

Influência da junta vertical no comportamento mecânico da alvenaria de blocos de concreto



Gihad Mohamad¹



**Paulo Brandão
Lourenço²**



**Humberto Ramos
Roman³**

RESUMO

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 BS-5628 [1], e dois tipos de prismas com e sem a presença da junta vertical. As conclusões obtidas foram: o surgimento das não-linearidades da alvenaria corresponde ao aumento das deformações laterais devido à extensiva fissuração do material 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; 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; a presença da junta vertical de assentamento levou ao surgimento de fissuras de separação entre o meio bloco e a junta vertical de argamassa, quando a tensão atingiu aproximadamente 30% da resistência à compressão do conjunto; os prismas de dois blocos inteiros e uma junta vertical (B) construídos com a 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 (A), respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE

Blocos de Concreto, Alvenaria estrutural, modo de ruptura, comportamento à compressão.

¹ Universidade do Extremo Sul Catarinense, Departamento de Engenharia Civil, 88806-000, Criciúma, SC, Brasil. gihad@unesc.net

² Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 4800-058 Guimarães, Portugal. pbl@civil.uminho.pt

³ Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil humberto@ecv.ufsc.br

1. 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, como afirma VERMELTFOORT [2]. 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. Este trabalho pretende analisar os resultados mecânicos de prismas associando o modo de ruptura, em função da proporção resistente entre os materiais (bloco e argamassa), bem como iniciar uma discussão nas características de deformabilidade linear e não-linear do conjunto. A Fig. 1 apresenta o esquema da distribuição das tensões nos materiais.

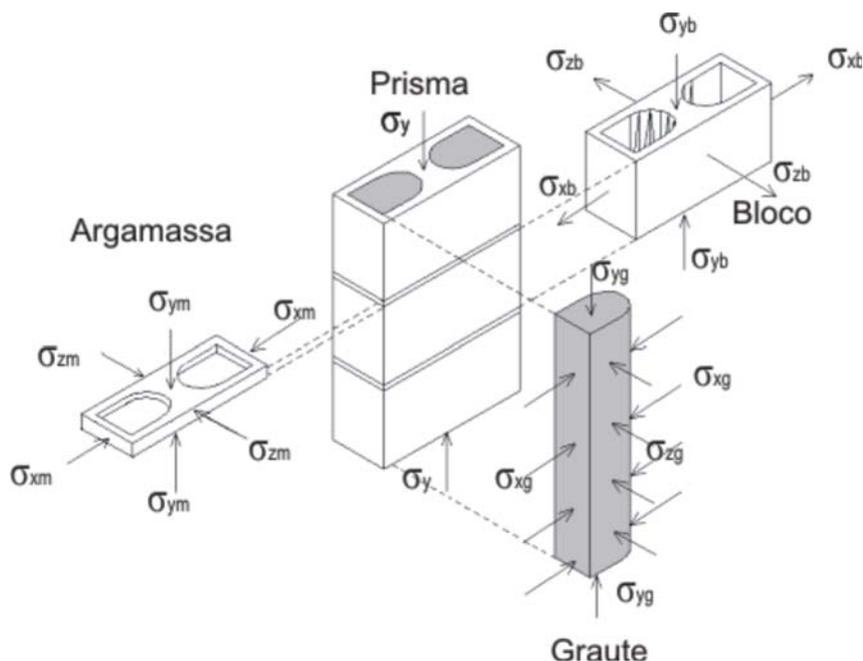


Figura 1. Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais.

1.1 Resistência 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), MOHAMAD [3] e [4]. Um conceito bastante usado para definir essa relação chama-se fator de eficiência. 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.

1.2 Objetivos do trabalho

O trabalho pretende avaliar o comportamento mecânico de dois tipos de prismas de blocos de concreto confeccionados com dois traços de argamassas, por meio dos parâmetros de resistência à compressão, deformabilidade axial, deformabilidade lateral e modo de ruptura.

2. METODOLOGIA E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para os estudos experimentais foram testados dois tipos de prismas, o primeiro foi designado como “A” e possuía 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, possuía 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. O número total de prismas do tipo A foram oito, ou seja, 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 mostrado no Quadro 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 pudesse aumentar a dispersão dos valores de resistência. Foram testados dois traços de argamassas designados como I e II, na qual as proporções de materiais em volume são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 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

As deformações axiais de uma e duas juntas de assentamento são apresentados na Figs 2 e 3. Ao todo foram utilizados seis lvdts de diferentes campos de deslocamento. Os lvdts foram os seguintes: 50237, 50238 e 50239, com campo de deslocamento máximo de ± 1 mm (base de medida de 20 cm); lvdt 40351 com campo de deslocamento máximo de ± 5 mm (base de medida de 40 cm). Já os lvdts T1W e T2W acompanhavam as chapas de aço e possibilitavam observar se ocorria a flexão da chapa de transferência da carga.

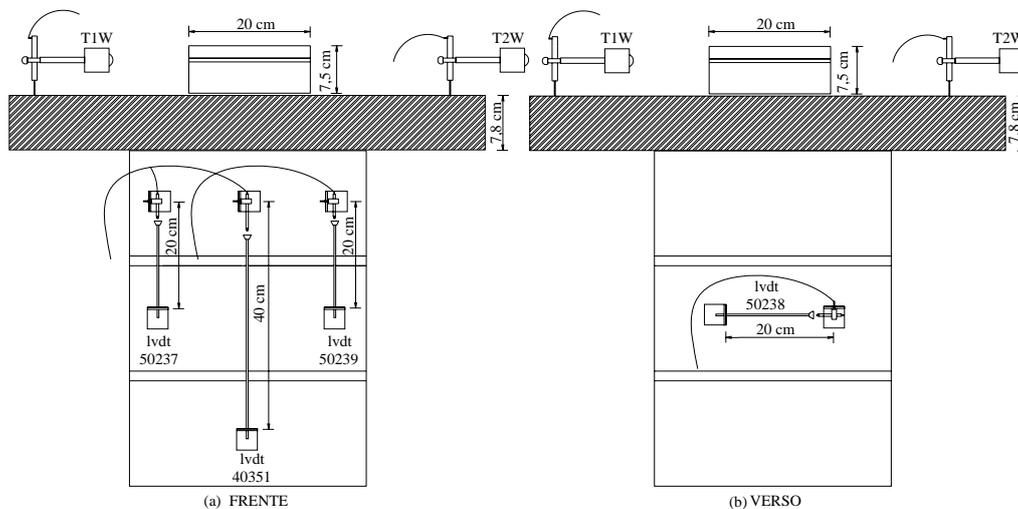


Figura 2. Posicionamento dos lvdts nos ensaios de prismas de três blocos inteiros (tipo A).



lvdts=50237, 71943 e 50239



lvdt= 50238

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

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Resultados experimentais dos prismas tipo A

Os resultados de resistência à compressão individuais (f_{prisma}) e médios ($f_{p\ médio}$) dos prismas de três blocos (tipo A) são especificados no Quadro 2, com os respectivos desvios-padrão e coeficiente de variação. As resistências dos prismas são apresentadas na área líquida. O Quadro 3 apresenta os resultados médios de resistência do bloco, argamassa e prisma, juntamente com as relações f_{prisma}/f_{bloco} (fator de eficiência) e $f_{arg.}/f_{bloco}$.

Quadro 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

Quadro 3. Resistência dos blocos, argamassas, prismas e suas proporções.

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

As equações potenciais, utilizando os valores médios dos prismas, estabelecem a correspondência entre os valores de $f_{p\ médio}/f_{bloco}$ e $f_{arg.}/f_{bloco}$, possibilitando a comparação da influência da argamassa e do bloco, na forma apresentada pelo EUROCODE 6 [5], Eq. (1).

$$f_{pmédio} = 0,6929 \cdot f_{arg}^{0,0597} \cdot f_{bloco}^{0,9403} \quad (1)$$

Pelo coeficiente obtido na Eq. 1, notou-se a pouca influência na resistência do prisma causada pela resistência da argamassa. Nos resultados experimentais não se consegue estimar o aumento da rigidez da junta de argamassa proporcionado pelo confinamento. O Quadro 4 apresenta os resultados médios de deformabilidade, a proporção tensão/resistência e o módulo de elasticidade secante dos prismas com uma junta de assentamento, obtidos pelos lvdts designados por 50237 e 50239. 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.

Quadro 4. Resultados médios experimentais de deformabilidade dos prismas.

<i>Prisma</i>	<i>n</i>	<i>Deformação média (50237 e 50239)</i>	σ/f_c	<i>Elasticidade (MPa)</i>
I	4	0,0002266	0,31	20989
II	4	0,0002447	0,33	19405

O Quadro 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, possibilitando a determinação do coeficiente de Poisson do prisma.

Quadro 5. Resultados médios experimentais de deformabilidade dos prismas.

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

As Figs 4 e 5 apresentam o diagrama tensão-deformação axial e lateral dos prismas confeccionados com argamassas de traço I e II.

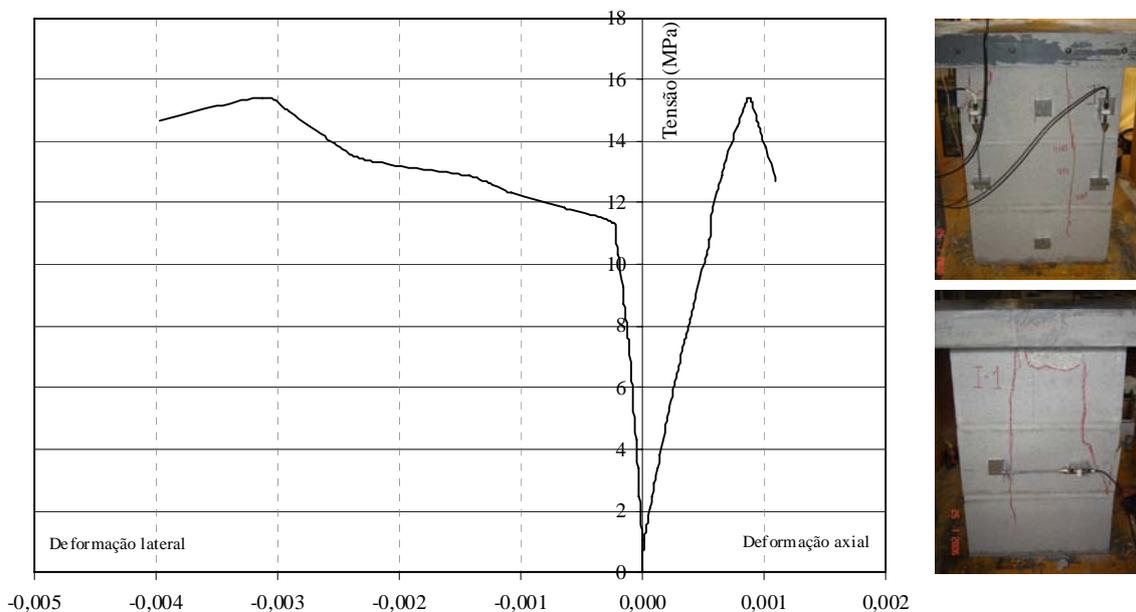


Figura 4. Diagrama tensão-deformação do prisma A e argamassa I.

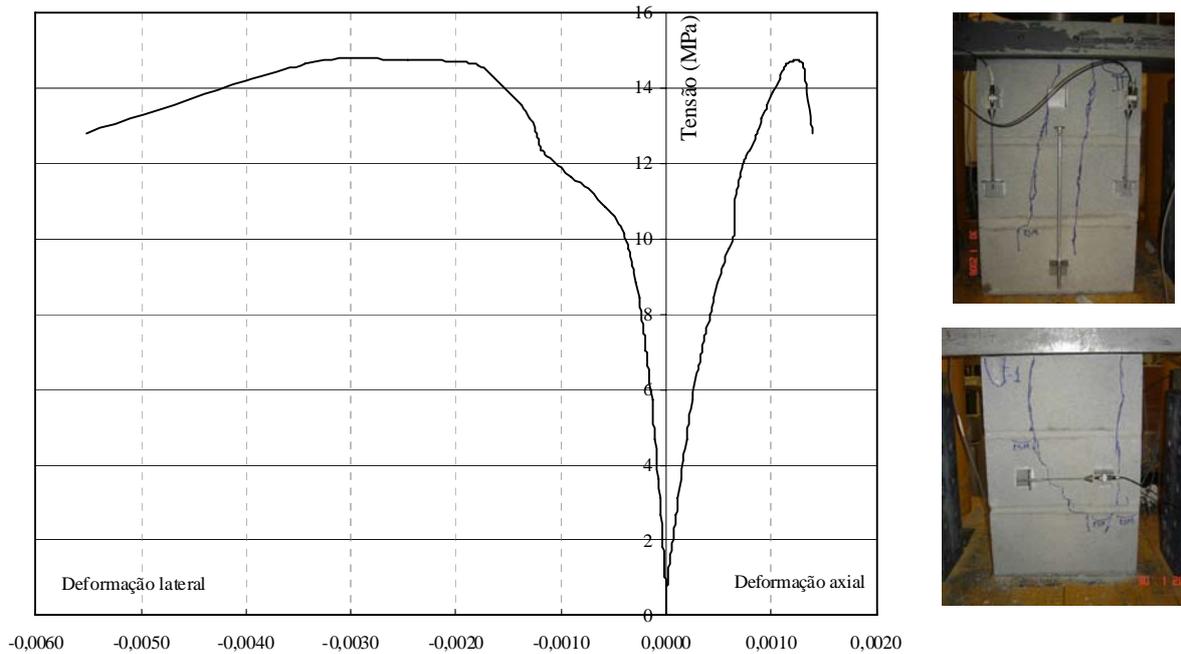


Figura 5. Diagrama tensão-deformação do prisma A e argamassa II.

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 Fig. 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.

3.2 Resultados experimentais dos prismas tipo B

Os resultados individuais de resistência dos prismas são especificados no Quadro 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 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. O Quadro 7 apresenta os resultados médios de resistência do bloco, argamassa e prisma, juntamente com as relações f_{prisma}/f_{bloco} (fator de eficiência) e $f_{arg.}/f_{bloco}$.

Quadro 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	

Quadro 7. Resistências 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

A equação potencial estabelece a correspondência entre os valores da f_p médio/ f_{bloco} e $f_{arg.}/f_{bloco}$, proporcionando a comparação com o fornecido no EUROCODE 6 [5], conforme mostra a Eq. (2).

$$f_{p\text{médio}} = 0,4972 \cdot f_{arg}^{0,30} \cdot f_{bloco}^{0,70} \quad (2)$$

Os resultados demonstraram a maior influência da resistência do bloco na resistência do prisma, onde os expoentes da Eq. (2) são 0,30 e 0,70, para a argamassa e bloco, respectivamente. O Quadro 8 apresenta os resultados médios do módulo de elasticidade secante para a proporção tensão/resistência (σ/f_c) 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, foi verificada 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.

Quadro 8. Módulo de elasticidade e Poisson dos prismas com junta vertical (tipo B).

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

As Figs 6 e 7 apresentam o diagrama tensão-deformação axial e lateral dos prismas confeccionados com argamassas de traço I e II.

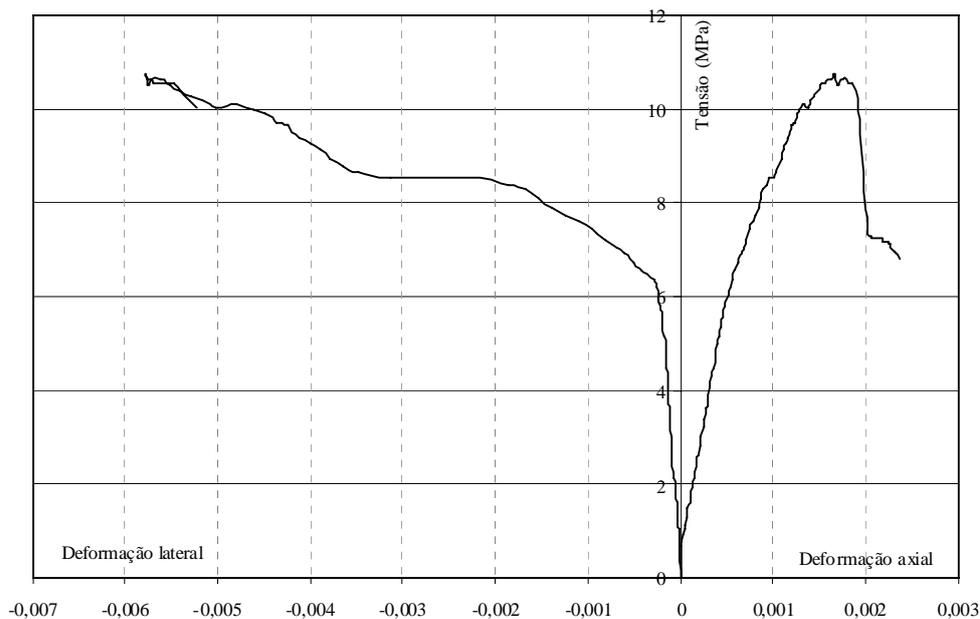


Figura 6. Diagrama tensão-deformação do prisma B e argamassa I.

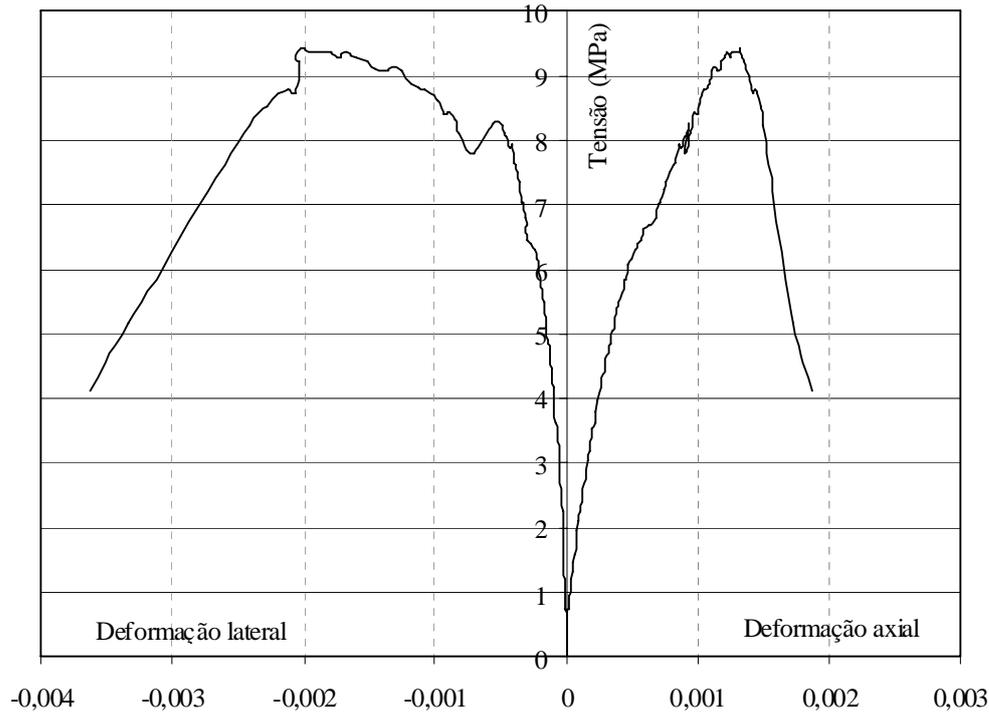


Figura 7. Diagrama tensão-deformação do prisma B e argamassa II.

3. CONCLUSÕES

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

- [1] BS 5628- British standard institution - Code of practice for use of masonry – Part 1: Structural use of unreinforced masonry. London, 1992.
- [2] VERMELTFOORT, A.T- Brick-mortar Interaction in masonry under pressure, PhD thesis. Technical University of Eindhoven, October.
- [3] MOHAMAD, G. et al - Mechanical Behaviour Assessment of Concrete Block Masonry Prisms Under Compression, International Conference on Concrete for Structures (INCOS), Coimbra, Portugal. 2005, pp 261-268.
- [4] MOHAMAD, G. – Mecanismo de ruptura de alvenarias de blocos a compressão. UMinho: Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 2007. 312 p. Tese de Doutoramento.
- [5] EUROCODE 6, European standard - Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, 2005.