AVALIAÇÃO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO COM PROCESSO CORROSIVO ATRAVÉS DO ENSAIO DE PULSO ULTRASSÔNICO

L. A. REGINATTO
Pesq. Eng.° Civil
LEME/UFRGS
Porto Alegre; Brasil
lucas.reginato@ufrgs.br

A. LORENZI
Pesq. Eng.° Civil
LEME/UFRGS
Porto Alegre; Brasil
alexandre.lorenzi@ufrgs.br

L. C. P. SILVA FILHO
Prof. Eng.° Civil
LEME/UFRGS
Porto Alegre; Brasil
lcarlos66@gmail.com

RESUMO

O monitoramento e avaliação das estruturas de concreto é um procedimento necessário, uma vez que a detecção preventiva dos problemas permite a utilização de métodos mais simples e econômicos para avaliação e reparo. Para tais fins, os ensaios de velocidade de propagação de pulso ultrassônico (VPU) tornam-se uma estratégia de investigação bastante atraente e viável. Devido a sua facilidade de aplicação o ensaio de VPU é muito útil para a investigação do estado de conservação das estruturas de concreto. Através dos mesmos pode-se contribuir com sucesso no controle da deterioração e qualidade das mesmas. Contudo, diversos fatores ou condições podem intervir nos valores da VPU. Em virtude disto, o presente artigo evidencia como os ensaios de VPU podem ser aplicados em pilares de concreto armado com processo corrosivo e mostra estudos de casos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa LEME-UFRGS a respeito da aplicação dos mesmos.
Palavras-chave: Ensaio Ultrassônico. Pilares de Concreto. Corrosão.

ABSTRACT

The monitoring and evaluation of concrete structures is a necessary proceeding, since they help to prevent problems detection using more economical methods for evaluation and repair. For this purposes, ultrasonic tests (UPV) are a very attractive research strategy. UPV teste are a very useful test for investigating the state of conservation of concrete structures. Through the UPV tests, we can successfully contribute to the control of deterioration and quality. However, several factors or conditions may interfere with the values of VPU. The present paper shows how the UPV tests can be applied in reinforced concrete pillars to detect corrosive process and shows case studies developed by the Research Group LEME-UFRGS about their application.
Keywords: Ultrasonic Tests. Concrete Columns. Corrosion.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Shah e Subramaniam (1999) a deterioração do concreto em estruturas é um resultado de vários mecanismos de degradação e resulta em uma diminuição na integridade da mesma. Diante desta realidade, o emprego de metodologias de inspeção e diagnóstico se torna essencial para a determinação do estado de conservação e entendimento dos mecanismos de degradação prevalentes.

O concreto não pode ser considerado um material eterno, visto que necessita de manutenção para garantir a sua vida útil. A falta de manutenção faz com que as construções apresentem manifestações patológicas

de significativa intensidade e incidência, geralmente acompanhadas de elevados custos para a sua reabilitação (CEB-FIP, 1993). Fatores como a ocorrência de falhas de projeto; o uso de dosagens incorretas; o emprego de processos inadequados de mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura e descimbramento; além da utilização incorreta das estruturas de concreto, têm levado ao surgimento de manifestações patológicas, muitas vezes precoces e com custos elevados de reparação (Figueiredo, 2005).

No atual cenário em que as exigências de qualidade estão se firmando, é de vital importância o desenvolvimento de alternativas que permitam, de forma eficaz, avaliar a qualidade das estruturas de concreto. A aplicação de ensaios não destrutivos (END) se constitui em uma estratégia interessante para monitorar o estado das mesmas.

Para que seja possível ampliar a vida útil de uma estrutura é iminente a necessidade de qualificar o material a ser empregado, bem como a mão-de-obra utilizada. Objetivando atender às expectativas de projeto quanto à resistência e vida útil de estruturas de concreto, é interessante dispor de um sistema de acompanhamento para verificar as condições físicas e estimar a homogeneidade e compacidade do concreto. Os END são uma estratégia de investigação atraente neste contexto, pois permitem que seja feita uma análise das condições da estrutura, sem provocar danos à mesma.

Considerando que a resistência está fortemente correlacionada com a densidade do material, pode-se utilizar os ensaios de velocidade de propagação do pulso ultrassônico (VPU) para avaliar a homogeneidade do concreto, sem que seja necessário retirar amostras do material. Tendo em vista que a corrosão das armaduras do concreto armado pode afetar a homogeneidade do material bem como a resistência, desta forma a utilização do ensaio de VPU pode ser uma alternativa para a avaliação e detecção de estruturas, ou regiões, com processos corrosivos instalados.

2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Os métodos e equipamentos de Ensaios Não Destrutivos (END) são indispensáveis para uma eficaz caracterização das propriedades e para o monitoramento da qualidade e integridade de materiais e estruturas. Através da utilização dos END na engenharia tem-se auxílio para tomar-se uma decisão sobre o estado de conservação, a necessidade de recuperação e sobre a aptidão para os serviços.

Para ABENDI (2002) os END são ensaios realizados em materiais, acabados ou semi-acabados, para verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior. Constituem uma das principais ferramentas do controle da qualidade de materiais e produtos, contribuindo para garantir a qualidade, reduzir os custos e aumentar a confiabilidade da inspeção.

Os mesmos são utilizados na fabricação, montagem, inspeção em serviço e manutenção, sendo largamente aplicados em soldas, fundidos, forjados, laminados, plásticos, concreto, entre outros. Eles incluem métodos capazes de proporcionar informações a respeito do teor de defeitos de um determinado produto, das características tecnológicas de um material, ou ainda, da monitoração da degradação em serviço de componentes, equipamentos e estruturas.

A grande questão consiste em obter uma forma adequada de estimar a resistência de uma estrutura de concreto existente. As condições de exposição e cura dos corpos-de-prova moldados durante o processo de concretagem das estruturas geralmente são bastante diferentes daquelas existentes na peça real, o que afeta diretamente a resistência.

A aplicação de END se constitui em uma estratégia interessante para monitorar o estado das estruturas de concreto armado. Esta possibilidade é muito atraente por evitar que a investigação da resistência provoque danos que podem ser caros de corrigir, ou que resultem num reparo cuja interface com o material original vai se constituir numa zona mais vulnerável à deterioração. Danos mal corrigidos podem acarretar numa redução da vida de serviço da estrutura. Estimativas de resistência do concreto através da utilização de métodos de END, aplicados na estrutura real, passam a se constituir em uma possibilidade interessante de controle. Os END podem ser aplicados a cada fase da construção: tanto podem ser examinados os

materiais como podem ser usadas as suas técnicas para então monitorar a integridade da estrutura durante a sua vida útil.

2.1 Ensaio de VPU

No ensaio de VPU uma onda de som ultrassônica é projetada num material, sendo medida a velocidade de propagação da mesma, que vai depender da natureza do material, da sua porosidade e da presença de vazios ou de água no sistema de poros, entre outros fatores. Este ensaio pode ser considerado como um dos mais promissores para a avaliação de estruturas de concreto. Através da sua utilização consegue-se realizar um controle das variações da compacidade da estrutura, que pode ser associada a mudanças das suas propriedades.

O ensaio de VPU é cada vez mais empregado no diagnóstico de estruturas, pois permite caracterizar o material, avaliar sua integridade e medir propriedades físicas importantes por meio do monitoramento da velocidade de propagação de ondas de som de alta freqüência pelo material. Por ser rápido e não-destrutivo, o VPU oferece a oportunidade de se estabelecer um controle total dos elementos que compõem a estrutura, inclusive ao longo do tempo. Os resultados deste tipo de análise podem ser usados para prognóstico da qualidade ou para correção do processo tecnológico.

Segundo Figueiredo (2005), a velocidade do som irá depender, entre outros fatores, do meio de propagação. Como a velocidade decresce rapidamente ao se propagar por meios líquidos, e mais ainda, em meios gasosos, é possível usar a velocidade média de propagação como estimativa da quantidade de vazios e, consequentemente, da densidade do material. Esta característica é extremamente importante para entender e analisar os resultados obtidos nos ensaios de VPU. A Figura 1 ilustra a execução de um ensaio de VPU.

Figura 1 – Ensaio de VPU



3. CORROSÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O mecanismo da corrosão, sucintamente, é dividido em duas etapas: a iniciação e a propagação. As etapas foram baseadas no modelo fenomenológico proposto por Tuutti (1982). Para que a corrosão das armaduras seja iniciada (etapa da iniciação), de acordo com Cascudo (1997), é necessário que os agentes agressivos destruam a camada passivadora do aço. De acordo com Andrade (2001), define-se, portanto, o período de iniciação da corrosão como o intervalo de tempo necessário para que os agentes agressivos (CO_2, Cl^-) penetrem através do cobrimento do concreto até atingir a armadura.

Cascudo (1997) afirma que, uma vez despassivada a armadura, seja pela carbonatação, pela penetração de íons cloretos ou ação simultânea de ambos os fatores, ela fica vulnerável à corrosão, dando início a

etapa de propagação da corrosão. Referindo-se a esse período Meira (2017) ressalta que essa fase da corrosão está relacionada à cinética do processo, ou seja, à velocidade com que o processo de corrosão avança. Nessa etapa, do mecanismo de corrosão, é que correm os efeitos deletérios da corrosão das armaduras.

Os efeitos da corrosão nas estruturas de concreto armado são divididos em três efeitos principais: Sobre as propriedades mecânicas das armaduras; sobre a aderência entre o as armaduras e o concreto; e sobre a fissuração do concreto.

Correlacionando os efeitos da corrosão ao ensaio de VPU, observa-se que o efeito mais significativo detectado pelo ensaio de VPU é a fissuração do concreto. Tal fato é constado pela perda de homogeneidade do material e consequente redução da velocidade do pulso ultrassônico.

Quanto ao processo fissuratório, Helene (1993) esclarece que os produtos de corrosão que se formam são de caráter heterogêneo, poroso e normalmente se formam fora do aço, logo os produtos acabam se depositando nas regiões próximas às armaduras, ou seja, nos poros, nos capilares e nas fissuras do concreto. A partir do instante em que o concreto não seja capaz de resistir as tensões impostas pela expansão dos produtos de corrosão, que podem ser de 3 a 10 vezes maiores que o volume incial da armadura ocorre a fissuração do concreto (CASCUDO, 1997).

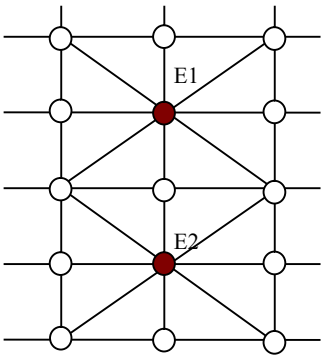
4. METODOLOGIA

Para realização das medições foram criados grids nas faces dos elementos, com espaçamento variável, de acordo com o tipo de elemento a ser ensaiado. Nos pilares de seção 50 x 60 cm e no bloco o grid utilizado foi de 20x25cm. Nos pilares de seção 60 x 60 cm e 80 x 80 cm, o grid foi de 25x25cm. Na rampa o grid utilizado era de 40x40cm.

O esquema de medição do pulso ultra-sônico estabeleceu-se da seguinte forma: nos pontos centrais, denominados de E1 e E2, na Figura 2, foi posicionado o transdutor emissor, enquanto que o receptor foi posicionado nos pontos em torno do mesmo, resultando em 8 leituras de tempo de propagação de pulso.

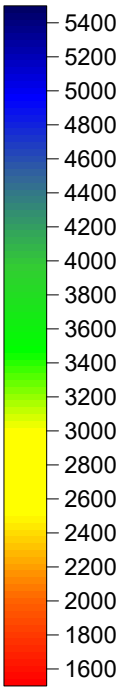
Após esta etapa, foi feito a leitura nos pontos de contorno do grid, somando-se mais oito leituras, conforme pode ser observado na Figura 2. O emissor era então mudado para o ponto E2, onde se repetia este procedimento, e assim sucessivamente até que todas as leituras necessárias para um perfeito mapeamento da região analisada fossem finalizadas.

Figura 2 – Grid de medição para leituras de VPU.



As variações de velocidade foram mapeadas graficamente através da utilização de um software de geração de curvas de nível, facilitando a visualização das variações na homogeneidade, compacidade e integridade de cada elemento. Na Figura 3 se apresenta a escala de cores utilizada para ilustrar a variação da velocidade nas estruturas analisadas. Esta escala compreende os valores entre 1600 m/s (vermelho) e 5400m/s (azul).

Figura 3 – Escala de cores empregadas para as velocidades de propagação da onda ultrassônica na análise dos elementos examinados.



5. RESULTADOS

A determinação da velocidade de propagação do pulso ultrassônico nos pilares foi realizada em toda a altura do mesmo, até a face inferior da laje ou viga. Durante a execução dos ensaios nos pilares, a equipe detectou a existência de uma junta de concretagem localizada aproximadamente na altura de 2,40 metros do piso, claramente identificada no mapeamento de vários elementos. Além disto, foi constatado que os pilares estavam revestidos com uma fina camada de reboco de regularização, até uma altura de 1,90 metros. Em alguns pontos este reboco não se encontrava bem aderido, conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Detalhe da ruptura do reboco após a medição do tempo de propagação do pulso ultrassônico.



A presença do reboco mal aderido em alguns pontos certamente afetou alguns resultados, acarretando uma diminuição da velocidade de propagação em alguns pontos e aumentando a heterogeneidade nas medidas.

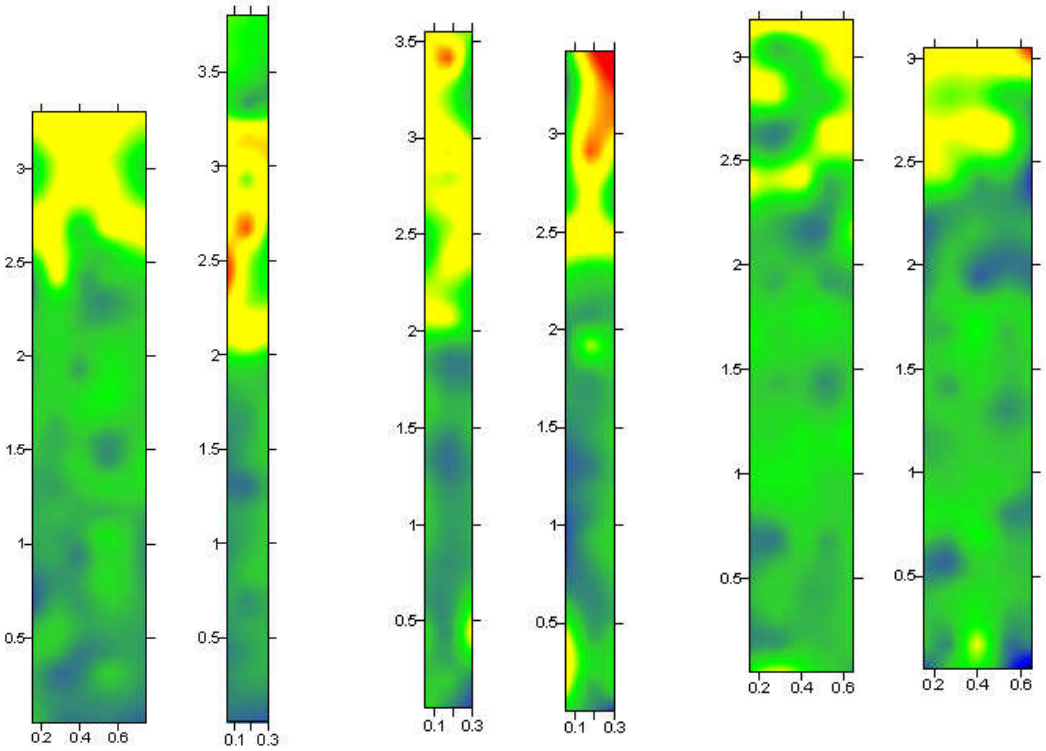
Apesar disto, a análise dos resultados obtidos permitiu identificar a existência de diferenças significativas entre zonas corrídas e elementos examinados. Algumas regiões apresentam valores de UPV claramente menores que outras, indicando diferenças nas características do concreto e processo corrosivo.

Conforme pode ser observado nas imagens da Figuras 4, os pilares A, B e C apresentaram os melhores resultados, com leituras indicando a ocorrência de velocidades superiores a 3700 m/s, no trecho inferior dos pilares, até uma altura entre 2,00 e 2,50 metros. A partir desta altura observa-se que os valores de velocidade de propagação de pulso sofrem forte redução, pela presença de juntas de concretagem e defeitos devido a corrosão localizada, atingindo valores pontuais mais baixos de até 1.900 m/s.

Os pilares D e E (Figura 5) se caracterizaram por um comportamento intermediário, também apresentando velocidades de VPU mais baixas no topo, justificada pela possivel exudação durante a concretagem. Os mesmos diferem dos anteriores devido ao fato de apresentarem velocidades um pouco mais baixas no trecho até 1,50 metros.

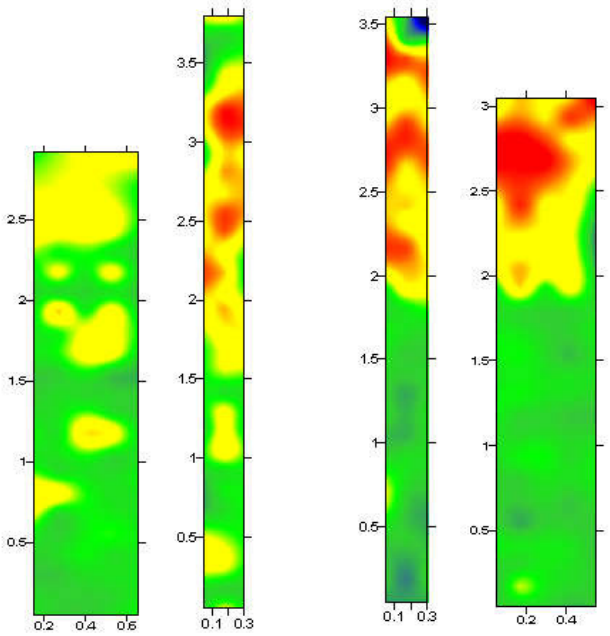
Já os pilares F e G (Figura 6) apresentaram medidas de velocidade baixas em toda sua extensão, sendo que em apenas alguns trechos as mesmas superaram 3000 m/s. Os ensaios indicam que estes pilares são os que apresentam a menor resistência ou maiores zonas com corrosão. Estas falhas apresentadas no concreto eram em decorrencia da expansao das armaduras destes pilares, que ja se encontravam em processo de corrosão e ocasionando fissuras no concreto. Desta forma, consegue-se visualizar as diferenças entre os pilares em decorrëncia da presença de processo corrosivo das armaduras.

Figura 4 – (a) Pilar A, (b) Pilar B e (c) Pilar C.



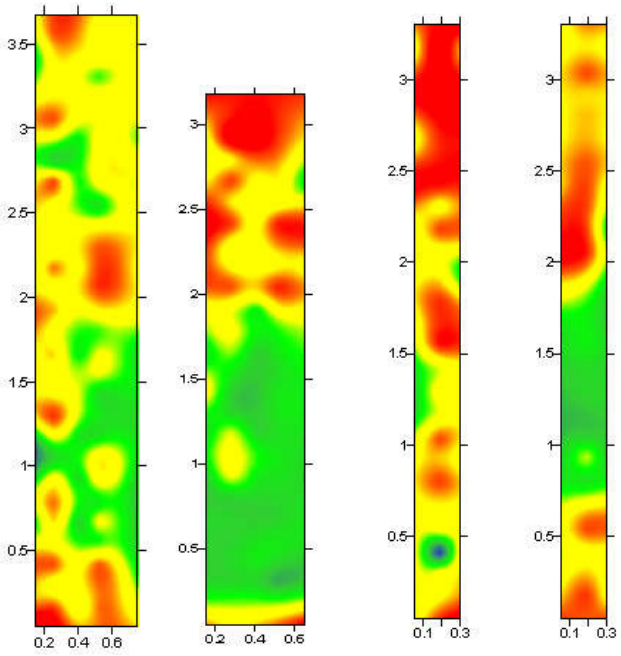
(a) (b) (c)

Figura 5 – (a) Pilar D e (b) Pilar E.



(a) (b)

Figura 5 – (a) Pilar F e (b) Pilar G.



(a) (b)

6. CONCLUSÕES

Impulsionadas pela necessidade de se obter estruturas de concreto com alto padrão de qualidade e durabilidade, as pesquisas referentes aos ENDs têm buscado entender as capacidades e limitações de ensaio.

O desconhecimento da real situação em que se encontra uma estrutura é um fator complicador nas intervenções em estruturas deterioradas ou sob suspeita. A falta de informação, numa situação de caráter emergencial, pode fazer com que se tomem decisões conservadoras, aumentando o escopo e complexidade das intervenções previstas, aumentando custos ou gerando transtornos adicionais para seus usuários. O uso de ensaios de VPU pode auxiliar na tomada de decisão e estabelecimento de estratégias de intervenção.

Este estudo permitiu identificar que existem diferenças nas características dos concretos empregados. Considerando os resultados obtidos pode-se afirmar que a hipótese de que os concretos de todos os elementos analisados apresentam características similares não pode ser aceita. A partir da análise dos resultados verifica-se que os elementos ensaiados podem ser divididos em grupos com características genéricas distintas.

Os ensaios realizados indicaram que os pilares ensaiados podem ser classificados em três distintas categorias, sendo que os pilares que apresentavam características inferiores de VPU eram resultantes da presença de processos corrosivos da armadura, fator este que contribuiu para que aparecessem falhas e defeitos na superficie do pilar.

Pode-se concluir que, mediante a execução de VPU é possível detectar estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras. O uso de ensaios tipo VPU pode auxiliar na tomada de decisão e estabelecimento de estratégias de intervenção.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J. De O. **Estruturas De Concreto Armado Atacadas Pela Corrosão De Armaduras :** Iniciação Por Cloretos**.** 2001. 277f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **Tudo pode parar sem END**. CD-ROM. São Paulo, 2002.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. 1 ed. Pini, 1997.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **CEB-FIP Model Code 1990**. London: Thomas Telford, 1993.

FIGUEIREDO, E. P., Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência, Fissuras e Deformações. In: ISAIA, G. C. (Editor), **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. cap.33, vol.2, p.985-1015.

HELENE, P. R. Do L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 248f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado: ensaios eletroquímicos**. ed 1. 2017

SHAH, S. P., SUBRAMANIAM, K. V., **Use of Nondestructive Ultrasonic Techniques for Material Assessment and In-Service Monitoring of Concrete Structures**. International Symposium on Nondestructive Testing (NDTISS 99). Santa Maria, Brasil, Universidade Federal de Santa Maria, 1999.