



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

BT-20/88

DESEMPENHO DA ALVENARIA À COMPRESSÃO

LUIZ SERGIO FRANCO



Escola Politécnica - EPBC



31200052917



Boletim patrocinado pela

COMPANHIA CIMENTO PORTLAND ITAÚ

BOLETIM TÉCNICO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESCOLA POLITECNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

EDITOR RESPONSÁVEL

Prof. Norberto B. Lichtenstein

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Fernando H. Sabbatini
Prof.Dr. João da Rocha Lima Jr.
Prof.Dr. Orestes M. Gonçalves
Prof.Dr. Vahan Agopyan
Prof.Dr. Witold Zmitrowicz

O BOLETIM TÉCNICO é uma publicação do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pesquisadores desta Universidade.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL
Cidade Universitária - São Paulo - SP - Brasil
Caixa Postal 61548 - CEP 05508

Telex 011.32237 - Fone: 815.9322 R.234

DESEMPENHO DA ALVENARIA À COMPRESSÃO

Luiz Sérgio Franco *

FRANCO, Luiz Sérgio. Desempenho da alvenaria à compressão. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1988. 14 p. BT - PCC 20/88.

A Alvenaria Estrutural Não Armada vem sendo empregada no Brasil a partir do início da década de 70. Um baixo custo aliado a uma grande durabilidade e desempenho fazem com que este método construtivo seja intensivamente utilizado em construções habitacionais.

O uso deste sistema construtivo está, entretanto, restrito a prédios de baixa altura (até 5 pavimentos), devido principalmente, à falta de pesquisas, até em aspectos básicos como o desempenho estrutural das paredes.

Neste trabalho, é estudado o desempenho à compressão do elemento parede de alvenaria quando submetido à esforços verticais. Inicialmente, através de pesquisa bibliográfica são apresentados os principais fatores intervenientes no desempenho da parede.

Em complementação à pesquisa bibliográfica, é desenvolvido trabalho experimental, com corpos de prova de pequenas dimensões (prismas e paredinhas) e corpos de prova em escala natural (paredes), enfatizando-se tanto as propriedades de resistência da alvenaria como as propriedades de deformação.

Alvenaria Estrutural, Alvenaria Estrutural Não Armada, Parede resistente, Alvenaria de blocos cerâmicos, Alvenaria de blocos sílico-calcários, Ensaio de parede.

FRANCO, Luiz Sérgio. Compression performance of masonry. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1988. 14 p. BT - PCC 20/88.

Unreinforced Load-Bearing Masonry has been used in Brazil since early 70s. It is longely used in housing because of its performance, durability and low cost.

However the use of this building system is still restricted to low-rise buildings (up to 5 floors) due to lack of research in the country even for basic topics such as structural performance of the walls.

In this research, the mechanical performance of walls under compressive vertical loads are studied. Initially, in the bibliographical review the main factors which affect the performance of the walls are presented.

The experimental work is carried out with small specimens (prisms and wallets) and also with large ones (walls) emphazing not only the strength but also the deformation properties of the masonry.

Structural Masonry, Unreinforced Masonry, Loadbearing wall, clay blockwork, calcium-silicate blockwork, wall testing.

* Mestre em Engenharia e Professor Assistente do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	- 1
2. RESISTÊNCIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL NÃO ARMADA À COMPRESSÃO	- 1
2.1. Influência dos componentes constituintes da alvenaria	- 1
2.1.1. Blocos	- 1
2.1.2. Argamassas	- 3
2.2. A interação entre os componentes bloco-argamassa	- 4
2.2.1. Mecanismo de ruptura	- 4
2.2.2. Influência das características geométricas dos componentes	- 5
2.2.3. Influência das características de deformação da alvenaria	- 5
2.2.4. Influência da aderência	- 6
2.3. Efeito da mão-de-obra	- 6
3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS PAREDES DE ALVENARIA	- 6
3.1. Redução da capacidade resistente das paredes devido à esbeltez e a excentricidade de cargas	- 7
3.2. Determinação da capacidade resistente das paredes	- 7
4. TRABALHO EXPERIMENTAL	- 8
5. CARACTERÍSTICAS DE DEFORMABILIDADE DAS PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS E SÍLICO-CALCÁRIOS ENSAIADAS	- 9
5.1. Módulo de deformação das paredinhas de blocos cerâmicos	- 9
5.2. Comparação entre as características de deformação das paredes e dos materiais constituintes.	- 9
5.3. Comparação com os valores obtidos da bibliografia	- 10
5.4. Deformação transversal	- 10
6. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS E SÍLICO-CALCÁRIOS ENSAIADAS	- 10
6.1. Paredinhas	- 11
6.2. Prismas	- 11
6.3. Modo de ruptura das paredes de alvenaria	- 11
7. CONCLUSÕES	- 12
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 12

1. INTRODUÇÃO

A Alvenaria Estrutural Não Armada é, possivelmente, entre os métodos construtivos utilizados na área habitacional, o que permite as construções a menores custos, e de desempenho satisfatório, sendo preponderantemente empregado em todo o mundo nas construções de edifícios de baixa altura, em países que como o Brasil possuem baixa probabilidade de abalos sísmicos ou furacões de grande intensidade⁽¹⁾.

Embora, através deste método construtivo, já tenham sido executadas no Brasil mais de 25.000 unidades habitacionais em prédios de até 12 pavimentos, inexistem ainda estudos em quantidades suficientes que permitam o projeto dos edifícios baseados nas características dos materiais e dos métodos construtivos empregados no país. Na maioria das vezes, tais projetos norteiam-se por normas estrangeiras, com a adoção, por parte dos calculistas de altos coeficientes de segurança, não se explorando, desta forma, toda a potencialidade dos materiais, tornando os projetos menos racionais.

No presente trabalho pretende-se avaliar as características de resistência à compressão uniforme, bem como as características de deformabilidade das alvenarias de blocos cerâmicos e sílico-calcários.

2. RESISTÊNCIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL NÃO ARMADA À COMPRESSÃO

2.1. Influência dos componentes constituintes da alvenaria

2.1.1. Blocos

Os blocos ou tijolos representam normalmente de 80% a 95% do volume total da alvenaria, sendo elemento determinante de grande parte das características desta.

Neste trabalho, enfocam-se os blocos sílico-calcários e blocos cerâmicos estruturais. O bloco sílico calcário é produzido com areia quartzosa e cal, devidamente proporcionados e homogeneamente misturados, sendo moldado por prensagem e curado a vapor em alta pressão. A moldagem dos blocos cerâmicos pode ser realizada tanto por prensagem como por extrusão da massa argilosa, sendo o último método o empregado no Brasil. A fabricação completa-se com a secagem e a queima em fornos a temperaturas entre 800°C e 1100°C durante o período necessário para que alcancem as características desejadas.

Os requisitos funcionais dos blocos ou tijolos que possibilitam construir uma parede eficiente foram listados por

SABBATINI⁽²⁾. São eles: Resistência a esforços mecânicos, durabilidade frente a agentes agressivos, estabilidade dimensional, precisão dimensional. São relacionados também os que aumentam ao máximo a resistência de aderência, bem como os parâmetros físicos (densidade de massa, massa específica aparente, coeficiente de condutibilidade térmica, absorção total) os quais determinam características da parede como resistência ao fogo, resistência à penetração de chuva, isolamento térmico e isolamento acústico, além dos requisitos de ordem estética.

a) Resistência à compressão

A Alvenaria Estrutural Não Armada está preponderantemente submetida a esforços de compressão. Este é o motivo de haver uma concentração de estudos em todo o mundo na resistência à compressão.

A resistência dos tijolos ou blocos é a grande determinante da resistência da alvenaria. Esta influência é mostrada por THOMAS⁽³⁾ que apresenta na figura 1 ensaios de resistência à compressão da alvenaria para tijolos e argamassas de diferentes resistências, e observa que a resistência da alvenaria aumenta modestamente com o aumento da resistência da argamassa, mas cresce consideravelmente com a resistência dos tijolos.

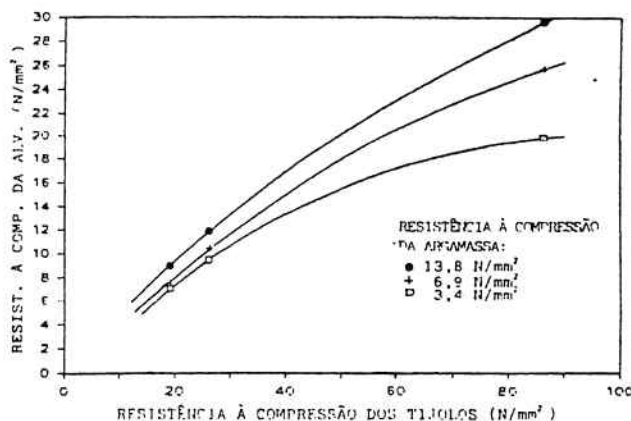


Figura 1 - Resistência à compressão da alvenaria em função da resistência dos tijolos e argamassas segundo THOMAS⁽³⁾.

HENDRY⁽⁴⁾ afirma que a resistência da alvenaria aumenta com a resistência do tijolo, porém não linearmente. A resistência da alvenaria é proporcional à raiz quadrada da resistência dos tijolos.

Cabe ressaltar, entretanto que a resistência dos blocos e tijolos é obtida através de ensaios normalizados que todavia não

reproduzem o estado de tensão a que fica submetida a alvenaria, mas serve como um índice para a obtenção da resistência de cálculo da alvenaria.

Os blocos sílico-calcários apresentam internacionalmente valores de resistência à compressão nos seguintes limites: na Inglaterra de 14,0 a 27,5 N/mm²; na Holanda, de 15,0 a 35,0 N/mm²; nos Estados Unidos, de 17,0 a 31,0 N/mm²; na Alemanha Ocidental, de 15,0 a 60,0 N/mm²; na Alemanha Oriental, de 15,0 a 25,0 N/mm² e na União Soviética, de 7,5 a 20,0 N/mm².

No Brasil em 1983, o Prof. F. H. Sabattini realizou ensaios de resistência à compressão em blocos sílico-calcários no Laboratório de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e obteve resultados que variam de 8,7 N/mm² a 17,1 N/mm².

Para os tijolos e blocos cerâmicos SUTHERLAND⁽⁴⁾ apresenta uma faixa entre 21 e 85 N/mm² para a resistência à compressão dos blocos produzidos na Grã-Bretanha. Já a norma deste país classifica os tijolos em termos de resistência à compressão em faixas que variam de 7,0 a 103,5 N/mm².

No Brasil, a norma NBR 7171/85⁽⁵⁾ classifica os blocos em faixas de resistência que variam de 1,5 a 10 N/mm².

b) Resistência à tração

Outro importante fator que influi na resistência à compressão da alvenaria é a resistência à tração dos blocos ou tijolos. Este fato é explicado pelo mecanismo de ruptura da alvenaria. Quando a alvenaria é submetida a compressão uniforme a ruptura se dá por fissuras devido a esforços de tração nos blocos ou tijolos, transversais à compressão aplicada.

SUTHERLAND⁽⁴⁾ afirma que a capacidade de suporte da parede de alvenaria depende da resistência de tração horizontal das unidades (blocos ou tijolos) e da aderência. ANDERSON⁽⁶⁾ reitera esta afirmação e acrescenta que é importante a inclusão das propriedades de resistência à tração na especificação dos tijolos.

c) Perfurações

A presença de perfurações nos blocos trouxe preocupações quanto ao comprometimento do desempenho estrutural das paredes. WEISS et alii⁽⁷⁾ demonstraram que para tijolos perfurados a diminuição da resistência à compressão está primariamente ligada à diminuição da área transversal efetiva e, secundariamente, ao aparecimento de pontos de concentração de tensões devido às

perfurações. O surgimento de tensões concentradas em blocos perfurados também foi comprovado por WEST et alii⁽⁸⁾. É de se lembrar que, quando as perfurações são no sentido horizontal, a diminuição da resistência é mais crítica, devido sobretudo à maior diminuição da área efetiva da seção transversal⁽⁹⁾.

No entanto em relação ao desempenho das paredes à compressão, a maioria dos autores afirma que quando se comparam blocos sólidos e perfurados de mesma resistência à compressão em relação a área bruta, os seus desempenhos são semelhantes, pois a diminuição de resistência do bloco perfurado já foi levada em conta no ensaio de resistência à compressão do material. Este comportamento é comprovado por WEST et alii⁽⁸⁾ em trabalho experimental, envolvendo ensaio à compressão de mais de 140 paredes.

Para blocos vazados, que possuem grandes volumes de perfurações, as espessuras das paredes das perfurações, bem como as paredes dos blocos tornam-se críticas. GOMES⁽¹⁰⁾ observou que em ensaios de paredes e de blocos com grande volume de perfurações, a ruptura inicia-se pelas nervuras ou flanges (paredes internas dos blocos), em contacto com as faces externas dos blocos.

d) Estabilidade dimensional

Os blocos cerâmicos e sílico-calcários como muitos outros materiais de construção são sujeitos a variações em suas dimensões com a variação da temperatura e do seu conteúdo de umidade. O coeficiente de expansão térmica e de retração na secagem reversível são mostrados por diversos autores^(4,11,12) e estão sumarizados na tabela 1.

Tabela 1 - Variações dimensionais devidas à variação de temperatura e do conteúdo de umidade dos tijolos e blocos.

MATERIAL	COEF. DE EXP. TÉRM. (C ⁻¹ x 10 ⁻⁶)	COEF. DE EXP. TÉRM. DA ALVEN. (C ⁻¹ x 10 ⁻⁶)	VARIACÃO DIM. DEVIDA À VARIACÃO DA UMIDADE (Z)	VARIACÃO DIM. DA ALVENARIA DEVIDA À VAR. DA UMIDADE (Z)
TIJO E BLOCO CERÂMICO	3 - 6	5 - 8	0,002 - 0,010	0,02 - 0,12*
BLOCO SÍLICO CALCÁRIO	11 - 18	8 - 14	0,010 - 0,050	0,01 - 0,05
BLOCO DE CONCRETO	13	6 - 12	0,010 - 0,050	0,02 - 0,06

*Expansão devida à umidade

Em muitos casos estas variações dimensionais levam à perda de aderência e ao conseqüente aparecimento de fissuras na interface bloco-argamassa.

Quanto à resistência à compressão, esta

parece não ser afetada significativamente pela variação dimensional dos blocos quando se trata de compressão axial¹¹. No entanto, no caso de compressão excêntrica, a resistência das paredes deve ser afetada. WATSTEIN E ALLEN¹² realizaram ensaios em paredes, utilizando argamassas normais e argamassas com adição de polímero. As paredes feitas com esta última apresentavam maior resistência à compressão que as feitas com argamassa normal, acentuando-se a diferença, com o aumento da excentricidade. Este aumento na resistência à compressão foi interpretado pelos autores como sendo devido ao aumento da aderência bloco-argamassa. ROSELLO¹³ cita em seu trabalho que a resistência das paredes frente às solicitações de cargas excêntricas depende da aderência.

e) Precisão dimensional

Nos países em que os tijolos ou blocos estão normalizados existe uma preocupação quanto à precisão dimensional.

A precisão dimensional está ligada à possibilidade de fabricação de uma alvenaria com juntas de dimensões uniformes, especialmente a espessura, e com um maior ou menor potencial de falha da mão-de-obra em relação às características geométricas da parede, além de prenciar uma maior ou menor variabilidade das outras características dos tijolos ou blocos.

2.1.2. Argamassas

A argamassa é conceituada como sendo material composto, plástico, constituído de agregado miúdo inerte e de uma pasta aglomerante. Tem a propriedade de aderir a materiais porosos e de endurecer após certo tempo¹⁴.

A junta de argamassa tem como função unir os blocos ou tijolos da alvenaria de forma que o todo constitua um elemento monolítico, que seja estanque à penetração de água, que distribua por toda a área dos tijolos ou blocos as tensões atuantes na parede e que seja capaz de absorver deformações como as de origem térmica ou as de retração por secagem.

As principais propriedades das argamassas podem ser divididas em dois grupos: propriedades no estado plástico (trabalhabilidade e capacidade de retenção de água) e propriedades no estado endurecido (resistência à compressão, resistência de aderência, capacidade de acomodar deformações, retração na secagem e durabilidade).

a) Trabalhabilidade

De influência direta na qualidade da alvenaria produzida por influenciar o preenchimento das juntas horizontais e das juntas verticais, bem como a precisão das características geométricas da parede, a trabalhabilidade resulta da capacidade que as partículas da argamassa possuem de deslizarem e rolarem entre si, devido à lubrificação exercida pela pasta e pelo ar incorporado na argamassa.

Os fatores que mais influenciam esta propriedade são: a) Quantidade de água da argamassa; b) Quantidade de aglomerantes em relação aos agregados; c) Quantidade de cal e forma como é empregada; d) Granulometria e forma dos grãos do agregado utilizado.

b) Capacidade de retenção de água

A água na argamassa desenvolve duas funções: é responsável pela hidratação do cimento que confere o endurecimento da argamassa e pela lubrificação entre os grãos que confere as características de trabalhabilidade. A capacidade da argamassa de não perder água quando em contacto com materiais de elevado poder de sucção é denominada de retenção de água.

DAVISON¹⁵ mostra que a perda de relativamente pequenas quantidades de água, resulta numa significativa queda na plasticidade da argamassa.

A capacidade de retenção de água de uma argamassa está intimamente ligada com a superfície específica dos componentes desta argamassa. Desta forma o método mais eficiente para se aumentar a retenção de água é aumentar a proporção de cal utilizada em relação ao cimento, uma vez que esta possui uma superfície específica muito maior que o cimento.

Os problemas causados por uma argamassa com deficiência na sua capacidade de retenção de água podem comprometer o desempenho da parede, em relação à penetração de água de chuva, em relação à diminuição da durabilidade, em relação à diminuição da resistência à compressão, e em relação à diminuição da resistência a esforços de tração e cisalhamento.

c) Resistência à compressão

A resistência à compressão da argamassa pouco influencia a resistência à compressão da alvenaria.

A diminuição da resistência à compressão da alvenaria com a diminuição da resistência da argamassa foi mostrada pelo BRS¹⁶ e é apresentada na figura 2 de onde se pode

observar que com a gradual diminuição da quantidade de cimento na argamassa, ocorre uma drástica diminuição na resistência à compressão da argamassa, mas uma pequena influência na resistência da alvenaria.

A aparente pouca influência que a argamassa exerce na resistência à compressão da alvenaria explica-se pelo estado multi-axial de tensão ao qual a argamassa está submetida, causada pela retenção da deformação lateral da argamassa da junta pelos blocos.

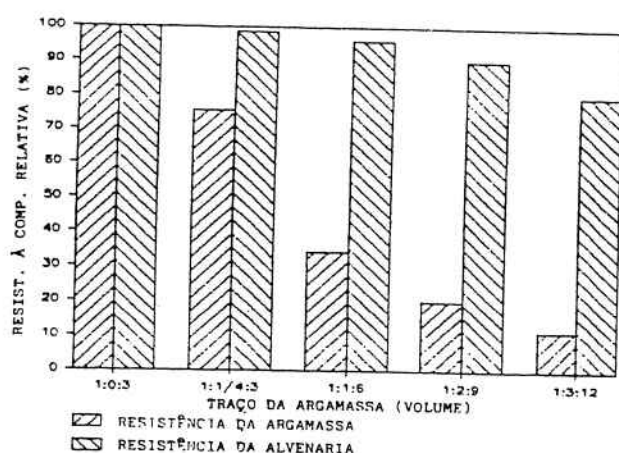


Figura 2 - Efeito da diminuição da resistência à compressão da argamassa na resistência à compressão da alvenaria⁽¹⁴⁾.

d) Capacidade de acomodar deformações

De certa forma os fatores que influenciam a capacidade de acomodar deformações de uma argamassa são os mesmos que influenciam a sua resistência à compressão. Desta forma, o fator preponderante desta capacidade é a quantidade de cimento portland que a argamassa possui. A substituição do cimento portland pela cal (argamassas mais fracas) leva a argamassas gradativamente menos rígidas e, portanto, capazes de acomodar melhor as deformações. Outros fatores como a granulometria da areia, a relação água-cimento e as condições de cura também influenciam esta capacidade.

HEDSTRON⁽¹⁷⁾ cita que as orientações provenientes dos trabalhos europeus indicam que é desejável uma argamassa fraca, entendendo como tanto aquela que possui baixo módulo de deformação e permite a movimentação dos blocos sem fissuração. ANDREWS⁽¹⁸⁾ afirma que o uso de argamassas pouco rígidas que permitam pequenos movimentos podem oferecer algumas vantagens em relação à resistência a penetração da chuva.

O uso de argamassas muito rígidas, portanto, pode implicar no comprometimento da parede de alvenaria com relação à estanqueidade, durabilidade e aos aspectos psicológicos relativos à segurança estrutural.

2.2. A interação entre os componentes bloco-argamassa

2.2.1. Mecanismo de ruptura

O modo de ruptura da alvenaria, quando submetida à compressão uniforme, é universalmente conhecido. Caracteriza-se pelo desenvolvimento de fissuras de tração paralelas ao eixo do carregamento. A argamassa, por ser geralmente menos rígida que os tijolos (ou blocos), tende a deformar-se transversalmente, quando submetida à compressão (Fig. 3). O movimento da argamassa é restringido pelos tijolos (ou blocos) que ficam submetidos à tensão de tração lateral, levando-os inicialmente à fissuração e finalmente à ruptura⁽⁴⁾.

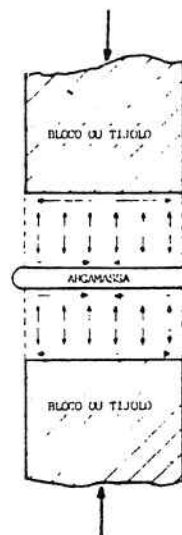


Figura 3 - Mecanismo simplificado de ruptura da alvenaria para cargas verticais.

Alguns modelos matemáticos foram desenvolvidos para explicar este mecanismo.

FRANCIS, HORMAN E JERRENS⁽¹⁹⁾ desenvolveram um modelo elástico para a ruptura de prismas de alvenaria que supõe tensões de tração lateral nos blocos e compressão na argamassa, quando o conjunto está submetido à compressão axial.

No trabalho original os resultados teóricos mostraram razoável aproximação com os resultados obtidos em seu programa experimental.

Uma outra teoria para a resistência da alvenaria foi proposta por HILSDORF⁽²⁰⁾. Esta teoria admite como hipótese a existência de uma relação linear entre a tensão de tração lateral dos blocos e sua tensão de compressão, como sendo igual a resistência à compressão média da alvenaria multiplicado por um fator de não uniformidade.

O coeficiente de não uniformidade é uma variável que depende de diversos parâmetros como a espessura da junta, tipo e resistência da argamassa, tipo e perfurações dos tijolos e tipo de amarração da alvenaria. HILSDORF aponta uma margem de erro da ordem de 20% entre os valores experimentais e os teóricos.

KOO e HENDRY⁽²¹⁾ desenvolveram uma teoria a partir da mesma hipótese de HILSDORF de que o bloco se encontra num estado biaxial de tração-compressão e a argamassa num estado triaxial de compressão, entretanto, estabeleceram experimentalmente a envoltória biaxial de compressão-tração para os tijolos e o efeito do confinamento lateral na resistência à compressão da argamassa.

Segundo seus autores, os resultados calculados a partir desta teoria apresentam uma boa correlação com os resultados experimentais.

Os modelos matemáticos são de pouca aplicação prática, pois envolvem a obtenção de parâmetros que geralmente apresentam grande dispersão de resultados, ou ainda parâmetros como o coeficiente de não uniformidade que depende de vários outros fatores. Deve-se finalmente lembrar que tais modelos foram desenvolvidos para a obtenção da resistência à compressão de um prisma de alvenaria, que se comporta diferentemente da parede de alvenaria.

Apontam-se as seguintes conclusões, da observação de tais modelos: i) O aumento da espessura da junta diminui a resistência da alvenaria, ii) Quanto maior a relação entre a altura do tijolo e a espessura da junta, maior a resistência da alvenaria, iii) Quanto maior a resistência à tração dos tijolos maior a resistência à compressão da alvenaria, iv) Para otimizar a resistência à compressão da alvenaria deve-se empregar tijolos com pouca variação dimensional.

2.2.2. Influência das características geométricas dos componentes

Como foi visto no item anterior, o aumento da espessura da junta de argamassa e a diminuição da altura dos blocos diminuem a resistência da alvenaria.

SUTHERLAND⁽⁴⁾ classifica o efeito da

espessura da junta de argamassa como "razoavelmente crítico".

Os resultados experimentais de FRANCIS et alii⁽¹⁷⁾ são apresentados na Fig. 4 e mostram claramente a diminuição da resistência da alvenaria com o aumento da espessura das juntas. Estes autores relembram ainda em seu trabalho o importante papel das juntas na distribuição das tensões por toda a área resistente dos blocos.

Estas características são levadas em consideração na norma inglesa BS 5628 Part 1:1978⁽²¹⁾, na qual as tabelas de resistência básica da alvenaria são dadas em função da altura do bloco pela espessura da junta de argamassa.

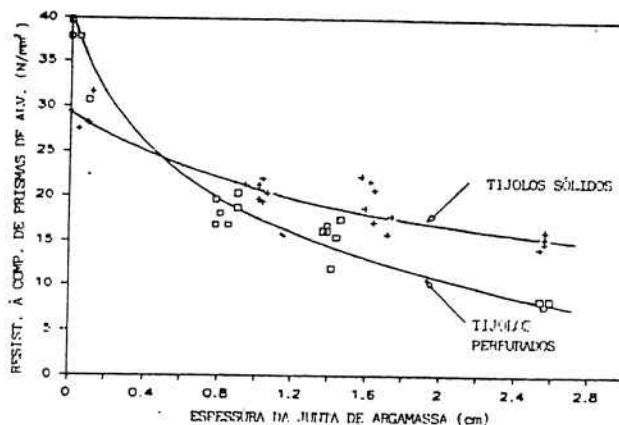


Figura 4 - Diminuição da resistência à compressão da alvenaria com o aumento da espessura da junta de argamassa para tijolos sólidos e perfurados⁽¹⁷⁾.

2.2.3. Influência das características de deformação da alvenaria

O conhecimento das características de deformação da alvenaria sob cargas de trabalho, é de vital importância para o entendimento do comportamento do edifício como um todo.

Uma correlação entre o módulo de deformação da alvenaria, a resistência dos blocos e a resistência da alvenaria foi obtida por PLOWMAN⁽²²⁾ para blocos cerâmicos, baseado no trabalho experimental de diversos pesquisadores. Ele estabeleceu as seguintes relações:

$$E_{pa} = (\sigma_{pa} - 0,6894) \cdot 100 \quad (N/mm^2)$$

$$E_{pa} = (\sigma_b + 20,6841) \cdot 200 \quad (N/mm^2)$$

onde: E_{pa} é o módulo de deformação da alven.
 σ_{pa} é a resistência à comp. da alven.
 σ_b é a resistência à comp. dos blocos.

Os valores de módulo de deformação para alvenaria de blocos sílico-calcários variam de 3.650 N/mm^2 a 10.000 N/mm^2 segundo diversos pesquisadores citados em⁽¹⁾.

Outra importante característica de deformação da alvenaria é a deformação lenta.

Segundo PLOWMAN⁽²²⁾, os fatores que influenciam a deformação lenta são: i) Conteúdo de água na argamassa após a absorção sofrida pelo contato com os tijolos; ii) Tipo de areia; iii) Traço da argamassa utilizada; iv) Nível de tensão; v) Conteúdo de umidade do ar.

Alguns autores relacionam o valor da deformação total pela deformação instantânea (coeficiente de fluência). LENCZNER⁽²³⁾ encontrou valores de 1,20 a 1,29 para argamassa 1:1/4:3 e 1,4 a 1,8 para argamassas 1:1:6. O manual KALKSANDSTEINE TECHNISCHE INFORMATIONEN⁽²⁴⁾ especifica uma faixa de variação de 1,0 a 2,5 deste valor para alvenaria sílico-calcária.

2.2.4. Influência da aderência

A aderência pode ser conceituada como sendo a capacidade da junta de argamassa de resistir a esforços de tração perpendicularmente ao plano da junta e esforços de cisalhamento devido a forças tangenciais à junta.

Para as argamassas mistas normalmente empregadas a aderência é otimizada para os blocos cujos valores de sucção inicial são os intermediários, ou seja, naqueles em que a retirada de água da argamassa para o bloco é feita em velocidade adequada⁽²⁵⁾.

DAVISON⁽²⁶⁾ cita que "As propriedades mecânicas da argamassa endurecida são importantes, porém a resistência de aderência entre a argamassa e os blocos é entre todas a de maior importância".

A aderência influencia o desempenho da parede em diversos de seus requisitos. Assim a má aderência implica em má resistência à tração, flexão e cisalhamento, durabilidade e estanqueidade. LEE e PYLE⁽²⁷⁾ citam que "de fato a resistência ao cisalhamento das paredes, sua estabilidade, especialmente para altos valores de esbeltez e sua capacidade de resistir à cargas laterais tem pouca relação com a resistência à compressão da argamassa; porém, são afetados diretamente pela resistência de aderência entre a argamassa e o bloco empregado".

HOATH et alii⁽²⁸⁾ afirmam que uma argamassa com cal, comparada com uma argamassa de cimento de mesma resistência, produz paredes de maior resistência à compressão, e

atribuem este fato ao maior potencial de aderência que a primeira possui. Esta afirmação é também ratificada por LEE e PYLE.

2.3. Efeito da mão-de-obra

Como em outros métodos construtivos, também na Alvenaria Estrutural, a qualidade da mão-de-obra afeta a resistência final do material. Este efeito já havia sido citado por THOMAS⁽²⁾ que, relatando ensaios do US Bureau of Standards, mostra que ocorreram variações de 30% a 60% na resistência das paredes quando o trabalho é executado por pedreiros com e sem supervisão.

Os principais defeitos da mão de obra são: incorreto proporcionamento e mistura da argamassa, ajuste incorreto da sucção dos blocos, formação incorreta das juntas, movimentação dos blocos após a colocação, perda de alinhamento, prumo, nível e condições desfavoráveis de cura.

Do ponto de vista estrutural, um mau preenchimento da junta horizontal é o defeito mais sério. SUTHERLAND⁽⁴⁾ aponta uma redução de 30% ou mais na resistência da alvenaria, neste caso. Estudos realizados no Structural Clay Products Institute e no Building Research Laboratories na Austrália, citados em⁽³⁾, mostram uma redução da ordem de 35% na resistência da alvenaria, quando as juntas são mal preenchidas.

Vários fatores podem afetar uma mesma parede conjuntamente. HENDRY dá o exemplo segundo o qual combinando o efeito da cura não protegida, com juntas mal preenchidas e com espessuras variáveis de 12 a 16 mm em uma mesma parede, esta apresenta uma redução na resistência à compressão de $21,4 \text{ N/mm}^2$ para $8,3 \text{ N/mm}^2$, isto é, 61% de redução, resultado este que é consistente com trabalhos realizados no US Bureau of Standards que chegou a reduções na resistência de paredes construídas sem supervisão da ordem de 55% a 62%.

3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS PAREDES DE ALVENARIA

Segundo CURTIN et alii⁽²⁹⁾, uma parede ou coluna de alvenaria que suporta uma carga de compressão comporta-se como qualquer outro material estrutural, e sua capacidade de suporte depende da resistência do material, da área da seção transversal e de propriedades geométricas, como as expressas pelo coeficiente de esbeltez ("slenderness ratio").

Nas palavras de YOKEL e DIKKERS⁽³⁰⁾ "a capacidade de carga da seção transversal de

quando ensaiado à compressão é diverso do comportamento da parede integrante da estrutura. Desta forma a utilização deste método fica condicionada à existência de estudos que correlacionem a resistência destes corpos de prova de dimensões reduzidas com as paredes em tamanho real.

c) através do ensaio de corpos de prova que possuam dimensões compatíveis com as paredes empregadas na estrutura (altura igual à distância livre entre as lajes e comprimento geralmente maior que um terço da altura). Estes corpos de prova são os que indicam os resultados mais próximos do real comportamento da parede, embora sejam muito mais custosos e de difícil execução. Este é o caminho lógico, quando não se dispõe de normalização dos materiais e métodos construtivos, bem como estudos experimentais em número suficiente para correlações entre a resistência das paredes e os materiais ou corpos de prova de pequenas dimensões.

Os ensaios de laboratório apresentam condições bem definidas de engastamento nas extremidades das paredes. O mesmo não ocorre com uma parede dentro da estrutura de um edifício. Na maioria dos casos, as normas utilizam um coeficiente para a correção da altura das paredes, de forma a tornar compatíveis as paredes ensaiadas em laboratório com as integrantes de uma estrutura. Estes coeficientes de correção são fornecidos em função do grau de rotação e deslocamento permitidos na base e nos topos das paredes. Este é o caso da norma britânica BS 5628⁽²¹⁾ já mencionada.

Quando se cuida de paredes de formatos especiais também a espessura deve ser corrigida (aumentada), para se levar em conta a maior rigidez das paredes que possuem elementos de travamento. Novamente é utilizado um fator de correção para a espessura, fator este obtido geralmente em função do espaçamento dos elementos enrijecedores e das dimensões relativas destes elementos e das paredes. É o que acontece no código americano "Uniform Building Code"⁽²²⁾.

A excentricidade do carregamento e a esbeltez das paredes estruturais são levados em conta na maioria dos códigos de cálculo, na forma de coeficientes de redução que multiplicam a resistência básica da alvenaria.

4. TRABALHO EXPERIMENTAL

Objetivando o melhor conhecimento dos materiais e do comportamento das paredes de Alvenaria Estrutural quando submetidas à compressão, foi efetuada uma série de ensaios no Laboratório de Construção Civil da Escola

Politécnica da Universidade de São Paulo⁽²³⁾.

A principal meta do trabalho experimental foi a avaliação das principais características de resistência e deformação das alvenarias cerâmicas e sílico-calcárias, para os tipos de blocos e traços de argamassa empregados, e observação do comportamento estrutural dos corpos de prova em escala natural.

Foram empregados na moldagem dos corpos de prova blocos cerâmicos perfurados (11,3 x 11,5 x 24 cm) de resistência média 10,6 N/mm², blocos sílico-calcários perfurados (11,3 x 11,5 x 24 cm) de resistência média 11,4 N/mm² e blocos sílico-calcários maciços (11,3 x 14,0 x 24 cm) de resistência média 21,1 N/mm², argamassas traços 1:0:3, 1:1/2:4 1/2, 1:1:6 e 1:2:9 de cimento:cal:areia em volume.

Os corpos de prova de alvenaria utilizados neste trabalho foram de três tipos: prismas, paredinhas e paredes, sendo que suas dimensões eram de 24,0 x 24,0 x 11,5 cm, 62,5 x 49,0 x 11,5 cm e 262,5 x 124,9 x 11,5 cm respectivamente. Para os blocos sílico-calcários maciços as paredes possuíam 14,0 cm de espessura.

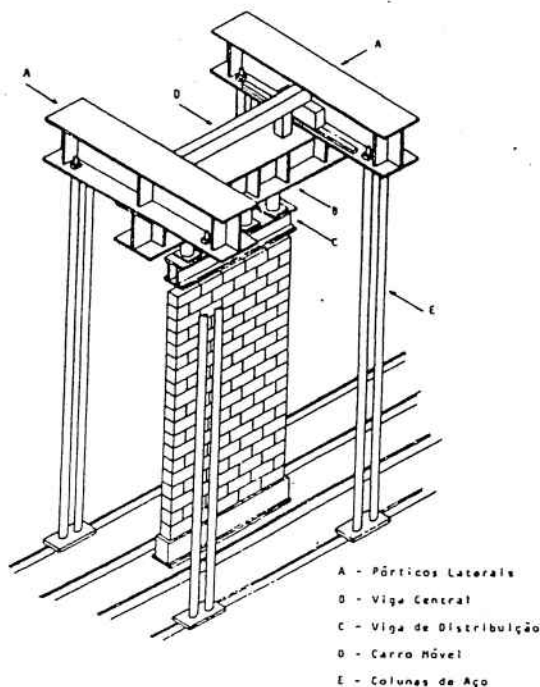


Figura 6 - Esquema da máquina de ensaio utilizada no ensaio de corpos de prova em escala real (paredes).

uma parede de alvenaria sujeita à uma carga vertical excêntrica pode ser determinada se forem conhecidas as resistências à tração e à compressão da alvenaria, bem como a distribuição de tensões na ruptura, sendo que esta última depende das propriedades de tensão-deformação da alvenaria*.

Deve-se lembrar, entretanto, que a esbeltez e a excentricidade de cargas dependem de fatores como a geometria do edifício, da rigidez relativa das lajes e paredes, do tipo de união entre estes elementos e a distribuição de cargas sobre as paredes, e que as propriedades da seção transversal variam com a fissuração e com o nível de carregamento. Desta forma torna-se muito difícil a obtenção de uma teoria prática que englobe todos estes fatores. Assim a maioria dos códigos de cálculo são baseados em dados experimentais obtidos de ensaios de paredes e colunas com vários coeficientes de esbeltez, excentricidade e condições de engastamento.

3.1. Redução da capacidade resistente das paredes devido à esbeltez e à excentricidade de cargas

Diversos são os autores que desenvolveram trabalhos experimentais com paredes, investigando a redução da capacidade de carga devido à esbeltez e à excentricidade.

HENDRY⁽³⁾ resumiu o resultado do trabalho experimental de diversos autores para diversas excentricidades e coeficientes de esbeltez (relação entre a altura e a espessura das paredes) (Fig. 5). Os resultados são apresentados em forma de fatores de redução da resistência básica da alvenaria.

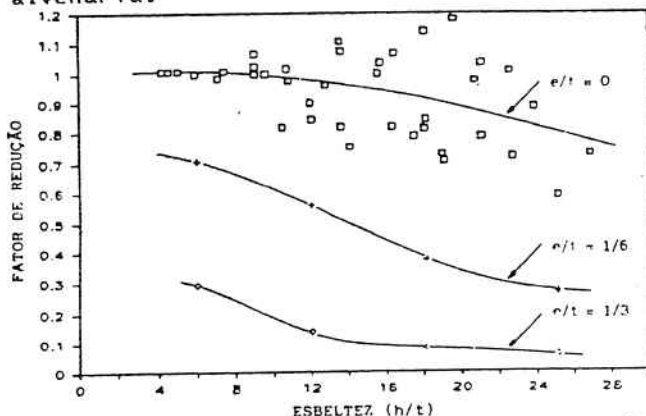


Figura 5 - Redução da capacidade de carregamento das paredes de alvenaria devido à esbeltez (h/t) e à excentricidade do carregamento (h/t)⁽³⁾.

Como pode ser observado dos exemplos mencionados acima, tanto a excentricidade do

carregamento, como a esbeltez trazem uma redução significativa na capacidade de suporte das paredes de alvenaria, sendo os fatores que mais influenciam esta capacidade e portanto de suma importância no projeto estrutural do elemento parede.

Alguns autores desenvolveram modelos teóricos que quantificam a influência da esbeltez e da excentricidade do carregamento na capacidade de suportar cargas de uma parede de alvenaria. Dentre estes, podem ser citados CHAPMAN e SLATFORD⁽²²⁾, YOKEL, MATHEY e DIKKERS^(23,24,25) e FATTAL e CATTANEO⁽²⁶⁾.

Estas teorias, em geral, mostraram-se coerentes dentro das circunstâncias em que foram desenvolvidas e das hipóteses admitidas. Entretanto, não se chegou ainda a uma teoria geral de aplicação prática, sendo que na maioria dos códigos de cálculo a esbeltez e a excentricidade do carregamento são levados em consideração através de fatores de redução obtidos por meio de extensos programas experimentais.

Para a formulação de um cálculo racional da resistência das paredes de alvenaria, é necessário, como já havia sido mencionado, o conhecimento da excentricidade do carregamento aplicado e do coeficiente de esbeltez do painel parede, quando enrijecido por outras partes da estrutura. Para tanto, é necessário lançar-se mão de métodos de cálculo não elementares, que considerem a estabilidade dos edifícios como um todo, não se restringindo somente ao elemento estudado, e levando em consideração todas as cargas envolvidas nos edifícios.

3.2. Determinação da capacidade resistente das paredes

Em geral os códigos de cálculo da Alvenaria Estrutural Não Armada apontam três métodos distintos para a avaliação da resistência característica à compressão:

a) através da avaliação dos constituintes da alvenaria, bloco e argamassa, obtém-se a resistência característica da alvenaria. Este método só é possível, quando os materiais e métodos construtivos empregados estão rigorosamente normalizados e já exista uma grande quantidade de estudos experimentais que correlacionem as características dos materiais e métodos construtivos empregados com a resistência à compressão da alvenaria.

b) Através da avaliação em corpos de prova de alvenaria de dimensões reduzidas (prismas e paredinhas). Embora este método forneça uma avaliação melhor que o método mencionado acima, deve-se sempre ter em mente que o comportamento de um prisma ou paredinha,

Os corpos de prova parede foram ensaiados 60 dias após a moldagem, bem como os prismas e as paredinhas correspondentes à cada corpo de prova parede.

Para os experimentos com as paredes foi construída uma máquina de ensaio especialmente para esta finalidade no Laboratório de Construção Civil e Laboratório de Estruturas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Fig. 6).

O ensaio de parede foi executado, seguindo-se as prescrições da norma britânica BS 5628 part 1 (21).

5. CARACTERÍSTICAS DE DEFORMABILIDADE DAS PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS E SÍLICO-CALCÁRIOS ENSAIADAS

Os valores médios do módulo de deformação das paredes ensaiadas estão indicados na tabela 2. Pode-se observar que houve uma queda em média de cerca de 20% no valor do módulo de deformação das paredes moldadas com blocos cerâmicos, quando se considera o traço 1:0:3 em volume em relação ao traço 1:1/2:4 1/2. Não houve mudança significativa no módulo de deformação, quando se passa do traço 1:1/2:4 1/2 para o traço 1:1:6, havendo uma diminuição de cerca de 20% no módulo de deformação, quando se passa deste último traço para o traço 1:2:9. Nas paredes moldadas com blocos sílico-calcários perfurados, a queda apresentada no módulo de deformação, quando se vai do traço 1:1:6 para 1:2:9, é da ordem de 35%.

Tabela 2 - Valores do módulo de deformação para as paredes e paredinhas ensaiadas.

TIPO DE BLOCO	TRAÇO (vol.)	MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DAS PAREDES (MÉDIA) (N/mm ²)	MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DAS PAREDINHAS (MÉDIA) (N/mm ²)
CERÂMICO PERFORADO (11,5 x 11,3 x 24,0 cm)	1:0:3	3770	3220
	1:1/2:4 1/2	2950	2680
	1:1:6	2930	2450
	1:2:9	2340	2200
SÍLICO-CALCÁRIO PERFORADO	1:1:6	4240	---
	1:2:9	2750	---
SÍLICO-CALCÁRIO MACIÇO	1:1:6	3470	---

Alguns destes valores apresentaram um coeficiente de variação razoavelmente elevado. Isto se deve em parte a imprecisão intrínseca às medidas realizadas, porém são também reflexo da grande variabilidade do módulo de deformação, dentro do corpo de prova, pois permitiu-se o reamassamento da argamassa durante a moldagem para a manutenção da trabalhabilidade. Esta prática

DESEMPENHO DA ALVENARIA À COMPRESSÃO

introduziu uma grande variabilidade nas propriedades mecânicas da junta de argamassa ao longo de todo o corpo de prova, que aliada à variabilidade dos blocos leva a esta dispersão elevada.

5.1. Módulo de deformação das paredinhas de blocos cerâmicos

Os valores médios do módulo de deformação obtidos dos ensaios com as paredinhas e também apresentados na tab. 2, são cerca de 15% menores em relação às paredes para o traço 1:0:3, 9% menores para o traço 1:1/2:4 1/2, 21% menores para o traço 1:1:6 e 6% menores para o traço 1:2:9, resultando em valores que são em média 13% menores que aqueles observados nos ensaios de parede em escala real.

5.2. Comparação entre as características de deformação das paredes e dos materiais constituintes.

A partir das leituras de deformação feitas no ensaio de parede, obteve-se o valor do módulo de deformação para três blocos em pontos distintos de cada parede, bem como o módulo de deformação das juntas de argamassa adjacentes a estes blocos.

Utilizando-se a fórmula proposta por SAHLIN⁽²²⁾ reproduzida abaixo, pode-se chegar ao valor do módulo de deformação da alvenaria, a partir do módulo de deformação de seus constituintes (bloco e junta de argamassa), como é mostrado na tabela 3. Comparando-se estes valores com os valores médios do módulo de deformação da alvenaria obtidos no ensaio de parede, pode-se notar que os valores são bastante próximos (de 93% a 104% daqueles valores), exceção feita aos blocos de prova moldados com blocos cerâmicos de argamassa traço 1:2:9 (78%) e blocos sílico-calcários perfurados de traço 1:1:6 (73%).

$$E_{pa} = \frac{1}{\frac{(1-\delta)}{E_a} + \frac{\delta}{E_b}}$$

onde: E_{pa} - módulo de deformação da alvenaria
 E_a - módulo de deformação da argamassa
 E_b - módulo de deformação dos blocos
 $\delta = h_b / (h_a + h_b)$
 h_b - altura do bloco
 h_a - espessura da junta de argamassa

Tabela 3 - Módulo de deformação da alvenaria obtido a partir do módulo de deformação dos seus componentes (bloco e junta de argamassa).

TIPO DE BLOCO	TRAÇO (vol.)	MÓDULO DE DEFORMAÇÃO (N/mm²)			VALOR RELATIVO AS PAR. (Z)
		BLOCO	ARGAM.	ALVEN.	
CERÂMICO PERFORADO (11,5 x 11,3 x 24,0 cm)	1:0:3	4870	390	3622	96,1
	1:1/2:4 1/2	4251	606	2855	96,8
	1:1:6	4201	560	2819	93,0
	1:2:9	5203	218	1821	77,8
SÍLICO-CALCÁRIO PERFORADO	1:1:6	4589	657	3087	72,9
	1:2:9	5192	434	2744	99,8
SÍLICO-CALCÁRIO MACIÇO	1:1:6	7605	514	3586	103,3

A proximidade destes valores indica que a relação proposta por SAHLIN mostra de forma bastante clara a contribuição de cada componente da alvenaria no seu módulo de deformação. Cabe ressaltar que os valores foram próximos quando foi usado o módulo de deformação dos blocos e das juntas de argamassa medidos na parede como prescrevia este pesquisador. No caso de se empregarem, por exemplo, os valores de deformação dos blocos obtidos no ensaio de compressão axial deste componente os resultados seriam bastante diferentes.

Embora o valor de $1-\delta$ seja pequeno ($1-\delta = 0,08$ no nosso caso), a influência da argamassa mostra-se significativa no módulo de deformação da alvenaria, porque para as alvenarias estudadas, o módulo de deformação da argamassa (E_a) é bastante menor que o módulo de deformação dos blocos (E_b) e apresenta uma grande diminuição em seu valor, à medida que progressivamente se diminui a quantidade de cimento nos traços da argamassa.

5.3. Comparação com os valores obtidos da bibliografia

As alvenarias de blocos de mesma faixa de resistência aos ensaios, mostraram valores de módulo de deformação compatíveis com os apresentados anteriormente. Assim GOMES⁽¹¹⁾, que trabalhou com blocos cerâmicos de resistência entre 7,5 N/mm² a 15,3 N/mm² obteve valores de módulo de deformação entre 2448 N/mm² e 3593 N/mm². Blocos sílico-calcários de resistência média 15,0 N/mm² foram utilizados por PIPER e HAGE⁽¹²⁾ que obtiveram módulos de deformação da alvenaria na faixa de 3650 N/mm² a 5600 N/mm²; portanto, também bastante próximos aos valores da tabela 2.

5.4. Deformação transversal

Os valores de coeficiente de Poisson apresentam uma variabilidade bastante grande. O valor médio do Coeficiente de Poisson para as paredes cerâmicas foi de 0,12, enquanto que o valor médio para as paredes sílico-calcárias foi de 0,15, sendo o valor médio obtido de todas as paredes estudadas de 0,13.

6. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS E SÍLICO-CALCÁRIOS ENSAIADAS

Os valores médios da resistência à compressão, observados nos ensaios das paredes cerâmicas e sílico-calcárias são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Valores médios de resistência à compressão da alvenaria cerâmica e sílico calcária.

TIPO DE BLOCO	TRAÇO (vol.)	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO (N/mm²)		
		PAREDES	PAREDINHAS	PRISMAS
CERÂMICO PERFORADO (11,5 x 11,3 x 24,0 cm)	1:0:3	4,49	4,67	5,85
	1:1/2:4 1/2	4,35	4,69	5,52
	1:1:6	3,92	4,17	5,57
	1:2:9	3,22	3,82	4,82
SÍLICO-CALCÁRIO PERFORADO	1:1:6	5,67	---	---
	1:2:9	5,05	---	---
SÍLICO-CALCÁRIO MACIÇO	1:1:6	7,05	---	---

Tomando-se como referência (100%) a média da tensão de ruptura das paredes moldadas com blocos cerâmicos perfurados e argamassa de traço 1:0:3 em volume, pode-se observar uma redução gradativa no valor da resistência à compressão das paredes, quando se passa para corpos de prova moldados com argamassas que possuam menor teor de cimento. Assim observa-se uma redução da ordem de 3,2% para o traço 1:1/2:4 1/2, de 17% para o traço 1:1:6 e 28,3% para o traço 1:2:9. Estes valores são bastante inferiores à redução observada para a resistência à compressão da argamassa (obtida através do ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos de diâmetro 5 cm), que foi de 31,1%, 62,2%, 80,8%, quando se passa do traço 1:0:3 de cimento, cal e areia em volume, para os traços 1:1/2:4 1/2, 1:1:6 e 1:2:9 respectivamente (figura 7).

Este comportamento está de acordo com a opinião de diversos autores^(14, 24 e 25), de que a influência da resistência da

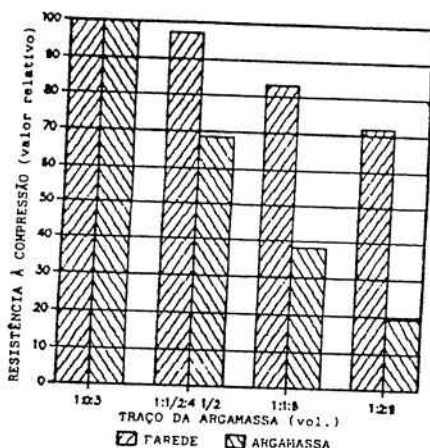


Figura 7 - Comparação entre a diminuição da resistência a compressão da argamassa e a resistência a compressão da alvenaria para os traços de argamassa estudados.

argamassa na resistência da alvenaria é pequena.

Embora a resistência à compressão dos blocos sílico-calcários maciços seja 185,4 % superior à dos blocos sílico-calcários perfurados, a resistência à compressão das paredes moldadas com o primeiro é cerca de 24,3% superior.

Os valores obtidos para paredes de blocos sílico-calcários de formato 24,0 x 11,5 x 11,3 cm foram em média 52% e 57% superiores às paredes moldadas com blocos cerâmicos de mesmo formato e de traços 1:1:6 e 1:2:9 respectivamente, enquanto que a resistência à compressão dos blocos sílico-calcários foram apenas 8% superiores à resistência dos blocos cerâmicos.

Estas duas observações feitas acima mostram claramente que a resistência a compressão do bloco não é um índice absoluto para a obtenção da resistência a compressão da alvenaria.

6.1. Paredinhas

Os valores de resistência a compressão das paredinhas cerâmicas estão apresentados conjuntamente com os valores das paredes na tabela 4. Estes valores foram em média 4,0% a 18,6% superiores aos obtidos para as paredes, com os vários traços de argamassa utilizados.

A diminuição da resistência média das paredinhas, à medida que se diminui a quantidade de cimento da argamassa, é menor que a observada para as paredes. Nota-se que não há diminuição, quando se passa de corpos de prova moldados com argamassa 1:0:3, em volume, para 1:1/2:4 1/2. A diminuição,

DESEMPENHO DA ALVENARIA À COMPRESSÃO

quando se passa para os traços 1:1:6 e 1:2:9, é de 10,7% e 18,7% respectivamente, tomando-se como referência o traço 1:0:3 (100%).

6.2. Prismas

Na tabela 4 também estão apresentados os valores de resistência à compressão dos prismas cerâmicos.

Em relação aos valores obtidos para as paredes de traços correspondentes, os prismas apresentaram resistências à compressão de 26,9% a 49,7% superiores. Estes valores são também superiores aos correspondentes obtidos para as paredinhas, mostrando que, com corpos de prova cada vez menores, é maior a influência da restrição à deformação lateral introduzidas pelos pratos das máquinas de ensaio nos corpos de prova, aumentando desta forma o resultado destes ensaios.

6.3. Modo de ruptura das paredes de alvenaria

Em todos os ensaios verificou-se o surgimento da fissuração vertical, caracterizando o modo de ruptura universalmente aceito para a Alvenaria Estrutural Não Armada, quando submetida à compressão uniforme ("splitting failure"). A fissuração iniciava-se em um nível de tensão significativamente menor que a tensão máxima de ruptura do ensaio (de 50% a 60% desta), e, geralmente, a partir da junta vertical da fiada superior ou inferior àquela em que era observada a fissura.

A medida que aumentava o carregamento, surgiam novas fissuras, bem como as fissuras existentes aumentavam de comprimento. Perto da carga de ruptura, muitas das fissuras se uniam, tornando generalizada a fissuração do corpo de prova, sobretudo na região em que posteriormente se observava a ruptura que provocava a ruína do corpo de prova.

Durante todo o período em que se observava o surgimento e o crescimento da fissuração, era possível ouvir-se estalos, provenientes do surgimento das fissuras visíveis, como provavelmente também correspondentes ao surgimento de fissuras nas paredes internas dos blocos. Estes ruídos aumentavam de intensidade e frequência à medida que se aproximava a tensão de ruptura do corpo de prova. Quando se alcançava a tensão máxima do ensaio, ocorria a ruptura de forma frágil ("explosiva") de geralmente uma ou duas fiadas, sendo expulsas as faces externas dos blocos, que conseqüentemente conduzia o corpo de prova à ruptura.

De forma geral, nos ensaios com as

paredinhas de blocos cerâmicos foi observado o mesmo comportamento descrito acima para as paredes cerâmicas.

As paredes sílico-calcárias tiveram comportamento semelhante ao descrito para as paredes cerâmicas, diferindo apenas pelo início da ruptura tender a ser mais generalizado e não só provocado pela ruptura de uma ou duas fiadas como na parede cerâmica.

Como pode ser observado, embora as paredes de Alvenaria Estrutural Não Armada rompam de maneira frágil, o corpo de prova já começa a dar sinais da ruptura a níveis de tensão relativamente inferiores.

7. CONCLUSÕES

A Alvenaria Estrutural Não Armada vem a cada dia sendo mais empregada na construção de edifícios habitacionais. Alguns motivos podem explicar este fato: trata-se de método construtivo que emprega materiais de baixo custo e cuja tecnologia de produção é amplamente conhecida; a técnica do uso da Alvenaria Estrutural é simples e facilmente absorvível pelo meio técnico; as edificações resultantes da aplicação deste método construtivo apresentam um baixo custo aliado a um bom desempenho e durabilidade.

A partir dos resultados do trabalho experimental, bem como da revisão bibliográfica pode-se observar o seguinte:

a) Os valores do módulo de deformação obtido dos ensaios são consistentes com os valores da bibliografia consultada, e nos mostram a influência do traço da argamassa no módulo de deformação da alvenaria.

b) Os valores do módulo de deformação provenientes dos ensaios em paredinhas mostraram-se menores que os valores correspondentes provenientes do ensaio em paredes.

c) Os valores de resistência à compressão das paredes mostram a relativamente pequena influência do traço da argamassa na resistência da alvenaria.

d) Nos ensaios de parede verificou-se a ruptura por fissuras de tração paralelas ao sentido do esforço aplicado, conforme o mecanismo de ruptura universalmente aceito ("splitting failure").

e) Ensaíram-se corpos de prova de pequenas dimensões (prismas e paredinhas) cujos valores de resistência à compressão foram significativamente superiores aos valores obtidos nos ensaios com paredes.

f) Verificou-se que a ruptura das paredes no ensaio de compressão foi de forma frágil ("súbita"), porém observou-se também que uma intensa fissuração se iniciava a níveis de tensão bastante inferiores aos da resistência à compressão das paredes.

O ensaio de paredes mostrou-se importante na obtenção de valores confiáveis de resistência à compressão e módulo de deformação da alvenaria que podem ser utilizados tanto em pesquisa como pelos profissionais envolvidos com a Alvenaria Estrutural Não Armada. Espera-se que estes ensaios forneçam no futuro dados em número suficiente para a formulação de uma norma consistente de cálculo.

São importantes também estudos de outros aspectos do desempenho estrutural das paredes de alvenaria, como o estudo do elemento parede, quando submetido à cargas de cisalhamento ou à compressão excêntrica.

A partir do estudo do elemento parede, deve-se caminhar para o estudo da estabilidade dos edifícios cuja estrutura é formada por placas, a fim de que se possa projetar e construir edifícios de maior altura.

Igualmente importante são os estudos do desempenho dos aspectos não estruturais das paredes de alvenaria, aprimorando o processo construtivo e permitindo a construção mais racional de habitações de custo cada vez menor e de melhor desempenho.

Acredita-se que, no presente trabalho, foram obtidas informações relevantes, dando-se um passo no sentido da melhor compreensão deste método construtivo pelo meio técnico.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SABBATINI, F. H. *O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária*. N.P. (Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da U.S.P.). 1984.
- (2) THOMAS, F. G. *The strength of brickwork*. The Structural Engineer, fevereiro, 1953.
- (3) HENDRY, A. W. *Structural brickwork*. The MacMillan Press, 1981.
- (4) SUTHERLAND, R. J. M. *Brick and block masonry in engineering*. Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 1, vol 70, fevereiro, 1981.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Bloco cerâmico para alvenaria - especificação*. NBR 7171/83, Rio de Janeiro, 1983.

- (6) ANDERSON, G. W. *Stack-bonded small specimens as design and construction criteria*. In: Second International Brick Masonry Conference. Stoke-on-Trent, The British Ceramic Research Association, 1971.
- (7) WEISS, D.; KURTZ, P.; KNAPP, W. P. *Strength of specimens containing parallel cylindrical holes*. American Ceramic Society Bulletin, vol 45, nº 8, 1966.
- (8) WEST, H. W. H.; HODGKINSON, H. R.; DAVENPORT, S. T. E. *The performance of walls built of wire cut brick with and without perforations*. The British Ceramic Research Association, Special Publication nº 60. novembro, 1968.
- (9) SCHELLBACH, G. *The influence of perforation on load-bearing capacity of hollow brick masonry structures*. In: Second International Brick Masonry Conference. abril, 1970.
- (10) GOMES, N. S. *A resistência das paredes de alvenaria*. N. P. (Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da U.S.P.), 1983.
- (11) WEST, H. W. H. *Clay products in use*. In: The Use of Ceramic Products in Building. The British Ceramic Research Association, Special Publication nº 38, abril, 1963.
- (12) BUILDING RESEARCH STATION. *Clay brickwork: 1 and 2*. Digest 164 e 165, abril-maio, 1974.
- (13) WATSTEIN, D.; ALLEN, M. H. *Structural performance of clay masonry assemblages built with high-bond organic modified mortars*. In: Proceedings of the Second International Brick Masonry Conference. Stoke-on-Trent, The British Ceramic Research Association, 1971.
- (14) ROSELLO, M. T. *Morteros de cemento para albanileria*. Instituto Eduardo Torroja de La Construcion y del Cemento. nº 337, Madrid. outubro, 1976.
- (15) DAVISON, J. I. *Loss of moisture from fresh mortars to bricks*. Materials Research and Standards. maio, 1961.
- (16) BUILDING RESEARCH STATION. *Strength of brickwork, blockwork and concrete walls*. BRS Digest 61 (second series) Garston, agosto 1965.
- (17) HEDSTRON, R. O. et alii. *Influence of mortars and block properties on shrinkage cracking of masonry walls*. Journal of the P.C.A. - Research Development Laboratories, Chicago, vol 10 nº 1, janeiro, 1968.
- (18) ANDREWS, H. *Mortar for brickwork, block construction and masonry*. NBS - National Building Studies Bulletin nº 8, 1950.
- (19) FRANCIS, A. J.; HORMAN, C. B.; JERREMS, L. E. *The effect of joint thickness and other factors on the compressive strength of brickwork*. In: Proceedings of the Second International Brick Masonry Conference. Stoke-on-Trent, The British Ceramic Research Association, 1971.
- (20) HILSDORF, H. K. *An investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression*. In: Designing Engineering and Constructing with Masonry Products, ed F. B. Johnson, Gulf, Houston. 1969.
- (21) BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *Code of practice for structural use of masonry, part 1 - unreinforced masonry*. BS 5628 Part 1, 1978.
- (22) PLOWMAN, J. M. *The modulus of elasticity of brickwork*. Proceedings of the British Ceramic Society nº 4. julho, 1965.
- (23) LENCZNER, D. *Creep in brickwork*. In: Proceedings of the Second International Brick Masonry Conference. Stoke-on-Trent, The British Ceramic Research Association, 1971.
- (24) KALKSANDSTEINE *technische informationen*. Hannover, 1972.
- (25) ANDEREGG, F. O. *The effect of brick absorption characteristics upon mortar properties*. Proceedings of the ASTM, vol 42, 1942.
- (26) DAVISON, J. I. *Masonry mortars*. Canadian Building Digest. CBD 163, 1974.
- (27) LEE, H. N.; PYLE, M. A. *The design of mortars for calculated load-bearing brickwork*. Proceedings of the British Ceramic Society. nº 11. 1968.
- (28) HOATH, S. B. A.; LEE, H. N.; RENTON, K. H. *The effect of the mortar on the strength of brickwork cubes*. In: Proceedings of the Second International Brick Masonry Conference. Stoke-on-Trent, The British Ceramic Research Association, 1971.
- (29) CURTIN, W. G.; SHAW, G.; BECK, J. K.; BRAY, W. A. *Structural masonry designers' manual*. Granada, 1982.
- (30) YOKEL, F. Y.; DIKKERS, R. D. *Strength of load bearing masonry walls*. Journal of Structural Division, Proceedings of A.S.C.E., maio, 1971.
- (31) JOHNSON, F. B.; THOMPSON, J. N.; MATTHYS, J. H. *The development of structural*

critéria for clay tile assemblages. In: Proceedings of the Second International Brick Masonry Conference. Stoke-on-Trent, The British Ceramic Research Association, 1971.

(32) CHAPMAN, J. C.; SLATFORD, J. *The elastic buckling of brittle columns.* Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 6 (1957).

(33) YOKEL, F. Y.; MATHEY, R. G.; DIKKERS, R. D. *Compressive strength of slender concrete masonry walls.* National Bureau of Standards, Washington, dezembro 1970. NBS-Building Science Series nº- 33.

(34) DIKKERS, R. D.; YOKEL, F. Y. *Strength of brick wall subject to axial compression and bending.* In: Proceedings of the Second International Brick Masonry Conference. Stoke-on-Trent, The British Ceramic Research Association, 1971.

(35) YOKEL, F. Y.; MATHEY, R. G.; DIKKERS, R. D. *Strength of masonry walls under compressive and transverse loads.* National Bureau of Standards, Washington, março, 1971. NBS-Building Science Series nº- 34

(36) FATTAL, S. G.; CATTANEO, L. E. *Structural performance of masonry walls under compression and flexure.* National Bureau of Standards, Washington, junho, 1976. NBS-Building Science Series nº- 73.

(37) INTERNATIONAL CONFERENCE OF BUILDINGS OFFICIALS. *Uniform building code.* U.B.C. Part VI, cap 24, 1976.

(38) FRANCO, L. S. *Desempenho estrutural do elemento parede de alvenaria empregado na alvenaria estrutural não armada, quando submetido a esforços de compressão.* N.P. (Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da U.S.P.), 1987.

(39) SAHLIN, S. *Structural masonry.* Englewood Cliffs, USA, Prentice-Hall, 1971.

(40) PIEPER, K.; HAGE, D. *Deformation properties of brickwork.* In: Proceedings of the Second International Brick Masonry Conference. Stoke-on-Trent, The British Ceramic Research Association, 1971.

(41) BUILDING RESEARCH STATION. *Mortars for jointing.* BRS Digest nº- 126 (first series). Garston, setembro, 1959.

BOLETIM TÉCNICO - textos publicados
Technical Bulletin - Issued Papers

- BT 01/86 - Ação do Incêndio sobre as Estruturas de Concreto Armado
The Effect of Fire on Reinforced Concrete Structures
FRANCISCO R. LANDI
- BT 02/86 - Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente
Masonry Mortar for Structural Brickwork
FERNANDO H. SABBATINI
- BT 03/86 - Controle de Qualidade do Concreto
Quality Control of the Concrete
PAULO R. L. HELENE
- BT 04/86 - Fibras Vegetais para Construção Civil - Fibra de Coco
Vegetable Fibres for Building - Coir fibres
HOLMER SAVASTANO JUNIOR
- BT 05/86 - As Obras Públicas de Engenharia e a sua Função na Estruturação da Cidade de São Paulo
The Public Works of Civil Engineering and its Function on Structuring the City of São Paulo
WITOLD ZMITROWICZ
- BT 06/86 - Patologia das Construções. Procedimentos para Diagnóstico e Recuperação
Building Pathology. Diagnosis and Recovering Procedures
NORBERTO B. LICHTENSTEIN
- BT 07/86 - Medidas Preventivas de Controle da Temperatura que Induz Fissuração no Concreto Massa
Preventive Measurements to Control the Temperature Wich Produces Cracking in Mass Concrete
GEORGE INOUE

- | | |
|---|--|
| BT 08/87 - O Computador e o Projeto do Edifício
The Computer and the Building Design | FRANCISCO F. CARDOSO |
| BT 09/87 - Porosidade do Concreto
Concrete Porosity | VICENTE C. CAMPITELI |
| BT 10/87 - Concretos Celulares Espumosos
Lightweight Concrete: Foam Concrete | OSWALDO A. P. FERREIRA |
| BT 11/87 - Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria
Determinação das Vazões de Projeto
Building Cold Water Supply Systems - Design
Flowrates Determination | MOACYR E. A. DA GRAÇA
ORESTES M. GONÇALVES |
| BT 12/87 - Estabilização de Solos com Cimentos Pozolânicos
Soil Stabilization with Pozzolan Cements | ALEX KENYA ABIKO |
| BT 13/87 - Vazões de Projeto em Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria - Modelo Probabilístico para Microcomputadores
Design Flowrates in Building Cold Water Supply System - Probabilistic Model for Microcomputers | MOACYR E. A. DA GRAÇA
ORESTES M. GONÇALVES |
| BT 14/87 - Sistemas Prediais de Coleta em Esgotos Sanitários: Modelo Conceitual para Projeto
Building Drainage Systems: A Conceptual Approach for Design | MOACYR E. A. DA GRAÇA
ORESTES M. GONÇALVES |
| BT 15/87 - Aplicação do Método de Simulação do Desempenho Térmico de Edificações
Application of Building Thermal Performance Method | VIRGINIA M. P. DE ARAÚJO |
| BT 16/87 - A Representação do Problema de Planejamento do Espaço em Sistemas de Projeto Assistido por Computador
Space Planning Problem Representation on Computer Aided Design Systems | MARIA CRISTINA R. BELDERRAIN
DANTE F. V. GUELPA |
| BT 17/87 - Aspectos da Aplicabilidade do Ensaio de Ultra-Som em Concreto
Aplicability of Ultra Sound Test in Concrete | LUIZ TSUGUJO HAMASSAKI |
| BT 18/87 - O Uso da Grua na Construção do Edifício
The Use of the Tower Crane in Building | NORBERTO B. LICHTENSTEIN |
| BT 19/88 - A Adição de Fibras em Concreto de Baixo Consumo de Cimento e Análise da Fissuração devida à Retração
Fibre Reinforcement for Low Cement Content Concretes and Analysis of their Cracking due to Shrinkage | FRANCISCO DE A. S. DANTAS
VAHAN AGOPYAN |
| BT 20/88 - Desempenho da Alvenaria à Compressão
Compression Performance of Masonry | LUIZ SÉRGIO FRANCO |