

ENSAIOS DE ULTRASSOM EM PAINÉIS DE TAIPA DE PILÃO VISANDO SUA FUTURA UTILIZAÇÃO NA VERIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS NESSAS PAREDES ESTRUTURAIS EM TERRA

Maria Virgínia Simão Peixoto¹, Marco Antônio Penido de Rezende²

¹Escola de Belas Artes – UFMG, Belo Horizonte, Brasil
ninnaspeixoto@yahoo.com.br

²Escola de Arquitetura e Urbanismo – UFMG, Belo Horizonte, Brasil
marco.penido.rezende@hotmail.com

Palavras-chave: Restauração. Taipa de pilão. Testes não destrutivos. Ultrassom. Velocidade ultrassônica

Resumo

Minas Gerais possui um significativo patrimônio em arquitetura de terra. Estes tipos de edificações exigem para sua conservação um conhecimento específico das técnicas de construção. Por isso mesmo, as intervenções devem ser feitas com cuidado e de forma precisa, o que gera uma grande demanda por ensaios não destrutivos, dentre eles, o ultrassom.

Em todo mundo tem crescido a utilização de ensaios e metodologias não destrutivos na análise de patologias e na compreensão do comportamento dos materiais e estruturas das edificações. Se no caso das construções usuais a economia de custos e segurança tem justificado este tipo de procedimento, no caso das construções históricas a necessidade se torna ainda mais imperativa.

Este artigo apresenta um estudo para o desenvolvimento de metodologia que viabilize a utilização de testes ultrassônicos em minipainel de taipa de pilão. Essas paredes estruturais são importante componente de nossa arquitetura histórica estando presente em significativos patrimônios edificados.

Verifica-se a importância da realização de testes não destrutivos para elaboração de diagnósticos de patologias, em construções históricas erguidas em terra, buscando diminuir danos causados pelos testes convencionais, que, geralmente, envolvem a retirada de corpos de provas.

Na fase inicial deste projeto de pesquisa, foram executados corpos de prova de material terroso e submetidos a testes de ultrassom e ruptura por compressão simples. Nessa fase, foi construído o minipainel em taipa de pilão onde foram realizados testes de ultrassom. Os resultados obtidos foram analisados, com auxílio de expressões analíticas e gráficos obtidos na primeira fase da pesquisa. Pôde-se concluir que existe a possibilidade do emprego do ultrassom para avaliação da resistência apresentada pelas paredes em taipa de pilão.

Portanto, configura-se como uma importante contribuição na identificação de patologias destas estruturas, possibilitando intervenções de melhor precisão e qualidade e menos onerosas. Intenciona-se continuar os estudos nesta área, tendo como objetivo final a aplicação de testes ultrassônicos em edificações erguidas em terra.

1. INTRODUÇÃO

A lista de patrimônios históricos edificados em terra (World Heritage Monuments – UNESCO) é significativa e abrangente, sendo possível encontrar exemplos importantes nas mais diversas partes do mundo, abrangendo todos os continentes e climas (UNESCO, <http://whc.unesco.org/en/list/>)

A importância dos métodos de ensaio não destrutivos¹ para a conservação de monumentos tem sido reafirmada por pesquisadores e conservadores em todo o mundo (Evangelista, 2002; Rezende; Rodrigues, 2007).

Dentre os diversos métodos não destrutivos de ensaio, o ultrassom destaca-se pelo baixo custo de seus equipamentos, e pela sua portabilidade (facilidade de deslocamento).

No campo das estruturas de concreto armado as pesquisas de ultrassom avançaram muito, e foi possível estabelecer uma correlação entre a medida da velocidade de ultrassom e a resistência do material. Uma vez estabelecida esta correlação a utilização do ultrassom passou a ser neste campo, uma atividade reconhecida e usual como importante instrumento para a verificação do estado da estrutura.

Buscando caminhar nesta mesma direção só que agora em relação às construções em terra, e mais especificamente em relações às construções em taipa de pilão, o grupo de pesquisa em tecnologias de construções em terra da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, vem desenvolvendo pesquisas neste campo. Alguns dos resultados da última pesquisa realizada são apresentados neste trabalho.

2. MARCO TEÓRICO – ULTRASSOM

No campo da arquitetura de terra as pesquisas são ainda insipientes. Yesiller et al (2000) desenvolveram um estudo com o intuito de investigar o uso de métodos ultrassônicos na determinação de características de compactação de solos argilosos. Nesse estudo, verificaram que a velocidade crescia com o aumento da umidade até o teor de umidade ótimo. Após este ponto, a velocidade começava a decrescer com o aumento do teor de umidade. A velocidade máxima foi obtida próxima ao teor de umidade ótimo. A variação de velocidade, em relação ao teor de umidade, foi similar a variação da densidade total. A velocidade máxima foi obtida, aproximadamente, no ponto de densidade máxima e índice de vazios mínimo. Constataram, também, uma diminuição da velocidade ultrassônica com o aumento da porcentagem de argila no solo das amostras e, conseqüentemente, o aumento da sua plasticidade. O aumento destes dois últimos fatores relacionados, em um solo, contribui para o aumento da sua porosidade, acarretando uma diminuição de sua densidade e aumento do teor de umidade, resultando em uma diminuição da velocidade ultrassônica neste meio.

Observaram, ainda, que, na maioria dos casos, a velocidade obtida, a partir da transmissão direta, não é similar à obtida via transmissão indireta. Por isso, foi sugerido um fator de correção para converter velocidade indireta em direta (Yesiller et al, 2000).

D’Orazio et al (2007) verificam em seu trabalho as dificuldades encontradas para inspecionar compósitos usando a tecnologia do ultrassom.

A primeira questão colocada pelos autores refere-se à falta de normalização referente a diferentes espessuras de amostras e outra questão refere-se à classificação das técnicas usadas para fazer a comparação dos sinais ultrassônicos e detectar pontos internos nas amostras. A forma de recebimento de sinais ultrassônicos depende da espessura da amostra, assim como a leitura das características apresentadas pelo material ao longo do caminho percorrido pelo sinal. Para materiais mais finos, recomenda-se usar frequências menores. Para materiais mais espessos, é necessário frequências maiores, no entanto esta medida pode acarretar em perda de leitura de defeitos superficiais (D’Orazio et al, 2007).

Já dentro do objetivo maior de se buscar estabelecer a correlação entre resistência mecânica e velocidade ultrassônica para paredes em taipa de pilão, a primeira pesquisa desenvolvida na Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, buscou estabelecer esta correlação para corpos de prova (35 mm de diâmetro e 87 mm de altura) com material terroso. Bandeira (2009) após realizar testes ultrassônicos e ensaios de ruptura a compressão simples em 78 corpos de prova feitos do material supracitado concluiu pela existência de uma “forte correlação entre a tensão de ruptura e a velocidade de propagação da onda ultrassônica, cujo coeficiente de correlação foi igual a 0,96”.

Para a segunda pesquisa realizada foram construídos quatro minipainéis em taipa de pilão com as dimensões de 2,0 m de comprimento, 1,20 m de altura e 0,44 m. Na impossibilidade de se utilizar o mesmo solo da pesquisa anterior procurou-se utilizar o solo da mesma região com as características o mais similares possível. Para os testes de ultrassom foram utilizados transdutores de 82 kHz, 150 kHz e 200 kHz. Os ensaios de ultrassom, realizados

nos painéis, produziram resultados que não haviam sido registrados até então na literatura sobre o tema. Foram utilizados os transdutores de 82 kHz, 150 kHz e 200 kHz, com medições diretas e indiretas. O aparelho não registrou nenhuma leitura nos protótipos 2, 3 e 4. O painel 1 apresentou leituras, no entanto, os dados gerados não foram considerados válidos (grande variação). As medidas foram realizadas com outros aparelhos de marcas diferentes, mas os resultados foram os mesmos (Rezende e Rodrigues, 2006; Peixoto, 2011)

Diante dos resultados desta etapa passou-se a realização do trabalho em tela, cujos objetivos e metodologia se apresentam a seguir.

3. METODOLOGIA – ULTRASSOM

3.1 – Metodologia da pesquisa.

3.1.1 – Escolha do solo

A escolha do solo utilizado foi realizada, levando-se em conta, o tipo de material terroso ideal para executar uma parede em taipa de pilão, sendo ele separado, seco e ensacado pela empresa Engesolo. Portanto, pôde-se ter um controle maior do tipo de amostra a ser utilizada na construção deste protótipo.

3.1.2 – Execução do taipal

Foi elaborado um taipal, tendo como modelo os taipais usados no período colonial, para a execução do protótipo. Ainda assim algumas poucas adaptações foram realizadas. Neste taipal, as faces foram executadas com tábuas de pinho do Paraná e as cangalhas usando-se peças de eucalipto de 6 cm x 6 cm. Este taipal apresenta as seguintes dimensões internas: 1,5 m de comprimento, 0,90 m de altura e 0,44 m de espessura (equivalente à medida de dois palmos, usada antigamente na arquitetura em taipa).

3.1.3 Execução do protótipo

Para iniciar os trabalhos de compactação do protótipo, o solo, a ser usado, foi previamente preparado, sendo passado pela peneira, com malha de 4,8 mm. Com isso, os cascalhos de maiores diâmetros foram retirados durante este processo.

Assim como nos protótipos da etapa anterior, a sua compactação foi sendo realizada em sucessivas camadas de aproximadamente 15 cm a 20 cm, com o uso de um pilão de madeira, com base em formato cônico.

3.1.4 Retirada da fôrma do protótipo

A retirada da fôrma do protótipo 5 foi realizada 9 dias após a compactação do mesmo. Durante o processo, foi verificada a ocorrência de estragos nas superfícies laterais da parede, devido a não utilização de desmoldante na fôrma antes da compactação. Em algumas áreas de contato entre a terra e o taipal, notou-se que o solo, ao ser, ligeiramente umedecido, para compactação, aderiu à madeira do taipal. Percebeu-se existência de algumas trincas em sua superfície, provavelmente ocasionadas durante a cura da parede.

3.1.5 Ensaio de ultrassom no protótipo

A calibração do aparelho ultrassom foi realizada em todas as frequências utilizadas, ou seja: 54 kHz e 500 kHz.

Foram feitas medidas nos pontos 1 e 2 usando transdutores de 54 kHz e 500 kHz. De acordo com a norma BSI 1881, devem ser realizadas três medidas, sendo que os resultados registrados devem apresentar variação máxima de 5% do valor mediano obtido.



Figura 1: Painel. Fotografia: Peixoto, 2012.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.2 Resultados da pesquisa

4.2.1 Caracterização geotécnica do solo dos protótipos

De acordo com os resultados obtidos a partir dos ensaios de caracterização do solo utilizado neste trabalho, este poderá ser classificado, segundo a ABNT, como uma argila areno siltosa de cor amarela, altamente plástica, com pouquíssimo pedregulho. Na tabela 1, encontra-se o resumo das propriedades físicas e as características geotécnicas do solo descrito acima.

Tabela 1 - Caracterização do solo

Índices Físicos	
Massa específica dos solos (g/cm ³)	2,679
Limite de liquidez (%)	51
Índice de plasticidade (%)	22
Granulométrica (ABNT)	
Pedregulho (d > 2,0mm)	1,4
Areia (0,06 < d < 2,0mm)	23,5
Silte (0,002 < d < 0,06mm)	20,2
Argila (d < 0,002mm)	54,9
Textura	Argila areno siltosa
Plasticidade	Altamente plástica

Engenheiro responsável pelos ensaios: Benjamim José da Silva – Engesolo

4.2.2 Ensaio do ultrassom no protótipo

Os ensaios de ultrassom, realizados nos painéis, produziram resultados satisfatórios. Foram realizados, segundo norma BSI 1881 Parte 206 – Ultrasonic Test for concrete, através do equipamento modelo PUNDIT, fabricado pela empresa CNS (1995), utilizados os transdutores de 54 kHz com sistema de medição indireto e transdutores de 500 kHz com sistema de medição direto. O acoplante utilizado foi o gel.



Figura 2: Teste de ultrassom no Painei 5. Fotografia: Peixoto, 2012.

Tabela 2 – Resultados dos testes do ultrassom no protótipo 5

Ponto	Frequência	Tempo de propagação (x10 ⁻⁶ s)	Velocidade de propagação (km/s)	Velocidade média de propagação (km/s)
1	54 kHz	363	0,28	0,31
		329	0,30	
		298	0,34	
		316	0,32	
		303	0,33	
2	54 kHz	292	0,34	0,30
		329	0,30	
		435	0,23	
		333	0,30	
		289	0,35	
1	500 kHz	1093	0,39	0,39
		1171	0,37	
		1070	0,40	

Ensaio: Equipe do laboratório de concreto da Escola de Engenharia da UFMG.
Coordenador: Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes

Nos ensaios executados com o uso do transdutor com frequência de 54 kHz, o ponto 1 apresentou o menor tempo médio de propagação e maior velocidade média de propagação, em relação ao ponto 2. Verificou-se maior amplitude no ponto 1 e maiores variância e desvio padrão no ponto 2.

Ainda no ponto 1, foram realizados ensaios com transdutores com frequência de 500kHz e o sistema de medição usado foi o direto. Verificou-se a ocorrência de maiores tempos para a propagação da onda, fenômeno pode ser explicado pela distância a ser percorrida, uma vez que, nos ensaios indireto, a distância entre transdutores era de 5 cm e nos ensaios direto (sistema usado com o transdutor de 500 kHz) a distância era de 44 cm. Foram registradas maiores velocidades de propagação da onda. Tal fato ocorreu, provavelmente, devido à

frequência do transdutor e ao sistema direto de transmissão. Ainda neste ensaio, foram observadas a ocorrência de maior variância e desvio padrão entre os tempos marcados e velocidades obtidas pela onda ultrassônica.

4.2.3 Resultados do painel

Foram obtidos resultados tanto para a frequência de 54 kHz quanto para a de 500 kHz.

Com os resultados acima descritos, verificou-se a possibilidade da elaboração de gráficos, com base em equações desenvolvidas a partir dos gráficos de resultado final, obtidos na pesquisa de Bandeira (2009), onde se correlacionou a resistência mecânica e a velocidade ultrassônica em materiais terrosos.

4.2.3.1 Resultado final para os ensaios com transdutores de 54kHz

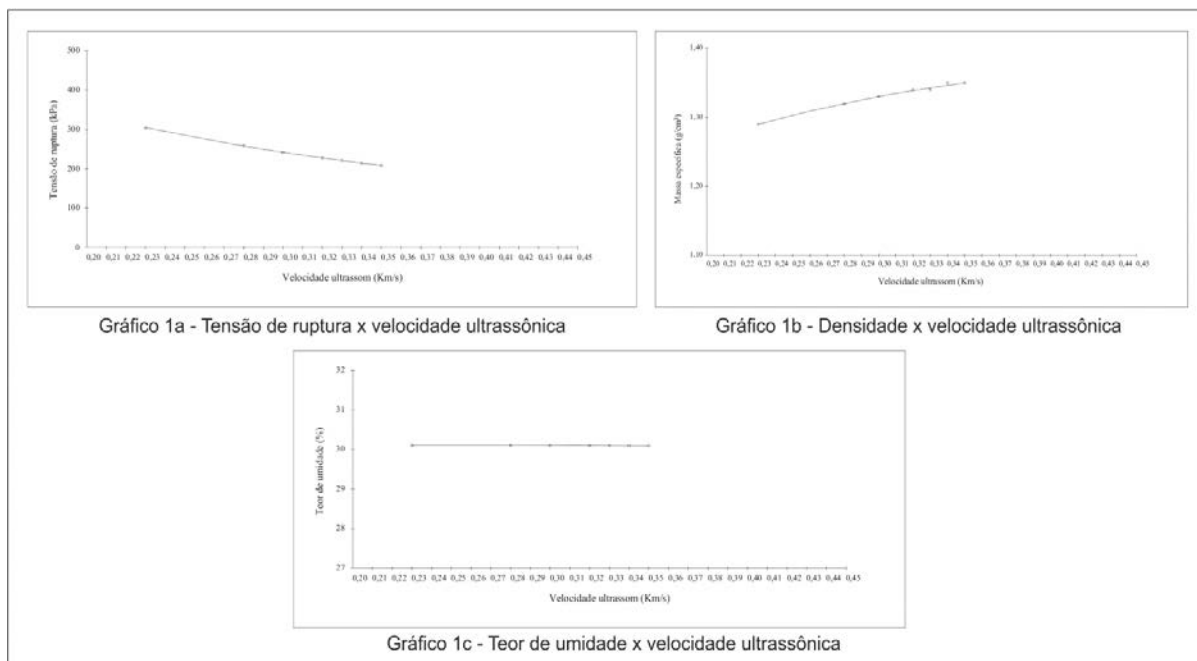


Figura 3 – Gráficos ensaios com transdutores de 54 kHz. Fonte: Bandeira, 2009, p. 74, adaptado por Peixoto, 2011

O gráfico 1a mostra que as menores velocidades de onda correspondem às maiores tensões de ruptura.

De acordo com o gráfico da 1b, verifica-se que, quanto maior a massa específica seca apresentada pelo solo, maiores serão as velocidades de onda.

Ao analisar o gráfico 1c, verifica-se que as maiores velocidades ocorrem em solos que apresentam menores teores de umidade.

4.2.3.2 Resultado final para os ensaios com transdutores de 500 kHz

O gráfico 2a mostra que as menores velocidades de onda correspondem às maiores tensões de ruptura.

De acordo com o gráfico 2b, verifica-se que, quanto maior a massa específica seca apresentada pelo solo, maiores serão as velocidades de onda.

Ao analisar o gráfico 2c, verifica-se que as maiores velocidades ocorrem em solos que apresentam menores teores de umidade.

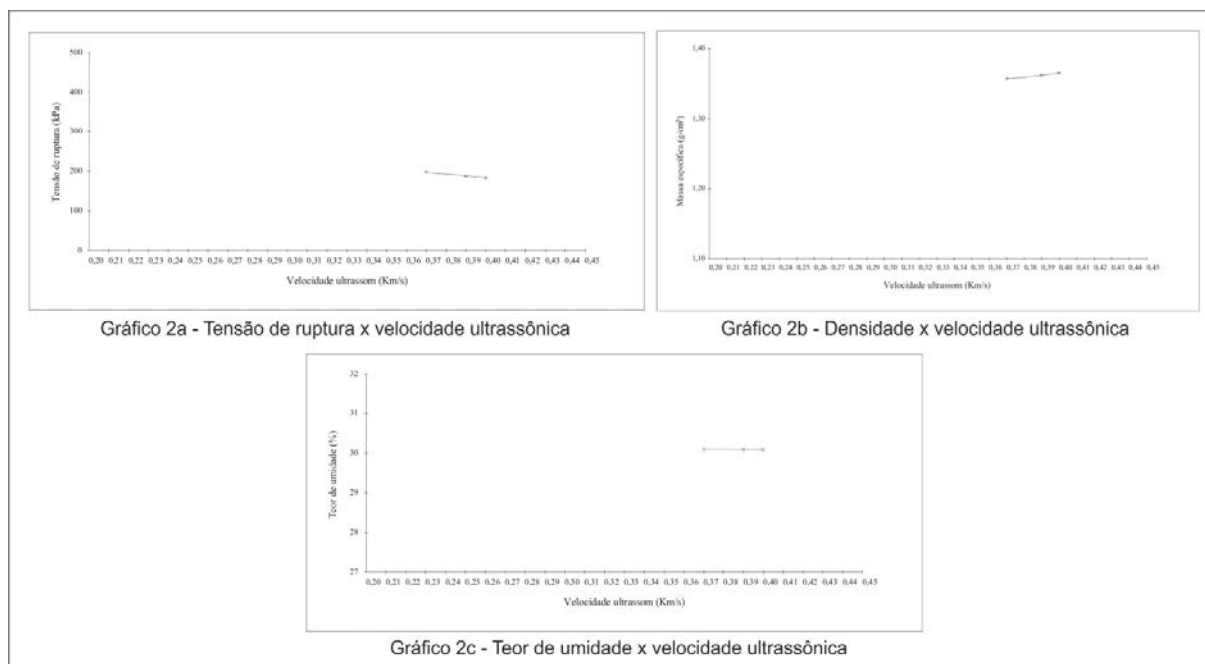


FIGURA 4 – Gráficos ensaios com transdutores de 500 kHz. Fonte: Bandeira, 2009, p. 74, adaptado por Peixoto, 2011

4.2.4 Ensaio do ultrassom no protótipo com revestimento

Os ensaios, no painel com revestimento, foram realizados, segundo norma BSI 1881 Parte 206 – Ultrasonic Test for concrete, através do equipamento modelo TICO, fabricado pela empresa CNS (1995), utilizados os transdutores de 54 kHz com sistema de medição indireto. O acoplante utilizado foi o gel. Este ensaio teve como objetivo avaliar a qualidade de taipa de pilão por ultrassonografia, após preparo de superfície que incluiu quatro opções:

1. Aplicação de fina camada de calda de cal e água;
2. Aplicação de fina camada de solo, cal a 6% e água;
3. Aplicação de camada de 10 mm de argamassa areia, cal, cimento e água na proporção volumétrica de 6,66: 2:1: 2,8;
4. Aplicação de verniz acrílico sobre taipal

De acordo com o resultado final do ensaio do ultrassom no protótipo 5 com revestimento:

- É possível fazer a leitura da velocidade de pulso ultrassonográfico em taipa de pilão, desde que a superfície seja previamente estabilizada e preparada por ação indireta de camada regularizadora intermediária e adequadamente estabilizada;
- Pode se usar gel acrílico, caldas de cimento, caldas de cal. Entretanto quando do uso de caldas o fenômeno de retração será intenso e a superfície de teste estará muito fissurada.

Comparando os resultados das medições com o protótipo sem revestimento e depois com protótipo tendo recebido uma camada de revestimento, foram observados os seguintes fenômenos:

- O tempo de propagação de onda na parede sem revestimento é maior que na parede revestida;
- A velocidade de propagação da onda ultrassônica é maior na parede com revestimento.

5. CONCLUSÕES

Embora não tenha sido possível estabelecer ainda a correlação entre a resistência mecânica e a velocidade ultrassônica para minipainéis, esta pesquisa permitiu mostrar a viabilidade da leitura nos painéis e a necessidade de uniformização da superfície para uma leitura mais adequada. O transdutor de 500 kHz revelou-se mais adequado à leitura de ultrassom em minipainéis de taipa de pilão.

Foi possível mostrar a diferença de resultados para painéis com tratamentos de superfície final semelhantes aos utilizados em construções históricas brasileiras do período colonial, sendo a velocidade ultrassônica maior nos minipainéis com revestimento.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BANDEIRA, R. F. (2009). *Estudo da correlação entre resistência mecânica e velocidade ultrassônica para um material terroso*. 89fls. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído Patrimônio Sustentável)- Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, M.G.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BSI 1881: Part 203. Testing concrete – Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulse in concrete. London, 1986. 16p.

CNS Eletronics (1995) Manual ERUDITE MKII: Resonant frequency test system. Ithaca, New York, USA: Cornell University, 1995. 67p.

D'orazio, T. et al. (2007). Automatic ultrasonic inspection for internal defect detection in composite materials. In *NDT&E Internacionl*. pp.145-154. Disponível em: http://ac.els-cdn.com/S0963869507000904/1-s2.0-S0963869507000904-main.pdf?_tid=2624d33c-1d31-11e2-b5f8-00000aabb0f01&acdnat=1351010950_be2616a13bf36066554a54380daf3241. Acesso em: jan./2011.

EVANGELISTA, A.C.J. (2002). *Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não-destrutivos*. 219f. Tese (Doutorado Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

PEIXOTO, M.V.S. (2011). *Metodologia para aplicação de ensaios ultrassônicos em mini painéis de taipa de pilão*. 109fls. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído Patrimônio Sustentável)- Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, M.G.

REZENDE, M. A. P; RODRIGUES, R (2006). Análises e recomposição de solos em estruturas históricas construídas em taipa de pilão. In: *I Seminário de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil*. Brasil. p 28-30.

REZENDE, M. A. P; RODRIGUES, R (2007). Projeto Piloto. *Avaliação da integridade mecânica em painéis de taipa de pilão utilizando a técnica do ultra-som*. Projeto de pesquisa (Mestrado em Ambiente Construído Patrimônio Sustentável). Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, M.G.

YESILLER, Nazli. et al (2000). Ultrasonic Testing for Compacted Clayey Soils. Advances in Unsaturated geotechnics. In *American Society of Civil Engineers*. Denver. pp. 54-68. Disponível em [http://dx.doi.org/10.1061/40510\(287\)5](http://dx.doi.org/10.1061/40510(287)5). Acesso em 02/06/2009.

Notas

¹ Entende-se por avaliação não-destrutiva o processo científico usado para a identificação das propriedades físicas e mecânicas de uma amostra de determinado material, sem a necessidade de recorrer à retirada de corpos de prova

Currículo

Maria Virgínia Simão Peixoto, Arquiteta Urbanista (PUC-MG, 2000) Especialista em Revitalização Urbana e Arquitetônica pela Escola de Arquitetura (UFMG, 2007). Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável pela Escola de Arquitetura (UFMG, 2011). Doutoranda em Artes pela Escola de Belas Artes (UFMG). Professora voluntária Depto. de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da EA-UFMG.

Marco Antônio Penido de Rezende, Arquiteto (UFMG, 1987); Mestre em Arquitetura e Urbanismo (UFMG, 1998); Doutor em Construção Civil (POLI-USP, 2003). Pós-doutorado em Preservação História (Universidade de Oregon, EUA, 2010). Professor Associado do Depto. de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da EA-UFMG. Pesquisa, extensão, ensino, publicações na área de arquitetura de terra e técnicas históricas, vernaculares.