



Alvenaria Estrutural

Artigos Técnicos podem ser encaminhados para análise e eventual publicação para alvenaria@revistaprisma.com.br

JUNTAS VERTICAIS: INFLUÊNCIA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Gihad Mohamad; Paulo Brandão Lourenço e Humberto Ramos Roman

O objetivo principal deste trabalho é verificar, com os ensaios de compressão de diferentes prismas, as deformabilidades verticais, horizontais e os modos de rupturas dos componentes de blocos de concreto à compressão. No trabalho foram testados dois traços de argamassas, conforme o recomendado pela norma BS-5628, e dois tipos de prismas com e sem a presença da junta vertical.

Palavras-chave: blocos de concreto, alvenaria, modo de ruptura, comportamento a compressão

EXPEDIENTE

O Caderno Técnico Alvenaria Estrutural é um suplemento da revista Prisma, publicado pela Editora Mandarin Ltda.
ISSN 1809-4708

Artigos para publicação devem ser enviados para o e-mail alvenaria@revistaprisma.com.br

Conselho Editorial: Prof. Dr. Jefferson Sidney Camacho (coordenador) Eng. Dr. Rodrigo Piernas Andolfato (secretário); Eng. Davidson Figueiredo Deana; Prof. Dr. Antonio Carlos dos Santos; Prof. Dr. Emil de Souza Sanchez Filho; Prof. Dr. Flávio Barboza de Lima; Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian; Prof. Dr. João Bento de Hanai; Prof. Dr. João Dirceu Nogueira Carvalho; Prof. Dr. Luis Alberto Carvalho; Prof. Dr. Luiz Fernando Loureiro Ribeiro; Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Júnior; Prof. Dr. Luiz Sérgio Franco; Prof. Dr. Márcio Antonio Ramalho; Prof. Dr. Márcio Correa; Prof. Dr. Mauro Augusto Demarzo; Prof. Dr. Odilon Pancaro Cavalheiro; Prof. Dr. Paulo Sérgio dos Santos Bastos; Prof. Dr. Valentim Capuzzo Neto; Profa. Dra. Fabiana Lopes de Oliveira; Profa. Dra. Henriette Lebre La Rovere; Profa. Dra. Neusa Maria Bezerra Mota; Profa. Dra. Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga.
Editor: jorn. Marcos de Sousa (editor@revistaprisma.com.br) - tel. (11) 3337-5633

JUNTAS VERTICAIS: INFLUÊNCIA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural não-armada pode ser considerada como um sistema formado por materiais distintos que interagem para responder às cargas verticais e horizontais produzidos pelo peso-próprio, vento e sismos durante a sua vida útil, cuja natureza resistente é frágil à tração. Cabe salientar que o comportamento do conjunto depende não somente da qualidade de cada material empregado, mas também das interações físico-químicas que se processam entre os materiais. Assim, deve-se tratar a parede de alvenaria estrutural não em função das características de seus materiais isoladamente, mas sim como um material composto fruto da interação da unidade, da argamassa e, quando também usado, do graute. Dessa forma, é importante que se entenda perfeitamente o comportamento do “material alvenaria”, comportamento que varia de unidade para unidade e com os diferentes tipos de argamassas e grautes. Por essa razão, o desempenho estrutural das paredes de alvenaria não pode ser estimado sem a realização de testes com paredes ou prismas dos materiais que serão utilizados. As principais propriedades mecânicas que devem apresentar as paredes de alvenaria são as resistências à compressão, à tração, à flexão e ao cisalhamento. De todas essas propriedades, a mais importante é a resistência à compressão, pois, geralmente, as paredes de alvenaria estão submetidas a carregamentos verticais mais intensos que os horizontais produzidos pelo vento e sismos.

Quando submetida à compressão, a alvenaria produz tensões biaxiais (compressão e tração) nos blocos e tensões triaxiais de compressão na argamassa e graute, caso os furos sejam preenchidos com concreto. Basicamente, o critério das deformações laterais máximas impedidas serve para explicar o surgimento das tensões e, por conseqüência, os mecanismos que levam a alvenaria à ruptura, conforme Vermeltfoort. A principal característica da alvenaria é ter a parede como elemento resistente as cargas verticais

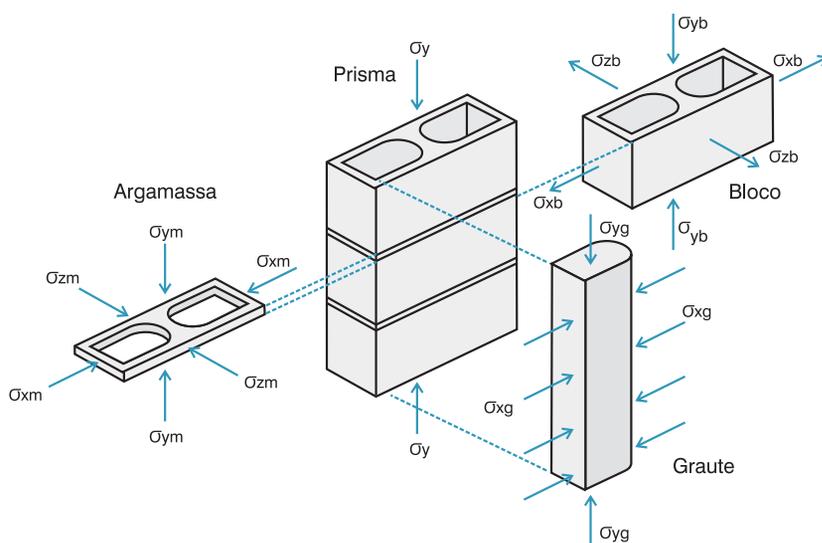


Figura 1 - Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais

e laterais, onde a associação intercalada entre a unidade e a junta de assentamento é denominada por prisma. A norma NBR 10837 designa o prisma como principal parâmetro de especificação e controle dos materiais empregados.

O mecanismo indutor de ruptura na alvenaria e a influência da resistência do bloco e argamassa no conjunto são parâmetros fundamentais para estimar a capacidade resistente do elemento. Todavia, estabelecer equações, a partir de resultados mecânicos dos materiais sob estados de tensão não equivalente ao presente no conjunto, de certa forma, já induzem erro ao serem aplicados como modelos genéricos, devido às distintas situações, tais como: características da mão-de-obra, tipo de unidade (equipamento de fabricação) e traço de argamassa. Portanto, o conhecimento das características mecânicas dos materiais isolados e da interação entre os mesmos pode per-

mitir uma melhor compreensão dos fatores envolvidos na deformabilidade e ruptura do conjunto e, por conseqüência, maximizar a capacidade resistente do sistema (fig. 1).

Resistências à compressão das alvenarias, blocos e argamassas

É importante destacar que a resistência à compressão e o modo de ruptura dos componentes das alvenarias são importantes para a especificação dos materiais apropriados para a execução de uma edificação. Assim, para os diferentes tipos de unidades e argamassas, o comportamento do “material alvenaria” apresenta diferenças, seja no modo de ruptura ou na resistência desta comparada com a resistência dos materiais que a constituem (unidade, argamassa e graute). Um conceito bastante usado para definir essa relação chama-se fator de eficiência.

Tabela 1 - Proporção em volume de cimento, cal e areia dos traços de argamassas

Série	Traço - Proporção entre materiais em volume		
	Cimento	Cal	Areia
I	1	0,25	3
II	1	0,5	4,5

Esse fator é obtido dividindo a resistência à compressão do prisma de alvenaria pela resistência à compressão da unidade. Geralmente este valor é menor que um e diminui à medida que aumenta a resistência da unidade.

Mohamad realizou estudos experimentais em prismas de blocos de concreto. Os prismas construídos tiveram diferentes modos de ruptura, de acordo com a resistência da argamassa. As características visuais do modo de ruptura, durante os ensaios em prismas, permitiram concluir que a argamassa induz no bloco tensões laterais. Essas tensões são diferenciadas conforme as características físicas da interface superior e inferior. Normalmente, o esfacelamento acontecia na face superior do bloco intermediário. Após o esfacelamento, verificava-se uma perda de aderência entre a argamassa e o bloco, gerando o esmagamento da junta de assentamento. A norma NBR-10837 designa como sendo prismas a superposição de dois ou três blocos unidos pelas respectivas juntas de assentamento, ou seja, para esse caso não existe a presença da junta vertical de argamassa, como as presentes nas paredes estruturais.

METODOLOGIA E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para os estudos experimentais foram testados dois tipos de prismas. O primeiro foi designado como "A" e tem três blocos de concreto inteiros justapostos e unidos por duas juntas horizontais de argamassa. Neste tipo de prisma existem apenas duas juntas horizontais de assentamento. O segundo tipo de prisma, designado por B, tem três blocos de altura, sendo que o bloco intermediário era composto de dois meios-blocos com uma junta vertical e duas juntas horizontais de argamassas. O objetivo principal dos ensaios fora obter a influência da junta vertical de assentamento nas características de deformabilidade e modo ruptura do conjunto.

Oitro prismas do tipo A foram analisados, quatro para o traço de argamassa I e quatro para o traço de argamassa II. Os prismas do tipo B foram construídos com dois traços de argamassas denominados de I e II, cuja composição em volume é mostrada na Tabela 1. O número de prismas construídos para o traço I e II foram 4 e 6, respectivamente. Optou-se por executar um número maior de prismas para o traço II pela possibilidade das argamassas de menor resistência

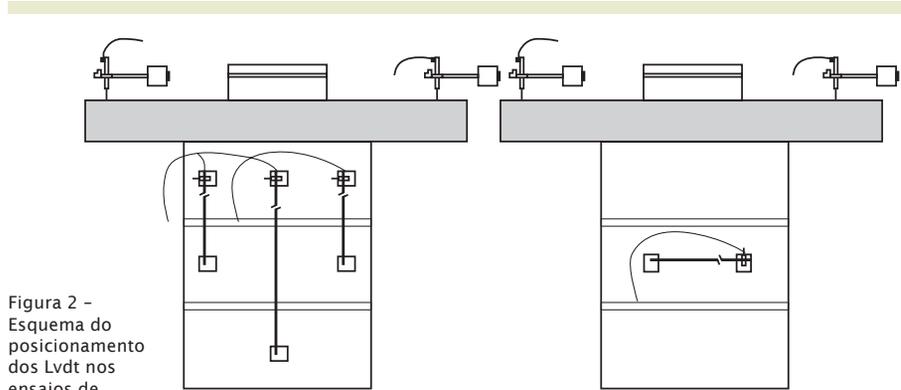


Figura 2 - Esquema do posicionamento dos Lvdts nos ensaios de prismas de três blocos inteiros (tipo A)

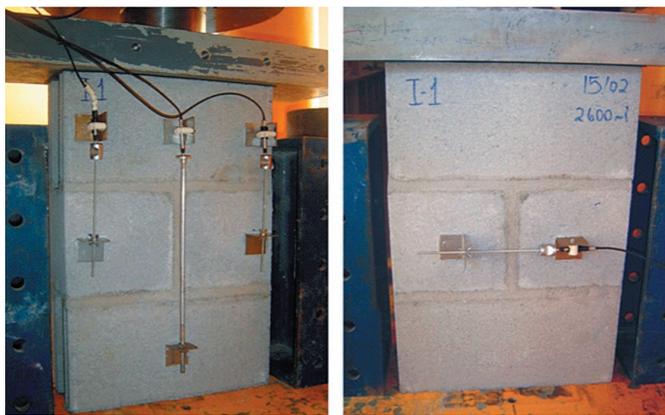


Figura 3 - Esquema de posicionamento dos Lvdts nos ensaios dos prismas de dois blocos inteiros e dois meios-blocos (tipo B)

pudesse aumentar a dispersão dos valores de resistência. A tabela 1 apresenta as proporções em volume entre os materiais (cimento: cal e areia) para a execução dos diferentes prismas (A e B).

As deformações axiais de uma e duas juntas de assentamento são apresentadas nas Figuras 2 e 3. Ao todo foram utilizados seis Lvdts (Linear Variable Displacement Transducers) de diferentes campos de deslocamento.

RESULTADOS

Resultados experimentais dos prismas do tipo A

Os resultados de resistência à compressão individuais (f_{prisma}) e médios (f_p médio) dos pris-

mas de três blocos (tipo A) são especificados na Tabela 2, com os respectivos desvios-padrão e coeficiente de variação. As resistências dos prismas são apresentadas na área líquida. A Tabela 3 apresenta os resultados médios de resistência do bloco, argamassa e prisma, juntamente com as relações f_{prisma}/f_{bloco} (fator de eficiência) e $f_{arg.}/f_{bloco}$.

A Tabela 4 apresenta os resultados médios de deformabilidade, a proporção tensão/resistência e o módulo de elasticidade secante dos prismas com uma junta de assentamento. Verificou-se que existe um aumento na deformação média de compressão dos prismas, em função da diminuição na resistência da argamassa. Os módulos de elasticidade secante dos prismas designados por I e II foram próximos.

A Tabela 5 apresenta os resultados médios de deformabilidade dos prismas, a proporção tensão/resistência, o coeficiente de Poisson e o módulo de elasticidade secante dos prismas.

Neste caso foi considerado a deformabilidade de duas juntas de assentamento.

Verificou-se, de igual modo, a deformabilidade horizontal do conjunto a meia altura do prisma,

Tabela 2 - Resultados de resistência à compressão médios dos prismas		
Série	I	II
f_{prisma} (MPa)	15,9	15,1
	15,1	16,0
	16,1	15,0
	13,7	11,1
f_p médio (MPa)	15,2	14,3
Desvio-padrão (MPa)	1,09	2,18
c.v (%)	7,2	15,2

possibilitando a determinação do coeficiente de Poisson do prisma.

Para os prismas A de traço I observou-se o aumento das deformações laterais até a tensão atingir 0,80 da resistência à compressão, como mostra a Figura 4. Para os prismas de traço II verificou-se o surgimento de esmagamentos localizados e esfacelamentos nos prismas. Não houve um aumento instantâneo das deformações laterais. Os esmagamentos foram localizados na argamassa da junta superior do prisma, para um nível de tensão próximo de 50% da resistência à compressão, após isso começa os esfacelamentos da superfície do bloco e a propagação de trincas verticais.

Resultados experimentais dos prismas do tipo B

Os resultados individuais de resistência dos prismas são especificados na Tabela 6, com os respectivos valores para a média, desvio-padrão e coeficiente de variação. O coeficiente de variação dos resultados foi de 11,1% e 16,9%, respectivamente para os traços de argamassa I e II. O desvio-padrão das amostras de traço I e II foram 1,19 MPa e 1,45 MPa, respectivamente. Pode observar-se que, para este tipo de prisma, a junta vertical pode induzir um aumento do valor do coeficiente de variação dos resultados. Provavelmente, isso ocorre pelo fato do processo de ruptura começar justamente na junta vertical. Os resultados de resistência à compressão médios dos prismas com uma junta vertical foram inferiores aos prismas sem junta vertical (tipo A). Essa redução foi de 42% e 66% para os traços de argamassa I e II, respectivamente. A Tabela 7 apresenta os resultados médios de resistência do bloco, argamassa e prisma, juntamente com as relações f_{prisma}/f_{bloco} (fator de eficiência) e $f_{arg.}/f_{bloco}$.

Os resultados demonstraram a maior influência da resistência do bloco na resistência do

Tabela 3 - Resistência dos blocos, argamassas, prismas e suas proporções

Série	f_{bloco} (MPa)	$f_{arg.}$ (MPa)	f_p médio (MPa)	f_p médio/ f_{bloco}	$f_{arg.}/f_{bloco}$
I	23,1	19,8	15,2	0,66	0,86
II	23,1	7,2	14,3	0,62	0,31

Tabela 4 - Resultados médios experimentais de deformabilidade dos prismas

Prisma	n	Deformação média	σ/fc	Elasticidade (MPa)
I	4	0,0002266	0,31	20989
II	4	0,0002447	0,33	19405

Tabela 5 - Resultados médios experimentais de deformabilidade dos prismas

Prisma	n	Deformação	Deformação	σ/fc	Poisson	Elasticidade (MPa)
		Lvdt 40351	Lvdt 50238			
I	4	0,0002962	0,0000670	0,31	0,22	16056
II	4	0,0003098	0,0000866	0,33	0,28	15326

prisma, onde os expoentes da equação 2 são 0,30 e 0,70, para a argamassa e bloco, respectivamente. A Tabela 8 apresenta os resultados médios do módulo de elasticidade secante para a proporção tensão/resistência (σ/fc) de 30%, considerando uma e duas juntas de assentamento, com o coeficiente de Poisson medido entre o bloco e a junta vertical. Para os prismas construídos com uma junta vertical aconteceu um aumento progressivo do coeficiente de Poisson, com valores significativamente maiores do que os prismas convencionais de três blocos. Também verificou-se uma redução no valor do módulo de elasticidade secante de uma e duas juntas de assentamento dos prismas com a presença da junta vertical. A diminuição do módulo de elasticidade secante do prisma com uma junta vertical foi de 18% em relação ao prisma sem junta vertical. Já, quando considerado duas juntas verticais a diminuição média foi de 8% em relação aos sem junta vertical.

CONCLUSÕES

O surgimento das não-linearidades da alvenaria corresponde ao aumento das deformações laterais, devido à extensiva fissuração do mate-

rial e a um aumento progressivo do coeficiente de Poisson.

As fissuras dos prismas de três blocos construídos com a argamassa de traço I foram verticais, acontecendo de forma simétrica em ambos os lados. Em nenhuma das amostras foram verificados pontos de esmagamento da junta de assentamento. Visualmente, pode-se notar que o prisma começou a comportar-se como um material único. As trincas foram, para este tipo de prisma, simétricas, verticais e dispersas.

Os prismas construídos com argamassa do tipo II tiveram, por consequência do esmagamento localizado, uma associação de trincas verticais devido à concentração de tensões em alguns pontos. No processo de ruptura, verificou-se o início da perda de coesão da argamassa, o esmagamento da junta de argamassa e o esfacelamento da superfície inferior e superior do bloco.

Para os prismas construídos com uma junta vertical aconteceu um aumento progressivo do coeficiente de Poisson, sendo que os valores foram maiores em relação aos prismas convencionais com três blocos inteiros. A presença da junta vertical de assentamento levou ao surgimento de fissuras de separação entre o meio bloco e a

Tabela 6 – Resultados de resistência à compressão médios dos prismas (tipo B)

Série	I	II	
f_{prisma} (MPa)	10,2	7,0	9,9
	10,9	9,2	6,5
	12,3	9,3	-
	9,5	9,6	-
f_p médio (MPa)	10,7	8,6	
Desvio-padrão (MPa)	1,19	1,45	
c.v (%)	11,1	16,9	

Tabela 7 - Resistência dos blocos, argamassas, prismas e suas proporções (tipo B)

Série	f_{bloco} (MPa)	$f_{arg.}$ (MPa)	f_p médio (MPa)	f_p médio/ f_{bloco}	$f_{arg.}/f_{bloco}$
I	23,1	18,2	10,7	0,46	0,79
II	23,1	8,5	8,6	0,37	0,37

Tabela 8 – Módulo de elasticidade e Poisson dos prismas com junta vertical (tipo B)

Prisma	n*	σ/fc	Módulo de elasticidade	Módulo de elasticidade	Poisson
			1 Junta	2 Juntas	
I	4	0,34	17620	14827	0,44
II	6	0,32	16480	14291	0,50

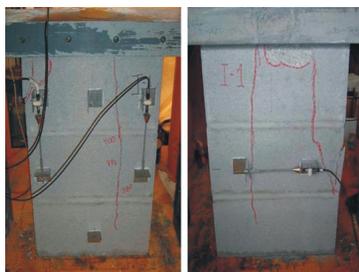
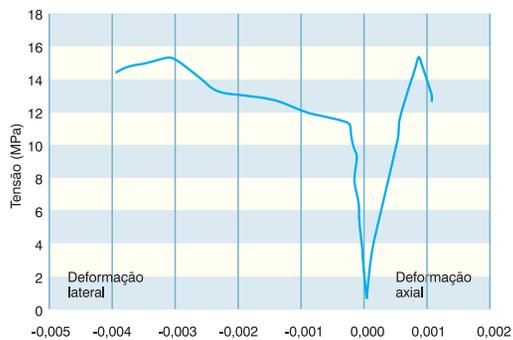


Figura 4 - Diagrama tensão-deformação do prisma A e argamassa I

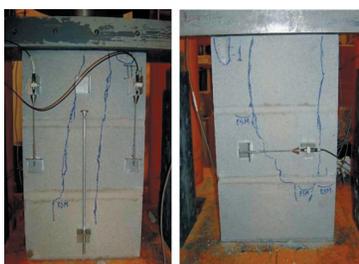
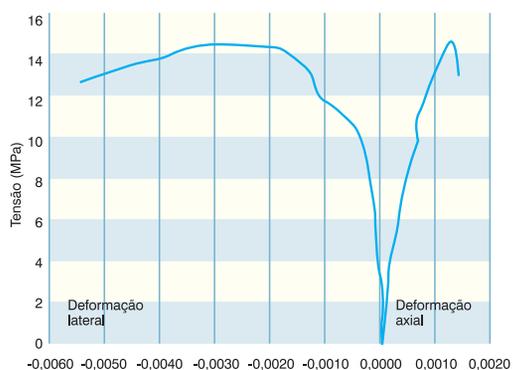


Figura 5 - Diagrama tensão-deformação do prisma A e argamassa II

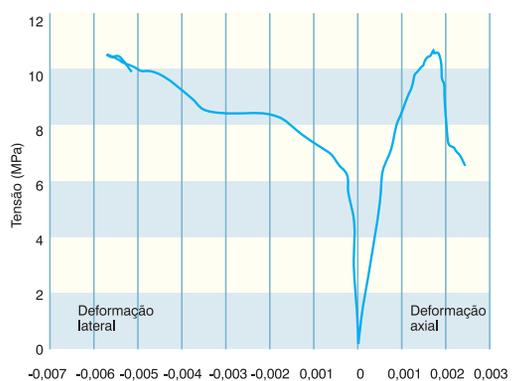


Figura 6 - Diagrama tensão-deformação do prisma B e argamassa I

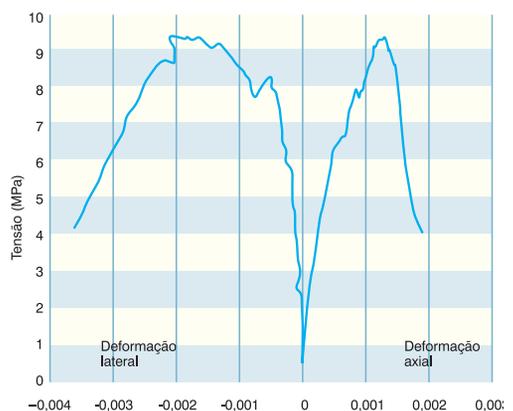


Figura 7 - Diagrama tensão-deformação do prisma B e argamassa II

junta vertical de argamassa. A fissura foi observada quando a tensão atingiu, aproximadamente, 30% da resistência à compressão do conjunto.

Os prismas construídos com a argamassa de traço I apresentaram os seguintes modos de ruptura: esmagamento localizado da argamassa de assentamento, o esfacelamento da superfície do bloco e fissuras verticais no bloco. Verificou-se uma redução significativa na resistência do prisma gerada pela presença da junta vertical de assentamento. Provavelmente essa redução na eficiência se deve ao fato das alvenarias de blocos justapostos, com amarração entre fiadas, não coincidirem as paredes transversais em cada fiada e, também, pode estar associado ao modo de ruptura que a junta vertical produz. Notou-se ainda, pela presença da junta vertical de assentamento, uma sensível redução no valor do módulo de elasticidade.

Os prismas de dois blocos inteiros e uma junta vertical, construídos com argamassa de traço I e II, apresentaram um nível de resistência à compressão da ordem de 42% e 66% dos prismas de três blocos inteiros, respectivamente. Os prismas de três blocos inteiros apresentaram fatores de eficiência médios da ordem dos 0,63. Já os prismas de dois blocos inteiros e uma junta vertical, as paredes apresentaram fatores de eficiências médios de 0,42 e 0,45, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

British Standard Institution. "Code of practice for use of masonry – Part 1: Structural use of unreinforced masonry". BS5628, London, 1992.

Vermeltfoort, A.T. Brick-mortar Interaction in masonry under pressure. PhD thesis. Technical University of Eindhoven, October.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. "Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto: procedimentos". NBR10837, Rio de Janeiro, 1989.

Mohamad, G. et al. Mechanical Behaviour Assessment of Concrete Block Masonry Prismes Under Compression. International Conference on Concrete for Structures (INCOS). Coimbra, Portugal. 2005, pp 261-268.

European Standard. "Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures". Eurocode 6, 2005.

AUTORES

Gihad Mohamad
Professor doutor, Departamento de Engenharia Civil
Universidade do Extremo Sul Catarinense, Unesc, Brasil

Paulo Brandão Lourenço
Professor doutor, Departamento de Engenharia Civil
Universidade do Minho, UMinho, Portugal

Humberto Ramos Roman
Professor doutor, Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Catarina, Ufsc, Brasil