MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO – ESTUDO PARA DETERMINAÇÃO EM FACHADAS PELO ENSAIO DE PULSO ULTRASSÔNICO

Tema: Métodos de ensaio.
Grupo[1]: 2

MAYCKE CLAUDINO COIMBRA[1], PEDRO KOPSCHITZ XAVIER BASTOS[2]

[1]Engenheiro Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora - coimbra.maycke@engenharia.ufjf.br
[2]Prof. Dr., Faculdade de Engenharia, UFJF - pedro.bastos@ufjf.edu.br

RESUMO

A presente pesquisa experimental visa estudar variações do método de ensaio do pulso ultrassônico proposto pela ABNT NBR 15630 para determinação do módulo de elasticidade dinâmico de argamassas, com a finalidade de avaliar sua aplicabilidade diretamente em fachadas. Foram variadas posições de leitura (direta, semidireta e indireta) e a distância entre os transdutores em corpos de prova em formato de placas de 25 mm de espessura moldados sobre blocos cerâmicos. Os resultados permitiram inferir uma relação com os valores obtidos nos corpos de prova 40 x 40 x 160 (mm) isolados preconizados pela norma.

Palavras-chave: módulo de elasticidade dinâmico, revestimentos de argamassa, fachadas.

DYNAMIC ELASTIC MODULUS OF COATING MORTARS - STUDY FOR DETERMINATION IN FAÇADES BY ULTRASSONIC PULSE VELOCITY TESTING

ABSTRACT

The present experimental study aims to study different application methods of ultrasonic pulse velocity test proposed by ABNT NBR 15630 for determination of the dynamic modulus of mortars, in order to evaluate its applicability directly on façades. The reading positions (direct, semi direct and indirect) and the distance between the transducers were varied in test pieces in the shape of 25 mm thick plates molded above ceramic blocks. The results allowed to relate the values obtained in the 40 x 40 x 160 (mm) isolated test specimens recommended by the standard with those obtained with the variations.

Key-words: dynamic elastic modulus, coating mortars, façades.

Grupo 1: Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa; ou **Grupo 2:** oriundos de disciplinas de pós graduação, iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso (TCC), pesquisas aplicadas e outros.

1. INTRODUÇÃO

Uma manifestação patológica frequentemente encontrada em fachadas de edifícios revestidos com argamassa cimentícia é a fissuração, muito relacionada à capacidade de deformação do revestimento. Uma vez que há o impedimento da livre deformação da argamassa endurecida aderida a uma base porosa, surgem tensões de tração no revestimento que podem levar à ocorrência de fissuras[(1)]. Uma propriedade mecânica intimamente ligada a este tipo de fenômeno é o Módulo de Elasticidade (Ed). É possível determinar o valor desta propriedade pela emissão de pulsos ultrassônicos[(2)]. A norma ABNT NBR 15630 indica, no entanto, que, para argamassas, o ensaio deve ser feito em corpo de prova (CP) de dimensões 40 x 40 x 160 (mm), o que não representa adequadamente condições de obra. O presente trabalho tem como objetivo principal testar e propor, através do ensaio de pulso ultrassônico, uma metodologia de medição do módulo de elasticidade dinâmico de argamassas aplicadas sobre uma base porosa.

2. METODOLOGIA

Como as propriedades mecânicas da argamassa são alteradas quando ela está aderida a uma base porosa[(3)], adotou-se o critério de moldar e ensaiar corpos de prova de argamassa em condições mais próximas daquelas reais do revestimento. Além disso, visando à validação dos resultados obtidos através dos ensaios laboratoriais em corpos de prova, foram realizados, em campo, os mesmos procedimentos em uma camada de argamassa já aplicada sobre alvenaria.

Primeiramente, foram moldados corpos de prova de dimensões 40 x 40 x 160 (mm), para determinação do Ed em laboratório, como preconiza a NBR 15630. Os CPs em forma de placas (25x75x 200 mm) foram moldados em fôrmas de PVC, especialmente confeccionadas para esta finalidade. Com eles foram feitos dois tipos de moldagem: i) argamassa aplicada diretamente sobre bloco cerâmico, de maneira que a placa endurecesse e se fixasse à base (Figura 1a) e ii) argamassa aplicada sobre bloco cerâmico, mas com retirada da placa após o endurecimento (Figura 1b) - foi posicionada uma folha de papel filtro entre a argamassa e o bloco para esta finalidade. Em ambos os casos se permitiu a perda da água de amassamento para a base porosa (bloco cerâmico), como ocorre na execução de revestimentos de argamassa em obra. Os dois procedimentos de moldagem foram pensados para propiciar uma comparação entre diferentes percursos da onda ultrassônica no ensaio de módulo dinâmico. No caso em que o CP está aderido ao bloco (Figura 1a), não se pode afirmar, de antemão, que a onda se propaga apenas pela argamassa. Já no segundo caso (Figura 1b), tal afirmação é válida, dado que a argamassa é o único meio material disponível para propagação.

Figura 1 - Corpos de prova do estudo



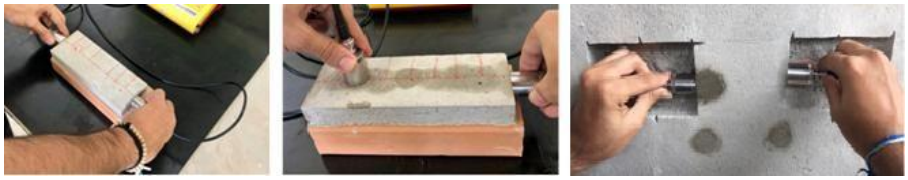
(a) (b)

Fonte: Os autores (2018)

O aparelho utilizado para a determinação do módulo dinâmico de elasticidade foi o modelo "Tico", fabricado pela Proceq, com precisão de leitura de 0,1µs e transdutores de face circular plana, diâmetro 25 mm, capazes de emitir pulsos de ondas longitudinais com frequência de 120 kHz. A realização do ensaio consistiu em justapor os transdutores ao corpo de prova na posição desejada. Segundo a literatura[4][5][6] e as próprias instruções de uso do aparelho[7], existem três possíveis posições de leitura: direta, indireta e semidireta (Figura 2 e Tabela 1). Para cada posição de ensaio foram realizadas três leituras do tempo de propagação do pulso de onda pelo material e adotado o menor dos três valores para realização dos cálculos[2].

A fim de tentar validar a proposta de método idealizada em laboratório para aplicação em campo, foram realizados também ensaios em paredes de teste, de blocos cerâmicos vazados de dimensões 14 x 19 x 29 (cm), revestidas com vários traços de argamassa de 2,5 cm de espessura de cerca de um ano de idade, formando painéis de 1,50 m de altura e 0,60 m de largura, todas aplicados sobre chapisco. Não há informação precisa sobre a composição dos traços e, portanto, a investigação de campo foi feita como se representasse uma fachada de edifício sobre a qual houvesse uma camada de argamassa desconhecida. Analogamente aos ensaios laboratoriais foram realizadas, em quatro painéis, medições diretas, semidiretas e indiretas, com os transdutores afastados 120 mm. Como para calcular o módulo de elasticidade através do ensaio de ultrassom é necessário obter o valor da densidade do material, foi retirada, com serra copo, uma amostra de argamassa de cada painel. Devido à ausência de conhecimento sobre os traços aplicados, o objetivo dos ensaios de campo restringiu-se à verificação da relação existente entre os resultados obtidos nas três posições em estudo (direta, indireta e semidireta), uma vez que não havia referências para comparar os valores de módulo de elasticidade obtidos nesses ensaios com os de laboratório.

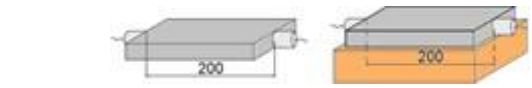
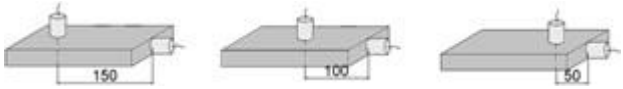
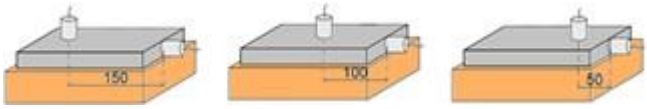
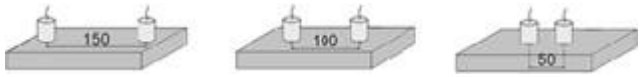
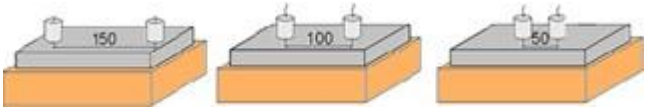
Figura 2 - Realização dos ensaios de ultrassom em laboratório e campo



Fonte: Os autores (2018)

A fim de avaliar, portanto, a eficácia do ensaio de ultrassom para medições em fachadas, os experimentos foram executados variando o tipo de corpo de prova, a posição de leitura e a distância entre os transdutores. Combinando-se essas variáveis foi possível a execução de sete diferentes condições de ensaio em dois tipos de corpos de prova, que totalizaram quatorze casos distintos. A Tabela 1 contém um esquema de todos os casos mencionados.

Tabela 1 - Casos estudados

Casos estudados	Posição de leitura	Distâncias entre transdutores (mm)
	Direta	200
	Semidireta	150, 100, 50.
	Semidireta	150, 100, 50.
	Indireta	150, 100, 50.
	Indireta	150, 100, 50.

Fonte: Os autores (2018)

3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Materiais

Para a fabricação dos corpos de prova utilizou-se, devido à disponibilidade de material na região, Cimento Portland CP IV RS – 32 e cal hidratada CH III. Os agregados empregados foram areia natural quartzosa de rio e areia de britagem fina, produzida em planta de mineração de rocha gnaisse. Na argamassa com areia de britagem foi adicionado aditivo incorporador de ar, em pó, diluído na água de amassamento. Utilizou-se bloco cerâmico maciço de dimensões 4,5 x 9,5 x 19,5 (cm) como base porosa.

Argamassas

A Tabela 2 apresenta os dois traços estudados (1:1:6 e 1:7, em volume). A incorporação de aditivo na segunda composição foi feita segundo a própria recomendação do fabricante da areia de britagem, para melhorar a trabalhabilidade da argamassa. Utilizaram-se dois traços distintos para, se possível, um confirmar as conclusões obtidas com o outro. Foram moldados 6 CPs de cada traço para cada um dos dois tipos de corpo de prova, totalizando em 24 CPs (Tabela 1) e todos os ensaios foram realizados aos 28 dias de idade.

Tabela 2 - Argamassas estudadas

Traço em volume	**Traço unitário em massa**					**Relação água/cimento**	**Índice de consistência (mm)**	**Densidade no estado fresco (g/cm³)**	**Teor de ar incorporado (%)**
	Cimento	Cal	Areia natural	Areia de britagem	Aditivo				
1:1:6	1,00	0,52	7,78	-	-	1,85	269	1,92	6,93
1:7	1,00	-	-	10,22	0,0007*	1,80	258	1,72	24,05

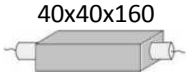
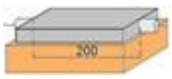
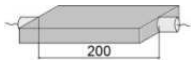
* A dosagem de aditivo recomendada pelo fabricante é de 35g para 50 kg de cimento.

Fonte: Os autores (2018)

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Todos os resultados a seguir representam a média aritmética de cada caso estudado.

Tabela 3 – Resultados de leitura direta para ambos os traços estudados

Módulo de elasticidade (GPa)			
Argamassa/Moldagem	40x40x160 		
1:7	4,84	6,98	7,37
1:1:6	5,81	7,20	7,46

Fonte: Os autores (2018)

Na Tabela 3 é possível notar uma diferença entre os resultados obtidos para os CPs 40 x 40 x 160 mm e para os CPs em formato de placa. Supõe-se que a razão predominante tenha sido a influência da sucção de água pela base. Os experimentos desenvolvidos por Détriché e Maso[3], comprovaram que um dos principais efeitos da perda de água é o adensamento mecânico entre as partículas sólidas. A depressão capilar favorece a aproximação das partículas de cimento presentes na pasta fresca e promovem um aumento na rigidez da argamassa. Ao comparar os corpos de prova aderidos e não-aderidos ao bloco cerâmico é notável uma proximidade entre os valores de módulo de elasticidade para ambos

os modelos. Em todos os casos apresentados, a pequena diferença entre os resultados pode ser justificada pela possível presença de microfissuras na placa de argamassa que se manteve aderida ao bloco. Dessa maneira, conclui-se que os pulsos ultrassônicos se propagaram preferencialmente pela argamassa, sem incluir o bloco, sugerindo que a base não foi parâmetro relevante em nenhuma posição de leitura e, consequentemente, indicando a viabilidade da realização do ensaio em argamassas já aplicadas sobre alvenaria.

Ao realizar a comparação entre as posições de leitura nota-se uma discrepância (Tabela 4). Os valores encontrados para a propriedade são completamente distintos em cada caso, indicando, assim, que a posição dos transdutores (direta, semidireta ou indireta) é uma variável fundamental para o ensaio. Ademais, observa-se também que a variação da distância entre os transdutores, dentro de uma mesma posição de leitura, não provocou alterações significativas no resultado do ensaio, indicando que a distância entre eles não é uma variável relevante.

Tabela 4 - Módulo de elasticidade obtido para os diferentes casos estudados

Casos de estudo		**Módulo de Elasticidade (GPa)**			
		Traço 1:1:6		**Traço 1:7**	
Tipo de leitura	**Distância entre transdutores**				
Direta	200 mm	7,20	7,46	6,98	7,37
Semidireta	150 mm	4,79	5,66	4,75	5,35
	100 mm	4,81	5,37	4,90	5,58
	50 mm	4,78	5,46	4,97	5,91
Indireta	150 mm	3,06	3,11	2,37	2,65
	100 mm	2,74	3,07	2,03	2,57
	50 mm	3,10	2,95	2,61	2,81

Fonte: Os autores (2018)

Há diversos estudos estatísticos[4][5][6], principalmente em concretos, sobre a influência da posição de leitura na determinação da velocidade do pulso ultrassônico através desses materiais. As pesquisas confirmam que a transmissão indireta ocasiona um leque de resultados variados, diminuindo sua confiabilidade. Enquanto uma pesquisa internacional sobre concreto [5] mostra que a velocidade de propagação de ondas em medição indireta é cerca de 5 a 9% inferior do que em medições diretas, a norma britânica BS 1881[6] menciona que os valores podem ser 20% menores. Na presente pesquisa foi possível encontrar um padrão para analisar a influência da posição de leitura na velocidade de transmissão da onda. Os dados contidos na Tabela 5 mostram que nas transmissões semidiretas os pulsos se propagaram com velocidades cerca de 15 a 20% inferiores em relação à transmissão direta, enquanto nas indiretas a diferença foi de 35 a 45% para menos.

Tabela 5 - Velocidades dos pulsos conforme a posição de leitura nos ensaios em laboratório

Velocidade do pulso (m/s)					
Argamassa	Leitura direta	Leitura semidireta	Variação percentual em relação ao valor da leitura direta	Leitura indireta	Variação percentual em relação ao valor da leitura direta
1:1:6	2.132,21	1.737,96	**-18,49%**	1.367,05	**-35,89%**
1:7	2.111,78	1.764,76	**-16,43%**	1.215,20	**-42,46%**

Fonte: Os autores (2018)

Nos ensaios realizados em campo, analogamente aos ensaios laboratoriais, verificou-se que as velocidades de propagação nas transmissões semidiretas foram de 15 a 20% inferiores em relação à transmissão direta, enquanto nas indiretas a diferença foi de 35 a 45% (Tabela 6). A relação mostrou-se válida também para casos de argamassas já aplicadas em fachadas, indicando a abrangência e aplicabilidade do método.

Tabela 6 - Velocidades dos pulsos conforme a posição de leitura nos ensaios de campo.

Velocidade do pulso (m/s)					
Região	Leitura direta	Leitura semidireta	Variação percentual em relação ao valor da leitura direta	Leitura indireta	Variação percentual em relação ao valor da leitura direta
1	2.285,71	1.986,75	**-13,08%**	1.474,20	**-35,50%**
2	1.600,00	1.307,19	**-18,30%**	1.029,16	**-35,68%**
3	2.127,66	1.818,18	**-14,55%**	1.387,28	**-34,80%**
4	1.951,22	1.540,44	**-21,05%**	1.078,17	**-44,74%**

Fonte: Os autores (2018)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos restringem-se às condições de ensaio adotadas, como o tipo de instrumento e de transdutores usados (frequência 120 kHz), revestimentos em camada única e espessura da camada de argamassa próxima à do diâmetro dos transdutores. Ressalta-se ainda que o objetivo dessa pesquisa experimental não consiste em validar o método, mas realizar uma investigação preliminar das variações de aplicação do método de ensaio do pulso ultrassônico.

Atendendo às expectativas, foi observado que as argamassas, ao serem aplicadas como revestimentos sobre base porosa, tornaram-se mais rígidas. Os resultados de módulo encontrados para os corpos de prova que se mantiveram aderidos à base foram menores do que aqueles que foram retirados do bloco cerâmico após 24 horas. Acredita-seque as diferenças encontradas não estejam ligadas a uma eventual passagem da onda pelo tijolo e reforça-se a validade do método proposto, nas condições de estudo adotadas. Para os ensaios em argamassas aplicadas sobre paredes, observou-se que a posição de leitura

interferiu diretamente nos resultados. Tanto nos ensaios laboratoriais quanto nos de campo, a velocidade de propagação na transmissão indireta foi cerca de 40% inferior à velocidade em transmissão direta, enquanto na transmissão semidireta esse valor foi em torno de 20% menor. Apesar da maior facilidade de realização da medição em posição indireta, a posição semidireta foi avaliada como a mais interessante, como em quinas de fachadas, por exemplo. Concluiu-se, salvo a confirmação em outras condições de ensaio, que é possível estimar o valor do módulo de elasticidade dinâmico em argamassas aplicadas sobre base porosa em fachadas.

6. REFERÊNCIAS

1. CARASEK, H. Patologia das argamassas de revestimento. In: ISAIA, G.C. **Materiais de construção e princípios de ciência em engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007, v. 1, p. 1-11.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2008.4 p.
3. BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. Tese (Doutorado). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001, 172 p.
4. BIONDI, S.; VALENTE, C.; ZUCCARINO, L. Concrete strength evaluation through indirect UPV. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE REPAIR, 5., 2014. **Anais eletrônicos…** p.771-778. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/286710488_Concrete_strength_evaluation_through_indirect_UPV >. Acesso em: 04 out. 2018.
5. TURGUT, P. KUCUK, O. F. Comparative relationships of direct, indirect, and semi-direct ultrasonic pulse velocity measurements in concrete. **Russian Journal of Nondestructive Testing**. Pleiades Publishing, 2006, v. 42. n. 1, p. 745 – 751.
6. YAMAN, I. O., INCI, G., YESILLER, N. AND AKTAN, H. M. Ultrasonic pulse velocity in concrete using direct and indirect transmission. **ACI Materials Journal**, 2001, v. 98, n. 6, p.450-457.
7. PROCEQ SA. **TICO Operating Instructions**. Zurich, 2001, 10 p.

Promoção: ANTAC | Realização: UFG Universidade Federal de Goiás | Co-realização: Comunidade da Construção Goiânia/GO