ESTUDO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Tema: métodos de ensaio.

DAIANE MAYER[1], CÉSAR W. DE MELLO[2]

[1]Msc., Engenheira Civil, mayer.daiane@gmail.com
[2] Prof. Dr., Universidade Federal da Integração Latino-Americana/UNILA, cesar.mello@unila.edu.br

RESUMO

O módulo de elasticidade define a capacidade de deformação elástica dos materiais e os ensaios não destrutivos são técnicas empregadas para obter parâmetros como o módulo de elasticidade dinâmico, sem causar danos à estrutura. Analisou-se a influência da composição de 12 argamassas mistas e os métodos de ensaios de frequência ressonante e ultrassom. Observou-se que o teor e o tipo de agregado, assim como o tipo de cimento empregados na mistura podem influenciar no módulo de elasticidade dinâmico. Com relação ao método de ensaio, ao comparar os resultados percebeu-se que o módulo foi sempre maior no ultrassom, apresentando uma diferença percentual média de 12% em relação à frequência ressonante.

Palavras-chave: argamassa, módulo de elasticidade, ensaios não destrutivos.

STUDY OF THE DYNAMIC ELASTICITY MODULUS IN COATING MORTARS

ABSTRACT

The elasticity modulus defines the elastic deformation capacity of the materials and nondestructive tests are techniques used to obtain parameters such as the dynamic elasticity modulus, without causing damage to the structure. The influence of the composition of 12 mixed mortars and the resonant frequency and ultrasound test methods were analyzed. It was observed that the content and type of aggregate, as well as the type of cement used in the mixture, can influence the dynamic elasticity modulus. Regarding the test method, when comparing the results, it was noticed that the modulus was always higher in the ultrasound, presenting an average percentage difference of 12% in relation to the resonant frequency.

Keywords: mortar, elasticity modulus, nondestructive testing.

1. INTRODUÇÃO

As argamassas desempenham papéis fundamentais em várias etapas das edificações. Argamassas de revestimento precisam ser capazes de deformar sem fissurar quando sujeitas à ações cíclicas, térmicas ou de retração[1]. Por apresentar um comportamento não-linear, a curva tensão x deformação da argamassa apresenta certa dificuldade para a determinação exata de um único valor do módulo de elasticidade estático. Portanto, a utilização de métodos experimentais dinâmicos não destrutivos, que aplicam carregamentos dinâmicos e não interferem diretamente na amostra, fornecem o valor do módulo de elasticidade do material de forma mais precisa[2]. A caracterização de argamassas por meio de ensaios não destrutivos vem se tornando uma prática bastante utilizada no setor da construção, uma vez que os testes causam pouco ou nenhum dano à estrutura, não alteram características físicas, mecânicas ou químicas dos materiais e podem ser repetidas diversas vezes. O objetivo deste estudo é melhorar a compreensão do comportamento elástico das argamassas de revestimento quando analisadas por ensaios não destrutivos, considerando a variação da composição.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Características dos materiais e traços

Os cimentos utilizados foram o CPII Z 32, CPII F 32 e CPIV 32. A cal utilizada para a produção das argamassas foi a cal hidratada do tipo CH III. Como agregado miúdo foi empregado areia quartzosa natural, oriunda do Rio Paraná, com jazida situada na região de Guaíra – PR e areia proveniente de britagem de origem basáltica, oriunda da cidade de Matelândia – PR. As características dos materiais podem ser verificadas na Tabela **1**.

Tabela 1 – Características dos materiais

Ensaios	Materiais					
	CP II Z 32	CP II F 32	CP IV 32	CH III	AN	AB
Massa unitária (g/cm³)	0,95	0,90	0,87	0,69	1,60	1,79
Massa específica (g/cm³)	2,97	2,87	2,85	2,14	2,43	2,64
Finura Blaine (cm²/g)	3.810	3.900	3.850	6.560	-	-
Módulo de finura	-	-	-	-	1,33	2,60
Dmax (mm)	-	-	-	-	1,20	2,40

Foram produzidas 12 argamassas de revestimento, totalizando 108 corpos de prova, conforme ABNT NBR 16541:2016[3], e aceitas em função do índice de consistência (260 ± 5 mm) de acordo com a ABNT NBR 13276:2016[4], conforme

Tabela **2**. A cura seca foi realizada em ambiente com temperatura e umidade controlados (23 ± 5°C e UR de 60 ± 5%) por 28 dias.

Tabela 2 – Traços produzidos – em volume

Traços					
Amostras	Aglomerantes		Agregado	Relação a/agl.	IC (mm)
	Cimento	Cal	Areia		
ARG114C1N	1	1	4	0,59	260
ARG114C2N					263
ARG114C3N					265
ARG114C1B				0,67	260
ARG114C2B					265
ARG114C3B					264
ARG116C1N	1	1	6	0,74	262
ARG116C2N					261
ARG116C3N					258
ARG116C1B				0,80	263
ARG116C2B					265
ARG116C3B					264
114 e 116: proporções materiais C1: cimento CP II Z C2: cimento CP II F C3: cimento CP IV			N: areia natural B: areia britada a/agl: água/aglomerante IC: índice de consistência		

2.2. Análise do módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico foi analisado por meio da Técnica de Excitação por Impulso (TEI), de acordo com a ASTM E1875:2015[5] e pela Velocidade de Pulso Ultrassônico (VPU), conforme ABNT NBR 15630:2009[6]. O ultrassom possui alta sensibilidade para detectar pequenos defeitos internos, como trincas, fissuras ou poros. Porém, seus resultados podem ser afetados se o equipamento não for devidamente calibrado, bem como depende muito da manipulação do operador. O ensaio de frequência ressonante é relativamente rápido, exigindo poucos minutos para cada medição. No entanto, pode ter seus resultados facilmente afetados por barulhos ou trepidações nas proximidades do local do ensaio. Foram moldados 9 corpos de prova para cada dosagem, com dimensão de 40 x 40 x 160 mm e ensaiados aos 28 dias. Para o ensaio de VPU utilizou-se equipamento Ultracon-170, com o método de transmissão direta. Fabricou-se uma caixa em madeira para suportar as amostras e minimizar as inconsistências que podem ser geradas pelo operador durante o ensaio e como acoplante utilizou-se graxa. A TEI foi realizada no Sonelastic®, com modo de vibração longitudinal.

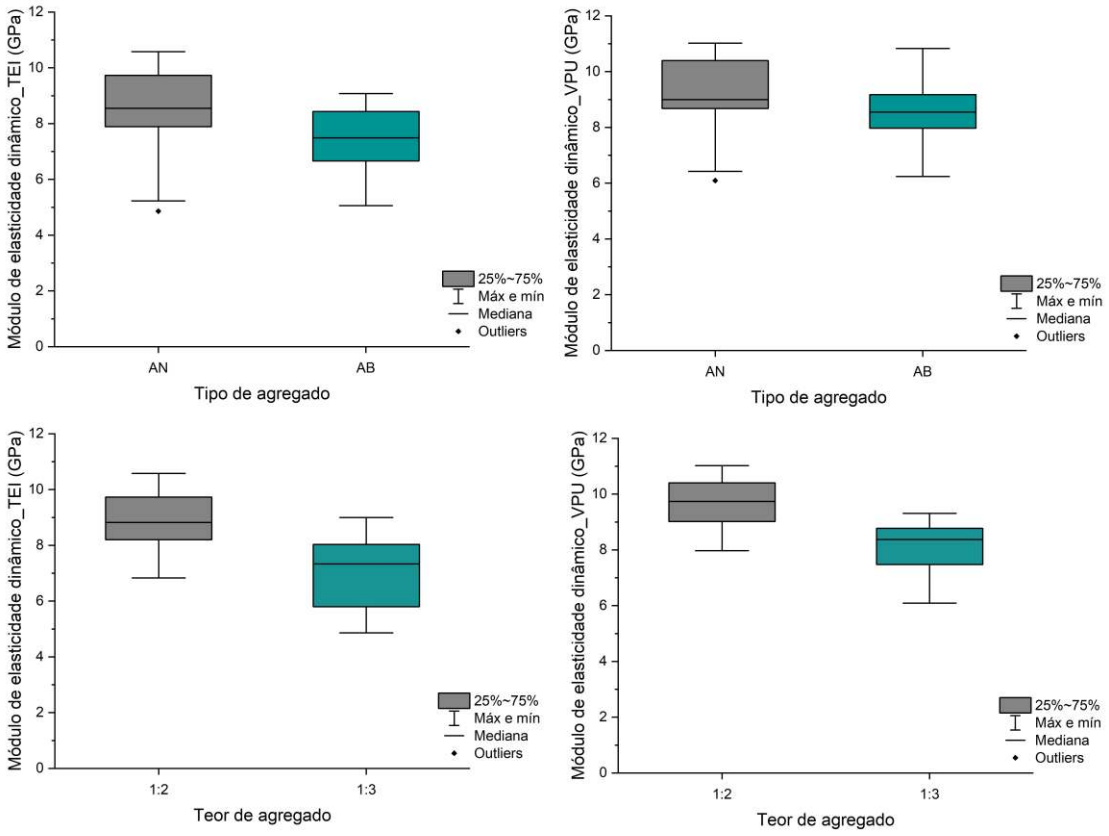
3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para verificar a significância das variáveis adotadas no módulo de elasticidade dinâmico das argamassas, realizou-se análise estatística por meio da ANOVA a um fator (não-paramétrica) pelo teste de *Kruskal-Wallis*, com nível de confiabilidade de 95%, ou seja, as diferenças são consideradas significativas quando o fator $p < 0,05$.

3.1. Influência dos componentes da argamassa no módulo de elasticidade dinâmico

Relacionado ao tipo de agregado, as argamassas com areia natural apresentaram maior módulo de elasticidade dinâmico do que as argamassas com areia britada, independentemente do método de medição utilizado. Diferente do resultado encontrado nesta pesquisa, nos estudos realizados por Guacelli, Risson e Carbonari[7] e Santos et al.[8], as argamassas com agregado britado apresentaram maiores módulos de elasticidade dinâmico. A diferença encontrada pode estar relacionada às características e propriedades físicas dos agregados empregados nas misturas. O resultado obtido da influência do tipo de agregado no módulo de elasticidade dinâmico pode ser verificado na Figura 1.

Figura 1 – Tipo de agregado/teor do agregado x módulo de elasticidade

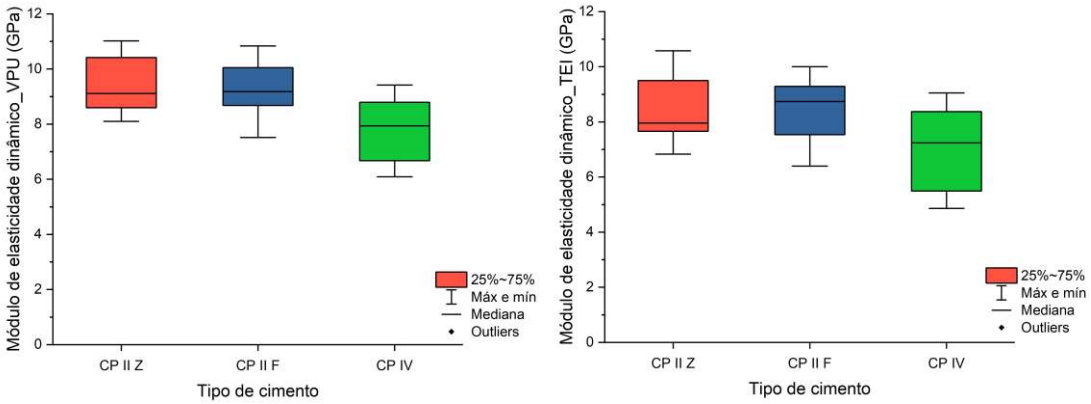


Fonte: Autor, 2023

Com relação ao teor de agregado empregado na mistura (Figura 1), nota-se que o módulo de elasticidade dinâmico teve valores maiores quando o teor do agregado utilizado foi menor, independentemente do método de medição empregado. Assim como indicado por Santos et al.[8], as argamassas com maior quantidade de aglomerantes e menor teor de agregados apresentaram rigidez superior, em torno de 20%, ou seja, maior módulo de elasticidade dinâmico.

Ao analisar o módulo de elasticidade dinâmico (TEI e VPU) em relação ao tipo de cimento adotado na mistura, percebe-se que os valores são mais homogêneos quando utilizado o cimento CP II Z e CP II F, apresentando maior variabilidade dos dados quando empregado o cimento CP IV. Ainda, o módulo de elasticidade dinâmico foi maior no cimento CP II Z e CP II F e menor no CP IV, conforme esperado, devido ao teor de pozolana no CP IV. Na Figura 2, pode-se verificar a variação do módulo de elasticidade dinâmico, conforme o tipo de cimento adotado na mistura.

Figura 2 – Tipo de cimento x módulo de elasticidade



Fonte: Autor, 2023

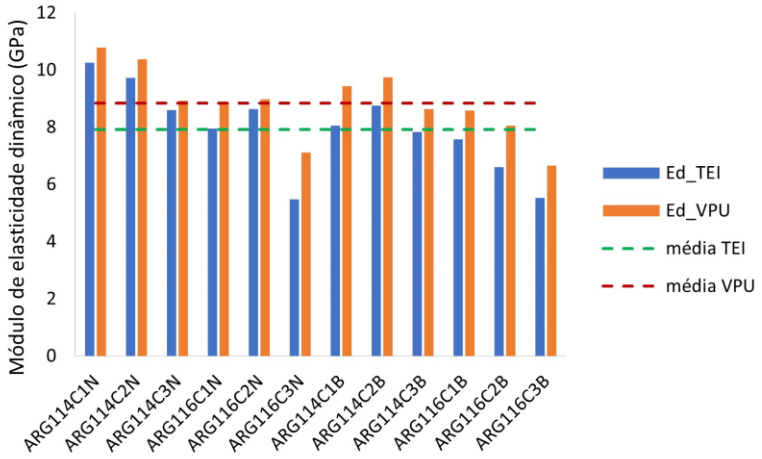
3.2. Influência do tipo de ensaio no módulo de elasticidade dinâmico

No estudo realizado verificou-se que os resultados do módulo de elasticidade dinâmico, aos 28 dias, foram mais homogêneos quando analisados por meio do ultrassom. O Ed_TEI médio encontrado foi de 7,92 GPa, enquanto o Ed_VPU médio foi de 8,84 GPa (

Figura **3**). As argamassas analisadas podem ser classificadas, de acordo com a ABNT NBR 13281:2023[9], em E2 (9,5 < Ed ≤ 12 GPa), E3 (7,0 < Ed ≤ 9,5 GPa) e E4 (Ed ≤ 7,0 GPa). Ao comparar os resultados percebeu-se que o módulo foi sempre maior no ultrassom, apresentando uma diferença percentual média de 12%. Com relação a rapidez do ensaio e a repetibilidade do método, a TEI permite que o ensaio seja realizado de maneira mais rápida e limpa, além de permitir que a mesma amostra seja utilizada nas mesmas condições para a

repetição do ensaio (mesmo operador e ambiente). Já no critério influência do operador, constatou-se que o método VPU depende muito mais do operador, uma vez que necessita de aplicação de força manual durante o ensaio.

Figura 3 – Métodos de ensaio do módulo de elasticidade dinâmico



Fonte: Autor, 2023

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho verificou-se que o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas pode ser influenciado pelo teor e tipo de agregado, uma vez que as areias empregadas na mistura possuem características e propriedades físicas diferentes. Além disso, considerando a variação da composição dos cimentos disponíveis no mercado, constatou-se que, assim como os agregados, as características físicas e químicas dos cimentos podem inferir no módulo de elasticidade dinâmico. Cabe ressaltar que, os materiais constituintes, podem influenciar não apenas no módulo de elasticidade dinâmico, mas também a resistência e a porosidade, propriedades que são fundamentais para que uma argamassa desempenhe adequadamente o seu papel na edificação. Ao comparar os métodos de ensaio, percebeu-se que os resultados obtidos foram sempre maiores no ultrassom do que no ensaio de frequência ressonante. Haja vista que ambos são eficientes para análise da propriedade em questão, é importante levar em consideração o ambiente, o fator repetição do ensaio, a influência que o operador pode exercer, bem como a praticidade na hora de definir qual o método mais indicado para análise.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MARQUES, A. I. et al. Módulo de elasticidade dinâmico de argamassas. **Revista Construindo**, v. 11, p. 63-78, out. 2019.

2. VIEIRA, M. et al. Comparativo do efeito umidade no módulo de elasticidade dinâmico de argamassas. In: Simpósio Brasileiro sobre reabilitação das construções, 2., 2019, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza, 2019.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para realização dos ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

4. (ABNT). **ABNT NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

5. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). **ASTM E 1876**: Standard test method for dynamic young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio by impulse excitation of vibration. ASTM, 2015.

6. (ABNT). **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: ABNT, 2009.

7. GUACELLI, P. A. G.; RISSON, K. D. S.; CARBONARI, B. M. T. Substituição de areia de extração por areia de britagem para argamassa de revestimento. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 11., 2015, Porto Alegre. **Anais eletrônicos** [...]. Porto Alegre, RS. 2015.

8. SANTOS, W. J. et al. Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 271-288. 2019.

9. (ABNT). **ABNT NBR 13281-1**: Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.