



## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ANISOTRÓPICO DE PRISMAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA

**Jefferson Bruschi da Silva (1); Cristiano Richter (2); Jean Marie Désir (3);**

(1) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil – e-mail: jbsilva@unisinos.br  
(2) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil – e-mail: engrichter@unisinos.br  
(3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: jean.marie@ufrgs.br

### RESUMO

A tecnologia de alvenaria estrutural cerâmica tem sido largamente empregada no Brasil na construção de habitações. Esta aplicação tem se justificado pelo avanço da tecnologia, com destaque aos materiais constituintes. O avanço tecnológico dos blocos estruturais cerâmicos, em especial no estado do Rio Grande do Sul, foi notório nos últimos anos. Com esse avanço, fica evidente a ampliação da aplicação da tecnologia de alvenaria estrutural. Principalmente na construção de edificações mais altas, como exemplos atuais de edifícios residenciais de catorze pavimentos em alvenaria estrutural cerâmica. Dada a importância do comportamento estrutural da alvenaria, neste contexto, é fundamental o conhecimento referente às propriedades mecânicas dos seus elementos constituintes. O presente trabalho tem como objetivo analisar comparativamente as tensões e as deformações transversais e longitudinais de prismas de alvenaria, a partir de combinações compostas por duas amostras diferentes de blocos cerâmicos e três resistências de argamassa industrializada, ambos comercializados na região sul do Brasil. Foram ensaiados prismas formados por blocos cerâmicos de duas fiadas de altura e uma fiada de comprimento com junta de argamassa estrutural. As variáveis de estudo foram a geometria interna dos blocos, consequentemente variação na resistência à compressão, e resistência da argamassa de assentamento. O programa experimental contou com ensaios de compressão na direção perpendicular e paralela à junta de assentamento, bem como as deformações longitudinais e transversais alcançadas pelo elemento. Em posse destes dados, foi possível observar suas propriedades anisotrópicas, característica de materiais que não se deformam igualmente em sentidos de aplicação de força diferentes. Esse estudo contribuiu para o conhecimento dos materiais e elementos constituintes da alvenaria estrutural, possibilitando em modelagens futuras uma melhor confiabilidade da aplicação da tecnologia.

Palavras-chave: alvenaria estrutural; prisma cerâmico; comportamento anisotrópico, coeficiente de Poisson.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda de projetos de edificações em alvenaria estrutural impõe a necessidade de aprimoramento nos estudos dessa tecnologia construtiva. Segundo Capuzzo (2005), sem o aprofundamento nos modelos de cálculos atuais, poderão acontecer dois principais erros na elaboração de projetos: projetos economicamente inviáveis ou projetos com sua segurança estrutural comprometida. Como deve haver uma correlação entre os modelos matemáticos de cálculo e os estudos experimentais dos materiais e elementos constituintes da alvenaria, nota-se da importância de desenvolver essas duas vertentes em paralelo para o refinamento e avanço da tecnologia construtiva.

O avanço tecnológico dos blocos estruturais cerâmicos, em especial no estado do Rio Grande do Sul, foi notório nos últimos anos. Com esse avanço, fica evidente a ampliação da aplicação da tecnologia de alvenaria estrutural. Principalmente na construção de edificações mais altas, como exemplos atuais de edifícios residenciais de catorze pavimentos em alvenaria estrutural cerâmica. Dada a importância do comportamento estrutural da alvenaria, neste contexto, é fundamental o conhecimento referente às propriedades mecânicas dos elementos constituintes da alvenaria estrutural.

A resistência à compressão da alvenaria é uma das propriedades mecânicas fundamentais da alvenaria estrutural, já que qualquer falha neste sentido pode gerar sérios problemas estruturais à edificação (Barbosa, 2004). Estudos mostram que ensaios de resistência à compressão de blocos e argamassas, isoladamente, não representam corretamente o comportamento das alvenarias. É necessário o estudo de elementos de alvenaria, confeccionados pelas unidades que o compõem. Silva (2007) concluiu em sua pesquisa que o prisma de três blocos de altura é a melhor geometria para se representar a resistência da alvenaria, já que a resistência deste corpo-de-prova é a mais próxima da resistência da parede, chegando a ser equivalente em alguns casos. Já a NBR 8215 (ABNT, 1983), norma que regulamenta ensaios de prismas com unidades de concreto, recomenda prismas de duas fiadas de altura.

O módulo de elasticidade também é uma propriedade importante de estruturas em alvenaria. A partir dele é possível compreender o comportamento da alvenaria e prever suas deformações. A norma NBR 8522 (ABNT, 2003), que trata do módulo de elasticidade, contempla apenas corpos de prova de concreto. Salienta-se que a norma faz as mesmas recomendações para ensaios em unidades cerâmicas.

Outra propriedade importante para a formulação de modelos matemáticos capazes de reproduzir o comportamento de uma alvenaria é o coeficiente de Poisson, o qual pode ser estimado com as deformações específicas longitudinais e transversais no ensaio de compressão da alvenaria. Se comparados os coeficientes adquiridos, via dados do ensaio de resistência à compressão perpendicular e paralela à junta de argamassa de assentamento, pode-se descrever um comportamento isotrópico ou anisotrópico. O comportamento isotrópico é característica de materiais que se deformam igualmente em sentidos de aplicação de força diferentes; já materiais anisotrópicos não se deformam igualmente. Esse último, por sua vez, o estudo de seu comportamento tem de ser mais complexo.

Entender o comportamento da alvenaria, através dessas importantes propriedades, é de suma importância para avançar no conhecimento da tecnologia. Observa-se que a tecnologia construtiva de alvenaria estrutural avançou nos últimos anos. É possível afirmar que isso ocorreu não só pelo avanço dos modelos matemáticos, mas também pelo avanço dos materiais constituintes da alvenaria.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar comparativamente as tensões e as deformações transversais e longitudinais de prismas de alvenaria, a partir de combinações compostas por duas amostras diferentes de blocos cerâmicos e três resistências de argamassa industrializada, ambos comercializados na região sul do Brasil.

## 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Foram ensaiados corpos-de-prova de prismas de alvenaria, compostos de blocos cerâmicos e

argamassas estruturais. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) em parceria com o Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

### 3.1 Unidades estruturais

A tabela 1 apresenta as unidades de blocos cerâmicos estruturais e argamassa de assentamento estrutural estudadas, com suas respectivas nomenclaturas. Os blocos cerâmicos são fabricados pela mesma indústria cerâmica; ou seja, são produzidos pelo mesmo processo de produção, variando sua geometria interna e temperatura de queima. As argamassas de assentamento estrutural foram fornecidas pelo mesmo fabricante, adquiridas em sacos de 40kg, com misturas industrializadas de diferentes resistências nominais.

Tabela 1 – Unidades estruturais

Nomenclatura das unidades	Corpo-de-prova	Dimensões nominais(cm) (largura x altura x comprimento)	Resistência à compressão nominal <sup>1</sup> (MPa)
B1		14x19x29	10
B2		14x19x29	10
A1		4x4x16	4
A2		4x4x16	6
A3		4x4x16	8

<sup>1</sup> Resistência à compressão especificada pelo fabricante.

Com o auxílio das normas NBR15270-2 (ABNT, 2005a) e NBR15270-3 (ABNT, 2005b), foram realizados os ensaios de resistência à compressão para cada um dos dois tipos de blocos cerâmicos.

Quanto aos ensaios de argamassa, esses foram realizados utilizando as técnicas descritas nas normas

NBR 13276 (ABNT, 2005c) e NBR 13279 (ABNT, 2005d). Cabe salientar que em detrimento da viabilidade de moldagem dos prismas, foram fixados os valores para o índice de consistência das argamassas analisadas em  $260 \pm 10$  mm.

### 3.2 Prismas

Utilizou-se duas geometrias diferentes de bloco e três resistências distintas de argamassa de assentamento para a confecção dos elementos. Isso resultou em um total de seis combinações entre bloco e argamassa. Foram confeccionados, baseados na norma NBR 8215 (ABNT, 1983), prismas de duas fiadas de altura e um bloco de comprimento para cada combinação de bloco e argamassa de assentamento. Como para cada ensaio é necessário, por norma, um mínimo de três prismas, foram confeccionados seis prismas por combinação, totalizando 36 elementos.

Para a confecção dos elementos, a argamassa foi colocada sobre as paredes do bloco, e posteriormente a outra unidade cerâmica foi assentada com auxílio do martelo de borracha, gerando o adensamento da argamassa, a fim de obter a junta desejada. Utilizou-se junta total com espessura de  $10 \pm 3$  mm. Cabe salientar que na etapa de confecção dos prismas, todas as amostras foram executadas pelo mesmo profissional para minimizar os erros de execução.

Os prismas foram ensaiados com o carregamento aplicado nas direções perpendicular à junta de assentamento (figura 1 – a) e paralela à junta de assentamento (figura 1 – b). Embora os blocos não sejam submetidos ao carregamento na direção paralela à junta de assentamento, esse ensaio foi realizado para verificar o comportamento anisotrópico da alvenaria. De fato os painéis de alvenaria, quando consideramos estado plano de tensão, estão quase sempre submetidos a um estado bidimensional de tensões, seja devido à presença de forças horizontais como as devidas ao vento, seja quando o painel se encontra confinado. Um conhecimento mais aprofundado das características do material permitirá uma melhor definição das leis de comportamento do material permitindo uma melhor interpretação de seu comportamento.

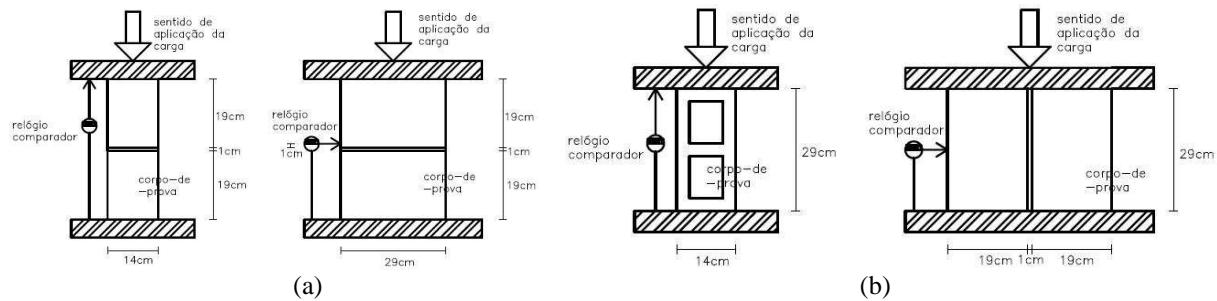


Figura 1 – Desenho esquemático dos prismas ensaiados com suas instrumentações, para obtenção de resultados de resistência à compressão e deformação com carga aplicada na (a) direção perpendicular à junta e (b) direção paralela à junta.

A prensa utilizada para os ensaios tem capacidade de carga de 2.000KN, equipada com um dispositivo capaz de acomodar os corpos-de-prova junto aos pratos da prensa. A instrumentação utilizada para a obtenção das deformações do prisma contou com relógios comparadores digitais, que permitiram a aquisição das deformações ao longo de incrementos de tensão da ordem de 0,5MPa até a ruptura do da amostra, por meio de uma câmera digital. Foi necessário rever as imagens para a aquisição das deformações a cada acréscimo de tensão conhecido. Posteriormente estas informações foram tabuladas, a fim de obter os gráficos de tensão-deformação. O módulo de elasticidade foi calculado entre 0,5MPa e o terço médio da carga de ruptura do prisma. Cabe salientar que, a não utilização do ponto inicial deve-se a imprecisão de sua determinação, devido à acomodação do elemento cerâmico junto aos pratos da prensa.



Figura 2 – Foto dos ensaios com carga aplicada nas direções (a) perpendicular à junta de argamassa de assentamento e (b) paralela à junta de argamassa de assentamento.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Unidades estruturais

Na Tabela 2 são apresentados os resultados médios da resistência à compressão para as amostras de bloco e argamassa utilizadas na confecção dos prismas cerâmicos.

Tabela 2 - Resistência à compressão

Corpo-de-Prova	Carga (KN)		Tensão <sup>2</sup> (MPa)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
B1	539,1	71,5	13,4	1,8
B2	672,0	79,8	16,5	2,0
A1	8,6	0,5	5,4	0,3
A2	14,1	0,9	8,8	0,5
A3	19,0	0,6	11,9	0,4

<sup>2</sup> Para o cálculo da tensão dos blocos (B1 e B2) foi utilizada a área bruta dos mesmos.

### 4.2 Prismas

#### 4.2.1 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão, alcançados pelos elementos cerâmicos estão resumidos na tabela 5.

Tabela 3 – Valores de resistência à compressão dos elementos cerâmicos ensaiados.

Corpo-de-Prova	Resistência à compressão na direção perpendicular à junta de argamassa				Resistência à compressão na direção paralela à junta de argamassa			
	Carga (KN)		Tensão <sup>5</sup> (MPa)		Carga (KN)		Tensão <sup>5</sup> (MPa)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
B1A1	228,1	5,3	5,7	0,2	106,1	8,1	2,0	0,1
B1A2	233,3	17,1	5,8	0,4	141,5	14,6	2,6	0,3
B1A3	256,5	61,2	6,3	1,5	103,0	27,9	1,9	0,5

Corpo-de-Prova	Resistência à compressão na direção <b>perpendicular</b> à junta de argamassa				Resistência à compressão na direção <b>paralela</b> à junta de argamassa			
	Carga (KN)		Tensão <sup>5</sup> (MPa)		Carga (KN)		Tensão <sup>5</sup> (MPa)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
B2A1	331,1	38,4	8,1	0,9	284,5	22,8	5,1	0,5
B2A2	281,4	21,1	7,0	0,6	298,3	67,3	5,4	1,2
B2A3	335,0	77,9	8,3	1,9	299,1	47,7	5,4	0,9

<sup>5</sup> Cálculo da tensão pela área bruta dos blocos.

De maneira geral, observou-se que a resistência à compressão com carregamento aplicado na direção perpendicular à junta de argamassa foi maior do que na direção paralela à junta. Isso é um tanto óbvio, visto que para alvenaria estrutural os blocos devem ser assentados com seus furos na vertical. Característica importante em obras de alvenaria estrutural.

No ensaio de resistência à compressão na direção perpendicular à junta de argamassa de assentamento, verifica-se que os valores de resistência à compressão dos prismas moldados com os blocos tipo B1 foram menores do que com os blocos tipo B2. A variação da resistência da argamassa de assentamento resultou em acréscimos de resistência do elemento quando utilizadas com o bloco tipo B1. Já para os prismas confeccionados com o bloco tipo B2, essa variação não ficou evidente. Cabe salientar que a eficiência do prisma, frente ao ensaio isolado de bloco, demonstrou melhores resultados quando utilizadas as unidades cerâmicas do tipo B2. Acredita-se que esse comportamento ocorreu devido à maior espessura das paredes internas do bloco, facilitando as distribuições de tensões quando submetido à compressão.

Nos ensaios de compressão na direção paralela à junta de assentamento, as condições da argamassa não mostraram influência no resultado final da resistência à compressão do prisma cerâmico. A variável que demonstrou acréscimo na resistência foi à utilização do bloco do tipo B2, frente à utilização do bloco do tipo B1. Acredita-se que esse fato foi observado já que o bloco B2 possui uma área líquida maior do que o bloco B1, e esse aumento de área o torna capaz de absorver cargas maiores, visto que ambas as amostras são oriundas da mesma empresa, que utiliza a mesma matéria prima para confecção das unidades cerâmicas.

#### 4.2.2 Módulo de elasticidade dos prismas

A média e o desvio padrão do módulo de elasticidade das amostras de prismas cerâmicos estão expressos na tabela 4. Cabe salientar que os cálculos dos módulos foram obtidos através da área bruta dos elementos.

Tabela 4 - Módulo de elasticidade de prismas cerâmicos

Corpo-de-Prova	Módulo de Elasticidade (GPa)			
	Perpendicular à junta		Paralela à junta	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
B1A1	2,1	0,8	0,5	0
B1A2	3,2	0,4	0,6	0,1
B1A3	1,3	0,5	0,5	0,2
B2A1	2,3	0,3	0,8	0,4
B2A2	2,3	1,3	0,9	0,2
B2A3	1,4	0,5	0,8	0,3

Em relação aos resultados de módulo de elasticidade, percebe-se que no ensaio perpendicular à junta de assentamento, o módulo de elasticidade possui aparentemente uma correlação com o tipo de argamassa, pois a média dos valores obtidos varia de acordo com a resistência de argamassa utilizada. Já no ensaio paralelo à junta de assentamento, a interferência maior é em relação à geometria do bloco utilizado na confecção dos elementos cerâmicos, onde prismas confeccionados com o bloco do tipo B1 possuem módulo de elasticidade longitudinal menor do que os elementos estruturais confeccionados com o bloco do tipo B2. Esse fato nos remete novamente a avaliarmos o tamanho da área sujeita a aplicação da carga, já que, como mencionado anteriormente, os mesmos são confeccionados com igual matéria prima. Percebe-se com isso, que ao aumentar a espessura das paredes internas do bloco, os valores de módulo de elasticidade obtidos no ensaio paralelo à junta são superiores aos de prismas confeccionados por unidades com espessura de parede interna inferiores. Logo as deformações alcançadas por elementos formados por blocos do tipo B2 são inferiores aos confeccionados com o tipo B1. Isso evidencia que com o aumento da resistência dos blocos, há uma diminuição da deformação dos mesmos. Fato corroborado pela diferente geometria interna dos blocos estruturais.

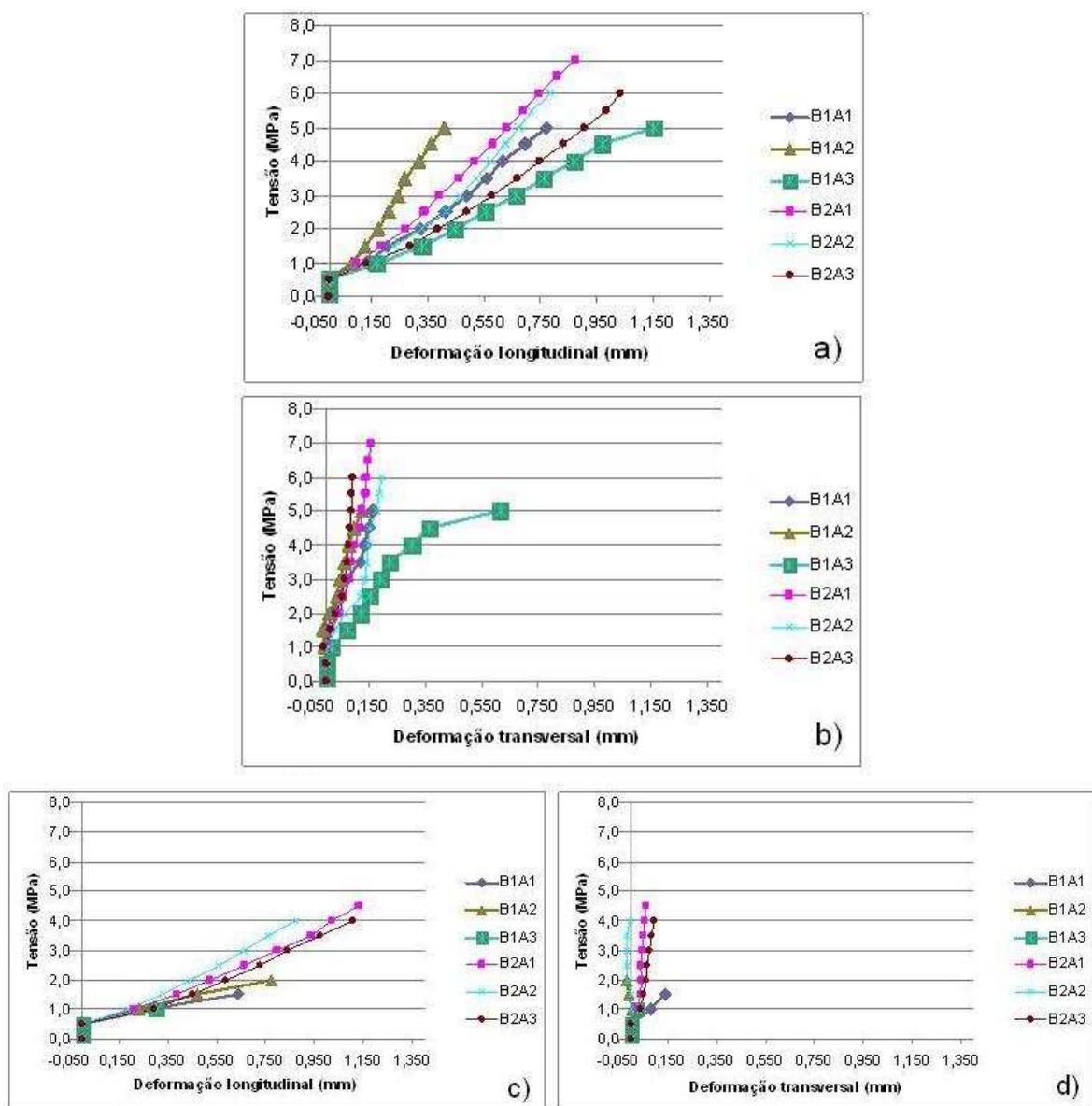


Figura 3 – Gráficos da tensão x deformação dos prismas ensaiados: (a) deformação longitudinal com carga aplicada na direção perpendicular à junta de argamassa de assentamento (b) deformação transversal com carga aplicada na direção perpendicular à junta (c) deformação longitudinal com carga aplicada na direção paralela à junta (d) deformação transversal com carga aplicada na direção paralela à junta.

Analizando os gráficos de tensão-deformação, nota-se que as deformações longitudinais dos prismas cerâmicos são superiores as deformações transversais em ambas as direções de ensaio. Percebe-se também que as deformações dos prismas compostos por blocos do tipo B2, paralela à junta de argamassa de assentamento, foram superiores as deformações alcançadas no ensaio na direção perpendicular. Já os prismas compostos por blocos B1, com exceção da composição B1A3, tiveram comportamento inverso, reduzindo a deformação longitudinal ao alterar a direção do ensaio de perpendicular para paralelo à junta de argamassa de assentamento.

Quanto à análise das deformações transversais, ficou evidente algumas deformações negativas, havendo uma retração do elemento naquele ponto específico. Isto mostra que o elemento não se deformou de maneira uniforme em todas as direções.

Nota-se na aquisição dos dados, uma grande variabilidade nos resultados. Esse fenômeno pode ter ocorrido devido à coleta dos dados ter sido realizada em apenas um ponto (figura 2 – b), diferente do outro sentido que se deu pelos pratos da prensa (figura 2 – a). É provável que o ponto de aquisição da deformação não represente linearmente o real comportamento do restante da alvenaria. No entanto, este fato ressalta a importância de um estudo que analise as deformações em diferentes pontos de leitura.

### 4.2.3 Coeficiente de Poisson

Qualquer alongamento ou compressão em um elemento, devido a uma força uniaxial, provoca uma contração ou expansão respectivamente nas dimensões perpendiculares à direção da força (figura 4).

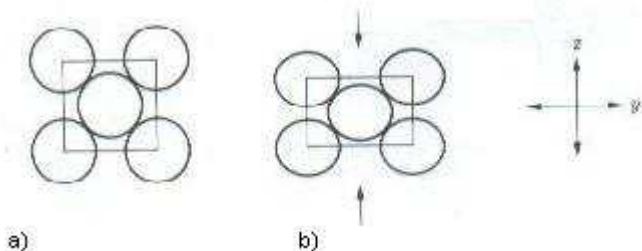


Figura 4 - Deformação normal elástica (exagerada). (a) nenhuma deformação (b) elemento submetido à compressão

Baseado nesse conceito, o coeficiente de Poisson, definida como a relação entre deformação específica transversal e deformação específica longitudinal, aparece como um parâmetro muito importante na análise do caráter isotropico ou anisotropico de um determinado material.

Um comportamento isotrópico presupõe as mesmas propriedades em todas as direções. Comportamento diferente da realidade da alvenaria estrutural que é formado por blocos e argamassas num arranjo muito heterogêneo, razão pela qual a mesma apresenta propriedades diferentes nas direções ortogonais.

Os valores de deformações transversais registrados nos ensaios mostram muita variabilidade. Se por um lado confirmam a existência do comportamento anisotrópico, são entretanto insuficientes para estimar com uma precisão aceitável o valor do coeficiente. Uma possível causa desta variabilidade está no fato dos valores terem sido lido em um ponto com apenas um relogio comparador e assim perderam representatividade. Já as deformações longitudinais, mesmo utilizando apenas um relógio comparador, registraram os valores ao longo de toda a área de aplicação da carga. Novas amostras foram preparadas para resolver este problema e poder avaliar adequadamente o coeficiente de Poisson na diferentes direções de análise.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procurou-se analisar o comportamento anisotrópico da alvenaria estrutural através da realização de ensaios com carregamentos em direções diferentes. Esta etapa resultou na construção de um conjunto de curvas tensão-deformação ressaltando alguns aspectos interessantes do comportamento da alvenaria. Procurou-se medir também, em uma tentativa mal sucedida os valores de coeficientes de Poisson associados a este comportamento. A grande variabilidade observada nas leituras realizadas confirma a necessidade de definir outro meio de aquisição para a análise deste parâmetro.

Quanto à anisotropia do material, fica clara a singularidade das deformações dos prismas analisados ao longo dos ensaios realizados. Os resultados obtidos nas direções perpendicular e paralela, ao apresentar valores de deformações tão distintas, evidenciam de fato um comportamento anisotrópico do material.

Por um lado, a análise do comportamento da alvenaria se mostrou válida, devido à visível diferença de comportamento nos diferentes sentidos de aplicação de carga, bem como as deformações longitudinais e transversais alcançadas pelos elementos. Por outro lado, estes dados são fundamentais quando é necessário acompanhar o comportamento deste elemento estrutural ao longo de sua vida útil. Isso ressalta a importância do aprofundamento de pesquisas relacionadas nesta área, já que ao se entender melhor as propriedades mecânicas da alvenaria, serão possíveis contribuir no aprimoramento desta tecnologia construtiva.

## 6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR8215: Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Preparo e ensaio à compressão: Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1983. 4p.

\_\_\_\_\_. NBR15270: Componentes Cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro. 2005a. 11p.

\_\_\_\_\_. NBR15270: Componentes Cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2005b. 27p.

\_\_\_\_\_. NBR13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro. 2005c. 3p.

\_\_\_\_\_. NBR13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro. 2005d. 9p

\_\_\_\_\_. NBR8522: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro. 2008. 16p.

BARBOSA, C.S. Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte. 2004. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

CAPUZZO, V.N. Intereração de paredes em alvenaria estrutural cerâmica sob ações verticais. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PRUDÊNCIO JR., L.R. Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre resistência de

unidades, prismas e paredes. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado). Universidade do Rio Grande do Sul, 1986.

SILVA, A.F. Avaliação da Resistência à Compressão da Alvenaria Estrutural. 2007. 109f. Programa e Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Ilha Solteiro, São Paulo, 2007.