

EFEITO DA FORMA E DO TAMANHO DE CORPOS DE PROVA NA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DEFORMABILIDADE DE ARGAMASSAS MISTAS DE CAL E CIMENTO

G. H. Nalon [UFV]; R. O. G. Martins [UFV]; G. E. S. de Lima [UFV]; R. de C. S. S. Alvarenga [UFV; ritadecassia@ufv.br; Av. Peter Henry Rolfs, Campus UFV, Dep. de Eng. Civil, Viçosa-MG, Cep: 36.570-900]; L. G. Pedroti [UFV]; J. S. White [UFMG]

RESUMO

Neste trabalho realiza-se uma comparação do efeito da forma e do tamanho de corpos de prova na determinação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade de argamassas mistas de cal e cimento. Cinco traços foram dosados para se obter resistências entre 5 e 20 MPa. Determinou-se a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de (5 x 10) cm e (10 x 20) cm e cúbicos resultantes dos ensaios de flexão de argamassas, os quais utilizam corpo de prova prismáticos de (4 x 4 x 16) cm. Também determinou-se o módulo de elasticidade estático na compressão dos corpos de prova cilíndricos pequenos e grandes. A resistência à compressão obtida para os corpos de prova cúbicos foi superior à dos cilíndricos (10 x 20) cm e inferior à dos cilíndricos (5 x 10) cm. As dimensões dos corpos de prova cilíndricos influenciaram sua resistência à compressão, a qual foi maior para os corpos de prova (5 x 10) cm, mas não afetaram o módulo de deformação estático do material. Foram estabelecidas correlações entre os resultados encontrados e comparações com os obtidos por diferentes autores, contribuindo para uma otimização da caracterização e do controle tecnológico de argamassas mistas de cal e cimento.

Palavras-chave: argamassa, corpos de prova, resistência à compressão, módulo de deformação.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diferentes formas e tamanhos de corpos de prova podem ser utilizados para determinar a resistência à compressão e o módulo de deformação de argamassas mistas de cal e cimento no estado endurecido.

A normatização brasileira prescreve a obtenção da resistência à compressão simples de argamassas mistas de cal e cimento utilizando-se as metades de corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16) cm obtidas no ensaio de flexão, processo descrito pela ABNT NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão⁽¹⁾. Corpos de provas com as mesmas dimensões são empregados pela normatização europeia, EN 1015 - Methods of Test for Mortar for Masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar⁽²⁾. Já a normatização americana prescreve a utilização de corpos de prova cúbicos de lado 5,08 cm, conforme a ASTM C 109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars⁽³⁾.

A normatização brasileira não apresenta procedimentos específicos para a determinação do módulo de deformação estático à compressão de argamassas. Utilizam-se para este propósito, corpos de prova cilíndricos submetidos à metodologia descrita pela ABNT NBR 8522:2008 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão⁽⁴⁾, calculando o parâmetro entre os pontos de tensão 0,5 MPa e 30% da resistência à compressão estimada para o material. Também podem ser utilizados ensaios dinâmicos, baseados em princípios de propagação de ondas.

Matthys e Singh (1990)⁽⁵⁾ investigaram a relação entre a resistência à compressão de corpos de prova cúbicos de lado 5,08 cm e cilíndricos de dimensões (7,62 x 15,24) cm, para diferentes formas de produção e tipos de cura. Para argamassas produzidas em laboratório e submetidas à cura úmida, os corpos de prova cilíndricos apresentaram resistência à compressão em torno de 80,9% da resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos. Para argamassas produzidas em maior quantidade no canteiro de obras e submetidas à cura ao ar, em laboratório, obteve-se para corpos de prova cilíndricos uma resistência à compressão de cerca de 116,3% da resistência à compressão dos cúbicos. Schmidt (1990)⁽⁶⁾ concluiu em seus estudos de argamassa que corpos de prova cilíndricos de

dimensões (7,5 x 15) cm ou (10 x 20) cm apresentaram resistência à compressão significativamente mais próxima de corpos dos prova cúbicos de lado 5,0 cm que dos cilíndricos (5 x 10) cm. O autor obteve resistências à compressão de corpos de prova cilíndricos de argamassa para alvenaria estrutural próximas a 93% da resistência dos cúbicos.

Os estudos desenvolvidos por Parsekian et al. (2014)⁽⁷⁾ obtiveram, para argamassas com resistência à compressão na faixa de 4 a 12 MPa, relações de 1,31 a 1,73 entre a resistência à compressão de metades de corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16) cm e a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10) cm. Pinheiro (2011)⁽⁸⁾ observou, também para argamassas na faixa de 4 a 12 MPa de resistência à compressão, que corpos de prova cilíndricos apresentaram resistência à compressão 22 a 46% menor que a resistência à compressão dos cúbicos de lado 4,0 cm. Porém, o mesmo autor destacou um comportamento inverso para argamassas com resistências maiores que a faixa mencionada: corpos de prova cilíndricos tiveram resistência à compressão de 1% a 26% maior que corpos de prova cúbicos. Já Lima (2013)⁽⁹⁾ verificou em seus estudos que corpos de prova cúbicos ora apresentaram uma resistência à compressão maior que os cilíndricos e ora apresentaram uma resistência à compressão menor.

Brooks (2015)⁽¹⁰⁾ supôs, a partir da compilação de resultados de inúmeros trabalhos publicados nas últimas décadas para variados tamanhos de corpos de prova e condições de cura, que “o tamanho dos corpos de prova afeta a resistência da argamassa, mas não seu módulo de elasticidade”.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram dosados cinco traços de argamassa com resistências à compressão estimadas na faixa de 5 a 20 MPa. Empregou-se cimento Portland composto Tupi, do tipo CP II E-32; areia natural quartzosa, procedente do Rio Piranga, em Porto Firme (MG); e cal hidratada comum CHIII, Supercal fabricada pela Ical.

Os traços foram produzidos em maior volume, para assentamento de blocos vazados de concreto de alvenaria estrutural. Foram moldados corpos de prova de formas e tamanhos comumente utilizados na caracterização de argamassas:

- seis corpos de prova prismáticos de dimensões (4 x 4 x 16) cm, moldados em duas camadas niveladas e adensadas com 30 quedas da *flow table*;

- quatro corpos de prova cilíndricos de dimensões (5 x 10) cm, moldados em quatro camadas, cada uma adensada através de 30 golpes com o soquete;
- quatro corpos de prova cilíndricos de dimensões (10 x 20) cm, adensados por vibração mecânica durante dez segundos;

Inicialmente, todos os corpos de prova foram deixados por 48 horas no interior de seus moldes. Após isso, foram desmoldados e deixados em cura ao ar até os 28 dias de idade, quando foram então realizados os seguintes ensaios (Figuras 1 e 2):

a) Ensaio de determinação da resistência à tração na flexão da argamassa: segundo o prescrito pela ABNT NBR 13279:2005;

b) Ensaio de determinação da resistência à compressão da argamassa com cada metade do corpo de prova prismático rompido no ensaio anterior, colocada entre duas placas de aço de (4 x 4 x 1) cm. Admitiu-se o valor obtido como a resistência à compressão de um corpo de prova cúbico de lado 4 cm, dadas as dimensões das placas de aço utilizadas;



Figura 1: Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas com corpos de prova prismáticos.

c) Determinação da resistência à compressão da argamassa com corpos de prova cilíndricos (5 x 10) cm e (10 x 20) cm, capeados com enxofre;

d) Determinação do módulo de elasticidade estático da argamassa com 3 corpos de prova cilíndricos (5 x 10) cm e (10 x 20) cm por traço, capeados com enxofre. Foi empregado um método de ensaio automatizado capaz de realizar ciclos de carregamento e descarregamento segundo a metodologia A da ABNT NBR 8522. As deformações foram obtidas por extensômetros elétricos de fixação externa (“clip gage”), conectados à prensa através de um canal de medição para extensômetro. O

método de ensaio implementado calculou o módulo de deformação entre os pontos de tensão 0,5 MPa e 30% da resistência à compressão estimada.

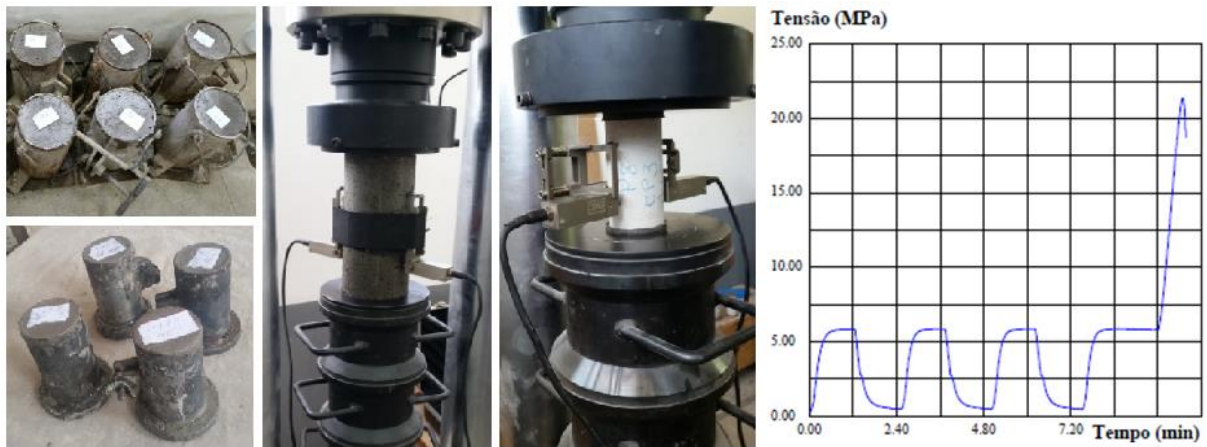


Figura 2: Determinação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade estático das argamassas com corpos de prova cilíndricos (5x10) cm e (10x20) cm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão as composições de cada traço de argamassa produzido. Nas Tabelas 2, 3 e 4 estão os dados de caracterização mecânica das argamassas.

Tabela 1: Composição e índice de consistência das argamassas produzidas.

	Proporção, em massa				Umidade (%)	Temp. (°C)	Índice de consistência (mm)			
	Cimento	Cal	Areia	Água			D1	D2	D3	Média
T1	1,00	0,45	7,48	1,49	70	26,1	218	216	221	218
T2	1,00	1,32	6,06	1,43	79	20,0	223	225	229	226
T3	1,00	0,32	5,25	1,07	79	26,0	212	210	215	212
T4	1,00	0,88	4,49	1,14	71	19,0	235	240	244	240
T5	1,00	0,20	3,39	0,74	72	26,3	230	233	228	231

Tabela 2: Resultados dos ensaios dos corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16) cm.

	Resistência à tração na flexão				Resistência à compressão simples			
	Nº de CPs	f_t médio (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Nº de CPs	f_a médio (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
T1	6	1,7	0,15	9,12	12	5,9	0,41	6,85
T2	6	2,6	0,01	0,15	12	7,0	0,42	6,11
T3	6	3,0	0,33	10,74	12	9,4	0,91	9,76
T4	6	2,9	0,32	11,11	12	10,4	0,31	2,93
T5	6	4,8	0,37	7,70	12	17,1	1,18	6,90

Tabela 3: Resultados dos ensaios dos corpos de prova cilíndricos (5 x 10) cm.

	Resistência à compressão simples				Módulo de elasticidade estático à compressão			
	Nº de CPs	f_a médio (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Nº de CPs	E_a médio (GPa)	DP (GPa)	CV (%)
T1	3	5,8	0,10	1,70	3	9,5	0,60	6,38
T2	3	7,1	0,31	4,29	3	12,1	2,44	20,12
T3	3	11,1	0,86	7,75	3	14,0	0,37	2,65
T4	3	12,2	0,55	4,53	3	14,2	0,75	5,24
T5	3	20,7	0,73	3,55	3	19,4	0,42	2,18

Tabela 4: Resultados dos ensaios dos corpos de prova cilíndricos (10 x 20) cm.

	Resistência à compressão				Módulo de deformação estático à compressão			
	Nº de CPs	f_a médio (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Nº de CPs	E_a médio (GPa)	DP (GPa)	CV (%)
T1	3	4,8	0,03	0,68	3	9,6	0,77	8,02
T3	3	10,8	0,89	8,21	3	15,2	0,20	1,33
T5	3	17,3	0,75	4,35	3	18,9	0,86	4,54

Os resultados obtidos mostram que para todos os traços de argamassa a resistência à compressão simples dos corpos de prova cilíndricos (5 x 10) cm superou a dos corpos de prova cilíndricos (10 x 20) cm. Para argamassas mais fortes, ficaram bem próximas as resistências à compressão dos corpos de prova cúbicos e cilíndricos maiores, conforme também observara Schmidt (1990)⁽⁶⁾. Contudo, para argamassas mais fracas, os corpos de prova cilíndricos apresentaram resistência à compressão mais próxima da resistência obtida para os cúbicos.

Também se observa que, de forma geral, a resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos foi superior à dos cilíndricos (10 x 20) cm, sobretudo para os traços mais fracos. Por outro lado, a relação entre a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5 x 10) cm e cúbicos foi bem diferente do que foi encontrado por grande parte da literatura técnica, mas muito se assemelhou ao encontrado por Matthys e Singh (1990)⁽⁵⁾ para argamassas produzidas em maior escala e submetidas à cura ao ar, em laboratório (o mesmo realizado nesta pesquisa), na qual os corpos de prova cilíndricos apresentaram uma resistência à compressão maior que os cúbicos.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que a resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos foi superior à dos cilíndricos (10 x 20) cm e inferior à dos cilíndricos (5 x 10) cm. As dimensões dos corpos de prova cilíndricos muito influenciaram sua resistência à compressão, a qual foi maior para os de dimensões (5 x 10) cm, mas não afetaram o módulo de deformação estático do material. Diante da grande discrepância de resultados disponível na literatura com relação a esse assunto, o presente trabalho contribuiu para a otimização do estudo e do controle tecnológico de argamassas mistas de cal e cimento, ao analisar o efeito de diferentes formas e tamanhos de corpos de prova na determinação de sua resistência à compressão e deformabilidade, estabelecendo correlações entre os resultados encontrados e comparando-os com os obtidos por vários autores.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV), pelo apoio para a realização deste trabalho; e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela bolsa concedida.

6. REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 15 p.
2. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN EN 1015:** Methods of Test for Mortar for Masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels, Belgium, 11 p.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C109 / C109M-16a:** Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016. 10 p.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:** Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.
5. MATTHYS, J. H.; SINGH, R. Experimental Investigation of Mortar Compressive Strength Using 5.08 cm Cubes and 7.62 cm x 15.24 cm Cylinders. In: MATTHYS, J. H. **Masonry: Components to Assemblages**. Philadelphia: ASTM STP 1063, 1990. p. 194 – 205.
6. SCHMIDT, S.; BROWN M. L.; TATE, R. Quality Control of Mortars: Cubes vs. Cylinders. In: MATTHYS, J. H. **Masonry: Components to Assemblages**. Philadelphia: ASTM STP 1063, 1990. p. 147 – 163.
7. PARSEKIAN, G. A.; FONSECA, F. S.; PINHEIRO, G. L.; CAMACHO, J. S. Properties of Mortar Using Cubes, Prism Halves, and Cylinder Specimens. **ACI Materials Journal**, United States, v. 111, n. 4, July-August 2014, p. 443-454.
8. PINHEIRO, G. L. **Propriedades de argamassas para alvenaria estrutural: estudo** de caso e experimental. 2011. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
9. LIMA, J. S. **Análise da influência do capeamento e da geometria de corpos de prova na resistência à compressão de argamassas**. 2013. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal De Pernambuco, Caruaru, 2013.
10. BROOKS, J. J. **Concrete and masonry movements**. 1. ed. United States: Elsevier, 2015. 599 p.

EFFECT OF SPECIMENS' SHAPE AND SIZE IN THE DETERMINATION OF COMPRESSIVE STRENGTH AND DEFORMABILITY OF CEMENT-LIME MORTARS

This work presents comparative analyses of the effect of specimens' shape and size on the compressive strength and modulus of elasticity of cement-lime mortars. Mortar mixtures with compressive strength between 5 and 20 MPa were produced. Experimental tests determined the compressive strength of cylinder specimens of (5 x 10) cm and (10 x 20) cm, and also cubic specimens resulted of mortar's flexural strength tests, which use (4 x 4 x 16) cm prisms. The static modulus of elasticity of

the small and large cylinder specimens was also determined. The cubic specimens' compressive strength was higher than (10 x 20) cm cylinder's compressive strength and lower than (5 x 10) cm cylinder's compressive strength. The dimensions of the cylinder specimens influenced its compressive strength, which was higher for the (5 x 10) cm specimens. However, it did not affect the static modulus of elasticity of the material. Correlations between the results were established and comparisons with different authors' results were made, improving both technological control and characterization of cement-lime mortars.

Keywords: *mortar, specimens, compressive strength, modulus of elasticity.*