



14ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos

COTEQ2017 - 206

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO ULTRASSOM NA DETECÇÃO DE FISSURAS E
DEMAIS PATOLOGIAS DEGENERATIVAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO DO
HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE SERGIPE**

Silva, L¹, Oliveira, A², Nascimento, P³, Schapowal, W⁴, Carvalho, C⁵, Martins, COD⁶

Copyright 2017, ABENDI, ABRACO, ABCM, IBP e FBTS.

Trabalho apresentado durante a 14ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

SINOPSE

O concreto armado é sem dúvida o material de engenharia mais aplicado no mundo. Contudo, o surgimento de fissuras e demais manifestações patológicas tende a resultar no comprometimento da sua vida útil de projeto e, conseqüente, prejuízos para a sustentabilidade dos empreendimentos. Muitos esforços têm sido despendidos para melhorar esta relação custo x processo x materiais x integridade, contudo, o sistema ainda carece de confiabilidade. Neste sentido, em 2013 entrou em vigor a norma ABNT NBR 15575, a qual trata da manutenção e garantia de desempenho das edificações residenciais. Esta norma tem demandado o desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação, inspeção e monitoramento, tornando-se imperiosa a aproximação dos profissionais da construção civil aos especialistas em tecnologia de materiais. Neste trabalho, foram usinados entalhes com profundidades pré-determinadas e testadas diferentes metodologias de determinação da profundidade de fissuras através da técnica não destrutiva ultrassônica. Os resultados mostraram a grande aplicabilidade da técnica e serviram de base para o desenvolvimento de atividades cooperativas visando implementação de um grupo de Engenharia e Manutenção no Hospital Universitário de Sergipe.

1 Engenheira Civil – EBSEH/Hospital Universitário de Sergipe.

2 Graduanda, Engenharia de Materiais – LAIES / UFS.

3 Graduanda, Engenharia de Materiais – LAIES / UFS.

4 Inspetor de Ultrassom N2/S4 – ICT Engenharia e Inspeção.

5 PHD, Engenheiro Civil – Instituto Federal de Sergipe.

6 PHD, Engenheiro de Materiais – LAIES / UFS.

1) INTRODUÇÃO

A falha catastrófica de componentes e estruturas vem sempre associada a riscos e prejuízos de natureza humana, material e financeira, os quais justificam o interesse no desenvolvimento de sistemas mais eficientes de fabricação e controle de qualidade¹.

Estes sistemas corroboram com o conceito de confiabilidade operacional, o qual visa garantir que a segurança individual ou coletiva não seja afetada pela depreciação estrutural. Para o setor de transportes, o compromisso com a segurança operacional torna-se cada vez mais primordial, uma vez que a eficiência desse setor se configura como fator principal para a manutenção de uma sociedade moderna.

Deste modo, a difusão de conhecimentos que promovam a melhoria dos processos de fabricação, manutenção e utilização de equipamentos, estruturas e sistemas de engenharia, associados aos conceitos de Tecnologia de Materiais visam o aumento da segurança e o uso racional de produtos e processos.

Neste sentido, foi firmada uma parceria cooperativa entre o Laboratório de Análise de Integridade Estrutural da Universidade Federal de Sergipe (LAIES) e a Divisão Logística e Infraestrutura Hospitalar do Hospital Universitário de Sergipe (DLIH-HU).

Esta parceria, visa a difusão de conhecimentos e tecnologias não destrutivas com foco na garantia da segurança e manutenção da integridade de equipamentos e estruturas construtivas atuantes no HU. Nesta parceria, também contamos com o apoio do Departamento de Engenharia Civil do Instituto Federal de Sergipe e da empresa ICT Engenharia e Inspeção.

Com base nos conceitos e definições descritos na norma de desempenho NBR 15575, buscamos a inserção de novas tecnologias e procedimentos de inspeção e manutenção da integridade com foco na segurança e preservação das estruturas e equipamentos disponíveis no HU.

Em trabalhos anteriores, analisamos a aplicabilidade de técnicas magnéticas para a detecção e monitoramento da corrosão em armaduras de concreto². Também analisamos a aplicabilidade da técnica ultrassônica para a determinação da resistência mecânica em diferentes amostras de concreto³.

Runkiewicz⁴ demonstrou a aplicabilidade de técnicas não destrutivas para a inspeção e determinação de propriedades em estruturas de concreto. O autor apresentou características e aplicações de técnicas esclerométricas, radiográficas, eletromagnéticas e acústicas, mostrando suas limitações e potencialidades.

Outros autores mostraram a aplicabilidade da técnica ultrassônica para a determinação de espessura, localização de defeitos e de propriedades em estruturas de concreto⁵⁻⁸.

Pristov et al⁵, utilizando uma técnica ressonante, provaram a efetividade do ultrassom para a medição de espessura e detecção de defeitos como delaminação e porosidades.

Anwar et al⁶, testaram a aplicabilidade de três métodos ultrassônicos de detecção de profundidade de fissuras. Os autores também buscaram o desenvolvimento de métodos alternativos, para as aplicações onde o acesso às superfícies próximas aos defeitos é restrito.

As fissuras são um dos principais problemas patológicos no que se refere a construções, principalmente de concreto armado. Elas podem se manifestar desde a concretagem até anos após a mesma. Suas principais causas consistem nas movimentações térmicas e higroscópicas, nas movimentações da estrutura para acomodação no solo, nas sobrecargas e deformações excessivas da estrutura, alterações químicas dos materiais (como a corrosão de armaduras), entre outros⁷⁻¹⁰.

Uma vez que a nucleação e propagação de fissura estão entre as patologias mais severas atuantes em estruturas de concreto, neste trabalho, buscamos analisar a aplicabilidade de diferentes metodologias de utilização da técnica ultrassônica para a determinação da profundidade de fissuras em estruturas de concreto.

2) MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, foi analisada a eficiência de diferentes métodos ultrassônico de determinação da profundidade de fissuras em estruturas de concreto.

Para tal, foram moldados corpos de prova prismáticos em concreto simples (sem armadura), com traço em massa 1:3,5:3:0,7. Sendo o traço a relação entre as quantidades de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Foi utilizada areia lavada como agregado miúdo e brita 1 como graúdo. Foram usinadas fissuras superficiais com diferentes profundidades (20 e 50 mm). A profundidade das fissuras foi aferida usando um paquímetro metrológico. A figura 1 apresenta uma visualização da geometria das amostras e da disposição dos ensaios.

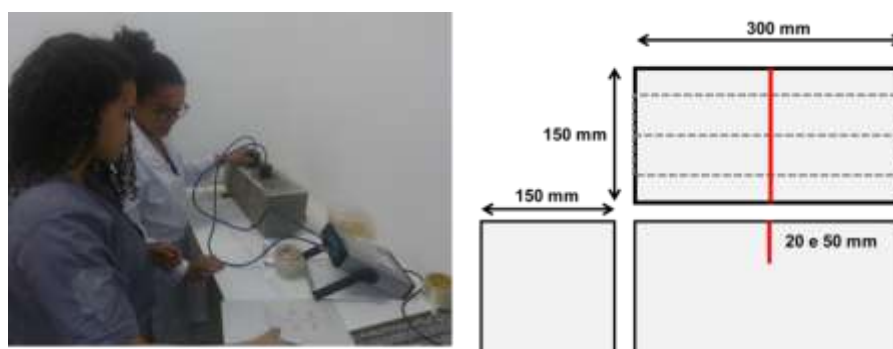


Figura 1: Visualização do ensaio ultrassônico e da geometria dos corpos de provas analisados.

Para a inspeção ultrassônica foi utilizado um equipamento Pundit+, da Proceq, com calibração automática e transdutores normais de 54kHz. Foi utilizado metil celulose como acoplante.

Os métodos empregados foram:

- 1) Método $T_C - T_0$;
- 2) Método T;
- 3) Método da norma britânica BS 1881.

As Figuras 2 a 4 apresentam as configurações e parâmetros adotados por cada método, sendo que em todos, os transdutores foram posicionados na forma indireta, onde o tempo de vôo da onda ultrassônica em diferentes posições é determinante para a correta determinação da profundidade da fissura.

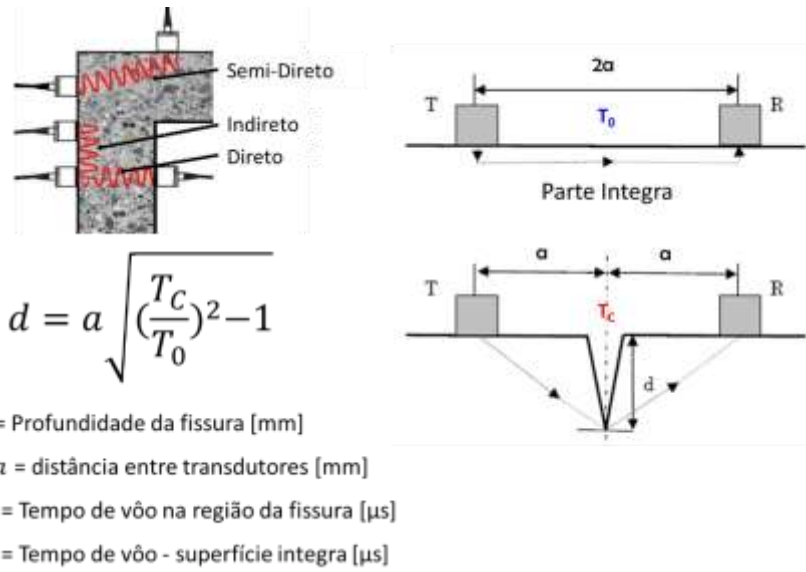


Figura 2: Visualização da distribuição de transdutores e dos parâmetros utilizados para o cálculo da profundidade da fissura através do método $T_c - T_0$.

$$d = T * \cot \alpha * \left(\frac{T * \cot \alpha + 2 * L1}{2 * (T * \cot \alpha + L1)} \right)$$

- d = Profundidade da fissura [mm]
- $L1$ = distância entre o Transmissor e a fissura [mm]
- Rx = distância entre o Transmissor e o Receptor [mm]
- T = descontinuidade de tempo entre as duas retas (antes e após a fissura) [μ s]
- α = coeficiente angular da reta anterior a fissura.

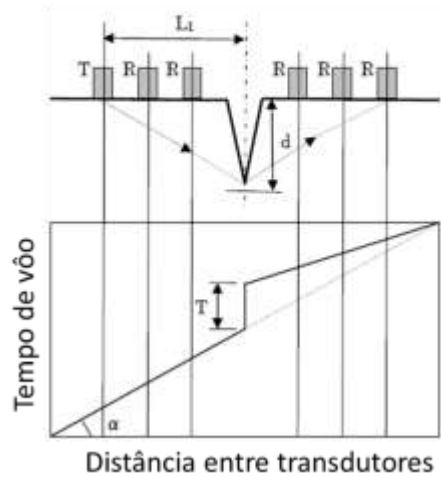


Figura 3: Visualização da distribuição de transdutores e dos parâmetros utilizados para o cálculo da profundidade da fissura através do método T .

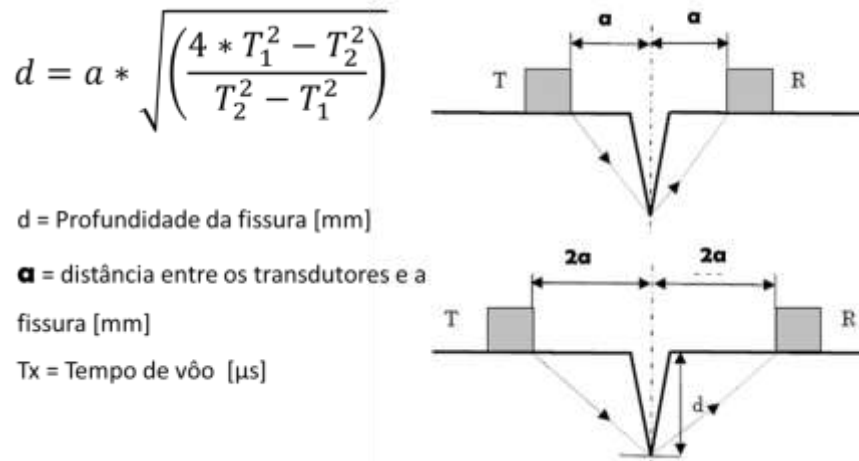


Figura 4: Visualização da distribuição de transdutores e dos parâmetros utilizados para o cálculo da profundidade da fissura através do método BS.

3) RESULTADOS

O estudo foi realizado em duas etapas.

Na primeira foi analisada a fissura com 50 mm de profundidade.

Para tal, foram adotados 5 procedimentos:

- 1) Método $T_C - T_0$ com distância entre os transdutores e a trinca de 75mm;
- 2) Método $T_C - T_0$ com distância entre transdutores e a trinca de 100 mm;
- 3) Método T, com distância entre transdutores variando de 0 a 300 mm (com incremento de 50 mm);
- 4) Método BS com distância entre transdutores de 50 mm;
- 5) Método BS com distância entre transdutores de 100 mm.

As tabelas 1 a 3 apresentam os resultados obtidos (para as medições dos tempos de voos da onda ultrassônica) em cada método.

Tabela 1: Resultados obtidos na primeira etapa através do Método $T_C - T_0$.

Representação	1			1*		
Parâmetros	M1	M2	M3	M1	M2	M3
a [mm]	75	75	75	100	100	100
T_0 [μ s]	43,1	44,7	43,1	59,2	58,5	57,1
T_C [μ s]	54,4	54,9	55	65,8	66,4	65,5
d calculado [mm]	57,76	53,48	59,46	48,52	53,70	56,20
d médio [mm]	56,90			52,81		
Desvio Padrão [mm]	3,08			3,92		

Tabela 2: Resultados obtidos na primeira etapa através do Método T.

Representação	2			
Parâmetro	a [mm]	Tempo de Voo [μ s]		
L1	150	M1	M2	M3
R0	0	0	0	0
R1	50	13,64	16	14,7
R2	100	27,28	32	29,4
R3	200	73,3	76,6	77,3
R4	250	94,5	93,7	94,4
R5	300	102,7	102,6	105
d calculado [mm]		46,96	47,08	51,48
d médio [mm]		48,51		
Desvio Padrão [mm]		2,58		

Tabela 3: Resultados obtidos na primeira etapa através do Método BS.

Representação	3			3*		
Parâmetros	M1	M2	M3	M1	M2	M3
a [mm]	50	50	50	100	100	100
T ₁ [μs]	45,3	47,1	48,8	64,5	65,6	65
T ₂ [μs]	70,7	71,4	73,5	117	120	118,7
d calculado [mm]	52,19	57,25	58,42	55,66	52,79	53,37
d médio [mm]	55,95			53,94		
Desvio Padrão [mm]	3,31			1,52		

A tabela 4 apresenta o resultado dos cálculos das profundidades das fissuras obtidos nesta etapa. Percebe-se que o erro associado encontra-se dentro do aceitável para todas as medidas. Nesta etapa, os métodos T_C-T₀ com distância entre transdutores de 100 mm e T foram os que apresentaram os melhores resultados.

Tabela 4: Resultados obtidos na determinação da profundidade da fissura de 50 mm.

Método	Símbolo	d ₁	d ₂	d ₃	média	desvpad
1 (75mm)	1	57,8	53,5	59,5	56,93	3,09
1 (100 mm)	1*	48,5	53,7	56,2	52,80	3,93
2	2	46,96	47,08	51,48	48,51	2,58
3 (50 mm)	3	52,19	57,26	58,42	55,96	3,31
3(75 mm)	3*	55,69	52,79	53,37	53,95	1,53

As tabelas 5 a 7 apresentam os resultados obtidos na segunda etapa, durante a determinação da profundidade da fissura de 20 mm.

Nesta etapa, foram adotados 4 procedimentos:

- 1) Método T_C – T₀ com distância entre os transdutores e a trinca de 50 mm;
- 2) Método T, com distância entre transdutores variando de 0 a 300 mm (com incremento de 50 mm);
- 3) Método BS com distância entre transdutores de 50 mm;
- 4) Método BS com distância entre transdutores de 75 mm.

Tabela 5: Resultados obtidos na segunda etapa através do Método T_C – T₀.

Representação	1		
Parâmetros	M1	M2	M3
a [mm]	50	50	50
T ₀ [μs]	36,8	38	36,7
T _C [μs]	42,9	40,2	43,5
d calculado [mm]	30,00	17,30	31,80
d médio [mm]	26,37		
Desvio Padrão [mm]	7,90		

Tabela 6: Resultados obtidos na segunda etapa através do Método T.

Representação	2			
Parâmetro	a [mm]	Tempo de Vôo [µs]		
L1	150	M1	M2	M3
R0	0	0	0	0
R1	50	11,8	13,5	13,3
R2	100	23,6	27	26,6
R3	200	61,4	69,5	61,6
R4	250	83,2	89,3	73,2
R5	300	101	109,2	91,2
d calculado [mm]		15,41	22,92	14,78
d médio [mm]		17,70		
Desvio Padrão [mm]		4,53		

Tabela 7: Resultados obtidos na segunda etapa através do Método BS.

Representação	3			3*		
Parâmetros	M1	M2	M3	M1	M2	M3
a [mm]	50	50	50	75	75	75
T ₁ [µs]	34,8	26,3	36,6	47,3	49,7	58,8
T ₂ [µs]	63,5	50,2	68,1	91,6	97,3	115
d calculado [mm]	26,82	18,36	23,37	22,60	18,22	18,66
d médio [mm]	22,85			19,83		
Desvio Padrão [mm]	4,25			2,41		

A tabela 8 apresenta o resultado dos cálculos das profundidades das fissuras obtidos nesta etapa. Novamente, percebe-se que o erro associado encontra-se dentro do aceitável para todas as medidas. Nesta etapa, o método BS foi o mais efetivo.

Tabela 8: Resultados obtidos na determinação da profundidade da fissura de 50 mm.

Método	Símbolo	d ₁	d ₂	d ₃	média	desvpad
1	1	30	17,3	31,8	26,37	7,90
2	2	15,41	22,92	14,78	17,70	4,53
3 (50 mm)	3	26,82	18,36	23,37	22,85	4,25
3(75 mm)	3*	27,49	18,22	18,66	21,46	5,23

A fim de elucidar os resultados obtidos neste trabalho, a figura apresenta uma visualização gráfica das médias das profundidades de fissuras determinadas através da técnica ultrassônica para os procedimentos utilizados.

Apesar da variação nos resultados, todos os métodos apresentaram resultados satisfatórios sendo a seleção do método a ser aplicado dependente das características da superfície e da acessibilidade das regiões adjacentes.

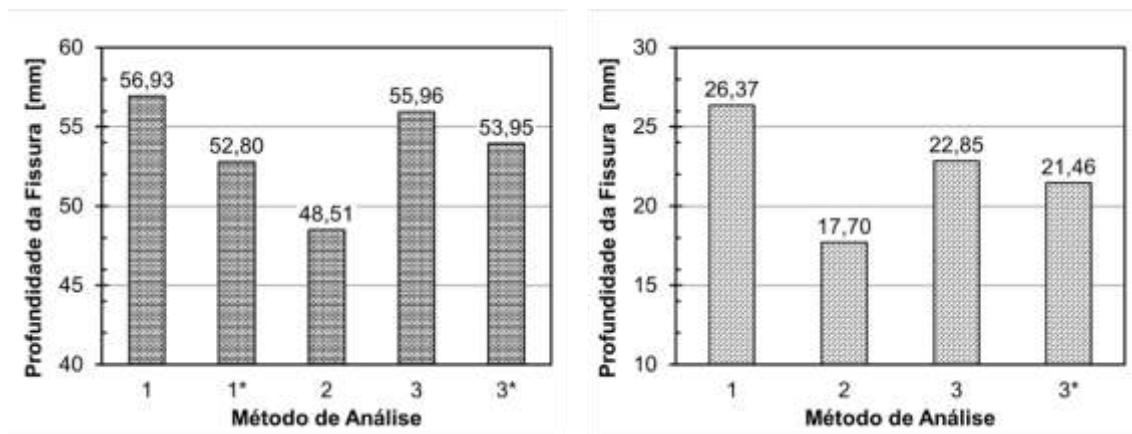


Figura 5: Visualização das profundidades da fissuras determinadas através de diferentes procedimentos de aplicação da técnica ultrassônica em corpos de provas de concreto.

A continuidade deste estudo envolverá a aplicação em campo da técnica ultrassônica, a fim de determinar a profundidade de diferentes fissuras localizadas nas estruturas dos prédios do Hospital Universitário de Sergipe. Uma vez determinada a profundidade, será possível avaliar a severidade da fissura, assim como estabelecer o correto procedimento de manutenção e recuperação da estrutura.

4) CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi destacada a importância da aplicação de conceitos nas áreas de Ensaio não Destrutivo e Tecnologia de Materiais para a garantia da integridade de estruturas de concreto.

Foi analisada a aplicabilidade de três métodos ultrassônicos de determinação de profundidade de fissuras em estruturas de concreto.

Todos os métodos analisados apresentaram resultados consistentes e satisfatórios, sendo a escolha do método a ser aplicado dependente da acessibilidade às proximidades da fissura.

Este trabalho evidencia a necessidade de parcerias cooperativas para a efetiva difusão de conhecimentos e implementação de tecnologias que garantam o melhor controle da integridade e a garantia da segurança operacional de equipamentos e estruturas de grande responsabilidade.

5) REFERÊNCIAS

1. Martins, C.O.D., “Desenvolvimento de metodologias de inspeção e monitoramento de risers flexíveis através de técnicas micromagnéticas de análise de tensões”, Tese de Doutorado, PPGEM – UFRGS, p 133, 2008.
2. Martins, COD, et al, “Aplicações de técnicas não destrutivas micromagnéticas para a inspeção e monitoramento da corrosão em armaduras de concreto”, CONAEND&Iev, 2014.
3. Martins, COD, Lira, TM, Barreto, LS, “Análise da influência da composição nas propriedades sônicas de compósitos cimentícios”, CONAEND&Iev, 2016.
4. Runkiewicz, L, “Application of non-destructive testing methods to assess properties of construction materials in building diagnostics”, Architecture Civil Engineering Environment, No 2, 2009, 8p.
5. Pristov, E, et al, “Measurement of Concrete Thickness and Detection of Defects Using Ultrasound Methods”, 9th International Conference on Concrete Pavements, EUA, 2008.
6. Anwar, AM, et al, “New approach towards crack determination in concrete using UPV test”, 32ndConference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES, 2007, Singapore.
7. Sheen, YN, “Nondestructive Investigation of Cracks in Concrete Pavement by Ultrasonic Pulse Velocity”, Journal of National Kaohsiung University of Applied Sciences, Vol. 35 (2006), pp.309-316.
8. Pinto, RCA, et al, “Use of ultrasound to estimate depth of surface opening cracks in concrete structures”, NDT net database. Extraído de: www.ndt.net/article/ndtnet/2010/10_Pinto.pdf, acessado em fevereiro de 2017.
9. Breysse, D., et al, “How to improve the quality of concrete assessment by combining several NDT measurements”, NDTCE’09, France, 2009.
10. Mix, P.E., “Introduction to Nondestructive Testing”, 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2005.