CBPAT 2020 ANAIS
CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
DE 15 A 17 DE ABRIL | FORTALEZA - CE
http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.130
ISBN 978-65-86819-05-2

IDENTIFICAÇÃO DE NÃO HOMOGENEIDADES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ENDURECIDO ATRAVÉS DE PULSO ULTRASSÔNICO

Y. A. M. RIBEIRO
ESTUDANTE
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
BAHIA; BRASIL
YANALLEFE@GMAIL.COM

D. S. BOMFIM
ESTUDANTE
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
BAHIA; BRASIL
DSBOMFIM2@HOTMAIL.COM

L.A. SACRAMENTO
ENGENHEIRO CIVIL E MESTRANDO (PPGMC)
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
BAHIA; BRASIL
LASACRAMENTO@UESC.BR

J.R.P. CASTRO
PROFESSOR
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
BAHIA; BRASIL
JRCPESSOA@UESC.BR

D. S. DOMINGUEZ
PROFESSOR
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
BAHIA; BRASIL
dsdominguez@gmail.com

M. P. LIMA
ENGENHEIRA CIVIL E MESTRANDA (PROCIMM)
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
BAHIA; BRASIL
mari.plima.ec@gmail.com

RESUMO

As técnicas de avaliação de estruturas de concreto, tanto consolidadas como em vias de construção, veem sendo aprimoradas a partir da utilização de ferramentas que otimizam a obtenção e análise dos dados inerentes a determinação de parâmetros que permitam aos profissionais habilitados inferirem a respeito da segurança e vida útil das edificações. Dentre as técnicas existentes, a utilização do ultrassom para avaliação da homogeneidade e detecção de descontinuidades no interior de elementos de concreto tem se consolidado na Engenharia Civil. A proposta desse trabalho é utilizar o ensaio de ultrassom para analisar a variação da velocidade de pulso ultrassônico ao longo de um elemento prismático de concreto contendo descontinuidades intencionais e localizadas em seu interior. Através de algoritmo implementado em MatLab e dos dados obtidos durante o ensaio, utilizou-se iso curvas de homogeneidade para reconstituir as condições internas do corpo de prova em três diferentes condições: sem tratamento da superfície para malha de 5,0cm x 5,0cm, com tratamento da superfície para malha de 5,0cm x 5,0cm e com tratamento da superfície para malha de 2,5cm x 2,5cm. Observou-se que no primeiro caso, obteve-se resultados não representativos, contudo nos casos 2 e 3, os resultados foram satisfatórios, sendo que a malha de 2,5cm x 2,5cm permitiu uma melhor caracterização dos contornos dos objetos inseridos, bem como as suas dimensões. Portanto, por meio da avaliação da homogeneidade do elemento ensaiado, foi possível detectar as descontinuidades internas alocadas de forma intencional, além da localização e formatos das mesmas.
Palavras-chaves: concreto, homogeneidade, iso curvas, visualização de dados.

ABSTRACT

The techniques for evaluating concrete structures, both in consolidated buildings and in construction, are being improved from the use of tools that optimize the obtaining and analysis of the data, inherent in determining parameters that allow qualified professionals to infer about the safety and life of buildings. Among the existing techniques, the use of ultrasound to evaluate homogeneity and detection of discontinuities within concrete elements has been consolidated in Civil Engineering. The proposal of this work is to use the ultrasound test to analyze the variation of ultrasonic pulse velocity along a concrete prismatic element containing intentional and localized discontinuities. Through an algorithm implemented in MatLab and the data obtained during the test, iso homogeneity curves were used to reconstitute the internal conditions of the specimen in three different conditions: without surface treatment for mesh of 5.0cm x 5.0cm, with surface treatment for mesh of 5.0cm x 5.0cm and with surface treatment for mesh of 2.5cm x 2.5cm. It was observed that the first case presented non-representative results, however cases 2 and 3 presented satisfactory results, and the mesh of 2.5cm x 2.5cm allowed a better characterization of the contours of the objects inserted, as well as their dimensions.
Keywords: concrete, ultrasound, homogeneity, iso curves, discontinuity.

ISBN 978-65-86819-05-2

1. INTRODUÇÃO

As patologias que acometem as estruturas de concreto podem estar vinculadas a má elaboração de projetos construtivos, má execução das obras, interação entre os elementos constituintes do concreto estrutural (cimento, água, areia, brita, aditivos), problemas nas armaduras e/ou cordoalhas de protensão e ações externas provenientes do meio em que se encontram. Essas patologias podem ocasionar a perda de desempenho da estrutura e, no pior dos casos, o seu colapso. Segundo Lapa (2008), quanto mais cedo a anomalia for detectada, menores serão os danos e menos oneroso será tratar o problema.

O grande desafio está no processo de obtenção das informações necessárias para se detectar tais inconvenientes, pois, na maioria das situações, as patologias se desenvolvem no interior das peças, sendo detectadas quando essas já se encontram em um estado avançado de deterioração. Seja por conta de infiltrações, presença de materiais orgânicos no interior do concreto, agentes químicos agressivos ou má execução do elemento estrutural, como ninhos de concretagem, vazios, entre outros fatores que são improváveis de serem detectados em inspeções visuais. Como consequência ocorre a degradação do concreto, impossibilitando o elemento estrutural de atuar da forma para que foi projetado. Nestes casos são necessários ensaios que auxiliem na investigação do estado que estruturas de concreto, tanto novas como antigas ou em fase de construção, se encontram internamente. (DUTRA 2005).

Devido a importância de se conhecer as condições em que as estruturas de concreto se encontram internamente, desenvolveu-se ao longo dos anos alguns ensaios destrutivos (ED's) e semi-destrutivos. Esses ensaios requerem necessariamente a retirada de testemunhos da estrutura analisada, ou ainda podem causar algum tipo de dano que deve ser reparado posteriormente. (PERLIN, 2011). Em estruturas antigas, a retirada de testemunhos pode comprometer a integridade do elemento estrutural a ser avaliado, principalmente se este estiver a apresentar problemas estruturais. Em edificações consolidadas que se encontram em utilização, o processo de retirada de testemunhos pode provocar transtornos aos usuários, conforme citam Mohamad *et al.* (2015), podendo haver a necessidade de desocupação temporária dos ambientes da edificação.

Os ensaios não destrutivos (ENDs) podem ser utilizados como uma forma de contornar as limitações impostas pelos ED's. Por exemplo, as ondas ultrassônicas podem ser utilizadas para detectar mudanças na homogeneidade dos materiais. Nesse sentido, propriedades como a impedância acústica são de particular importância. Ela consiste na quantidade de energia que será refletida quando o som se desloca de um meio para outro. (NUMMELA et al., 2007). Se dois materiais possuem impedâncias iguais não haverá reflexão na passagem da onda ultrassônica de um para outro meio. Se as impedâncias dos materiais forem muito distintas, haverá apenas reflexão. (SANTIN, 2003).

Isto torna os ENDs métodos práticos, viáveis e de particular interesse na área da construção civil, não causando avarias nem perda da capacidade mecânica resistente do elemento ensaiado. (EVANGELISTA, 2002, 2005). Atualmente, o ultrassom tornou-se um dos métodos de ENDs de grande potencial na análise e caracterização do concreto de estruturas já consolidadas ou em processo de construção, principalmente por seu caráter não invasivo. O método da velocidade do pulso ultrassônico (VPU) possibilita uma análise do elemento ensaiado ao longo da sua espessura e altura (ANDREUCCI, 2011).

A velocidade de pulso ultrassônico no concreto, mostrada na equação (01), resulta da razão entre a distância entre os transdutores e o tempo de percurso da onda sonora, parâmetros estes que são influenciados pela qualidade do concreto (MALHOTRA; CARINO, 2004):

$$v=D/\Delta t \quad (01)$$

em que v é a velocidade de propagação do pulso ultrassônico, D é o comprimento que será percorrido pela onda ultrassônica e Δt é o tempo de percurso.

Avaliações acerca da homogeneidade e qualidade do concreto (Tabela 1), detecção de defeitos ou descontinuidades internas, além de parâmetros como resistência, densidade, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, são obtidos de maneira simples com o ultrassom quando comparado a outros métodos. (ANDREUCCI, 2011; PERLIN, 2011).

ISBN 978-65-86819-05-2

Tabela 1 – Relação entre a Velocidade de Pulso Ultrassônico e a qualidade do concreto

Velocidade de pulso ultrassônico (m/s)	Qualidade do concreto
> 4500	Excelente
3500 – 4500	Bom
3000 – 3500	Regular
2000 – 3000	Pobre
< 2000	Muito pobre

Fonte: Ramírez (2015), *appud* Whiterhurst (1996).

Mesmo sendo amplamente utilizado para identificação da qualidade do concreto, os resultados obtidos pelo ensaio de propagação de onda ultrassônica não são aproveitados no seu total. A análise da energia dissipada do sinal, tratamentos de wavelet, avaliações da amplitude e taxa de sinal recebidos e uma melhor visualização dos dados de VPU podem ser alternativas atrativas para complementar o potencial do ensaio.

Dessa forma, o presente trabalho objetiva apresentar uma alternativa para a visualização dos dados de VPU obtidos no ensaio de propagação de onda ultrassônica. Para isso, implementou-se um algoritmo computacional em Matlab que faz a interpolação dos resultados dos ensaios de pulso ultrassônico e os apresenta de forma mais amigável ao usuário final.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos, o método de ensaio foi dividido em três etapas distintas: 1- Confecção do corpo-de-prova de concreto; 2 - ensaio de propagação de pulso ultrassônico; 3 - Construção das Iso-linhas através de algoritmo proposto.

2.1. Confecção do corpo-de-prova

Na composição do concreto, utilizou-se cimento Portland CP V ARI, agregado miúdo de fundo de rio, agregado graúdo tipo 1 e água proveniente do sistema de abastecimento local. O traço foi estabelecido segundo o método de dosagem desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (IPT/EPUSP). Obteve-se 2,30 para a proporção de areia e 2,70 para proporção de brita, resultando em 1:2,30:2,70 (cimento : areia : brita), para alcançar resistência à compressão característica igual a 25 MPa aos 28 dias, com fator água-cimento de 0,55. Para garantir trabalhabilidade e correto preenchimento das arestas das formas, manteve-se o abatimento do concreto em 15cm.

Foi confeccionado um corpo-de-prova prismático de concreto com dimensões de 50,0cm x 30,0cm x 20,0cm. Neste foram alocadas 3 descontinuidades com objetivo de simular defeitos internos na estrutura de concreto com o auxílio de arame cozido para fixação. Estes defeitos foram duas esferas de poliestireno de 10,0cm de diâmetro; sendo uma esfera oca e vazia; uma esfera com seu interior preenchido com limalha de ferro; e um prisma de madeira de 3,5cm x 4,5cm x 7,5cm. As localizações das descontinuidades são observadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Localização das descontinuidades no corpo-de-prova.

Objeto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
Esfera com limalha de aço	6,0	6,0	16,0
Esfera oca	25,0	15,0	14,0
Primas de madeira	47,0	17,0	3,0

Fonte: Acervo dos autores.

Aplicou-se silicone de vedação nas arestas das formas com objetivo de evitar a fuga de água do concreto. Para evitar a absorção de água pelas formas de madeira, aspergiu-se água antes da concretagem. A sequência de preenchimento foi realizada em 3 camadas; 1- primeira camada com 8cm de espessura e adensou-se com golpes de haste de aço; 2- segunda e terceira camadas com 6,0cm. Iniciou-se a cura 24h após a concretagem. Procurou-se manter as superfícies expostas à atmosfera sempre úmida.

A alocação das descontinuidades e o corpo-de-prova após cura estão contidos na Figura 1.

ISBN 978-65-86819-05-2



(a) (b)

Figura 1: a) Alocação das descontinuidades no interior do corpo-de-prova; b) corpo-de-prova após cura.
Fonte: Acervo dos autores.

2.2. Ensaio de propagação de pulso ultrassônico

Para o ensaio de propagação de pulso ultrassônico, utilizou-se o Aparelho Pundit® Lab da fabricante Proceq com transdutores de frequência nominal de 54 kHz. Os ensaios foram realizados de forma direta em faces opostas do corpo-de-prova. Para avaliação da dependência de malha nos resultados do ensaio, foram ensaiadas duas malhas, uma de 5,0cm x 5,0cm e uma de 2,5cm x 2,5cm.

Para avaliar a influência do tratamento superficial do concreto nos resultados do ensaio, a primeira bateria de medições na malha de 5,0cm x 5,0cm foi feita sem tratamento superficial do concreto. As demais baterias foram realizadas após lixamento da superfície e limpeza com pano úmido. O corpo-de-prova com malha de 5,0cm x 5,0cm e a execução do ensaio podem ser observados na Figura 2.



(a) (b)

Figura 2 – Ensaio de ultrassom a) Malha de 5,0cm x 5,0cm; b) Execução do ensaio.
Fonte: Acervo do autor

As velocidades de propagação de pulso ultrassônico para os três casos estudados foram arquivadas para pós processamento.

2.3. Reconstrução

O algoritmo de reconstrução utilizado foi desenvolvido no Programa de Pós Graduação de Modelagem Computacional – PPGMC/UESC. O princípio de funcionamento do algoritmo é transformar a matriz de velocidades obtidas pelo ensaio de propagação de pulso ultrassônico numa imagem para melhor visualização de dados.

O algotirmo mapeia a matriz de velocidades e inicia o traçado das iso-linhas a partir da menor velocidade de pulso. Uma vez determinada a menor velocidade de pulso, o algoritmo percorre todo restante da matriz ligando pontos de mesma velocidade. Para isso, uma interpolação linear é realizada em pontos adjacentes até que todos os elementos da matriz sejam percorridos.

O código para se alguma das condições forem satisfeitas: 1- a iso-linha fecha no ponto inicial; 2 - a iso-linha sai da malha; 3 - o elemento visitado já tenha sido percorrido. A tomada de decisão para traçado das iso-linhas pode ser observado na Figura 3.

ISBN 978-65-86819-05-2

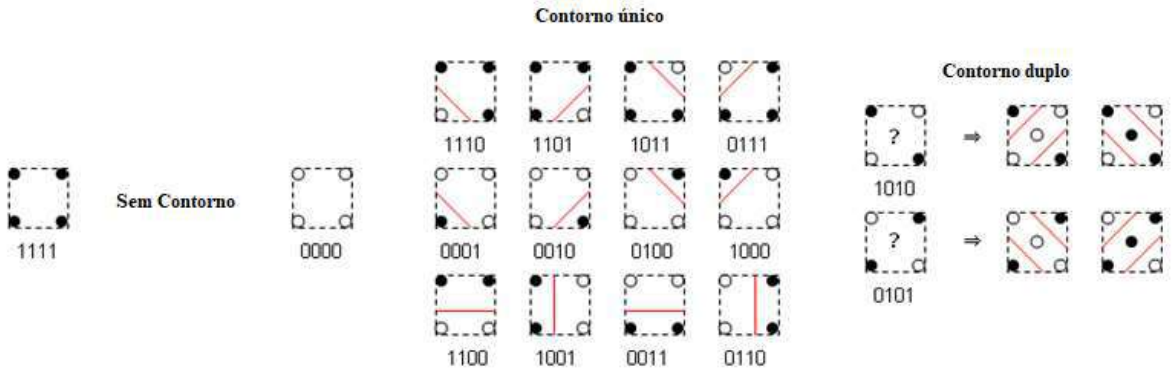


Figura 3 – Tomada de decisão para traçado do contorno.
Fonte: Adaptado pelo autor.

3. RESULTADOS

Para o ensaio de velocidade de pulso por ultrassom utilizando a malha de 5,0cm x 5,0cm, antes de se efetuar o lixamento e limpeza das superfícies do corpo de prova (CP), foram obtidos os resultados conforme visto na Tabela 3.

Tabela 3 – VPU (m/s) para a malha de 5,0cm x 5,0cm antes do lixamento e limpeza das face

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3671	3887	4074	4074	3965	3877	3458	3478	3430	3249
2	3458	3965	4057	3626	3498	3458	3640	3583	3649	3438
3	3540	3662	3649	3694	4102	4189	4102	3604	3519	3304
4	4131	4201	4201	4160	4231	4219	4189	4231	3626	4102

Fonte: Elaboração do autor.

A análise dos dados deixa claro a existência de zonas de baixa VPU que se destacam das demais, como os valores de 3249 m/s, 3458 m/s e 3498 m/s. Para a malha de 5,0cm x 5,0cm após o lixamento e limpeza das superfícies do CP, foram obtidos os resultados de VPU conforme apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – VPU (m/s) para a malha de 5,0cm x 5,0cm após o lixamento e limpeza das faces

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3913	4085	4311	4292	4171	4114	4280	4292	4273	4125
2	4189	4213	4342	4323	4135	4165	4393	4374	4426	4237
3	4387	4420	4400	4381	4374	4381	4348	4355	4201	4097
4	4433	4459	4466	4480	4480	4453	4453	4481	4381	4420

Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se que após o lixamento e limpeza das superfícies os valores de VPU aumentaram significativamente, atingindo uma média de 4313m/s, valor esperado para o concreto produzido, enquanto que no primeiro caso a média de VPU foi de 3805m/s, com zonas de baixa VPU caracterizada como concreto regular (Tabela 1). Tal observação levaria a uma inferência equivocada quanto a qualidade do concreto. Percebe-se que superfícies contendo impurezas interferem diretamente sobre os resultados da VPU, pois impossibilitam a correta acoplagem dos transdutores e dificultam a emissão e recepção do pulso ultrassônico. Além disso, houve a necessidade do uso excessivo de acoplante para que as leituras pudessem ser realizadas.

Para o ensaio utilizando a malha de 2,5cm x 2,5cm foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 5.

ISBN 978-65-86819-05-2

Tabela 5 – VPU (m/s) para a malha de 2,5cm x 2,5cm após o lixamento e limpeza das faces

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3803	4030	4255	4273	4273	4298	4292	4207	4080
2	3965	4102	4255	4298	4336	4355	4286	4160	4114
3	4171	4243	4342	4374	4393	4381	4231	4171	4114
4	4311	4348	4342	4407	4381	4393	4336	4329	4243
5	4407	4426	4387	4387	4381	4413	4393	4400	4368
6	4426	4433	4420	4407	4374	4439	4420	4400	4420
7	4426	4473	4473	4473	4439	4480	4473	4480	4453
	11	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**
1	4108	4213	4267	4231	4292	4323	4304	4280	4213
2	4125	4317	4387	4368	4368	4393	4387	4381	4280
3	4189	4317	4420	4407	4407	4407	4459	4413	4298
4	4261	4249	4329	4342	4407	4323	4336	4231	4148
5	4387	4348	4374	4348	4420	4387	4261	4195	4131
6	4453	4381	4413	4381	4433	4407	4374	4348	4292
7	4514	4459	4493	4473	4453	4426	4426	4433	4336

Fonte: Elaboração do autor.

A análise direta dos dados através das tabelas apresentadas é eficiente para uma análise inicial da qualidade do concreto ensaiado. Entretanto, para o usuário final não se apresenta como a melhor opção para visualização dos dados do ensaio. Como forma de sanar esse problema, criou-se gráficos de contorno representativos para cada um dos casos analisados. As cores na figura variam juntamente com a VPU, otimizando a apresentação dos resultados. Isso permite uma melhor ilustração da homogeneidade do CP. A Figura 4 representa a homogeneidade referente ao caso em que não se realizou o lixamento e limpeza das superfícies do CP.

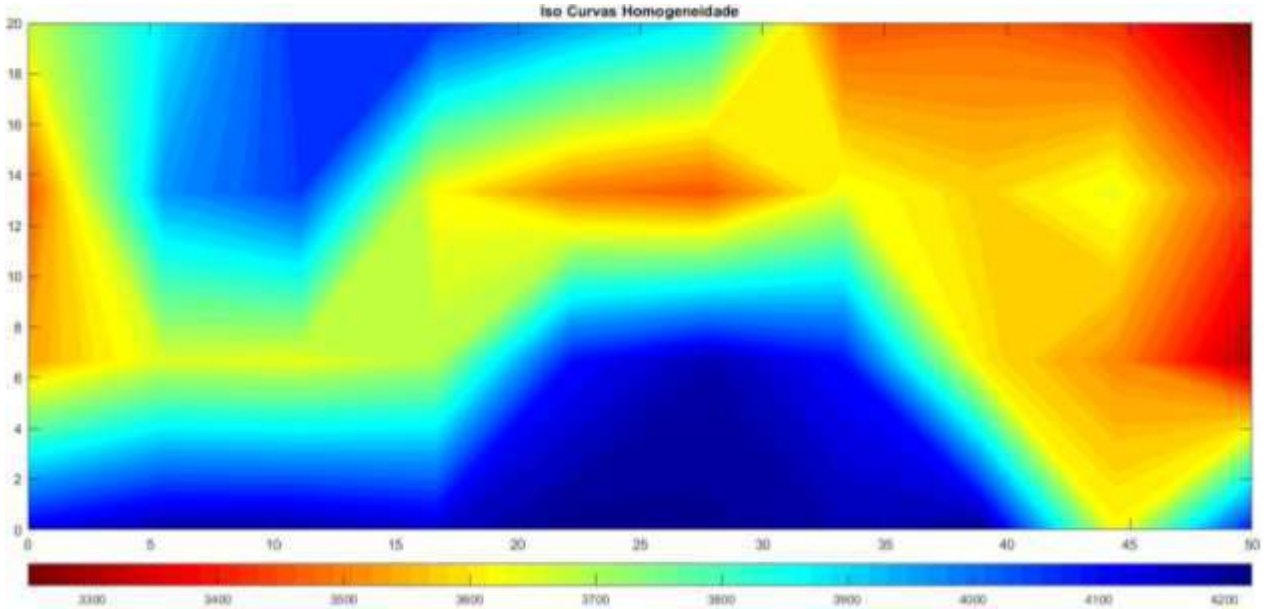


Figura 4 – Iso curvas de homogeneidade, Caso 1.
Fonte: Acervo do autor.

O eixo das abscissas corresponde ao comprimento do CP e o eixo das ordenadas a altura, ambos em cm. O gradiente de cores escolhido varia de tons escuros de vermelho, correspondente a baixas VPU's, até tons escuros de azul que representam VPU's acima de 4100 m/s (escala JET de cores). A Figura 4 retrata de um concreto não homogêneo, com a predominância de regiões de baixa VPU, indicando possíveis pontos de baixa resistência, o que não é de se esperar para um concreto recém desenformado. Tal resultado se deu devido a interferência provocada pela má acoplagem dos

ISBN 978-65-86819-05-2

transdutores às superfícies que se encontravam com excesso de partículas desagregadas. Apesar de não ser possível a identificação dos contornos das descontinuidades, pode-se ter ideia a respeito de suas localizações, pois a região onde elas se encontram apresentam baixas VPU's, com zonas de transição entre o concreto íntegro e os objetos inseridos.

A Figura 5 apresenta as iso curvas referente ao ensaio de VPU utilizando a malha de 5,0cm x 5,0cm, após o lixamento e limpeza das superfícies do CP.

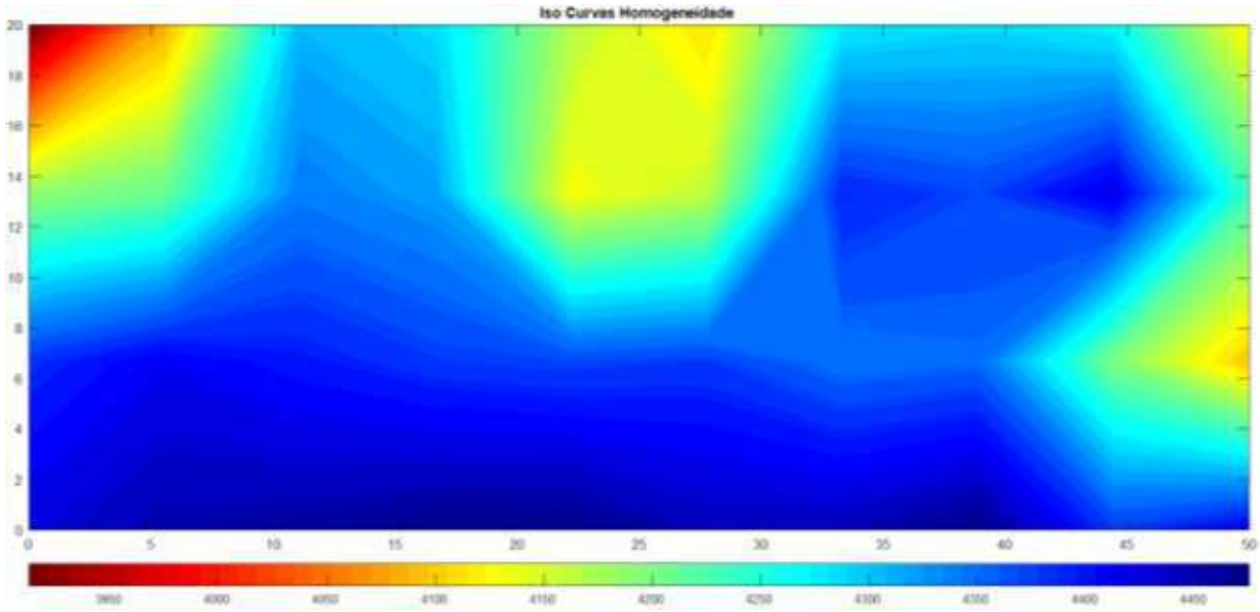


Figura 5 – Iso curvas de homogeneidade, Caso 2
Fonte: Acervo do autor.

Comparando os resultados apresentados pelas Figuras 4 e 5 e as Tabelas 3 e 4, Casos 1 e 2 respectivamente, é possível notar o quão importante é permitir a correta acoplagem entre as faces dos transdutores e do elemento ensaiado, livre de impurezas e bolhas de ar. O intervalo de VPU variou de 3200m/s – 4200m/s no Caso 1, para 3900m/s – 4450m/s no Caso 2, sendo os últimos resultados de acordo com a VPU esperada para o concreto em questão. A variação foi suficiente para migrar de uma classificação de concreto com predominância de regiões de qualidade regular, não homogêneo, para um concreto predominantemente de boa qualidade, homogêneo, utilizando para tal a classificação apresentada na Tabela 1, proposta por Ramírez (2015) *appud* Whitehurst (1996).

Além da inferência a respeito da homogeneidade, se nota que passou a ser possível visualizar os contornos das descontinuidades induzidas e as suas localizações passaram a ser mais precisas se comparado com o Caso 1. Porém, o bloco de madeira não pôde ser identificado, isso pode ser explicado devido às dimensões do mesmo serem muito pequenas para a frequência utilizada (54 kHz).

Contudo, nota-se que a região próxima a localização do bloco de madeira, no quadrante direito na parte inferior possui baixa VPU. Isso ocorreu por conta da dificuldade de adensar o concreto na referida região sem que o bloco fosse atingido, deixando a região com grau de adensamento mais baixo do que as demais, ocasionando a não homogeneidade em relação às regiões cujo adensamento foi realizado corretamente.

A Figura 6 apresenta os resultados de iso curvas de homogeneidade obtidos para o Caso 3.

ISBN 978-65-86819-05-2

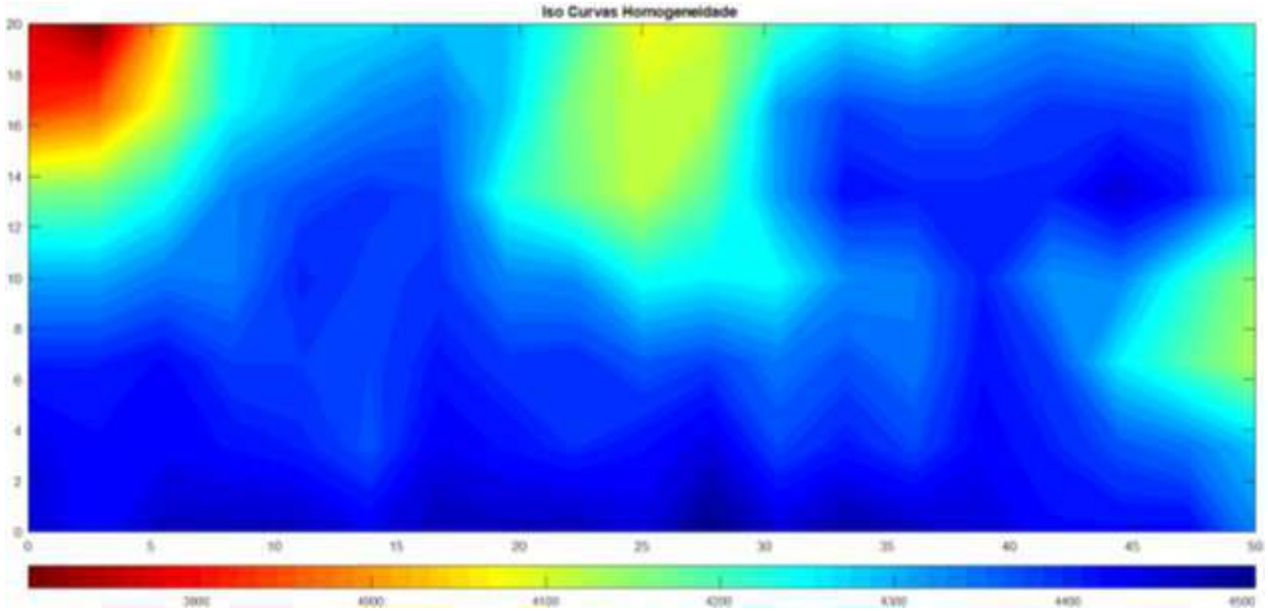


Figura 6 – Iso curvas de homogeneidade, Caso 3
Fonte: Acervo do autor.

A diferença mais notável entre os resultados dos Casos 2 e 3 é a redução das regiões de transição entre o concreto íntegro e as descontinuidades induzidas, representadas pela variação entre as cores azul e o verde. Nota-se que os contornos se tornaram mais precisos, inclusive se aproximando das dimensões reais das esferas de EPS (100mm), conforme visto na Figura 6.

Entretanto, tanto no Caso 2 como no Caso 3 a esfera localizada no quadrante superior esquerdo teve o seu contorno representado por 1/4 de círculo. Suspeita-se que tal ocorrência se deu pela proximidade da esfera com a borda do CP, com cobrimento de cerca de 2,0cm, o que pode ter gerado efeitos de borda na leitura ou problemas de processamento na matriz do algoritmo no critério de parada da iso-linha sair do domínio estudado.

A não obtenção de um círculo perfeito para a esfera no centro do CP, já que ela se encontra longe das bordas, se explica devido ao grau de adensamento acima da mesma ter sido inferior ao das regiões sem a presença de objetos. Por conta do método de adensamento utilizando golpes com haste de aço, para que as esferas não fossem atingidas a energia transmitida ao concreto pelos golpes nestas regiões foi menor, acarretando em leve redução da VPU.

Além disso, o algoritimo na versão atual processa a interpolação dos dados por meio de uma análise linear. Para melhor definição de descontinuidades com bordas circulares, é necessária a adoção de uma interpolação polinomial de grau superior para melhor representatividade dos dados em forma de curvas.

A malha de 2,5cm x 2,5cm se apresentou mais precisa para a caracterização das descontinuidades por permitir uma maior quantidade de leituras efetuadas durante o ensaio, possibilitando melhor representação dos contornos, como esperado. Isso evidencia a dependência do tamanho da malha nos resultados obtidos. Vale salientar também que nada se pode concluir a respeito da presença da palha de aço no interior de uma das esferas, suspeita-se que a baixa densidade tenha tornado sua presença indiferente ao ensaio.

4. CONCLUSÕES

O ensaio de velocidade de pulso ultrassônico no concreto se caracteriza como uma ferramenta de análise qualitativa precisa, versátil e de simples aplicação, conforme apontaram os resultados obtidos nesta pesquisa. Além de permitir a avaliação da homogeneidade do elemento ensaiado, detectou-se descontinuidades inseridas intencionalmente no interior do corpo de prova. Foi possível não apenas localizá-las, mas também determinar o formato e as suas dimensões, na direção perpendicular à propagação das ondas. Observou-se que o lixamento e limpeza das superfícies do elemento de concreto exerce grande influência sobre os valores da VPU. O não tratamento acabou prejudicando a avaliação da homogeneidade

ISBN 978-65-86819-05-2

do elemento, a ponto de os resultados não serem representativos para o concreto. Além disso a caracterização dos contornos das descontinuidades não foi possível, apesar de apontar as suas localizações.

Com a utilização de algoritmo implementado em MatLab e os dados obtidos durante os ensaios após o lixamento e limpeza das superfícies de contato com os transdutores, foi possível avaliar a homogeneidade do CP de concreto a partir da utilização de iso curvas. Obtendo-se os resultados esperados para o concreto utilizado com alto grau de precisão, tanto para a malha de 5,0cm x 5,0cm quanto para a malha de 2,5cm x 2,5cm, não havendo grande divergência entre ambos os casos. As malhas utilizadas permitiram localizar as esferas de EPS, com diâmetros de 100mm, com alto grau de precisão, para os transdutores de 54kHz. Contudo os contornos das esferas foram melhores representados na malha de 2,5cm x 2,5cm, permitindo a visualização das dimensões reais das esferas no gráfico das iso curvas, principalmente para a esfera localizada no centro do CP.

Observou-se interferências de borda para a esfera localizada no quadrante superior esquerdo, suspeita-se que a proximidade do objeto com a extremidade do CP provocou atenuações elevadas na energia de propagação da onda, deformando os contornos da esfera. Além disso observou-se que o baixo grau de adensamento nas regiões muito próximas aos objetos, devido a difícil aplicação dos golpes com a haste, reduziu levemente o valor da VPU. Motivo que levou a não obtenção de círculos perfeitos que representassem as esferas e a aparição de baixas VPU's próximas ao bloco de madeira. A não detecção do bloco de madeira se deu devido ao comprimento de onda ser muito próximo às dimensões do objeto, consequência de a frequência do transdutor ser de 54kHz. Quanto à existência de palha de aço no interior de uma das esferas nota-se que foi indiferente para o ensaio.

5. REFERÊNCIAS

ANDRUCCI, Ricardo. **ENSAIO POR ULTRASSOM.** Ed. Jan. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: Concreto endurecido - determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2019.

CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. **Vinhático Plaphymenia Reticulada.** Comunicado Técnico 231. ISSN 1517-5030. Colombo, PR, julho 2019.

DUTRA, Claudio Barcelos. **ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE PINOS EM CONCRETO: COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTOS.** Universidade Federal Fluminense. Niterói-RJ, 2005.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

Itaipu Binacional. **Concretagem.** 2010. Disponível em: https://www.itaipu.gov.br/energia/concretagem. Acesso em: 06 de agosto de 2019.

LAPA, José Silva. **Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto.** Universidade Federal de Minas Gerais. 2008**.**

MACHADO, M. D.; SHEHATA, L. C. D.; SHEHATA, I. A. E. M. **Curvas de Correlação para Caracterizar Concretos Usados no Rio de Janeiro por Meio de Ensaios Não Destrutivos.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. v. 2. n. 2. p. 100-123. 2009.

MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. **Handbook on Nondestructive Testing of Concrete**. 2. ed. London: CRC Press, 2004.

NUMMELA, S. *et al.* **Sound Transmission in Archaic and Modern Whales: Anatomical Adaptations for Underwater Hearing.** The Anatomical Record v. 290 p. 716-733. 2007.

PERLIN, Lourenço Panosso. **Tomografia Ultrassônica em Concreto: Desenvolvimento de Ferramenta Computacional.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

ISBN 978-65-86819-05-2

PÉCORA, Jesus Djalma; GUERISOLI, Danilo M. Zanello. **Ultra-Som.** 2004. Disponível em: http://www.forp.usp.br/restauradora/us01.htm. Acesso em: 06 de agosto de 2019.

PROCEQ. Disponível em: https://www.proceq.com/pt/. Acesso em: 04 de novembro de 2019.

RAMÍREZ, Fernando Campo. **Detecção de danos em estruturas de concreto por meio de tomografia ultrassônica.** Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2015.

SANTIN, J. L. **Ultra-som: técnica e aplicação.** 2. ed. Curitiba: Artes gráficas e editora unificado, 2003.