

## **Avaliação do comportamento de prismas de alvenaria estrutural de blocos não grauteados de concreto com diferentes padrões de argamassamento submetidos à compressão e do modo de ruptura**

**(Evaluation of the behavior of non-grouted concrete masonry prisms with different mortar bedding type submitted on compression and rupture mode)**

T. E. S. Lima<sup>1</sup>; V. D. Pinheiro<sup>1</sup>; A. L. C. Paes<sup>1</sup>; A. R. G. Azevedo<sup>2</sup>; E. B. Zanelato<sup>1</sup>; M. T. Marvila<sup>1</sup>; A. A. Siqueira<sup>1</sup>; J. Alexandre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Laboratório de Engenharia Civil - LECIV

Avenida Alberto Lamego, 2000, Horto, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes/RJ, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense – UFF, Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente

Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, CEP 24210-240, Niterói/RJ, Brasil

Endereço da instituição 2  
thuanylima.es@gmail.com

### **Resumo**

*A alvenaria estrutural é uma das alternativas construtivas mais empregadas no Brasil. Neste sistema, a parede, que é formada por blocos unidos por argamassa de assentamento, desempenha a função de estrutura da construção. No processo construtivo, o tipo de assentamento pode ser determinante na produção e no rendimento da obra. Dois tipos são recomendados, o argamassamento total e o parcial, onde a argamassa é colocada somente nas paredes longitudinais do bloco. Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do padrão de argamassamento em prismas de blocos de concreto, observando as resistências à compressão apresentadas e seus respectivos modos de ruptura. Conclui-se que o argamassamento parcial apresenta menor resistência à compressão do que o argamassamento total e ruptura por separação do bloco, enquanto o outro tem ruptura por fatores combinados.*

*Palavras chave: Alvenaria estrutural, Argamassamento, Prisma, Ruptura.*

### **Abstract**

*Structural masonry is one of the most constructive alternatives employed in Brazil. In this system, the wall, which is formed by blocks joined with mortar, acts as structure function. For such construction process, the mortar bedding type can be decisive in the production and the yield of the work. Two types are recommended, full bedding, covering net área for unit and face shell bedding, where the mortar is placed only in the face shell area of the block. This work aims to evaluate the effect of the mortar bedding type on concrete masonry prisms, observing the compressive strengths and their respective rupture modes. It is concluded that the face shell bedding presents less compressive strength than the full bedding and rupture by separation of the block, while the other type has rupture by combined factors.*

*Keywords: Structural masonry, Mortar bedding type, Prism, Rupture.*

## INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural foi utilizada pelos primórdios das civilizações levando-se em consideração somente a experiência prática, passada de geração em geração, ou seja, de forma empírica. Apenas recentemente a alvenaria passou a ser motivo de estudo, quando o projeto dessas estruturas passou a ser normatizado.

A alvenaria é um material compósito e complexo obtido por meio da superposição de blocos, unidos por junta de argamassa. As unidades são moduladas de maneira que as paredes sejam amarradas umas às outras, sem a necessidade de quebra de blocos para adaptação. Além de ser um método racional de utilização dos materiais, é de mais rápida execução, devido principalmente, à inexistência de vigas e pilares.

Ao realizar um projeto nesse sistema, o projetista estima a resistência do bloco e consequentemente da parede para suportar as cargas da estrutura. Nesse aspecto, os projetistas utilizam um conhecimento generalista sobre os materiais componentes. Por isso, [1] destacam a necessidade da padronização dos componentes para tornar o número de ensaios necessários para a estimativa razoável, salientando a importância do conhecimento das características físicas e mecânicas dos materiais componentes.

Além das características físicas e mecânicas dos materiais componentes, vários fatores possuem interferência no comportamento estrutural da alvenaria, entre eles qualidade de acabamento, qualidade de mão-de-obra, condições ambientais durante a produção, condições de cura, a espessura da junta e o padrão de argamassamento.

No processo de construção da alvenaria, o tipo de argamassamento pode ser determinante na produção e no rendimento da obra. O argamassamento parcial nas juntas horizontais tem se tornado uma opção muito utilizada, pois promove uma maior rapidez na execução. Por isso, os efeitos do tipo de argamassamento na distribuição de tensões, fissuração e ruptura da alvenaria devem ser estudados, justificando esse trabalho.

Dois tipos de assentamentos das unidades são usados, de forma relevante e normatizada: argamassamento parcial e argamassamento total. O argamassamento parcial, ou em cordão, consiste em executar a junta horizontal com argamassa apenas nos septos longitudinais dos blocos. É muito praticado na América do Norte e Austrália. Por outro lado, no argamassamento total, a argamassa é colocada em todos os septos dos blocos, incluindo os septos transversais, como visto na Figura 1.

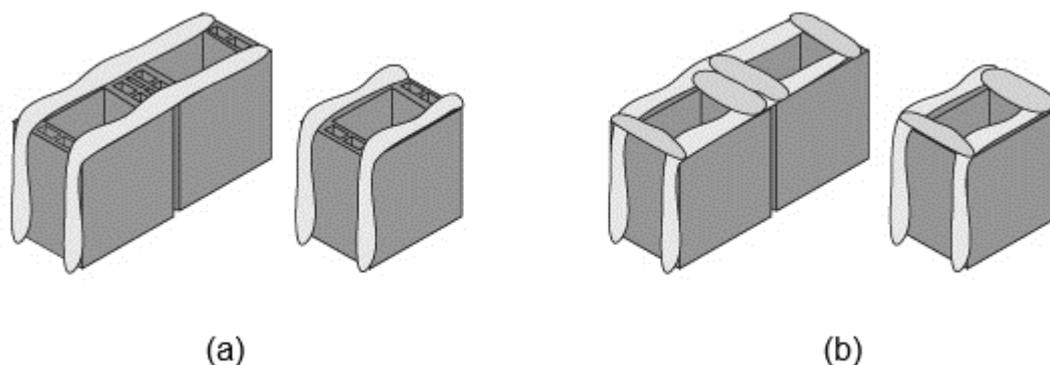


Figura 1 – Argamassamento do bloco: (a) parcial e (b) total.

Nesse sentido, este trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito do padrão de argamassamento em prismas de blocos de concreto, observando as resistências à compressão apresentadas e seus respectivos modos de ruptura.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado nesse estudo é constituído de blocos de concreto vazado provenientes de um fabricante da cidade de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. Suas dimensões são (14 x 19 x 39) cm (comprimento x espessura x altura), absorção de água de 6,32%, teor de umidade de 12,34% e resistência característica à compressão de 6,01 MPa referido a área bruta e de 12,77 referido à área líquida. Além das unidades, foi utilizada argamassa de assentamento com traço em volume de (1:1:6), representando respectivamente cimento, cal e areia. A argamassa foi produzida com cimento Portland CII E-40 com densidade de 2,97 g / cm<sup>3</sup>, finura de 4,00%, e 28º dia de resistência à compressão de 45,3 MPa, cal hidratada CH-III com densidade de 2,31 g / cm<sup>3</sup> e areia lavada do Rio Paraíba do Sul, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil, com módulo de finura de 2,04, tamanho máximo de 2,4 mm, peso específico a granel de 2,61 g / cm<sup>3</sup>. A relação água/cimento foi de 1,26 mantendo o espalhamento da argamassa na faixa de (260 ± 10) mm, atingindo uma resistência à compressão de 5,72 MPa.

A estrutura teve seu comportamento avaliado através do ensaio de resistência à compressão dos prismas de alvenaria, conforme recomendação da [2]. Foram confeccionados 6 prismas para cada padrão de argamassamento (parcial e total), totalizando 12 prismas

produzidos, com espessura da junta de argamassa de  $(10 \pm 3)$  mm. Todos os prismas permaneceram imóveis em cura em local livre de intempéries por 28 dias. As etapas de produção dos prismas estão mostradas na Figura 2.

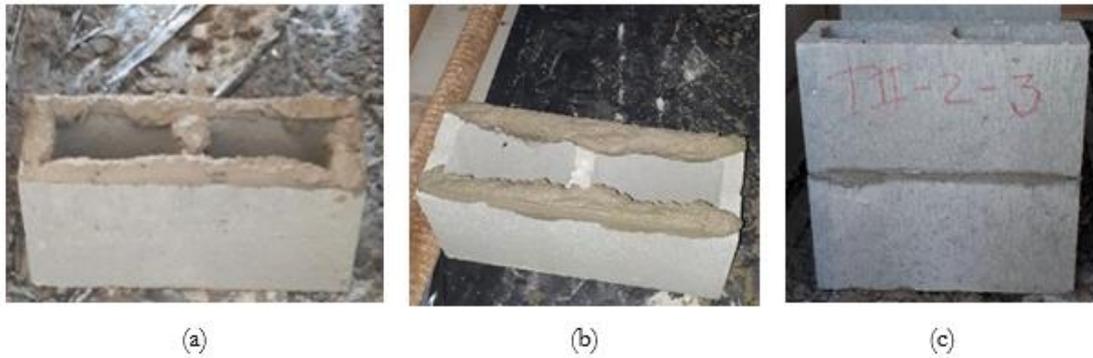


Figura 2 – Confeção dos prismas: (a) argamassamento total, (b) argamassamento parcial e (c) prisma confeccionado.

As resistências à compressão dos prismas foram determinadas no sistema servohidráulico MTS com capacidade de 500 kN, a uma taxa de 0,05 MPa/s, localizado no laboratório de estruturas de engenharia civil da UENF. Todos os prismas foram instrumentados com cinco transdutores lineares do modelo PY2-F-050-S01M da marca Gefran, com capacidade nominal de 50 mm de deslocamento, posicionados um vertical frontal, um em cada lateral dos prismas e um em cada direção perpendicular ao plano do prisma que foi denominado horizontal na análise dos resultados, conforme a Figura 3. Os deslocamentos e a carga aplicada foram obtidos a uma taxa de 2 Hz através do dispositivo de aquisição de dados Metrolog SIAD.



Figura 3 – Posicionamento dos transdutores lineares para ensaio de resistência à compressão de prismas de alvenaria estrutural.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela I apresenta-se os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos prismas. Percebe-se que os prismas com argamassamento total apresentaram, aproximadamente, 11% mais resistência que os prismas com argamassamento parcial. A razão entre as resistências no argamassamento parcial e no argamassamento total foi de aproximadamente 0,89, o que confere com o trabalho realizado por [3]. Em relação a eficiência prisma/bloco verifica-se que os prismas com argamassamento total possuem eficiência um pouco maior que os prismas parcialmente argamassados, com valores entre 0,5 e 0,6, adequados segundo [1], que admitem uma eficiência prisma/bloco numa faixa de 0,5 a 0,9 para blocos de concreto no Brasil.

Tabela I – Resultados da resistência à compressão dos prismas de alvenaria estrutural.

<b>Padrão de Assentamento</b>	<b>Resistência característica à compressão dos prismas (<math>f_{pm}</math>) (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão (Sd) (MPa)</b>	<b>CV (%)</b>	<b>Eficiência prisma/bloco (<math>\eta</math>)</b>	<b>Normalização</b>
<b>Total</b>	3,36	0,16	4,76	0,56	1
<b>Parcial</b>	2,98	0,11	3,69	0,50	0,887

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam as curvas comparativas entre os dois padrões de assentamento utilizando os resultados médios dos ensaios dos prismas em relação a cada posição de transdutor linear instalado.

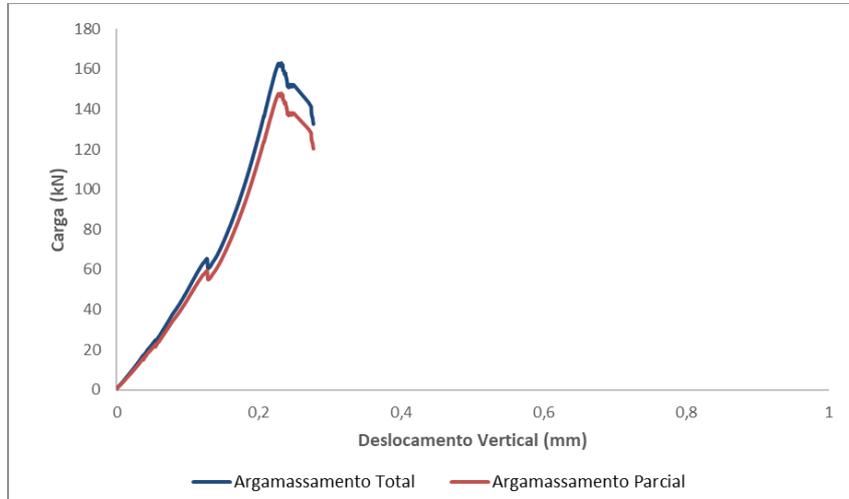


Figura 4 – Comparação entre os resultados dos ensaios dos prismas com diferentes padrões de assentamento em relação ao deslocamento vertical.

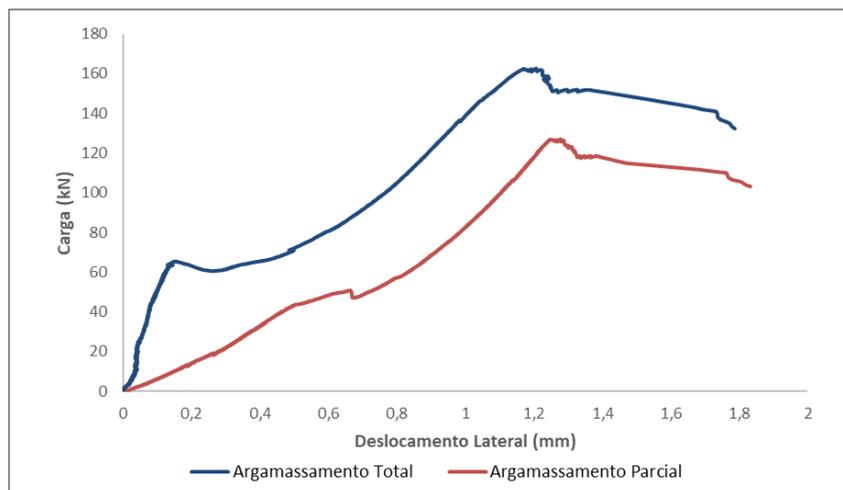


Figura 5 – Comparação entre os resultados dos ensaios dos prismas com diferentes padrões de assentamento em relação ao deslocamento lateral.

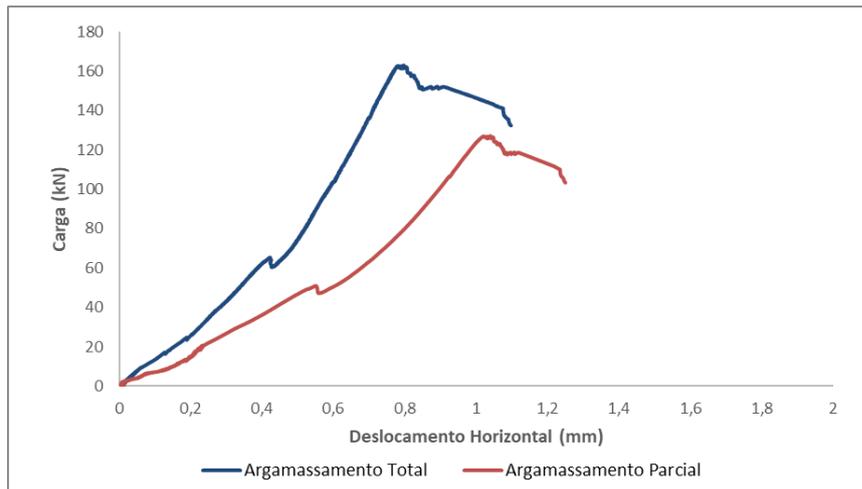


Figura 6 - Comparação entre os resultados dos ensaios dos prismas com diferentes padrões de assentamento em relação ao deslocamento horizontal.

Analisando as curvas apresentadas, percebe-se que os comportamentos são semelhantes nos dois padrões de argamassamento, diferenciando-se apenas na carga suportada já que o argamassamento total apresentou maior resistência à compressão que o argamassamento parcial. Contudo, o argamassamento parcial apresentou maiores deslocamentos horizontais que o argamassamento total devido ao modo de ruptura apresentado nesse padrão de assentamento (Figura 7), onde o prisma rompe por separação transversal do bloco devido às tensões laterais de tração no bloco, ocorrendo assim maiores deslocamentos na direção perpendicular ao plano do prisma.



Figura 7 – Modo de ruptura dos prismas com argamassamento parcial.

O modo de ruptura da alvenaria normalmente é atribuído a dois motivos, tração no bloco ou esmagamento da argamassa. [4], [5] e [6] analisaram o modo de ruptura em prismas de blocos de concreto não grauteados e encontraram separação entre todas as faces da unidade de alvenaria. Quando o prisma é submetido à carga compressiva axial, a argamassa tende a se expandir lateralmente mais do que o bloco. Na interface bloco/argamassa a aderência impede as tensões laterais diferenciais entre os componentes, causando tensões laterais de tração nos blocos e tensões laterais de compressão na junta de argamassa. Surgem assim fissuras verticais, paralelas à direção do carregamento na espessura dos prismas, como explicado pelo modelo de Hilsdorf em [7].

Segundo [6], a aderência na interface bloco/argamassa é, também, responsável pela igualdade de deformações e pelas condições complexas de tensões na interface entre os componentes, resultando no confinamento da argamassa. [8] observaram que quando a argamassa é muito mais deformável do que os blocos, o modo de ruptura dos prismas sob compressão é caracterizado por esmagamento localizado da argamassa.

Como visto na Figura 7, os prismas com argamassamento parcial apresentaram ruptura por separação transversal do bloco devido às tensões laterais de tração no bloco, perceptível pelas fissuras apresentadas nas laterais do bloco, entretanto também apresentou fissura vertical paralela ao carregamento na face frontal. [5] e [8] obtiveram um modo de ruptura similar em seus ensaios.

Na Figura 8 verifica-se o modo de ruptura dos prismas com argamassamento total. Nota-se a fragmentação de alguns trechos do bloco e a presença de fissuras verticais paralelas à direção do carregamento, concentradas nas regiões de interseção entre os septos longitudinais e transversais dos blocos. Este tipo de ruptura ocorre devido ao efeito de tensões laterais de tração no bloco, aliado a uma perda de capacidade da argamassa. [9] obteve ruptura similar em seus ensaios, e analisou este colapso local como uma associação da perda de capacidade da argamassa com rachaduras paralelas à direção de carregamento dentro do bloco e ao longo da direção longitudinal do bloco.



Figura 8 – Modo de ruptura dos prismas com argamassamento total.

## CONCLUSÕES

Conforme mostraram os ensaios realizados, o efeito do tipo de assentamento é influenciador na resistência à compressão, sendo os prismas com argamassamento total mais resistentes e eficientes que os prismas com argamassamento parcial.

A ruptura dos prismas com argamassamento parcial se caracterizou pela separação transversal do bloco devido às tensões laterais de tração no bloco, perceptível pelas fissuras apresentadas nas na espessura do prisma. Os prismas com argamassamento total tem a ruptura causada pelo efeito de tensões laterais de tração no bloco, aliado a uma perda de capacidade da argamassa, evidenciado pela fragmentação de trechos do bloco e a presença de fissuras verticais concentradas nas regiões de interseção entre os septos longitudinais e transversais dos blocos.

Visualizando tal cenário, necessita-se estabelecer nos códigos de engenharia uma maneira mais apropriada de escolha do padrão de argamassamento considerando a resistência da alvenaria e seu comportamento estrutural, inclusive coagindo o projetista a determinar em projeto o padrão de assentamento a ser adotado, uma vez que o tipo de assentamento dos blocos influi na distribuição de cargas do sistema.

## AGRADECIMENTOS

Em especial às instituições de fomento à pesquisa brasileiras: CNPq, CAPES e FAPERJ pelo apoio fornecido para este estudo.

## REFERÊNCIAS

- [1] M. A. RAMALHO, M. R. S. CORREA, Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural, Pini, São Paulo, Brasil (2003).
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras: NBR 15961-2. Rio de Janeiro, Brasil (2011).
- [3] C. J. NACUS, Comparison of fully bedded and face-shell bedded concrete block, Report CE-495, Colorado State University, Nov. 1980.
- [4] F. M. KHALAF, Factors influencing compressive strength of concrete masonry prism, Mag. Concr. Res. 48 (1996) 175.
- [5] R. O. G. MARTINS, G. H. NALON, R. C. S. S. ALVARENGA, L. G. PEDROTI, J. C. L. RIBEIRO, Influence of blocks and grout on compressive strength and stiffness of concrete masonry prisms, Constr. Build. Mater. 182 (2018) pp. 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.112>.
- [6] G. MOHAMAD, P. B. LOURENÇO, H. R. ROMAN, Mechanics of hollow concrete block masonry prism under compression: Review and prospects, Cement and Concrete Composites. 29 (2007) pp. 181-192.
- [7] H. K. HILSDORF, An investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression, Designing, Engineering and Construction with Masonry Products, 1969, pp. 34-41.
- [8] C. F. R. SANTOS, R. C. S. S. ALVARENGA, J. C. L. RIBEIRO, L. O. CASTRO, R. M. SILVA, A. A. R. SANTOS, G. H. NALON, Numerical and experimental evaluation of masonry prisms by finite element method, IBRACON Struct. Mater. J. 10 (2017) pp. 493-508. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952017000200010>.
- [9] R. H. ROMAGNA, Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não-grauteados. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (2000).
- [10] G. MOHAMAD, F. S. FONSECA, T. VERMELTFOORT, D. R. W. MARTENS, P. B. LOURENÇO, Strength, behavior, and failure mode of hollow concrete masonry constructed with mortars of different strengths, Constr. Build. Mater. 134 (2017) pp. 489-496. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.112>.
- [11] J. S. CAMACHO, B. G. LOGULLO, G. A. PARSEKIAN, P. R. N. SOUDAIS, The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behavior, IBRACON Struct. Mater. J. 8 (2015) pp. 353-364. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952015000300006>.