

## **INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS NO COMPORTAMENTO DA ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO SUBMETIDA À COMPRESSÃO**

G. H. Nalon [UFV]; R. O. G. Martins [UFV]; R. de C. S. S. ALVARENGA [UFV,  
ritadecassia@ufv.br; Av. Peter Henry Rolfs, Campus Universitário UFV,  
Departamento de Engenharia Civil, Viçosa-MG, Cep: 36.570-900]; L. G. PEDROTI  
[UFV]; J. C. L. RIBEIRO [UFV]; J. dos S. WHITE [UFMG]

### **RESUMO**

*Este trabalho avalia a influência das propriedades mecânicas das argamassas de assentamento no comportamento da alvenaria de blocos de concreto sujeita à compressão. Produziram-se prismas com e sem graute, com argamassas de resistência à compressão de aproximadamente 40%, 70% e 110% da resistência dos blocos, na área líquida. Determinaram-se a resistência à compressão e o módulo de deformação de prismas, argamassas, blocos e graute. Os resultados comprovam que o aumento da resistência da argamassa provocou aumento da resistência à compressão e do módulo de deformação dos prismas, aumento este mais expressivo para prismas não grauteados. Prismas sem graute produzidos com argamassas mais fracas romperam de forma mais dúctil, por esmagamento da junta ou por tração nos blocos. Prismas sem graute produzidos com argamassas fortes romperam de maneira excessivamente frágil, por compressão nos blocos. Prismas grauteados apresentaram uma ruptura abrupta e explosiva, independentemente do tipo de argamassa utilizado.*

**Palavras-chave:** alvenaria estrutural, argamassa, módulo de deformação, resistência à compressão.

### **1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A argamassa de assentamento para alvenaria estrutural deve, além de unir seus componentes, transmitir as cargas atuantes pela área de trabalho dos blocos, absorver movimentações naturais da estrutura, e impedir a passagem de água ou

vento pelas juntas. As principais propriedades da argamassa no estado endurecido são a resistência à compressão e o módulo de deformação. Argamassas de resistência à compressão excessivamente baixa e muito flexíveis não resistem e não transferem de forma adequada essas tensões. Por sua vez, argamassas com resistência à compressão excessivamente alta e muito rígidas podem ocasionar uma ruptura frágil da alvenaria, não acomodando as deformações naturais da estrutura.

Ramalho e Corrêa (2003) <sup>(2)</sup> afirmam que a resistência à compressão da argamassa não influencia de forma tão significativa na resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural, a não ser nos casos em que ela seja menor que 30 ou 40% da resistência à compressão dos blocos. Parsekian, Hamid e Drysdale (2012) <sup>(3)</sup>, afirmam que “um grande aumento na resistência à compressão da argamassa traz um pequeno benefício à resistência à compressão da alvenaria”. Com relação ao mecanismo de ruptura da alvenaria estrutural não grauteada, os mesmos autores afirmam que quando a resistência à compressão do bloco supera a da argamassa, a ruptura do conjunto se dá por tração horizontal próxima à junta, mas quando a resistência da argamassa supera a do bloco, a ruptura ocorre por esmagamento à compressão do bloco. No que diz respeito à influência da resistência da argamassa na resistência de prismas grauteados, não há uma convergência de resultados na literatura. Segundo a ABNT NBR 15961:2011 – Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto – Parte 1: Projeto <sup>(4)</sup>, a resistência à compressão da argamassa deve ser no máximo igual a 70% da resistência característica especificada para o bloco na área líquida.

Este trabalho analisa a influência da resistência à compressão e do módulo de deformação da argamassa na capacidade portante, na deformabilidade e no modo de ruptura da alvenaria estrutural de blocos de concreto submetida à compressão.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O programa experimental promoveu a caracterização de materiais componentes da alvenaria e a produção de lotes de prismas de dois blocos, com e sem graute, variando-se as propriedades da argamassa de assentamento.

Foram empregados blocos vazados de concreto com dimensões nominais de (14 x 19 x 39) cm e resistência à compressão nominal aos 28 dias de 8,0 MPa. Eles foram submetidos aos ensaios de análise dimensional, absorção, área líquida e

resistência à compressão, segundo procedimentos da ABNT NBR 12118:2013 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio <sup>(5)</sup>. Para a determinação da resistência à tração indireta dos blocos, utilizou-se o método de ensaio proposto pela ASTM C1006-07: Standard test method for splitting tensile strength of masonry units <sup>(6)</sup>. Determinou-se também o módulo de deformação estático à compressão dos blocos, conforme proposto por Castro (2015) <sup>(7)</sup>, medindo-se deformações longitudinais com extensômetros elétricos (Kyowa, tipo KC-70-120-A1-11, comprimento de 67 mm e fator de sensibilidade de 2,12) colados em quatro pontos da parte externa de suas maiores paredes longitudinais, e aplicando-se os procedimentos de carga da metodologia A da ABNT NBR 8522:2008 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão <sup>(8)</sup>. O módulo de deformação foi calculado com base na inclinação da reta secante à curva tensão-deformação entre os pontos de 0,5 MPa e 30% da carga de ruptura estimada.

Para a produção das argamassas foram empregados cimento Portland composto Tupi, CP II E-32; areia natural, quartzosa do Rio Piranga (Porto Firme); cal hidratada comum CHIII Supercal, da Ical. Foram dosados três traços de argamassa esperando-se resistências à compressão no intervalo de 5 a 20 MPa. Definiram-se os traços mais adequados para a obtenção de argamassas de resistência à compressão de aproximadamente 40%, 70% e 110% da resistência à compressão dos blocos na área líquida (nomeados T40, T70 e T110, respectivamente). Produziram-se dois lotes de seis prismas para cada um destes traços. Um dos lotes de cada traço foi grauteado e o outro não. Utilizou-se graute de resistência à compressão característica em torno de 15 MPa, valor igual à resistência à compressão dos blocos na área líquida, além de ser o mínimo exigido pela ABNT NBR 15961:2011 <sup>(4)</sup>, para elementos de alvenaria armada. Produziram-se, portanto, prismas de dois blocos grauteados com argamassas de resistência à compressão em torno de 40%, 70% e 110% da resistência à compressão dos blocos na área líquida (nomeados como PA40-CG, PA70-CG e PA110-CG, respectivamente), além de prismas sem graute com as mesmas argamassas (nomeados como PA40-SG, PA70-SG e PA110-SG, respectivamente).

Corpos de prova da argamassa de assentamento dos prismas foram deixados em cura ao ar por 28 dias, para então serem determinadas suas resistências à compressão e à tração na flexão, conforme prescrito pela ABNT NBR 13279:2005 –

Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão <sup>(9)</sup>. Para se determinar o módulo de deformação estático das argamassas utilizaram-se corpos de prova cilíndricos de dimensões (5 x 10) cm, submetidos à metodologia A da ABNT NBR 8522:2008 <sup>(8)</sup>. Mediram-se as deformações longitudinais dos corpos de prova por extensômetros elétricos de fixação externa (“clip gage”). Calculou-se o módulo de deformação entre os pontos de tensão 0,5 MPa e 30% da resistência à compressão estimada. Na Figura 1 apresentam-se registros destes ensaios.



Figura 1: Determinação da resistência e módulo de deformação das argamassas.

Para o graute produzido, foram feitos corpos de prova cilíndricos de dimensões (10 x 20) cm, os quais foram utilizados para a determinação da resistência à compressão axial aos 28 dias, segundo a ABNT NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos <sup>(10)</sup>, além do módulo de elasticidade estático à compressão, segundo a ABNT NBR 8522:2008 <sup>(8)</sup>.

Os prismas foram confeccionados com base nas prescrições da ABNT NBR 15961:2011 – Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto – Parte 2: Execução e controle de obras <sup>(11)</sup>, adotando-se um argamassamento total e uma espessura de junta de (10 ± 3) mm. Em três dos lotes produzidos, realizou-se o grauteamento depois de 24 horas do assentamento dos blocos, em duas camadas, cada uma adensada com 12 golpes da haste de socamento. Após assentados, grauteados e capeados, todos os prismas foram mantidos imóveis até a idade de 28 dias, protegidos do sol e do vento. Após este prazo, determinaram-se a resistência à compressão e o módulo de deformação com base na mesma norma. A velocidade de carregamento adotada foi de 0,15 MPa/s. A força aplicada durante a execução do ensaio foi diretamente medida pelas células de carga da própria prensa. Transdutores de deslocamento (Kyowa, modelo DT-100A, com curso de 100 mm)

foram calibrados e colocados nas laterais do prisma, conforme apresentado na Figura 2. Fixados por bases magnéticas no prato superior, eles mediram o deslocamento do prato inferior na direção vertical. Os deslocamentos foram obtidos à uma taxa de 5 Hz, através de um Sistema de Aquisição de Dados QuantumX e do software catman®AP da HBM. O módulo de deformação de cada prisma foi calculado no intervalo correspondente à curva secante entre 5 e 30% da carga de ruptura do mesmo.



Figura 2: Determinação da resistência à compressão e módulo de deformação dos prismas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estão apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3 as propriedades dos blocos, argamassas e graute utilizados para a fabricação dos prismas, respectivamente. Na Tabela 4 seguem os resultados dos ensaios de prismas.

Tabela 1 – Propriedades dos blocos de concreto

Propriedade		Valor	Propriedade	Valor
Análise dimensional	Largura média (mm)	140	Resistência à compressão média $f_{bm}$ , na área bruta (MPa)	9,4
	Comprimento médio (mm)	390	Resistência à compressão característica $f_{bk}$ , na área bruta (MPa)	8,2
	Altura média (mm)	190	Resistência à compressão característica $f_{bk}$ , na área líquida (MPa)	14,8
	Absorção (%)	5,5	Resistência à tração indireta $f_{bt}$ (MPa)	1,28
	Relação $A_{líq} / A_b$	0,55	Módulo de deformação médio (MPa)	15.769

Tabela 2 – Propriedades das argamassas de assentamento

Traço	Usado nos lotes de prismas	Proporção, em massa				Índice de consistência (mm)	Resistência à compressão $f_a$ (MPa)	Módulo de deformação (MPa)	$f_a/f_{bk}$ <sup>(a)</sup>	$f_a/f_{bk}$ <sup>(b)</sup>
		Cimento	Cal	Areia	Água					
T40	P40-SG e P40-CG	1,00	0,45	7,48	1,49	218	5,9	9.473	0,40	0,72
T70	P70-SG e P70-CG	1,00	0,32	5,25	1,07	212	9,3	13.993	0,63	1,13
T110	P110-SG e P110-CG	1,00	0,20	3,39	0,74	231	17,1	19.388	1,15	2,09

<sup>(a)</sup> a resistência à compressão característica do bloco  $f_{bk}$  está referida à área líquida

<sup>(b)</sup> a resistência à compressão característica do bloco  $f_{bk}$  está referida à área bruta

Tabela 3 – Propriedades do graute

Traço	Usado no lote de prismas	Proporção, em massa				Índice de consistência (mm)	Resistência à compressão característica $f_g$ (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	$f_g/f_{bk}$ <sup>(a)</sup>
		Cimento	Areia	Brita	Água				
G15	P40-CG	1,00	2,93	2,93	0,75	189	14,6	22.497	0,99
G15	P70-CG	1,00	2,93	2,93	0,75	204	13,8	22.253	0,93
G15	P110-CG	1,00	2,93	2,93	0,75	190	15,7	24.350	1,06

<sup>(a)</sup> a resistência à compressão característica do bloco  $f_{bk}$  está referida à área líquida

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de prismas e propriedades mecânicas de seus componentes

Lote de prismas	Resistência à compressão média $f_{pm}$ <sup>(a)</sup> (MPa)	Resistência à compressão característica $f_{pk}$ <sup>(b)</sup> (MPa)	$f_{pk}/f_{bk}$ <sup>(c)</sup>	Módulo de deformação (MPa)	$f_g$ (MPa)	$f_a$ (MPa)
P40-SG	7,2	5,5	0,67	2.600	Sem graute	5,9
P40-CG	15,9	14,8	1,81	4.100	14,6	5,9
P70-SG	9,7	7,7	0,94	3.830	Sem graute	9,3
P70-CG	17,0	15,1	1,85	4.280	13,8	9,3
P110-SG	11,8	9,8	1,20	4.570	Sem graute	17,1

P110-CG	18,3	16,6	2,02	4.720	15,7	17,1
---------	------	------	------	-------	------	------

- (a) a resistência à compressão média dos prismas  $f_{pm}$  está referida à área bruta  
(b) a resistência à compressão característica dos prismas  $f_{pk}$  está referida à área bruta  
(c) a resistência à compressão característica do bloco  $f_{bk}$  está referida à área bruta

Ao se aumentar a resistência à compressão da argamassa em quase três vezes, a resistência à compressão dos prismas sem graute aumentou em torno de 78,2%, enquanto a dos prismas grauteados aumentou em apenas 12,2%. Ao se dobrar o módulo de deformação da argamassa de assentamento, o módulo de deformação dos prismas não grauteados aumentou em 75,8%, enquanto o dos prismas grauteados aumentou em aproximadamente 15,1%.

A Figura 3 apresenta o modo de ruptura observado para diferentes prismas.



Figura 3: Mecanismos de ruptura observados para os diferentes lotes de prisma.

Prismas não grauteados produzidos com a argamassa mais fraca e flexível (traço T40) apresentaram um mecanismo de ruptura dúctil, caracterizado por avisos prévios antes da ruína, como a expulsão da argamassa fragmentada em pontos localizados da junta, além de uma ruptura não explosiva. Já os prismas não grauteados produzidos com a argamassa de resistência à compressão e rigidez medianas (traço T70) apresentaram uma ruptura um pouco menos dúctil, por tração nos blocos, com o surgimento de fissuras que se estenderam das proximidades da junta de assentamento em direção às placas da prensa. Os prismas sem graute produzidos com a argamassa mais resistente e rígida (traço T110) apresentaram uma ruptura excessivamente frágil, ocorrendo esmagamento repentino do bloco.

O modo de ruptura da alvenaria grauteada não foi tão afetado pelas propriedades da argamassa como no caso da alvenaria não grauteada. A ruptura dos prismas grauteados produzidos com as argamassas de traço T40 e T70 ocorreu apenas quando a tensão de compressão alcançou a capacidade resistente do bloco

ou do graute, em torno de 15 MPa. Ocorreram fissuras nas paredes do bloco e/ou descolamento de partes das mesmas no momento em que o graute estourou no interior dos furos. Os prismas grauteados produzidos com a argamassa de traço T110 romperam de forma ainda mais frágil, por esmagamento do graute e, na maioria das vezes, por fissuração e lançamento repentino de pedaços das paredes dos blocos para longe da prensa.

#### **4. CONCLUSÕES**

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o aumento da resistência à compressão e do módulo de deformação da argamassa de assentamento contribuiu para o aumento da resistência à compressão e da rigidez da alvenaria de blocos de concreto não grauteada e grauteada, sendo o aumento maior no caso da alvenaria não grauteada. Os resultados ainda demonstraram que o modo de ruptura no caso dos prismas não-grauteados foi significativamente influenciado pelas propriedades da argamassa. Prismas não-grauteados com argamassas de resistência à compressão menor que a resistência dos blocos, referida à área líquida, apresentaram ruptura dúctil, por esmagamento da junta de argamassa ou por tração nos blocos. Prismas não-grauteados com argamassas de resistência à compressão maior que a resistência à compressão dos blocos, referida à área líquida, romperam de maneira excessivamente frágil, por esmagamento dos blocos. No caso dos prismas grauteados, a ruptura aconteceu, para qualquer dos traços, de forma abrupta e explosiva, por esmagamento do graute e/ou descolamento de paredes fissuradas dos blocos, visto que a resistência à compressão dos blocos na área líquida era bem próxima à resistência à compressão do graute.

#### **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. SABBATINI, F. H. **BT-02/86: Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. 1. ed. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1986. 26 p.
2. RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2003. 169 p.
3. PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A., DRYSDALE, G. **Comportamento e dimensionamento da alvenaria estrutural**. 1. ed. São Carlos: Ed. EdUFSCar, 2012. 625 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-1: Alvenaria estrutural, Blocos de concreto, Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro, 2011. 42 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2013. Versão corrigida: 2014. 14 p.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1006-07: Standard test method for splitting tensile strength of masonry units**. Philadelphia, 2013. 3 p.
7. CASTRO, L. de O. **Avaliação experimental da interação de paredes de blocos de concreto de alta resistência sob ações verticais**. 2015. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.
9. 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.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-2: Alvenaria estrutural, Blocos de concreto, Parte 1: Execução e controle de obras**. Rio de Janeiro, 2011. 35 p.

## **INFLUENCE OF MECHANICAL PROPERTIES OF MORTAR IN BEHAVIOR OF CONCRETE BLOCK MASONRY SUBMITTED TO COMPRESSION**

### **ABSTRACT**

*This work evaluates the influence of the mechanical properties of mortar in the behavior of concrete masonry subjected to compression. Grouted and ungrouted prisms were produced with mortar of compressive strength around 40%, 70%, and 110% of the concrete blocks' net area compressive strength. The compressive strength and the modulus of elasticity of prisms, mortar, grout and blocks were determined. The results showed that an increase of the mortar's compressive strength caused an increase of the compressive strength and modulus of elasticity of masonry. This gain was more significant for ungrouted prisms. Prisms ungrouted and produced with weaker mortars presented a ductile failure by crushing the mortar or transverse block splitting. Prisms ungrouted and produced with stronger mortars presented an excessively brittle rupture by crushing the blocks. Grouted prisms presented an abrupt and explosive rupture, regardless of the kind of mortar.*

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