média dos valores e excluídos os valores afastados em mais de 10% da média, conforme exige a norma. A estimativa da resistência a compressão axial dos elementos foi estimada a partir do ábaco fornecido pelo fabricante do aparelho, conforme Figura 10.

Figura 10: Ábaco utilizado para a estimativa da resistência à compressão



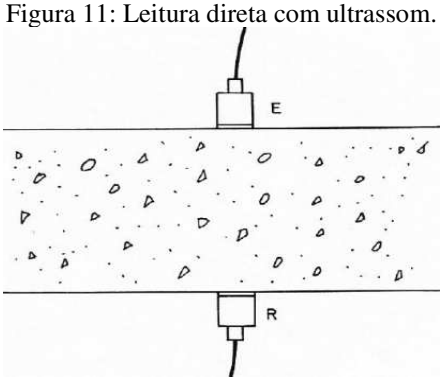
Fonte: Manual de instruções Proceq.

3.4 Ensaios Ultrassônicos

A determinação da velocidade de onda ultrassônica seguiu os procedimentos preconizados pela NBR 8802/2013. Foi utilizado um aparelho ultrassom da marca CNS Farnell modelo Plus com frequência de propagação de onda longitudinal de 20 Hz. Foi utilizado gel especifico nas pontas dos transdutores para a realização do ensaio, garantindo assim o contato entre a superfície de concreto e o sensor metálico do ultrassom.

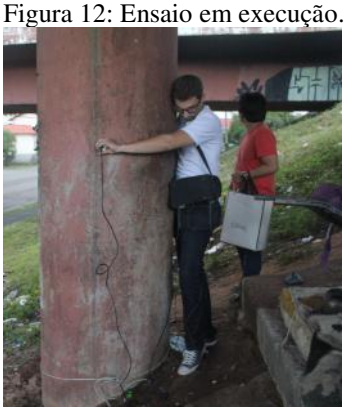
Nos ensaios foi adotada a transmissão direta Este arranjo é o mais recomendado na determinação da velocidade de propagação de ondas através de um material, pois desta forma as ondas são recebidas com maior intensidade. Como indicado nas Figuras 11 e 12, os transdutores se posicionam em faces opostas.

Figura 11: Leitura direta com ultrassom.



Fonte: ABNT NBR 8802/2013.

Figura 12: Ensaio em execução.



Fonte: Autores.

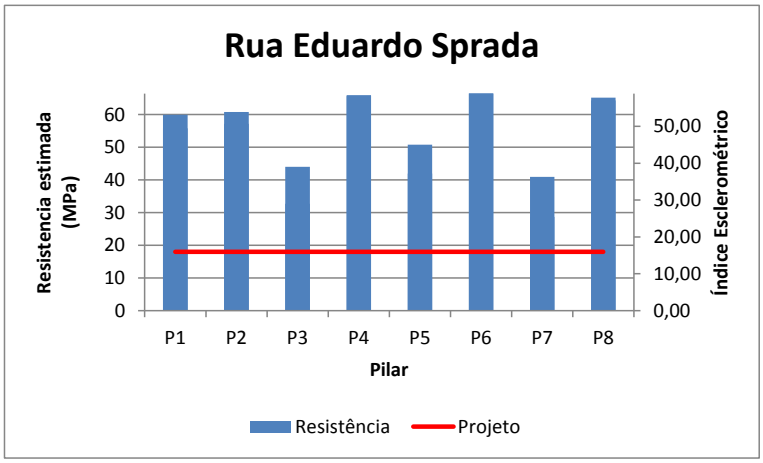
Em cada pilar foram realizadas duas leituras em sentidos perpendiculares em cada um dos elementos sempre a dois metros de distância a partir do tabuleiro das obras.

4. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios esclerométricos e de ultrassom realizados em ambos os viadutos, utilizando-se como comparação a resistência de projeto prevista em 1970.

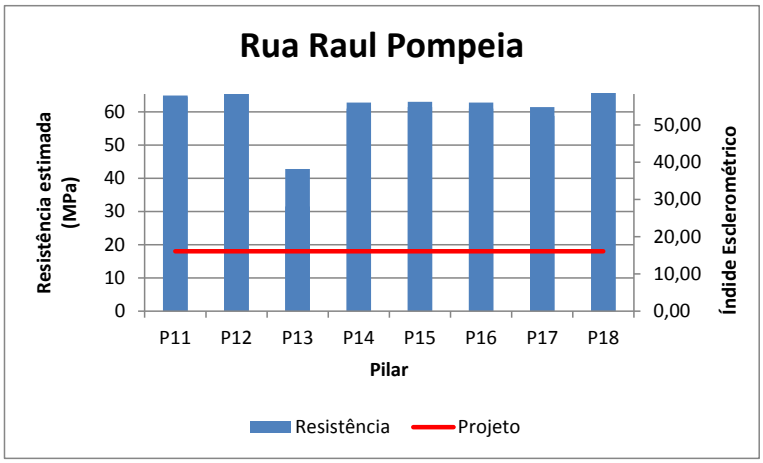
As Figuras 13 e 14 apresentam valores para os índices esclerométricos e para a resistência estimada de compressão.

Figura 13: Ensaios esclerométricos na Rua Eduardo Sprada.



Fonte: Autores.

Figura 14: Ensaios esclerométricos na Rua Raul Pompéia.



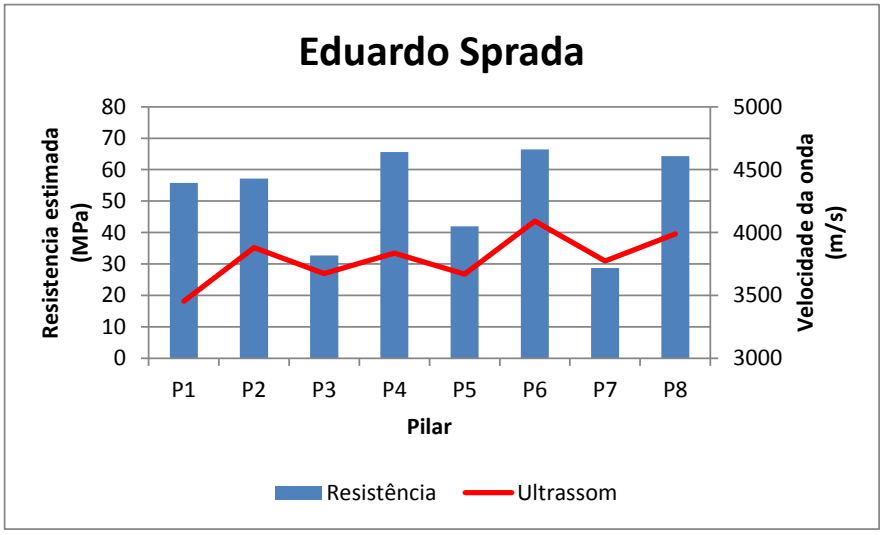
Fonte: Autores.

Em ambas as Figuras 13 e 14 os valores de resistência à compressão estimados são muito superiores aos de projeto. Desta forma, mesmo sabendo que os resultados do índice esclerométrico podem ser afetados por diversos fatores, é possível garantir que a resistência dos pilares é elevada, evitando-se assim a necessidade de retirada de corpos-de-prova testemunhos.

Destaca-se ainda que na Figura 13, foram encontrados valores mais baixos de resistência para os pilares P3, P5 e P7. Contudo, não foi constatada nenhuma falha ou problema aparente, na inspeção visual. Já o pilar P13, observado na Figura 14, apresentou um índice esclerométrico reduzido em comparação com as demais peças estruturais. Durante a inspeção visual foram observadas falhas neste elemento. Estas falhas podem ser observadas nas Figuras 1 e 2 já apresentadas.

Os resultados da velocidade da onda ultrassônica são mostrados nas Figuras 15 e 16, juntamente com os ensaios de esclerometria.

Figura 15: Ensaios de determinação da velocidade ultrassônica na Rua Eduardo Sprada.

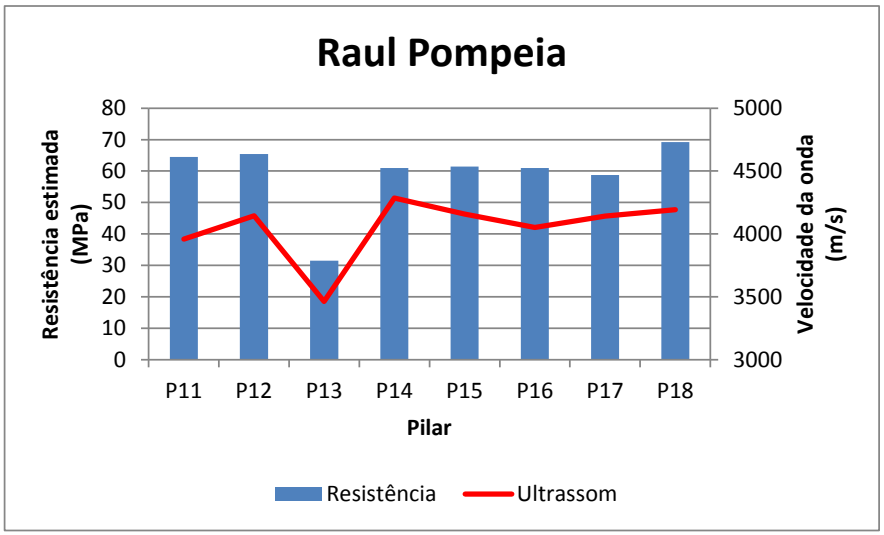


Fonte: Autores.

Observa-se na Figura 15 que os resultados da velocidade de onda superam 3500 m/s em todos os elementos. Segundo classificação elaborada por CÁNOVAS (1998), todos os pilares podem ser considerados em condições ótimas de qualidade, não apresentando, portanto, fissuras internas, desagregação ou vazios indesejados.

Nota-se, ainda, que a velocidade de onda é menor nos elementos que apresentaram valores de resistência mais baixos. Portanto, resultados coerentes com o ensaio esclerométrico realizado nos mesmos pilares.

Figura 16: Ensaios de determinação da velocidade ultrassônica na Rua Raul Pompéia.

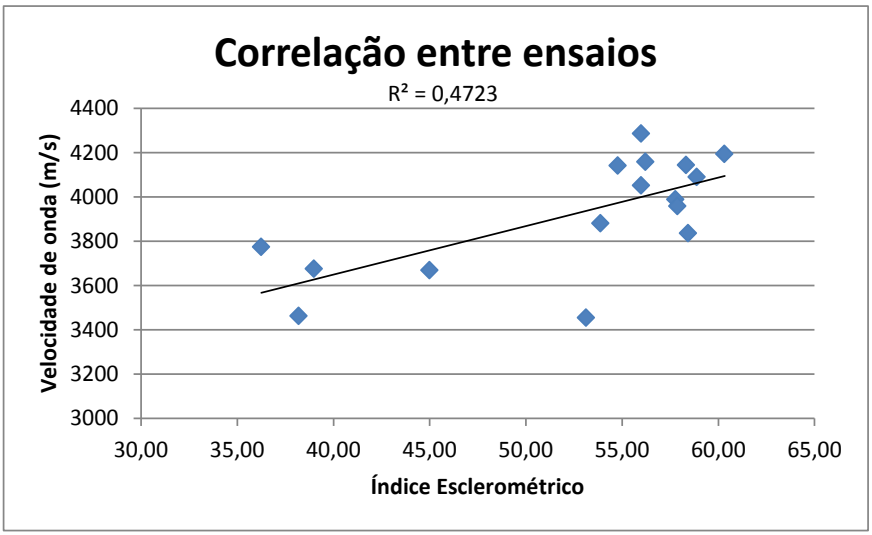


Fonte: Autores.

A partir da Figura 16, pode-se afirmar que o comportamento da estrutura foi semelhante ao do viaduto sobre a Rua Eduardo Sprada, no qual observaram-se valores altos para a velocidade de onda no interior dos elementos de sustentação e uma redução da velocidade no pilar que apresentou menor valor de resistência e falhas aparentes durante a inspeção visual.

Elaborou-se um gráfico com uma dispersão dos resultados de índice esclerométrico e de velocidade de onda nos mesmos pontos de ensaios a fim de se estabelecer uma correlação dos ensaios. Esta dispersão é apresentada na Figura 17.

Figura 17: Dispersão dos resultados dos ensaios não destrutivos.



Fonte: Autores.

Todavia, ao analizar Figura 17, não foi possível estabelecer uma correlação entre o índice esclerométrico e a velocidade de onda. Possivelmente, com dados do controle tecnológico do concreto seria possível estabelecer alguma relação entres os diferentes resultados.

5. CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados obtidos, verificou-se que a estrutura testada com ambas estratégias de análise dos dados empregados não necessita de reforço. Uma vez que os resultados foram satisfatórios e confirmam que as obras de arte especial se encontram em um ótimo estado de conservação apesar do ambiente agressivo e de sua idade.

Destaca-se que o uso do método de esclerometria deve se limitar as análises superficiais das características do concreto e que em casos críticos não descartam a utilização de ensaios destrutivos. Já os testes realizados com o ultrassom reforçam a ideia de que a utilização do método de ultrassonografia pode ser útil para a análise e/ou inspeção de estruturas do ponto de vista de sua homogeneidade e integridade.

Por fim, conclui-se que para este diagnóstico não foi necessária à utilização de métodos destrutivos, garantindo assim a efetividade dos ensaios e a integridade da estrutura.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos alunos: Cláudia Terezinha Saldanha, Rogério Jun Tanita e Sérgio Luís Krause Júnior, pelo suporte durante os ensaios em campo.

7. REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. - **Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica** ABNT NBR 8802. Rio de Janeiro, 2013

ALMEIDA, I. R. (1993). **Emprego do esclerômetro e do ultrassom para efeito de avaliação qualitativa dos concretos de alto desempenho.** Tese Concurso Professor Titular, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CÁNOVAS, M.F. (1998). **Patologia e Terapia do Concreto Armado.** Editora PINI, São Paulo, 522 p.

FIGUEIREDO, E. P. **Inspeção e diagnostico de estruturas de concreto com problemas de resistência, fissuras e deformações.** In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto. Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. Vol.2, p. 985-1015.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Trad. Salvador e. Giammusso. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

CARVALHO, C.H. (2013). **Estudo Comparativo das técnicas não destrutivas de ultrassom e esclerometria na avaliação do desempenho mecânico de estruturas em concreto armado.** Programa de Pós graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, SE, Brasil.

LORENZI, A. (2003). **Utilização de ultrassom para o monitoramento de estruturas de concreto.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais, Porto Alegre, RS, Brasil.

PERLIN, L. P. (2011). **Tomografia ultrassônica em concreto: desenvolvimento de ferramenta computacional.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.