

# **CORRELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE DA ONDA ULTRASSÔNICA E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E O MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DE TESTEMUNHOS DE CONCRETO EXTRAÍDOS DE UMA ESTRUTURA DE 60 ANOS: ESTUDO DE CASO DO ESTÁDIO MARACANÃ**

Daniel da Silva ANDRADE<sup>1</sup>; Enio Pazini FIGUEIREDO<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Mestrando do Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (CMEC/EEC/UFG), [ds.andrade@hotmail.com](mailto:ds.andrade@hotmail.com); <sup>2</sup> Professor Titular do CMEC/EEC/UFG, [epazini@eec.ufg.br](mailto:epazini@eec.ufg.br)

**PALAVRAS CHAVES:** Concreto, técnicas não-destrutivas, ultrassom.

## **1 INTRODUÇÃO**

Este trabalho trata-se de uma correlação entre os resultados do ensaio de ultrassom e os ensaios de resistência à compressão e de módulo de deformação do concreto realizados em testemunhos extraídos das estruturas do Estádio Mário filho (Maracanã) localizado na cidade do Rio de Janeiro-RJ. Os ensaios desta pesquisa foram realizados durante uma criteriosa avaliação a qual passou as estruturas de concreto do Maracanã, em função das obras de reforma para sediar a copa do mundo de futebol a realizar-se em 2014, coordenada pelo Prof. Dr. Enio José Pazini Figueiredo. Estas correlações foram realizadas por meio de modelos matemáticos obtidos através de um tratamento estatístico dos resultados.

A técnica de avaliação das estruturas por meio da utilização de ensaios não destrutivos vem crescendo continuamente em todo o mundo, abrangendo vários ensaios. Dentre os ensaios que se destacam, pela praticidade, portabilidade e fácil manuseio, está o ultrassom com sua técnica e princípio de utilização simples, mas quando se trata do concreto, que é um material heterogêneo por causa dos seus componentes de naturezas distintas, surgem situações que exigem cuidados mais abrangentes.

A possibilidade de estimar as propriedades mecânicas do concreto das estruturas do estádio Maracanã através do uso do ultrassom tem como objetivo contribuir para a área de avaliação de estruturas através de ensaios não-destrutivos por meio de um estudo de caso em uma estrutura de aproximadamente 60 anos, além de contribuir

para estudos comparativos entre correlações estabelecidas por outros pesquisadores com a aplicação destes ensaios em outras estruturas.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Devido às grandes dimensões do Estádio Maracanã decidiu-se realizar os ensaios por amostragem. Primeiramente a estrutura de concreto foi dividida nas seguintes partes: (i) Pilares principais, (ii) Cobertura, (iii) Arquibancadas superiores Norte e Sul, (iv) Vigas transversais sobre os pilares da cota 4,5m, (v) Paredes cortinas de sustentação das arquibancadas superiores localizadas na cota 9,0m, (vi) Lajes da cota 23,00m e (vii) Rampas monumentais Leste e Oeste. Após a divisão da estrutura em partes foram escolhidas algumas regiões de maneira aleatória para a realização dos ensaios.

Depois de escolher as regiões a serem avaliadas deu-se início aos serviços de preparação das áreas a serem ensaiadas retirando a camada de revestimento da estrutura deixando o concreto aparente com a superfície plana e lisa.

Após a preparação das superfícies foi efetuada a detecção eletromagnética da armadura, onde foi demarcado com giz estaca uma estimativa das posições das armaduras do concreto, com esse ensaio é diminuída a interferência do aço com relação aos ensaios de ultrassom e extração de corpos-de-prova.

Dando continuidade aos ensaios, foi feito o ensaio ultrassônico de acordo com a NBR 8802, para isto primeiramente foi medida a espessura do concreto tirando à medida que será percorrida pela onda ultrassônica e em seguida posicionou-se o emissor e o receptor da onda ultrassônica, um de cada lado do elemento estrutural, ambos no mesmo alinhamento para efetuar a medida da velocidade que a onda ultrassônica leva para atravessar o concreto. Para que os transdutores ficassem completamente em contato com a superfície do concreto foi necessária a utilização de um gel acoplante (vaselina), uma vez que a camada de ar existente entre os transdutores e a superfície pode ocasionar erros de leitura

Com a utilização de uma perfuratriz foram extraídos corpos-de-prova de todas as regiões onde foram realizados ensaios com ultrassom, sendo que, para cada corpo-de-prova extraído foi feita uma medida de velocidade da onda ultrassônica através do concreto. Os corpos-de-prova extraídos foram devidamente identificados e

enviados para as empresas Falcão Bauer e Concremat em São Paulo para a realização de ensaios de resistência à compressão e módulo de deformação.

### 3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os dados obtidos nos ensaios realizados nas estruturas do Maracanã, foram estudadas as correlações entre os valores de velocidade ultrassônica e a resistência à compressão do concreto, e as correlações entre a velocidade ultrassônica e o módulo de deformação do concreto. Por meio de regressão foram estudados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o de correlação ( $r$ ), bem como a equação de regressão aplicável à situação analisada. Neste trabalho optou-se por apresentar as correlações mais fortes dentre o estudo realizado nas partes da estrutura do Maracanã, ou seja, as correlações cujo  $R^2$  mais se aproxima de 1.

Ao correlacionar os resultados de velocidade ultrassônica e a resistência à compressão do concreto a partir de resultados de ensaios realizados nos pilares principais e nos pilares da rampa Oeste, percebe-se que quanto maiores são os resultados de velocidade da onda ultrassônica, maior é a resistência à compressão do concreto, pois quanto maior a compacidade do concreto, mais fácil é o fluxo da onda ultrassônica.

Da correlação entre a velocidade da onda ultrassônica e a resistência à compressão do concreto nos pilares principais obtiveram-se  $R^2=0,78$  e  $r=0,88$ , sendo que esta correlação pode ser representada pela equação:  $R=0,00000000000003 \cdot V^{3,922}$ , onde ( $R$ ) é a resistência à compressão do concreto em MPa e ( $V$ ) é a velocidade da onda ultrassônica em m/s. Isto significa que 78% da variabilidade dos resultados de resistência à compressão dos pilares principais podem ser explicados por esta equação.

Já a correlação entre a velocidade da onda ultrassônica e a resistência à compressão do concreto dos pilares da rampa Oeste apresentou  $R^2=0,75$  e  $r=0,87$ , sendo que esta correlação pode ser representada pela equação:  $R=0,002 \cdot V^{1,171}$ . Isto significa que 75% da variabilidade dos resultados de resistência à compressão dos pilares da rampa Oeste podem ser explicados por esta equação.

Com o objetivo de estudar a correlação entre a velocidade da onda ultrassônica e o módulo de deformação do concreto também foram feitos estudos de regressão a partir de ensaios realizados nas arquibancadas Norte e Sul e nas lajes da cota

23,00m. Com estes estudos também é possível perceber que quanto maiores são os resultados de velocidade da onda ultrassônica maior é o módulo de deformação do concreto.

Da correlação entre a velocidade da onda ultrassônica e o módulo de deformação do concreto das arquibancadas Norte e Sul obtiveram-se  $R^2=0,73$  e  $r=0,85$ , sendo que esta correlação pode ser representada pela equação:  $E=0,00000000000003 \cdot V^{4,188}$ , onde (E) é o módulo de deformação do concreto em GPa e (V) é a velocidade da onda ultrassônica em m/s. Isto significa que 73% da variabilidade dos resultados de módulo de deformação das arquibancadas Norte e Sul podem ser explicados por esta equação.

Já a correlação entre a velocidade da onda ultrassônica e o módulo de deformação do concreto das lajes da cota 23,00m apresentou  $R^2=0,70$  e  $r=0,83$ , sendo que esta correlação pode ser representada pela equação:  $E=0,00000000000003 \cdot V^{3,973}$ . Isto significa que 70% da variabilidade dos resultados de módulo de deformação das lajes da cota 23,00m podem ser explicados por esta equação.

Os resultados apresentados mostram fortes correlações entre velocidade ultrassônica, resistência à compressão e módulo de deformação do concreto. No presente trabalho optou-se por utilizar equações do tipo função potência, por serem as mais utilizadas de acordo com a literatura, e por melhor representarem os efeitos analisados. No entanto, os coeficientes de determinação e correlação obtidos com outras curvas de regressão não se distanciaram dos obtidos pela função potência.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com as correlações estabelecidas neste trabalho a partir dos resultados dos ensaios realizados em partes das estruturas do estádio Maracanã conclui-se que quanto maiores são os resultados de velocidade da onda ultrassônica maior é a resistência à compressão do concreto, isto se explica pelo fato de que quanto maior a compacidade do concreto, mais fácil é o fluxo da onda ultrassônica. Em relação aos coeficientes de determinação obtidos da correlação entre estas duas variáveis foram obtidos os valores  $R^2 = 0,780$  e  $R^2 = 0,758$  para os pilares principais e para os pilares da rampa Oeste respectivamente, isto mostra uma forte correlação entre estas variáveis.

À medida que aumentam os resultados de velocidade da onda ultra-sônica também aumenta o módulo de deformação do concreto. Em relação aos coeficientes de determinação obtidos da correlação entre estas duas variáveis foram obtidos os valores  $R^2 = 0,731$  e  $R^2 = 0,699$  para as arquibancadas Norte e Sul e as lajes da cota 23,00m respectivamente, isto também mostra uma forte correlação entre estas variáveis.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Consórcio Maracanã e à Empresa de Obras Públicas do Rio De Janeiro pelo fundamental apoio recebido durante a realização dos ensaios, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pelo apoio financeiro.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7680*: Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. *NBR 8802*: Concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação da onda ultrassônica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

FIGUEIREDO, E. J. P. Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto com problemas de resistência, fissuras e deformações. Cap. 33. In: CONCRETO, PESQUISA, ENSINO E REALIZAÇÕES, 2005, São Paulo: IBRACON, 2005.

MEHTA, P. K.;MONTEIRO, P. J M. *Concreto*: Microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2008.

PRADO, A. L. Módulo de deformação estático do concreto de alta e baixa relação a/c pelo método ultrassônico. 2006. Dissertação de Mestrado – Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

RODRIGUES, G. S.S. *Módulo de deformação estático do concreto pelo método ultrassônico*: Estudo da correlação e fatores influentes. 2003. Dissertação de Mestrado – Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.