

COMPORTAMENTO MECÂNICO NA RUPTURA DE PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO

MOHAMAD, Gihad (1); RAMOS ROMAN, Humberto (2)

(1) M.Eng. –Bolsista RHAE. Depto. de Eng. Civil – NPC- Caixa Postal 476 – CEP 88.040-900. Florianópolis – SC. E-mail ecv3gmd@ecv.ufsc.br

(2) PhD - Prof. Departamento de Engenharia Civil UFSC. Depto. de Eng. Civil –NPC - Caixa Postal 476- CEP 88.040-900 . Florianópolis – SC. E-mail humberto@ecv.ufsc.br

RESUMO

O trabalho teve como objetivo principal estudar o comportamento da alvenaria estrutural de blocos de concreto não-grauteados. Para isto, determinou-se as características mecânicas de prismas de blocos de concreto confeccionados com diferentes traços de argamassas (designados pela Norma Britânica BS-5628: Parte 1) e dois blocos com diferentes níveis de resistência à compressão. As principais propriedades obtidas foram resistência à compressão, módulo de elasticidade dos materiais dos prismas. Através dos resultados obtidos, se estabeleceu um modelo para prever o tipo de ruptura e o nível de tensão última dos prismas, com base na resistência à tração do bloco, proporção entre os módulos de elasticidade dos materiais e resistência à compressão das argamassas.

ABSTRACT

The main aim of the work was to study the structural behaviour of un-grouted concrete block prisms. The mechanical characteristics on compression of units and 3-course prisms were determined. Two different block strengths and three different mortars grade according to British Standard BS-5628: Part 1), were used. The Young's modulus of prisms was also measured. Based on the results two theoretical equations were defined to forecast the prism strength and the type of failure. The variables are block tensile strength, mortar/unit Young's modulus rate and compressive strength of mortars.

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um dos sistemas construtivos mais antigos existentes, e vem se modificando ao longo dos anos de acordo com a evolução científica e industrial mundial. Nota-se que a evolução tecnológica mundial associada ao conhecimento das propriedades mecânicas da alvenaria proporcionam condições para que hajam construções seguras e ao mesmo tempo econômicas. No entanto este potencial não tem sido utilizado em toda a sua extensão em prédios em alvenaria estrutural pelo ainda incompleto conhecimento das propriedades das unidades e argamassas. CAMACHO (1986), cita que um dos principais motivos desse desconhecimento generalizado do meio técnico se deve ao fato de que no Brasil a construção dessas obras antecederam às pesquisas na área, invertendo completamente o processo desejável.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

No estudo realizado caracterizou-se física e mecanicamente os materiais (blocos e argamassas) e componentes (prismas de 3 fiadas), através de ensaios à compressão uniaxial. O programa experimental foi dividido em dois grupos: ensaios de caracterização dos materiais e ensaios de caracterização dos componentes (prismas).

2.1 Ensaios de caracterização dos blocos

Foram realizados ensaios de caracterização física e mecânica dos blocos, com intuito de descrever as propriedades das unidades utilizadas durante o decorrer dos estudos.

As principais características físicas avaliadas foram : relação área líquida / área bruta, absorção d'água e peso unitário.

Os blocos foram designados, em função da resistência à compressão dos mesmos por M1 e M2. A Tabela 1 apresenta as principais características físicas e mecânicas dos blocos.

Tabela 1 - Características físicas e mecânicas dos blocos estudados

Blocos	Área líquida (mm ²)	Absorção (%)	Peso unitário (Kg/m ³)	Resistência à compressão na área bruta (Mpa)	Resistência à tração * (MPa)
M1	316	6.8	2008	10.7	1.2
M2	316	6.4	2067	15.7	1.5

* A resistência à tração dos blocos foi determinada de acordo com a ASTM C1006-84;

Os módulos de elasticidade dos blocos M1 e M2 foram determinadas apartir da equação (1) recomendada pelo ACI – Building Code 318. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

$$E_b = 0,0428 \cdot f_b^{1/2} \cdot w_b^{1.5} \quad (1)$$

Sendo:

F_b = resistência à compressão do bloco;

W_b = peso específico do bloco;

Tabela 2 - Módulo de elasticidade dos blocos estimados

Módulo de elasticidade dos blocos (MPa) *	
Tipo de Bloco	
M1	16400
M2	20900

* Foi utilizada a resistência do bloco na área líquida;

2.2 Ensaios de caracterização das argamassas utilizadas nos prismas

As argamassas utilizadas nos prismas apresentaram as características mostradas na Tabela 3. O ensaio de resistência à compressão foi de acordo com a NBR- 13279/95.

Tabela 3 - Características das argamassas utilizadas nos prismas confeccionados com o bloco M1 e M2

Bloco	Tipo de Argamassa	Traço em volume	Traço em Peso	Água/cimento	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
	I	1:0,25:3	1:0,15:3,74	0,82	19,9	11230
M1	II	1:0,5:4,5	1:0,29:5,6	1,46	8,6	6409
	III	1:1:6	1:0,59:7,47	1,99	4,2	4033
	IV	1:2:9	1:1,17:11,21	2,94	2,3	2042 *
	V	1:0,25:3	1:0,15:3,74	0,78	19,2	11055*
M2	VI	1:0,5:4,5	1:0,29:5,6	1,32	7,6	6044*
	VII	1:1:6	1:0,59:7,47	1,76	5,4	4527*

* Os valores do módulo de elasticidade foram determinadas pela equação 2.

MOHAMAD (1998) determinou através de resultados experimentais o módulo de elasticidade das argamassas. A expressão que melhor representou os resultados é apresentado na equação (2).

$$E_a = -18,9 \cdot f_{arg}^2 + 939,4 \cdot f_{arg} \quad (2)$$

f_{arg} = resistência à compressão da argamassa

2.3 Ensaios de caracterização dos prismas

Foram moldados prismas de três blocos com juntas de espessura constante em torno de 10 mm. Os prismas permaneceram em ambiente laboratorial por um período de 28 dias.

As principais características obtidas foram: resistência à compressão, módulo de elasticidade e tipo de ruptura;

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1. Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas

Na Tabela 4 são mostrados a resistência à compressão média e o módulo de elasticidade dos prismas para os dois tipos e bloco testados e diferentes traços de argamassa. Na Figura 1 é apresentada a variação da resistência à compressão dos prismas em função do aumento de resistência dos blocos e argamassa.

Tabela 4 - Resistência à compressão dos prismas com os blocos M1 e M2 e os diferentes traços de argamassas

Bloco	Tipo de argamassa	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
M1	I	10,6	9100
	II	8,6	6700
	III	8,2	4500
	IV	7,5	3370
M2	V	11,7	9170
	VI	10,8	5810
	VII	8,8	5848

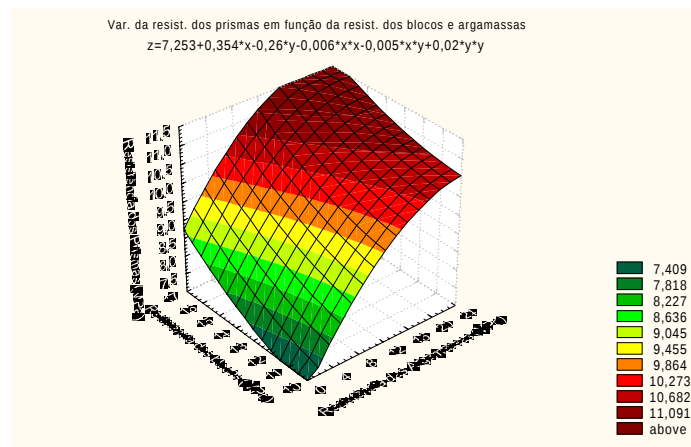


Figura 1 - Variação da resistência dos prismas em função da resistência dos blocos e argamassas

Através do gráfico da Figura 1 tem-se a superfície que melhor representa os pontos, sendo esta equação a relação para as faixas de resistência dos blocos entre 10 MPa e 17 MPa e as diferentes resistências das argamassas. Desta forma, as resistências dos prismas poder ser expressas pela equação (3).

$$f_p = 7,26 + 0,35.f_b - 0,26.f_{arg} - 0,006.f_b^2 - 0,005.f_b.f_{arg} + 0,02.f_{arg}^2 \quad (3)$$

A expressão que melhor representou a variação do módulo de elasticidade dos prismas em função da resistência à compressão dos mesmos foi uma função logarítmica $y=17120.Ln(x)-31014$ com coeficiente de correlação $R^2=0.94$. Esta equação somente é válida para faixas de resistência dos prismas compreendida entre 7,5 MPa e 11 MPa, não devendo ser extrapolada para outros valores. As demais equações não apresentaram um bom acordo com os pontos obtidos experimentalmente.

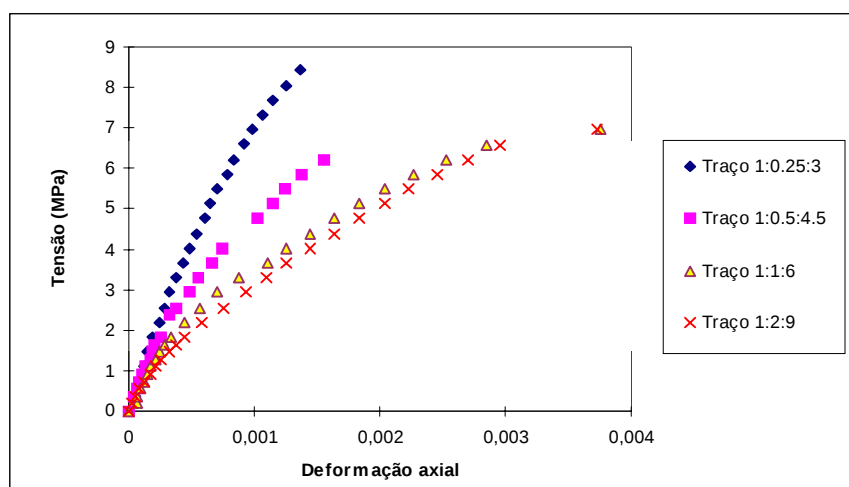


Figura 2 – Curva tensão x deformação axial de prismas de blocos de concreto com diferentes traços de argamassas e um tipo de bloco (M1)

Nota-se através da Figura 2, que quando se trabalhou com traços de argamassas III e IV aumentou-se as deformações axiais últimas da alvenaria, passando a ter um comportamento mais dúctil, diferentemente dos traços de argamassas I e II.

3.2 Eficiência da alvenaria (Resistência dos prismas/ Resistência dos blocos)

Na Tabela 5 são mostrados os resultados da eficiência da alvenaria para os dois tipos de blocos e os diferentes traços de argamassas.

Tabela 5 - Eficiência dos prismas determinadas para o bloco M1 e M2

Eficiência da alvenaria		
Traço de argamassa	Bloco M1	Bloco M2
1:0,25:3	1,0	0,75
1:0,5:4,5	0,82	0,69
1:1:6	0,77	0,56
1:2:9	0,71	-

Para os prismas com o bloco M1, e argamassa com resistência igual a do bloco na área líquida (1:1/4:3), obteve-se eficiência de aproximadamente 1. A medida que se diminuiu a resistência da argamassa, ocorreu uma diminuição do fator de eficiência.

Os prismas com o bloco M2, para uma mesma argamassa, apresentou fatores de eficiência sempre menores. Estes resultados estão de acordo com o encontrado na literatura.

Com esta análise nota-se que deve haver uma compatibilização entre a resistência da argamassa com a resistência à compressão dos blocos, pois a falta desta acarretaria num prejuízo na eficiência da alvenaria.

3.3 Modelo para a previsão da tensão de ruptura na alvenaria

Tentativas de se determinar a resistência da alvenaria com base nas resistência à compressão das unidades e argamassa, ou de outros fatores tais como, módulos de deformação, tomados isoladamente sempre se mostraram insatisfatórios. Geralmente os resultados são válidos para condições específicas e aplicáveis apenas para os materiais que geraram o modelo.

Com este trabalho buscou-se estabelecer o mecanismo de ruptura das alvenarias de bloco de concreto em função de um maior número de fatores possíveis de interferir na resistência à compressão dos mesmos. Assim, foi estudado um modelo para a previsão da tensão da alvenaria com base nos resultados obtidos experimentalmente, considerando os seguintes fatores: módulo de deformação do bloco e argamassa, resistência à compressão dos prismas (na área líquida) e das argamassas e resistência à tração dos blocos.

Os valores das relações entre: módulo de elasticidade da argamassa em função do bloco (E_a/E_b), resistência à compressão dos prismas em função da resistência da argamassa (f_p/f_a) e resistência à compressão dos prismas em função da resistência à tração do bloco (f_p/f_{bt}) são mostradas nas Figuras 3 e 4. Os mesmos foram determinadas de acordo com os resultados obtidos experimentalmente.

As equações correspondentes as curvas da Figura 3 e 4 fornecem relações capazes de relacionar a resistência dos prismas em função das propriedades elásticas dos materiais bem como do tipo de ruptura que ocorreria preferencialmente. Assim a equação da Figura 3 estabelece a relação E_a/E_b com f_p/f_a com coeficiente de correlação igual a 0,97 e é apresentada na equação (4). Por outro lado a relação E_a/E_b com f_p/f_{bt} com correlação igual a 0,88 é mostrada na equação (5).

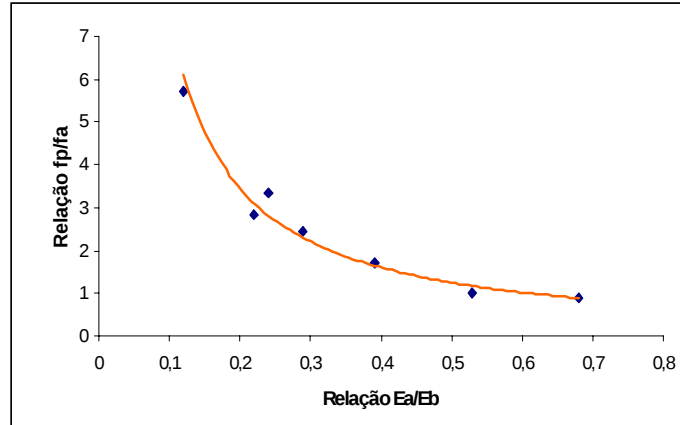


Figura 3 - Relação entre f_p / f_a e E_a / E_b , juntamente com a expressão que melhor representa os pontos

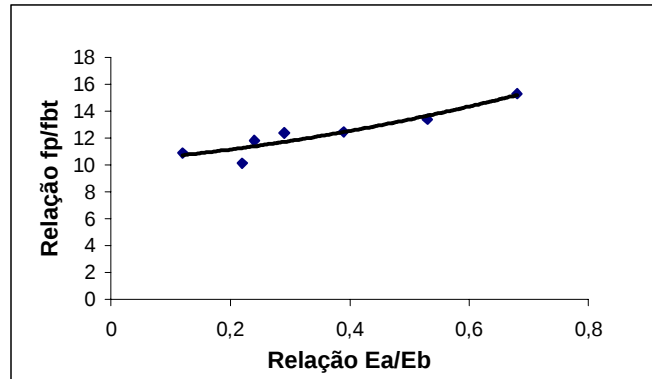


Figura 4 - Relação entre f_p/f_{bt} e E_a/E_b , juntamente com a expressão que melhor representa os pontos

$$f_p = f_a \cdot 0,5794 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b} \right)^{-1.1093} \quad (4)$$

$$f_p = f_{bt} (5,45 \cdot (E_a / E_b)^2 + 3,64 \cdot (E_a / E_b) + 10,22) \quad (5)$$

Desta forma as equações (4) e (5) permitem determinar a resistência última dos prismas além de estabelecer se a ruptura ocorre na argamassa ou por tração no bloco.

3. CONCLUSÃO

Quando foram utilizadas argamassas com traços menos resistentes à compressão do que o bloco, a ruptura foi “dúctil” ocorrendo um esfacelamento da parte externas das

paredes dos blocos. Este esfacelamento iniciava próximo às juntas, estendendo-se após por todo o bloco. Quando se utilizou argamassas com o mesmo nível de resistência à compressão do bloco na área líquida o tipo de ruptura foi essencialmente frágil no sentido da secção transversal do prisma.

As formas de ruptura observadas sugerem que a resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto vazados dependem das características mecânicas dos blocos e da argamassa. Assim, a ruptura ocorrerá devido a um dos seguintes fatores: esmagamento da argamassa, tração na argamassa e tração no bloco.

Os resultados dos ensaios e a análise dos mesmos permitiram estabelecer equações que são capazes de indicar a resistência da alvenaria em função da proporção de rigidez entre os materiais, relação entre a resistência à compressão dos prismas pela argamassa e resistência à compressão dos prismas pela resistência à tração dos blocos, conforme equações (4) e (5). A ruptura ocorrerá para o valor mais baixo entre as 2 equações.

Como resultado, pode-se também concluir que deve haver uma compatibilidade entre as argamassas e o tipo de bloco, recomendando-se que a resistência à compressão da mesma seja entre 0,70 à 1 vez a resistência à compressão do bloco na área bruta.

Os resultados permitem concluir que, apesar do grande número de pesquisas, a alvenaria estrutural tem comportamento não completamente entendido. Isto leva a generalizações que nem sempre correspondem à realidade, e tem como consequência, o uso da mesma sem a plenitude de otimização possível.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MOHAMAD, G. Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto. **Dissertação de Mestrado** – UFSC – Maio 1998.

ASTM C 1006 - 84 -Standard Test Method for Splitting Tensile Strenght of Masonry Units.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION- BSI 5628- Structural use of unreinforced masonry. London, Part 1, 1978.

CAMACHO, JEFFERSON SIDNEY- “Alvenaria Estrutural Não-Armada-Parâmetros Básicos A Serem Considerados No Projeto Dos Elementos Resistentes”-**Dissertação de Mestrado** - UFRGS- Agosto 1986.

NBR 12118 – Blocos vazados de concreto simples – Determinação da absorção de água, teor de umidade e área líquida – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1991.

NBR 13279 – Argamassa – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1995.

NBR 6136 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural – Especificação, Rio Janeiro, ABNT, 1982.

NBR 7184 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio, Rio de Janeiro, ABNT, 1982.