

Avaliação de Pilares de Concreto Armado através de Ensaios de Pulso Ultrassônico

Ultrasonic pulse velocity tests to evaluate concrete columns

*Lucas Alexandre Reginato(1); Alexandre Lorenzi(2); Luciani Somensi Lorenzi(3);
Luiz Carlos Pinto da Silva Filho(4)*

1 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lukas0910@gmail.com

2 Pesquisador do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: alexandre.lorenzi@ufrgs.br

3 Professor Adjunto. Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação - Departamento de Engenharia Civil (DECIV) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: luciani.lorenzi@ufrgs.br

4 Professor Associado. Departamento de Engenharia Civil (DECIV) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 4, n. 1, p. 32-47, Jan.-Jun. 2017 - ISSN 2358-6508

DOI: <http://dx.doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v4n1p32-47>

Endereço correspondente / Correspondence address:

Alexandre Lorenzi
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 43436 - Setor 4 -
Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande
do Sul (UFRGS)

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

O monitoramento 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) torna-se uma estratégia de investigação bastante atraente e viável. Devido a sua facilidade de aplicação esse método é muito útil na investigação do estado de conservação das estruturas de concreto. Através dos ensaios de VPU pode-se contribuir com sucesso no controle da deterioração e qualidade das estruturas. O presente artigo evidencia como podem ser empregados os ensaios de VPU aplicados no controle de pilares de concreto, mostrando estudos de casos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa LEME-UFRGS a respeito da aplicação dos mesmos.

Palavras chave: Concreto. Ensaio ultrassônico. Controle de qualidade.

Abstract

Concrete structures monitoring is an essential procedure. This procedure allows detecting pathological problems and using easier and economical methods for evaluation and repairing. The ultrasonic pulse velocity (UPV) method becomes a very attractive and viable strategy. This method is very useful in the assesment of concrete structure condition. The method can contribute to success at quality controlling of concrete structures. This paper shows how we can use the UPV tests to control of concrete columns and shows cases studies developed by the Research Group LEME-UFRGS about application.

Keywords: Concrete. Ultrasonic tests. Quality control.

1 Introdução

O concreto é o material mais utilizado na construção, sendo que o homem não consome nenhum outro material na mesma quantidade (MEHTA *et al.*, 2008). Devido a este fator se justifica a realização de estudos sobre os fatores que podem afetar suas propriedades e sobre as formas de medir as mesmas (LORENZI *et al.*, 2005). A resistência à compressão é a propriedade de controle mais empregada para analisar a qualidade deste material. Se um concreto não é suficientemente resistente, pode não suportar as cargas de projeto ou a ação dos agentes ambientais. Este fator irá resultar em danos que podem ser caros de corrigir, numa vida de serviço encurtada ou no desmoronamento da estrutura edificada, o que pode colocar em risco seus usuários (LORENZI *et al.*, 2007).

Contudo o desempenho das estruturas de concreto depende diretamente de diversas variáveis derivadas da sua produção, como por exemplo, a relação água-cimento, o tipo e tamanho do agregado, o teor de umidade, a técnica de moldagem, o tamanho das amostras e o tipo de cimento.

No atual cenário em que as exigências de qualidade no mercado estão se firmando em função entrada em vigor da Norma de Desempenho (ABNT-NBR 15575), é de vital importância o desenvolvimento de alternativas que permitam, de forma eficaz e rápida, avaliar a qualidade das estruturas de concreto. A aplicação de Ensaios não Destrutivos (END) pode contribuir na análise das estruturas de concreto existentes. A propriedade de controle mais utilizada como indicativa da qualidade do concreto ainda é a resistência à compressão.

Neste sentido, o método de ensaio de velocidade de propagação do pulso ultrassônico (VPU) tem sido cada vez mais utilizado em operações de vistoria e monitoramento de estruturas de concreto, pois o mesmo permite que se meçam e controlem uma série de parâmetros fundamentais para determinar a qualidade do concreto, tanto no laboratório quanto em ensaios de campo. A interpretação dos resultados deste tipo de ensaio, entretanto, necessita ser feita de forma criteriosa e demanda um conhecimento específico dos fatores influentes sobre as leituras, visto que existem vários parâmetros que podem afetar as leituras de VPU.

Podemos classificar estes fatores em dois grupos: (a) fatores que afetam tanto as propriedades do concreto quanto as medições de VPU, tais como: tipo, teor, tamanho e graduação do agregado graúdo, tipo de cimento, relação a/c, grau de compactação, condições de cura, condições de umidade do concreto, tamanho e forma das amostras, idade do concreto e (b) fatores que afetam somente as medições de VPU, não interferindo nas propriedades do concreto, tais como: perfeito contato entre os transdutores e o concreto, temperatura do concreto, comprimento de propagação da onda, nível de tensão e presença de armaduras.

A aplicação do ensaio de VPU pode-se constituir uma estratégia interessante para monitorar o estado de conservação das estruturas de concreto. Para esta finalidade

deve-se levar em consideração que a propriedade de controle mais utilizada como indicativa da qualidade do concreto ainda é a resistência à compressão. Considerando que a resistência está fortemente correlacionada com a densidade do material, podem-se utilizar o ensaio de VPU para avaliar a mesma, sem que seja necessário retirar amostras do material.

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, podendo acarretar numa redução da vida de serviço da estrutura. Através de sua utilização pode-se decidir acerca do reparo estrutural necessário, bem como efetuar uma programação para que seja realizada a manutenção. O presente artigo evidencia como podem ser empregados os ensaios de VPU para controle de estruturas de concreto, de forma a tornar-se uma ferramenta auxiliar na avaliação estrutural. Através da utilização de um software de geração de curvas de nível foi possível a visualização e análise das variações de VPU nas estruturas inspecionadas.

2 Ensaios não destrutivos

O concreto é um material 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. 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.

Nas últimas décadas, a aplicação de END na engenharia civil vem se tornando um tema de interesse em diversos países. No caso da indústria da construção civil, porém, que utiliza vários tipos de materiais (metais, madeira, concreto, alvenaria e outros compósitos), a utilização dos END pode-se tornar mais complexa, devido à necessidade de maior conhecimento acerca das propriedades e comportamento dos materiais (LORENZI, 2009). A utilização de END na engenharia civil depende da confiabilidade da aplicação dos métodos, do conhecimento sobre a aplicação e do conhecimento do comportamento dos diferentes materiais utilizados.

Apesar de o concreto ser muito durável em certas circunstâncias, muitas estruturas fabricadas com o mesmo estão sujeitas a aplicação em diferentes ambientes agressivos

que rapidamente irão degradar seu desempenho ou afetam sua integridade (ANDRADE, 2005). 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, têm levado ao surgimento de manifestações patológicas, muitas vezes precoces e com custos elevados de reparação (FIGUEIREDO, 2005).

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.

Alguns dos equipamentos tipo END disponíveis comercialmente permitem verificar o comportamento das estruturas de concreto desde as idades iniciais. É o caso do ensaio ultra-sônico, que permite averiguar as condições iniciais, monitorando a variação de suas características, ao longo do tempo, além de possibilitar a estimativa da resistência. O mesmo, já comumente utilizado na detecção de falhas em materiais homogêneos, vem sendo adaptado para a avaliação do comportamento de materiais compostos, como o concreto, com bons resultados. Já existem exemplos de aplicações em pontes, viadutos, lajes e outras estruturas de concreto (SHAH *et al.*, 2000; BREYSSE, 2009; ERCOLANI *et al.*, 2007; LORENZI *et al.*, 2009; LORENZI *et al.*, 2011; LORENZI *et al.*, 2014; LORENZI *et al.*, 2015). Contudo, para poder ter uma maior confiança nos dados obtidos, é fundamental conhecer a influência de variáveis que afetam as características do concreto, tais como o tipo de agregado graúdo, o regime de cura e a relação água/cimento, entre outras.

3 Ensaio ultrassônicos

Dentre os métodos de END disponíveis, o VPU merece destaque, pois possibilita o exame da homogeneidade do material, facilitando o diagnóstico de defeitos e o controle das condições de conservação de estruturas durante a sua vida útil. O mesmo pode ser particularmente importante no controle tecnológico do concreto, no laboratório ou em obra (LORENZI *et al.*, 2008). O ensaio por pulso ultra-sônico é um método de avaliação de materiais bastante difundido, especialmente em peças metálicas. No caso do concreto, a NBR 8802 (2013) estabelece procedimentos para a realização deste tipo de ensaio, que normalmente é efetuado com o objetivo de verificar a uniformidade do concreto, detectar eventuais falhas internas de concretagem, avaliar a profundidade de fissuras ou outras imperfeições, estimar o módulo de deformação e a resistência à compressão e/ou monitorar as variações das características do concreto ao longo do tempo.

A metodologia de aplicação destes ensaios está baseada no monitoramento do tempo de propagação de pulsos por uma seção do objeto moldado. Esta situação é

possível graças ao retardo das ondas, fator que ocorre, pela presença de vazios, em função da má condutibilidade do ar. A VPU irá depender da densidade e propriedades elásticas do material em estudo. Como a qualidade de muitos materiais de construção é relacionada com sua rigidez, a medida da VPU pode ser usada tanto para medir a qualidade das estruturas de concreto, como para estimar suas propriedades mecânicas, como a resistência à compressão e o módulo de elasticidade.

Teoricamente, pode-se estabelecer uma relação entre a densidade do concreto, expressa pela VPU, e a resistência à compressão. Todavia esta relação é de difícil análise através de técnicas estatísticas tradicionais e se considera, atualmente, que uma relação confiável entre a resistência e as leituras de VPU somente pode ser estabelecida para concretos com características bem definidas, não sendo possível extrapolar a mesma para concretos com características diferentes, exceto se for possível estabelecer um modelo que correlaciona esta variação de características com as variações de resistência.

Existem vários parâmetros que podem afetar as leituras de VPU no concreto. Dentre eles podemos citar o teor de umidade, o tipo de agregado e de cimento e a profundidade de carbonatação, assim como a estimativa da resistência à compressão será influenciada pelo tipo de agregado, pela relação água/cimento, idade do concreto, dimensão e graduação dos agregados, técnica de moldagem, tamanho das amostras, tipo de cimento e pelas condições de cura.

As variações no proporcionamento dos insumos utilizados na confecção do concreto, ou no método de mistura empregado, podem ter efeito significativo nas leituras VPU obtidas. Ademais, a resistência e a porosidade do material variam com o tempo, em função da progressão das reações químicas no interior do material, durante a hidratação, mas não de forma idêntica.

A Figura 1 ilustra a aplicação do ensaio em um corpo de prova cilíndrico de concreto.

Figura 1. Ensaio Ultrassônico no Concreto



Estas diferenças criam uma ambiguidade na interpretação dos resultados do ultrassom entre obras diferentes, especialmente porque não se conhece perfeitamente em que proporções cada uma delas atua. Estas dificuldades são, entretanto, minimizadas quando existe um monitoramento da estrutura ao longo do tempo.

Neste caso, o ensaio de VPU possibilita avaliar como a estrutura de concreto se densifica progressivamente, o que permite determinar como o processo de cura está se desenvolvendo. Essa relação oferece a justificativa para o interesse de sua utilização para avaliação do concreto. Um fator importante, neste caso, é que o VPU, por ser uma técnica não destrutiva que permite a execução de ensaios no mesmo local e a acompanhar as variações associadas com o tempo.

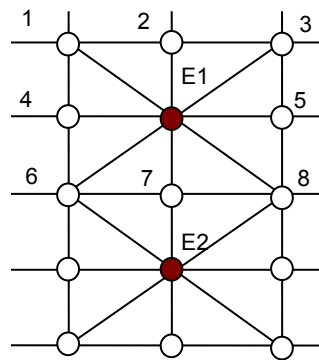
4 Metodologia

O ensaio de VPU consiste na determinação da velocidade de propagação de uma onda ultrassônica entre uma dupla de pontos, convenientemente localizados na estrutura a ser analisada. Este procedimento permite identificar diferenças qualitativas entre as diversas zonas que compõem as estruturas de concreto.

Para realização das medições de VPU nas diferentes estruturas foram criados grids nas faces dos elementos de acordo com o tipo de elemento a ser ensaiado. Após a definição da malha de leitura procedeu-se com a operação de marcação do mesmo, na superfície da estrutura.

O esquema de medição do pulso ultrassônico estabeleceu-se da seguinte forma: Nos pontos centrais, denominados de E1 e E2 (Figura 2). Foi posicionado o transdutor emissor no ponto E1, 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 feita a leitura nos pontos de contorno da malha, somando-se mais oito leituras, conforme pode ser observado na Figura 2. Para a realização das medidas foi utilizado um aparelho da marca PROCEQ modelo Pundit Lab. Foi utilizada a frequência de 54 Hz para a execução de todas as combinações.

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. Na etapa de leitura dos valores de VPU era utilizada uma camada de gel nos transdutores.

Figura 2. Malha de medição para leituras ultrassônicas

Os resultados das velocidades de propagação de uma onda ultrassônica podem ser interpretados como indicadores de qualidade do concreto. Concretos que apresentam menor compacidade fornecem menores valores de VPU. As variações de velocidade foram mapeadas graficamente através de um software de geração de curvas de nível (Surfer), facilitando a visualização da homogeneidade de cada elemento.

5 Avaliação de pilares de concreto

Os estudos de caso apresentados evidenciam como podem ser empregados os ensaios de VPU para controle de pilares de concreto. Os ensaios foram realizados em três obras de grande porte e foram empregados para verificar a homogeneidade do concreto de uma série de pilares nos quais havia indicativos do controle de resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados durante a concretagem.

Buscando prevenir uma intervenção desnecessária na estrutura, e evitar danos com a retirada de testemunhos, sugeriu-se a realização de ensaios de VPU que permitissem realizar um diagnóstico preliminar da condição dos elementos, relativa a outros elementos moldados na mesma época, nos quais o concreto foi aprovado pelo controle tecnológico.

5.1 Estudo de Caso 1

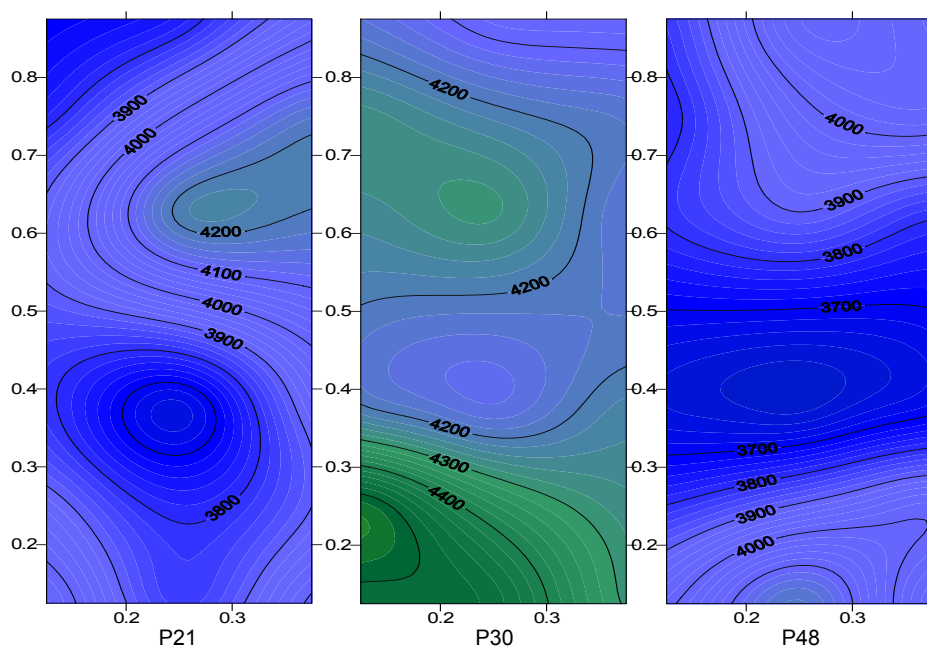
Os ensaios foram realizados num conjunto de 18 pilares, divididos em 2 grupos. O primeiro grupo continha 6 pilares de referência (P21; P22; P30; P31; P48 e P50), escolhidos dentre os pilares próximo à região sob suspeita, com resistência especificada igual e idade próxima aos pilares sob análise, que serviram como amostras de controle. O segundo grupo de pilares era composto por 12 pilares (P20; P23; P24; P29; P35; P44; P46; P49; P51; P52; P60 e P61), localizados na região onde foi lançado o concreto sob suspeita. Para a análise dos resultados dos ensaios de VPU optou-se por mapear graficamente através de um software de geração de curvas de nível em alguns dos

pilares ensaiados as variações da velocidade. Desta forma, pode-se ter uma estimativa da homogeneidade e da presença de defeitos em cada pilar.

Como pode-se observar na Figura 3, as velocidades mais elevadas foram registradas no pilar P30, que apresentou os melhores resultados dentre todos os pilares ensaiados. Em algumas zonas do pilar P21, a velocidade também atinge os 4200 m/s, porém se observa que a mesma cai levemente em outras zonas, para valores em torno a 3700 m/s, onde podem ter ocorrido pequenas falhas de concretagem. O Instituto Internacional de Energia Atômica (IAEA, 2002) classificou os valores de VPU, sendo que valores acima de 3500 m/s correspondem a um concreto de boa qualidade (ERCOLANI *et al.*, 2007). O pilar P48 apresenta velocidades menores, especialmente na zona central do grid.

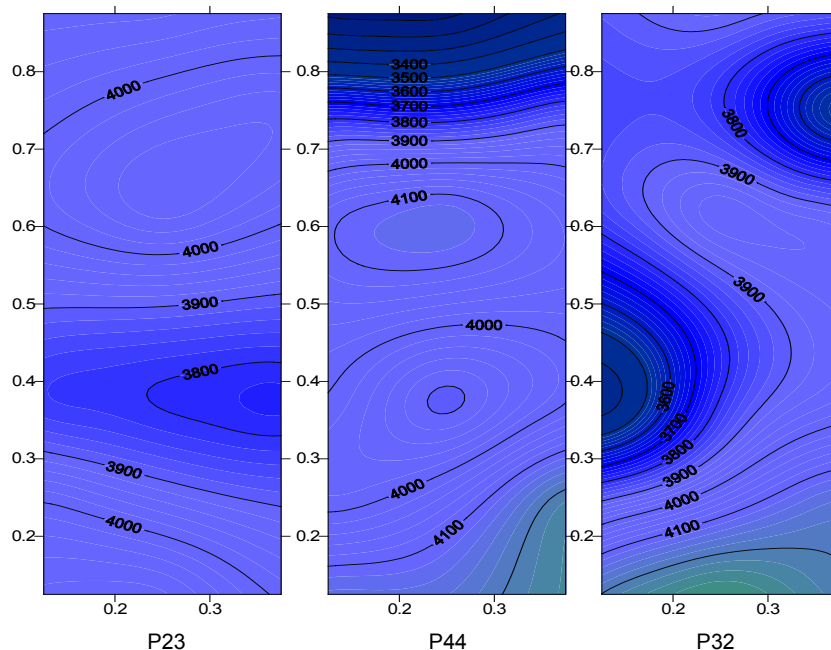
Os pilares sob análise (Figura 4) apresentaram velocidades máximas levemente inferiores (< 20%) às registradas nos pilares de controle P21 e P30, mas compatíveis com as velocidades do pilar de controle P48. Em todos os pilares se observam algumas zonas, distribuídas de forma aleatória, onde a velocidade cai, evidenciando a existência de pequenos defeitos ou variações na compacidade do material, típicas de estruturas confeccionadas com um material heterogêneo como o concreto.

Figura 3. Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de VPU para alguns dos pilares de referência



Em termos gerais, a partir dos ensaios de VPU pode-se concluir que as estruturas apresentaram homogeneidade condizente com o concreto empregado na obra, podendo ser considerada como sendo equivalentes, em termos de VPU. Destaca-se positivamente os pilares P21 e P30 (referência) e P23 (sob análise), e negativamente o pilar P44 (sob análise).

Figura 4. Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de VPU para alguns dos pilares sob análise



5.2 Estudo de Caso 2

Os pilares examinados fazem parte de um conjunto de elementos estruturais nos quais o controle tecnológico, realizado através de corpos de prova moldados de concreto in loco, indicou que não foi atingida a resistência de projeto especificada. Este indicativo levantou dúvidas sobre a efetiva condição, em termos de resistência, dos referidos elementos, o que conduziu à realização do presente estudo.

O objetivo principal foi para mapear a homogeneidade do concreto dos elementos de interesse, coletando dados que permitissem avaliar comparativamente as características dos mesmos com a de outros elementos onde os corpos de prova de controle haviam produzido resultados satisfatórios. Para realizar as medições foram criados grids nas faces dos elementos.

Destaca-se que as velocidades começaram a apresentar valores mais baixos nas proximidades das juntas de concretagem. Este fato pode ser explicado, pois há uma tendência de que no final da concretagem de um pilar o concreto esteja mais argamassado e, conseqüentemente, menos resistente. Foi observado que a superfície do pilar, na parte superior, apresentava falhas de concretagem e textura “craquelada”, conforme mostrado nas Figuras 5 e 6.

Uma vez que a VPU está diretamente relacionada à compacidade do material sob análise, a presença de falhas influencia negativamente o resultado final. Entretanto, o novo concreto lançado apresentava superfície mais regular, o que não elevou significativamente os resultados de velocidade, levantando assim, suspeita em relação à qualidade do concreto presente no topo do pilar.

Figura 5. Detalhe da superfície do topo dos pilares analisados (A. Pilar 1 e B. Pilar 2)

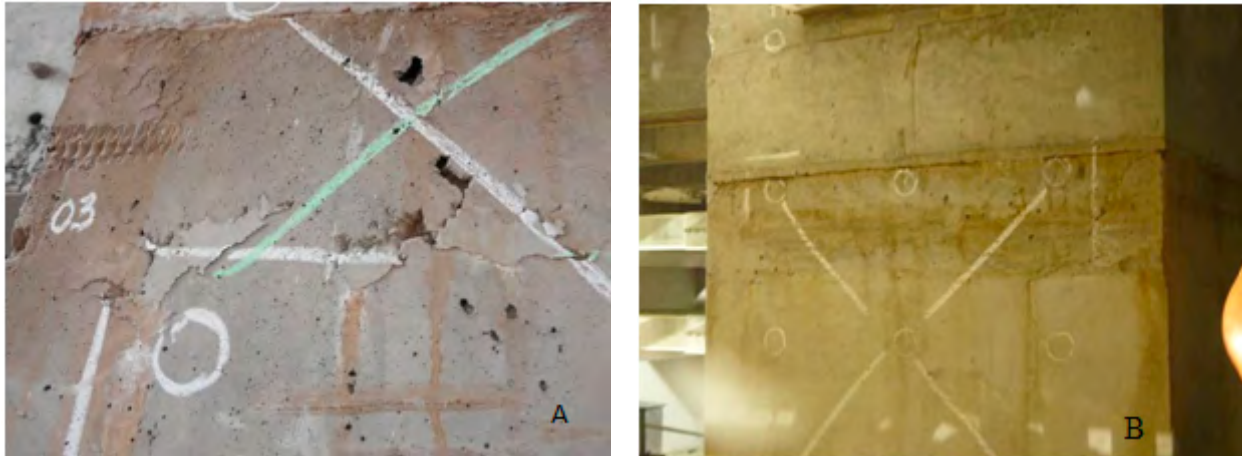


Figura 6. Detalhe da junta de concretagem do na parte superior do Pilar 7, (A e B)



As Figuras 7 a 9 apresentam as imagens geradas com as leituras de VPU de alguns dos pilares analisados. As velocidades registradas variaram entre 2400 e 3200 m/s. Em geral o concreto apresenta uma qualidade regular, com registros de zonas mais compactas na parte inferior e zonas menos compactas na parte superior dos blocos, como esperado. 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, compactidade e integridade de cada elemento.

Figura 7. Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de pulso ultrassônico do Pilar 1

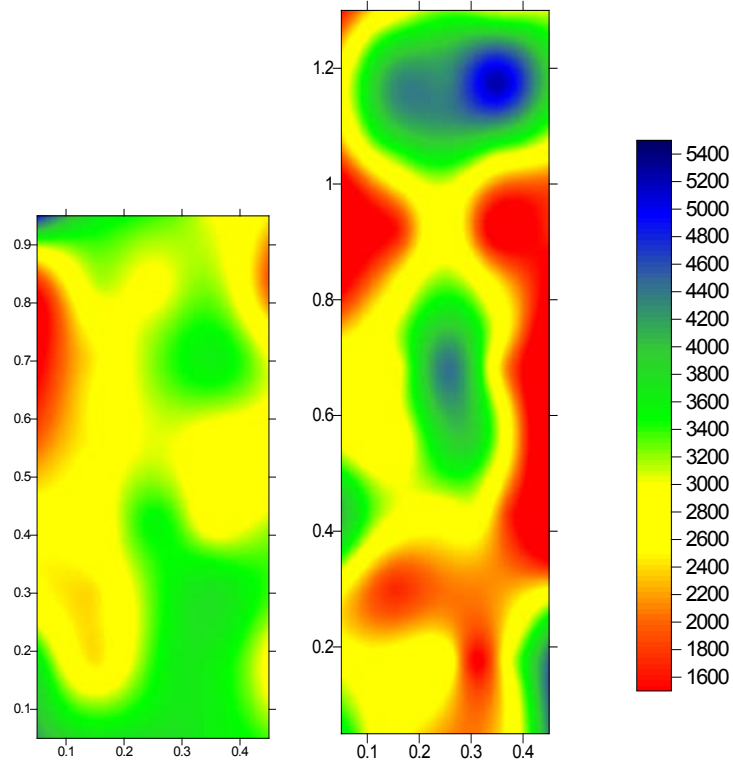


Figura 8. Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de pulso ultrassônico do Pilar 7

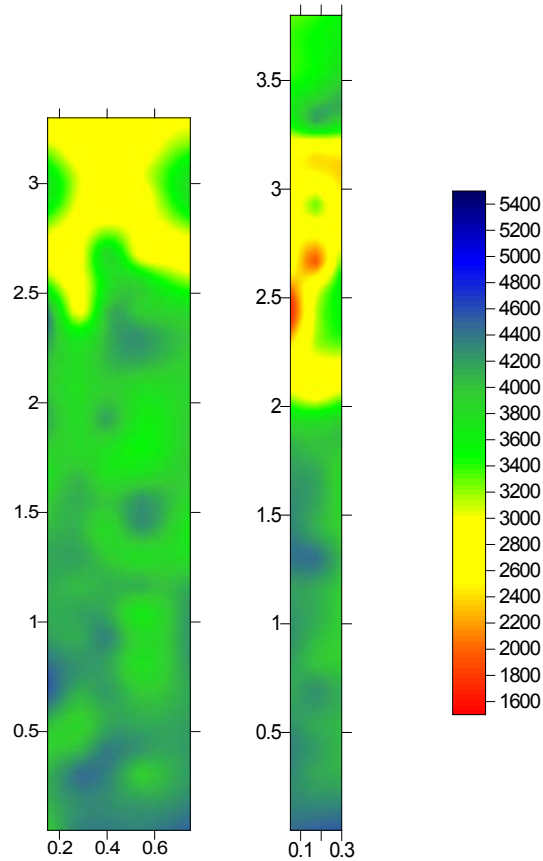
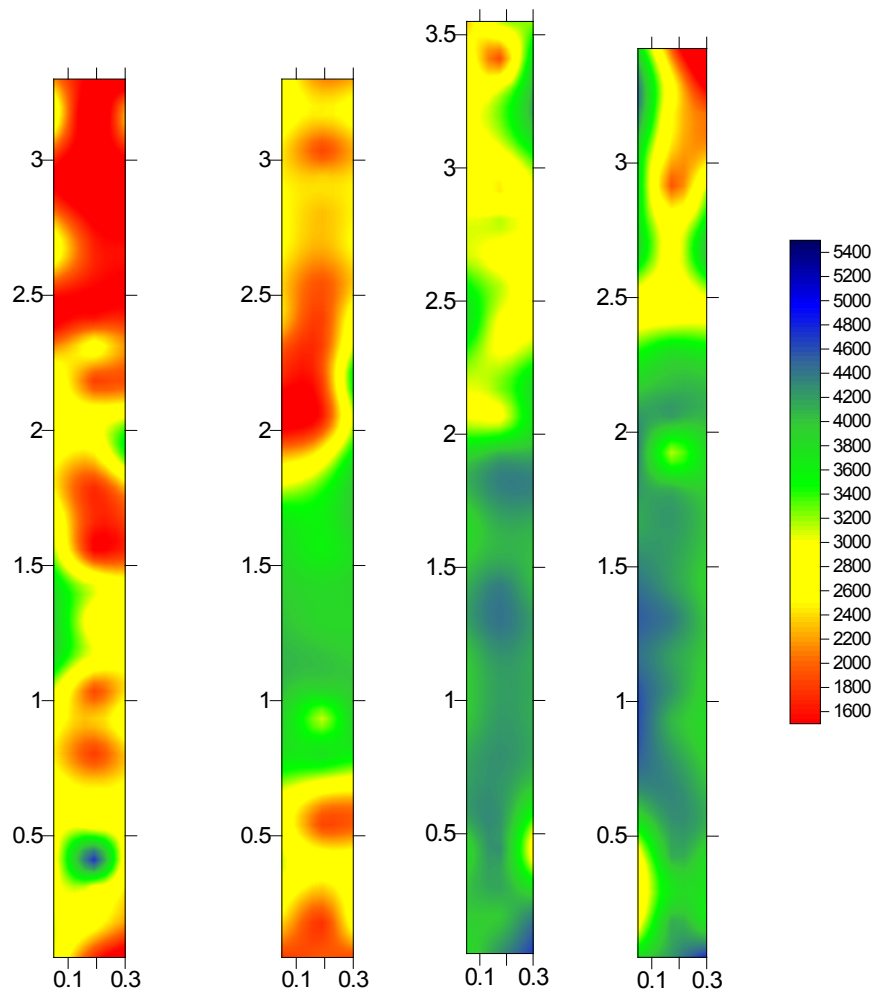


Figura 9. Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de pulso ultrassônico do Pilar 8



6 Conclusões

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, onerando custos ou gerando transtornos adicionais para seus usuários. Os resultados demonstram que é possível entender como variações das condições de ensaio afetam os resultados de ensaios de VPU, o que pode auxiliar a minorar os erros na estimativa da resistência. O estudo indica que o ensaio ultrassônico pode fornecer dados importantes para a tomada de decisão a respeito das condições de estruturas de concreto. Mediante a execução de ensaios ultrassônicos, é possível contribuir com o controle da deterioração e qualidade das estruturas de concreto.

No primeiro caso a investigação evidenciou claramente a potencialidade de ensaios tipo VPU para checagem das condições de estrutura de concreto.

Considerando os resultados obtidos, foi possível concluir que os concretos de todos os pilares analisados apresentavam características similares. Ou seja, os ensaios indicaram que o concreto dos pilares sob análise não se diferenciava substancialmente do concreto dos pilares de controle.

No segundo caso os resultados do mapeamento das leituras de VPU permitiram 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, que apresentam boa correspondência com os diferentes lotes de concretagem. Os ensaios realizados indicaram que os concretos das regiões sob suspeita apresentavam características resultantes de variações na resistência à compressão e/ou presença de falhas e defeitos de concretagem.

De forma geral, os estudos de caso reforçam a ideia de que a utilização de VPU são ferramentas úteis para a análise de estruturas, visto que os dados obtidos permitem verificar, por exemplo, a presença de corpos estranhos e vazios nas estruturas analisadas. Confirma-se assim a ideia de que os mesmos têm grande potencial de utilização nos casos de inspeção de estruturas. Seu emprego permite obter indicações importantes para a caracterização do concreto, bem como dados sobre a homogeneidade e a qualidade da estrutura.

Nos dias atuais as pesquisas referentes aos ENDS têm buscado entender as capacidades e limitações de ensaio. A necessidade de se obter estruturas de concreto com elevado padrão de qualidade e durabilidade torna, cada vez mais, a utilização dos END uma ferramenta que pode auxiliar na tomada de decisão e no estabelecimento de estratégias de intervenção, como demonstrado nos estudos de caso descritos no presente artigo. A utilização da VPU pode contribuir com o controle da deterioração e qualidade das estruturas de concreto, como demonstrado nos estudos de caso descritos no presente artigo.

Referências

- ANDRADE, T. Tópicos sobre Durabilidade do Concreto. In: ISAIA, G. C. (Editor). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. cap. 25, vol. 1, p. 753-792.
- BREYSSE, D. et al., How to improve the quality of concrete assessment by combining several NDT measurements. In: NON-DESTRUCTIVE TESTING IN CIVIL ENGINEERING, 7th, 2009, Nantes. **Anais...** Nantes: 2009.
- ERCOLANI, G. D.; ORTEGA, N. F.; SEÑAS, L. Empleo de Ultrasonidos y Esclerometría em el diagnóstico de Estructuras de Hormigón Afectadas por Elevadas Temperaturas. In: CONFERENCIA PANAMERICANA DE END, VI, 2007, Buenos Aires. **Anais....** Buenos Aires: Asso-ciacion Argentina de Ensayos No Destructivos, 2007.
- 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.
- LORENZI, A. **Aplicação de redes neurais artificiais para estimativa da resistência à compressão do concreto a partir da velocidade de propagação do pulso ultra-sônico**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2009.
- LORENZI, A.; FAVERO, R. B.; REGINATO, L. A.; CHIES, J. A.; SILVA FILHO, L. C. P. Avaliação das Estruturas Existentes no Sítio de Ampliação de Uma Unidade Fabril Através da Aplicação Combinada de Ensaio Não Destrutivos e Semidestrutivos. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 2, p. 8-18, 2015.
- LORENZI, A.; SILVA FILHO, L. C. P.; CAETANO, Luciane Fonseca; CHIES, J. A. Investigation of the Potential for Evaluation of Concrete Flaws Using Nondestructive Testing Methods. **ISRN Civil Engineering**, v. 2014, p. 1-8, 2014.
- LORENZI, A.; SILVA FILHO, L. C. P.; CAMPAGNOLO, J. L.; LORENZI, L. S. Prospecção de Resultados de Ensaio Não Destrutivos no Concreto através de Ensaio Ultra-sônicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO (CBC 2008), 50, 2008, Salvador. **Anais....** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.
- LORENZI, A.; SILVA FILHO, L.C.P.; CAETANO, L.F.; LORENZI, L.S. Monitoramento de Estruturas de Concreto através de Ensaio de Velocidade de Propagação do Pulso Ultra-sônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO (COBRACON 2009), 51, 2009, Curitiba. **Anais....** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2009.
- LORENZI, A.; SILVA FILHO, L.C.P.; CAMPAGNOLO, J.L.; PASA, V.P. Estudo das Variações dos Ensaio de Velocidade de Propagação do Pulso Ultra-sônico em Concretos com Diferentes Características. In: CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS (COTEQ 2005), 8, 2005, Salvador. **Anais....** São Paulo: Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos, 2005.

LORENZI, A.; SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da; CAMPAGNOLO, João Luiz; STRIEDER, Adelar Jose; QUININO, Uziel Cavalcante de Medeiros; CAETANO, Luciane Fonseca. Estudos de caso sobre avaliação de estruturas de concreto através da utilização de ensaios não destrutivos. **Revista ALCONPAT**, v. 1, p. 188, 2011.

LORENZI, A.; TISBIEREK, F.T.; SILVA FILHO, L.C.P., Interpretação de Ensaio Ultra-Sônicos no Concreto através de Redes Neurais Artificiais. In: CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS (COTEQ 2007), 9, 2007, Salvador. **Anais....** São Paulo: Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos, 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 2008.

SHAH, S.; POPOVICS, J. S.; SUBRAMANIAM, K. V. New Directions in Concrete Health Monitoring Technology. **Journal of Engineering Mechanics**. USA, 126(7), 754-760, 2000.