

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PAREDES DE
ALVENARIA ESTRUTURAL, COM BLOCOS ASSENTADOS
COM ARGAMASSA PLENA E LONGITUDINAL**

Celso Ricardo Maas

Campinas, SP
2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PAREDES DE
ALVENARIA ESTRUTURAL, COM BLOCOS ASSENTADOS
COM ARGAMASSA PLENA E LONGITUDINAL

Celso Ricardo Maas

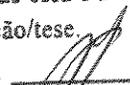
Orientador: Prof. Dr. Newton de Oliveira Pinto Junior

Dissertação de mestrado apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Edificações.

Campinas, SP

2004

Atesto que essa é a versão definitiva da
dissertação/tese.

Prof. Dr. 

Matrícula

048232-311104

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	UNICAMP
	M112r
V	EX
TOMBO BC/	62455
PROC.	16.86-05
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	2,00
DATA	04.01.05
Nº CPD	

Bibid 335967

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M112r Maas, Celso Ricardo
Resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural, com blocos assentados com argamassa plena e longitudinal / Celso Ricardo Maas. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Newton de Oliveira Pinto Junior.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Alvenaria. 2. Argamassa. 3. Blocos de concreto. 4. Construção civil. I. Pinto Junior, Newton de Oliveira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PAREDES DE
ALVENARIA ESTRUTURAL, COM BLOCOS ASSENTADOS
COM ARGAMASSA PLENA E LONGITUDINAL**

Celso Ricardo Maas

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora,
constituída por:**


**Prof. Dr. Newton de Oliveira Pinto Junior
Presidente e Orientador / FEC – Unicamp**


**Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Junior
FEC – Unicamp**


**Prof. Dr. Luiz Sérgio Franco
Escola Politécnica – USP**

Campinas, 30 de julho de 2004.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas:

- Prof. Flávio de Oliveira Costa.
- Prof. Newton de Oliveira Pinto Jr.
- Ralf V. Maas, Cesar A. Maas e Vanessa Maas.
- Givanildo R. Diniz de Souza.
- Prof. Luis Sérgio Franco, da EP-USP.
- Luciano Passos, Rodolfo Bonamigo, José Marçal, Marcelo Ramos e Ademir de Almeida, técnicos do Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da FEC – UNICAMP.
- Eng. Rogério Durante, da Tatu Pré-moldados.
- Eng. Márcia Melo e Eng. Carlos André F. Lana, da Cerâmica Selecta.
- Eng. Adilson Carvalho e Eng. Gustavo Breternitz, da Construtora Consima.
- Eng. Marcio Faria, da ABCP.
- Eng. Edvaldo Costa.
- Eng. Adriana Dieguez.
- Eng. Rogério Nogueira.
- Paulerman M. C. Mendes.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
RESUMO.....	xvii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1 INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	7
3.1.1 BLOCOS.....	7
3.1.2 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO.....	8
a) Resistência à compressão.....	8
b) Aderência.....	10
3.2 INFLUÊNCIA DA EXECUÇÃO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	11
3.2.1 MÃO-DE-OBRA.....	11
3.2.2 TIPO DE FERRAMENTA.....	12
3.2.3 ESPESSURA DA JUNTA HORIZONTAL.....	13

3.2.4	USO DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA	15
3.2.5	PRESENÇA DE GRAUTE	17
3.2.6	USO DE REVESTIMENTOS RESISTENTES	18
3.2.7	TIPO DE ASSENTAMENTO.....	19
3.3	OUTROS FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA DA PAREDE	25
3.3.1	ESBELTEZ	25
3.3.2	CARGAS CONCENTRADAS	26
4	TRABALHO EXPERIMENTAL	29
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	29
4.1.1	BLOCOS.....	29
4.1.2	ARGAMASSA.....	31
4.2	METODOLOGIA DE ENSAIO	32
4.2.1	BLOCOS.....	32
4.2.2	PRISMAS	32
4.2.3	PAREDES	33
a)	Efeitos nocivos das extremidades	33
b)	Instalação do equipamento de filmagem nas paredes assentadas com argamassa longitudinal.....	35
c)	Transporte das paredes.....	41
4.3	RESULTADOS	43
4.3.1	BLOCOS DE CONCRETO	43

4.3.2	PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO	46
4.3.3	PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO	48
4.3.4	BLOCOS CERÂMICOS	54
4.3.5	PRISMAS DE BLOCOS CERÂMICOS	57
4.3.6	PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS	59
4.3.7	COMPARAÇÃO COM OUTROS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	64
5	ESTUDO EM ELEMENTOS FINITOS	67
5.1	PARÂMETROS UTILIZADOS	67
5.1.1	CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA DOS BLOCOS.....	69
5.1.2	CÁLCULO DA TENSÃO EM SERVIÇO $\overline{\sigma}_c$ QUE ATUA NOS BLOCOS.....	69
5.1.3	CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO MÉDIA DAS PAREDINHAS DOS BLOCOS.....	69
5.2	PROCEDIMENTOS.....	70
5.3	RESULTADOS.....	71
5.3.1	CONSIDERANDO A ARGAMASSA AVANÇANDO 1 cm SOBRE O SEPTO TRANSVERSAL E O BLOCO SUBMETIDO À TENSÃO DE RUPTURA $f_p = 10,2$ MPa	71
5.3.2	CONSIDERANDO A ARGAMASSA AVANÇANDO 2 cm SOBRE O SEPTO TRANSVERSAL E O BLOCO SUBMETIDO À TENSÃO DE RUPTURA $f_p = 10,2$ MPa	73

5.3.3 CONSIDERANDO A ARGAMASSA AVANÇANDO 1 cm SOBRE O SEPTO TRANSVERSAL E O BLOCO SUBMETIDO À TENSÃO EM SERVIÇO $\bar{\sigma}_c = 1,78$ MPa	74
6 CONCLUSÕES	75
6.1 BLOCOS E PRISMAS DE CONCRETO	75
6.2 PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO.....	77
6.3 BLOCOS E PRISMAS CERÂMICOS	78
6.4 PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS.....	78
6.5 ESTUDO EM ELEMENTOS FINITOS.....	79
6.6 SUGESTÃO PARA PRISMAS	80
6.6.1 ÁREAS DE ASSENTAMENTO ENTRE BLOCOS DOS PRISMAS, DIFERENTE DA ÁREA DAS PAREDES	80
6.6.2 ATRITO NAS EXTREMIDADES DO PRISMA.....	81
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Assentamento com desempenadeira de 40 cm	3
Figura 2 – (a) Assentamento com bisnaga; (b) Assentamento com meia-cana	3
Figura 3 – Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa.....	10
Figura 4 – Recomendação do ITQC (1999) para assentamento de blocos	20
Figura 5 – Mecanismo de ruptura da alvenaria assentada com argamassa longitudinal.....	22
Figura 6 – Tensão lateral no septo transversal de prismas com argamassa plena e longitudinal.....	23
Figura 7 – Tensões em um bloco com carga nas paredinhas longitudinais.....	24
Figura 8 – Esquema dos seis tipos de paredes ensaiadas por SHRIVE e SAYED-AHMED (1997).....	28
Figura 9 – Bloco cerâmico.....	29
Figura 10 – Dimensões dos blocos cerâmicos.....	29
Figura 11 – Corte transversal do bloco.....	29
Figura 12 – Corte longitudinal do bloco.....	29
Figura 13 – (a) Prismas com argamassa plena, (b) Prismas com argamassa longitudinal.	32

Figura 14 – (a) Paredes com argamassa plena; (b) Paredes com argamassa longitudinal; (c) Esquema da aplicação das cargas do ensaio	34
Figura 15 – Primeira fiada em contato com a chapa: blocos grauteados.....	35
Figura 16 – Instalação do equipamento de filmagem dentro da parede	36
Figura 17 – Disposição das câmeras no interior da parede	37
Figura 18 – Parede com argamassa longitudinal e equipamento de filmagem.....	38
Figura 19 – Captura e gravação das imagens do interior da parede	39
Figura 20 – Parede posicionada no pórtico de ensaio	40
Figura 21 – Alças para transporte das paredes	41
Figura 22 – Parede sendo transportada até o local de ensaio.....	42
Figura 23 – Tipos de capeamento dos blocos ensaiados com indicação das áreas efetivas (A_{ef}) de transferência de cargas	43
Figura 24 – Fissuras na paredinha transversal externa de um bloco de concreto, rompido com capeamento longitudinal	45
Figura 25 – Fissuras nas paredinhas transversais dos blocos com capeamento e argamassa longitudinais.....	48
Figura 26 – Fissuras captadas no interior da parede	49
Figura 27 – Fissuras em um parede com argamassa plena	52
Figura 28 – Fissura captada no interior da parede.....	52
Figura 29 – Fissuras nos septos transversais dos blocos.....	53

Figura 30 – Tipos de capeamento dos blocos ensaiados, com indicação das áreas efetivas (A_{ef}) de transferência de cargas	54
Figura 31 – Fissuras na paredinha transversal externa de um bloco cerâmico, rompido com capeamento longitudinal	56
Figura 32 – Ruptura de um prisma de bloco cerâmico com indicação das primeiras fissuras	58
Figura 33 – Tipos de capeamento dos blocos ensaiados com indicação das áreas efetivas (A_{ef}) de transferência de cargas	60
Figura 34 – Fissuras em uma parede com blocos cerâmicos assentada com argamassa plena.....	62
Figura 35 – Fissuras em uma parede com blocos cerâmicos assentada com argamassa longitudinal	63
Figura 36 – Fissuras internas em um bloco de uma parede assentada com argamassa longitudinal	63
Figura 37 – Planta, elevação e vista tridimensional do modelo.....	68
Figura 38 – Vista do septo transversal.....	68
Figura 39 – Tensões no meio do septo transversal (kgf/cm^2)	70
Figura 40 – Tensões no meio do septo transversal (kgf/cm^2)	72
Figura 41 – Tensões no meio do septo transversal (kgf/cm^2)	73
Figura 42 – Tensões no meio do septo transversal (kgf/cm^2)	74
Figura 43 – Esquema estático dos prismas com argamassa longitudinal.....	76

Figura 44 – Área efetiva dos prismas atuais de blocos de concreto com argamassa plena.....	81
Figura 45 – Blocos reforçados na extremidade dos prismas	82
Figura 46 – Proposta para ensaios de prismas com blocos de concreto ou cerâmicos.....	82
Figura 47 – Áreas efetivas de transferência de carga (A_{ef}) correspondentes a 45 cm de parede.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência à compressão de paredes de blocos cerâmicos.....	9
Tabela 2 – Resistência à compressão e de aderência de prismas em função da ferramenta utilizada.....	12
Tabela 3 – Resistência à compressão de prismas em função da espessura da junta de assentamento.....	14
Tabela 4 – Resistência à compressão de prismas em função da espessura da junta de assentamento.....	14
Tabela 5 – Resistência à compressão de prismas e paredinhas de blocos de concreto	16
Tabela 6 – Resistência à compressão de prismas e paredinhas de blocos cerâmicos.....	16
Tabela 7 – Resistência de aderência para blocos de concreto e cerâmicos em função do tipo de argamassa	17
Tabela 8 – Resistência à compressão de paredes em função da presença de revestimentos resistentes.....	19
Tabela 9 – Caracterização dos blocos utilizados	30
Tabela 10 – Caracterização das argamassas utilizadas.....	31
Tabela 11 – Resistência à compressão dos blocos com capeamento pleno (P) e longitudinal (L)	44
Tabela 11a - Comparações das resistências calculadas com as respectivas cargas médias e áreas efetivas.....	44
Tabela 12 - Resistência à compressão dos prismas e das argamassas correspondentes.....	46

Tabela 12a – Comparações importantes dos ensaios de prismas.....	47
Tabela 13 – Resistência à compressão das paredes e das argamassas, e cargas de 1ª fissura das paredes	50
Tabela 13a – Comparações importantes dos ensaios de paredes	50
Tabela 14 – Resultados dos ensaios dos blocos cerâmicos.....	54
Tabela 14a – Comparações das resistências calculadas com as respectivas cargas médias e áreas efetivas	55
Tabela 15 – Resultados dos ensaios dos prismas de blocos cerâmicos	57
Tabela 15a – Comparações importantes dos ensaios de prismas.....	57
Tabela 16 – Resultados dos ensaios das paredes de blocos cerâmicos.....	60
Tabela 16a – Comparações importantes dos ensaios de paredes	61
Tabela 17 – Comparação entre eficiências de vários trabalhos.....	64
Tabela 18 – Concreto: resistências médias.....	79
Tabela 19 – Cerâmico: resistências médias	79

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{par} = resistência à compressão da parede;

f_b = resistência à compressão média de blocos (calculado na área bruta);

f_{bk} = resistência à compressão características de blocos (calculado na área bruta);

$f_{b,ef}$ = resistência à compressão média de blocos (calculado na área efetiva);

f_p = resistência à compressão média de prismas (calculado na área líquida);

f_{pc} = resistência à compressão média de prismas cheios;

f_a = resistência à compressão média de argamassa;

f_{revest} = resistência à compressão média da argamassa de revestimento da parede;

A_{ef} = área do bloco, prisma ou parede que efetivamente transfere carga;

h = altura da parede;

t = espessura da parede;

D.P. = desvio padrão;

C.V. = coeficiente de variação;

C.P. = corpo-de-prova;

Larg. = largura do corpo-de-prova;

Compr. = comprimento do corpo-de-prova;

Alt. = altura do corpo-de-prova;

E_b = módulo de elasticidade do bloco;

ν = coeficiente de Poisson;

f_{ck} = resistência à compressão características do concreto;

P_R = carga de ruptura.

ABSTRACT

The two main aims of this work are to verify and analyze the reduction of the compressive strength of structural masonry walls, when the blocks are laid with mortar only in the outside faces of the block (face shell bedding). These verifications and analysis are important because, although the Brazilian code NBR 8798 (1985) still specifies that the entire block surface must be bonded (full mortar bedding), in Brazil the most used type of bedding is the face shell bedding. Besides, these verifications are important because we notice that the face shell bedding is used in the richest countries. In order to find the magnitude of this reduction and to understand the collapse of the two types of bedding, 14 days old specimens of blocks, prisms and wallettes of one meter height were tested, with face shell and full mortar bedding. All the tests were carried out with concrete and ceramic structural blocks. After realize the handicaps of the Brazilian prisms, mainly that ones bonded whit face shell bedding, the last aim of this work is to propose a new model of prisms, to be used in laboratory tests.

Keywords: Structural masonry, mortar, mortar bedding, face shell bedding, concrete blocks, ceramic blocks

RESUMO

Os dois objetivos principais deste trabalho são verificar e analisar a redução da carga de ruptura de paredes de alvenaria estrutural, quando os blocos são assentados com argamassa apenas nas suas paredinhas longitudinais (argamassa longitudinal). Estas verificações e análises se fazem necessárias porque a NBR 8798 (1985) ainda especifica a colocação de argamassa em todas as paredes dos blocos (argamassa plena), embora o que mais se tem observado nas nossas construções é a colocação de argamassa apenas nas paredinhas longitudinais. Além disso, essas verificações se tornam mais necessárias quando se sabe que esse tipo de assentamento é o mais usado nos países mais ricos e desenvolvidos do mundo. Para a determinação do valor dessa redução, bem como para melhor compreender a ruptura das paredes com esses dois tipos de assentamento, foram ensaiados corpos-de-prova de blocos, prismas e paredes de 1,00 m de altura, na idade de 14 dias, com argamassa plena e longitudinal. Todos os ensaios foram feitos com blocos de concreto e com blocos cerâmicos. Finalizando, após evidenciar as deficiências dos atuais modelos de prismas, principalmente dos prismas com argamassa longitudinal, este trabalho tem como um último objetivo propor novos modelos de prismas para ensaios, em conformidade com os tipos de assentamento.

Palavras Chaves: alvenaria estrutural, argamassa, assentamento, blocos de concreto, blocos cerâmicos

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural vem ganhando cada vez mais espaço na construção civil brasileira, principalmente na construção de edifícios residenciais e comerciais, bem como na construção de residências e até em muros de arrimo. Seu uso tem aumentado bastante desde 1990, devido ao desenvolvimento de pesquisas em universidades e à adequação das indústrias, que passaram a produzir materiais de boa qualidade com preços acessíveis. Isto tornou a construção em alvenaria estrutural, na maioria dos casos mais barata em relação a uma construção similar em concreto armado.

Este sistema construtivo permite que haja uma obra limpa, pois há pouco uso de fôrmas, pouco desperdício de materiais e pequenas espessuras de revestimento. Esses fatores proporcionam grande velocidade e, conseqüentemente, grande economia à obra.

Paralelamente à evolução do sistema, passou-se a adotar em um grande número de obras com blocos de concreto, a mesma prática construtiva que se usa há muito tempo na obras com blocos cerâmicos: o preenchimento de argamassa apenas nas paredinhas longitudinais dos blocos (argamassa longitudinal) ao invés do preenchimento de todas as paredinhas dos blocos (argamassa plena), como prescreve a NBR 8798 (1985).

São três as principais justificativas para esta prática: economia de material, economia de tempo e estanqueidade da parede. A primeira é a de que não colocando argamassa no septo transversal haveria uma economia considerável desse material na obra, já que a área a ser preenchida seria menor.

A segunda justificativa é o ganho de tempo que esta prática proporciona. Isto ocorre porque, geralmente, o septo transversal é preenchido com a colher de pedreiro, e a face longitudinal com a desempenadeira de 40 cm. Esta última é similar à

desempenadeira de madeira tradicional, porém, com dimensões de 40 x 5 cm, que facilita bastante a colocação da argamassa. As outras ferramentas mais usadas são a bisnaga, similar às bisnagas de confeitarias, e a meia-cana. A desempenadeira de 40 cm pode ser vista na Figura 1, e as demais ferramentas na Figura 2.

Então, não preenchendo o septo transversal, haveria um ganho de tempo, pois o pedreiro não precisaria trocar de ferramenta constantemente. Se o preenchimento fosse feito exclusivamente com a bisnaga, o ganho de tempo poderia ser ainda maior, pois tal preenchimento poderia ser feito pelo ajudante, enquanto o pedreiro ocuparia seu tempo apenas assentando os blocos. Mas a bisnaga tem um inconveniente: muitos não a utilizam porque seu uso contínuo pode provocar dores no braço. Porém, este ganho de tempo não é tão grande, pois a troca de ferramentas é constante no processo. Após assentar o bloco, independentemente do uso da desempenadeira, da bisnaga ou de outra ferramenta, o pedreiro usa a colher de pedreiro para raspar a argamassa excedente, para alinhar e aprumar o bloco.

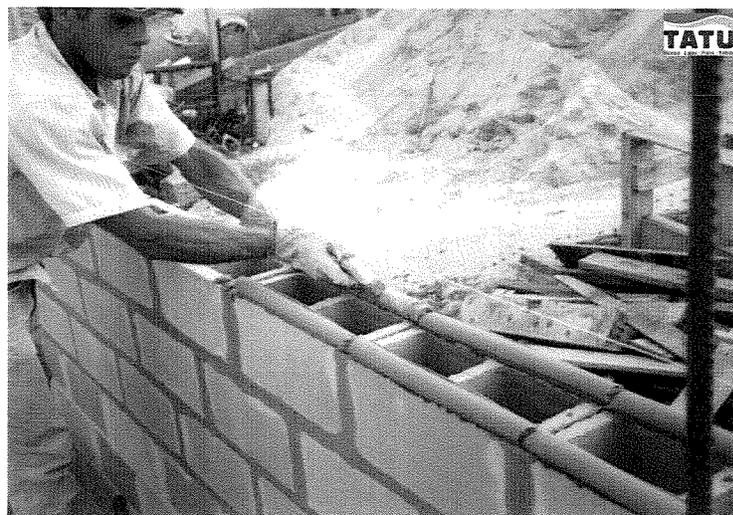
A terceira justificativa é a estanqueidade. Não havendo continuidade da junta horizontal de argamassa, haveria menos chances de ocorrerem infiltrações de água proveniente das chuvas.



Figura 1 – Assentamento com desempenadeira de 40 cm



(a)



(b)

Figura 2 – (a) Assentamento com bisnaga (Fonte: www.equipaobra.com.br); (b) Assentamento com meia-cana (Fonte: Eng. Rogério Durante - Tatu Pré moldados)

Apesar do uso corrente do assentamento com argamassa longitudinal, há dois inconvenientes desta prática. O primeiro deles é a redução da carga de ruptura das paredes, uma vez que a área de contato entre os blocos é diminuída.

O segundo é que ao longo do carregamento das paredes surgem fissuras de compatibilidade nos septos transversais dos blocos. Numa eventualidade do aumento de cargas além das de cálculo, essas fissuras podem se desenvolver até a ruptura. Como tais fissuras não são visíveis, as paredes com argamassa longitudinal apresentam rupturas denominadas de frágeis, bruscas ou desavisadas.

2 OBJETIVOS

São três os principais objetivos deste trabalho. O primeiro é comparar as cargas de ruptura de blocos, prismas e paredes quando são assentados com argamassa plena e quando são assentados com argamassa longitudinal, mostrando a diferença da resistência à compressão desses elementos. O segundo objetivo é mostrar a maneira como se dá a ruptura nos casos de preenchimento com argamassa plena e longitudinal. O terceiro é propor novos modelos de prismas para ensaios com argamassa plena e longitudinal, tanto para blocos de concreto como para blocos cerâmicos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural pode ter influência de vários fatores. Primeiramente, é função dos materiais empregados (blocos e argamassa). Também é função da qualidade da execução da parede e do tipo de carregamento ao qual a parede está submetida.

3.1 INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Basicamente, os materiais constituintes de uma parede de alvenaria estrutural são os blocos e as argamassas. Sua combinação é responsável pela resistência à compressão da estrutura. Outros materiais que podem ser responsáveis pela resistência à compressão da parede são o graute e até mesmo argamassas de revestimento, como descrito na seqüência.

3.1.1 BLOCOS

Duas características dos blocos são determinantes para a resistência da parede: a própria resistência à compressão do bloco (função da qualidade da produção) e sua geometria.

Para que um bloco tenha resistência adequada, seu processo de fabricação deve passar por um controle de qualidade rigoroso. Os agregados devem estar limpos e com granulometria apropriada. A resistência depende do grau de compactação da mistura durante a moldagem. Segundo MEDEIROS e SABATTINI (1993), este grau de compactação é função direta da granulometria dos agregados, da umidade da mistura e das condições de moldagem (vibração e prensagem). Já segundo MEDEIROS, DORNELLES e FRANCO (1994), o grau de compactação é aumentado quando se usam aditivos plastificantes, que facilitam a moldagem dos blocos.

Com relação à geometria do bloco, há dois aspectos principais a considerar. Primeiramente, é importante a posição dos septos transversais dos blocos. Em duas fiadas sucessivas de uma parede, estes septos devem se alinhar, sendo assim capazes de transferir cargas de um bloco para outro. Quando os septos transversais não se alinham, o que geralmente ocorre com os blocos cerâmicos, uma porcentagem menor do bloco é usada para transferir as cargas. A segunda consideração com relação à geometria diz respeito à amarração entre paredes. Para conseguir uma amarração natural entre duas paredes perpendiculares, é interessante que haja na obra os chamados blocos especiais. São blocos com dimensões diferentes das tradicionais 14 x 29 ou 14 x 39 cm, que permitem essa amarração. Sem eles, ocorrem juntas a prumo, e uma armadura complementar deve ser colocada nessa região de ligação. Além disso, paredes perpendiculares com amarração natural apresentam ótima resistência ao cisalhamento, o que não acontece nos casos de juntas a prumo.

3.1.2 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

A argamassa de assentamento deve garantir adequadamente a transferência de cargas de um bloco para outro. Para que isto ocorra de uma maneira satisfatória, a argamassa deve obedecer alguns requisitos.

a) Resistência à compressão

A argamassa não deve ter uma resistência muito elevada, e tampouco baixa demais. GOMES (1983), ensaiou paredes de blocos cerâmicos de 2,60 m de altura, e seus resultados podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resistência à compressão de paredes de blocos cerâmicos- GOMES (1983)

Nome das paredes	f_{par}^* (MPa)	f_b (MPa)	f_a (MPa)
F-1	2,34	7,5	5,0
F-2	2,78		5,2
Média	2,60	7,5	5,1
G-1	3,29	7,5	11,1
G-2	2,88		13,3
G-3	2,63		11,5
Média	2,90		12,0

* calculada na área bruta

Na Tabela 1, observa-se que aumentando a resistência da argamassa em 135%, a resistência da parede aumentou apenas 11,5%. Embora houvesse este ganho de 11,5%, o autor verificou que, neste caso, as paredes eram mais rígidas, e com uma ruptura mais frágil que as paredes com argamassa de menor resistência. As argamassas com resistência menor apresentam uma certa ductilidade, que permite que haja um acomodamento da estrutura durante o carregamento. Com isso, o autor concluiu que a resistência à compressão da argamassa deve ser superior a 70% da resistência dos blocos, mas não deve ultrapassar a resistência à compressão dos mesmos.

Já RAMALHO E CORREA (2003) afirmam que para argamassas com resistência em torno de 50% da resistência dos blocos, dificilmente haverá uma queda significativa da resistência da parede. Os autores afirmam que somente se a argamassa tiver menos do que 30 a 40% da resistência do bloco é que haverá problemas.

KHALAF (1997) fez ensaios de resistência à compressão em prismas de três blocos para verificar a influência da resistência da argamassa de assentamento. Seus ensaios foram feitos com blocos de concreto de resistência média de 11 MPa, e os prismas foram assentados com três argamassas de resistências diferentes. O autor

verificou que aumentando a resistência da argamassa de prismas em 188%, o aumento da resistência à compressão dos mesmos foi de apenas 20%.

A argamassa tem a resistência baixa por apresentar-se sempre confinada, submetida a um estado triplo de tensões, como pode ser observado na Figura 3. Segundo RAMALHO e CORRÊA (2003), é exatamente este confinamento que torna a argamassa pouco susceptível à ruptura, mesmo que sua resistência à compressão, medida em corpos-de-prova cilíndricos, seja relativamente baixa.

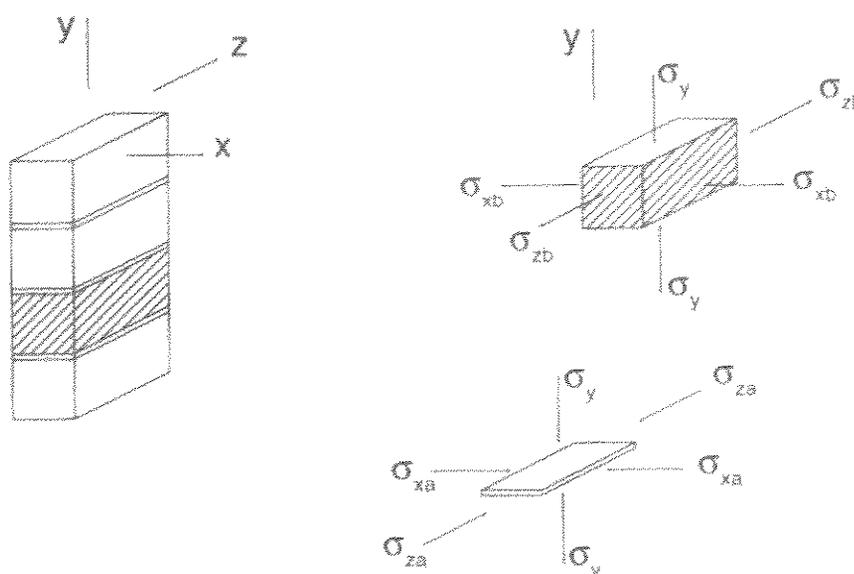


Figura 3 – Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa.
Fonte: RAMALHO E CORRÊA (2003)

b) Aderência

A argamassa deve ter uma boa aderência com os blocos. Com isso, a argamassa estará plenamente confinada, sendo capaz de transferir as tensões uniformemente de um bloco para outro. Para que a argamassa apresente boa aderência, é imprescindível a colocação de cal na argamassa, o que aumenta sua capacidade de retenção de água, melhorando bastante esta propriedade.

Segundo FRANCO (1987), a capacidade de retenção de água de uma argamassa está ligada à superfície específica de seus componentes. Aumentando a proporção de cal em relação ao cimento, tem-se uma superfície específica grande, melhorando a retenção de água e, conseqüentemente, a aderência. A perda de água da argamassa pode ser responsável pela perda da aderência na interface bloco-argamassa, pois esta perda prejudica a hidratação do cimento, diminuindo a resistência à compressão e a aderência, tornando-a mais rígida quando endurecida. Com isso, sua capacidade de absorver deformações é diminuída e a umidade dos blocos é aumentada, aumentando o potencial de retração na secagem.

3.2 INFLUÊNCIA DA EXECUÇÃO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

3.2.1 MÃO-DE-OBRA

Uma mão-de-obra qualificada é um fator determinante para o bom desempenho estrutural de uma parede. Para isso, é necessário que se use uma equipe com experiência em alvenaria estrutural ou, caso isto não seja possível, proporcionar um treinamento adequado a esta equipe. Além disso, é importante que haja uma constante fiscalização por parte do engenheiro, para que não ocorram erros como variação da espessura da junta, perda de prumo, alinhamento e nível, rasgos nos blocos após o assentamento, etc.

Alguns autores verificaram a influência da mão-de-obra na resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural. Segundo o US Bureau of Standards, *apud* FRANCO (1987), podem ocorrer variações de 30 a 60% na resistência das paredes quando o trabalho é executado por pedreiros sem supervisão.

Já MONK, *apud* SAHLIN (1971), verificou em seus trabalhos que para blocos de até 20 MPa, houve aumentos significativos (de até 100%) na resistência das paredes executadas com supervisão. Já para blocos de resistência maiores, houve aumentos de 10 a 70% na resistência das paredes executadas com supervisão.

Segundo MÜLLER (1989), ensaios franceses em paredes de 1,00 x 0,80 x 0,20 m construídas por cinco pedreiros diferentes apresentaram uma queda de 30% na resistência à compressão nas paredes executadas com a pior mão-de-obra em relação às assentadas cuidadosamente.

3.2.2 TIPO DE FERRAMENTA

MACHADO JUNIOR e FONTE (2000) fizeram um estudo experimental para verificar a influência da técnica de assentamento de prismas cerâmicos de quatro blocos na resistência à compressão e resistência à flexão. Os corpos-de-prova foram assentados com argamassa plena, com o uso da bisnaga e também com o uso da colher de pedreiro. Os resultados podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência à compressão e de aderência de prismas em função da ferramenta utilizada – MACHADO JUNIOR e FONTE (2000)

Argamassa	f_a (MPa)	Ferramenta utilizada	f_p (MPa)	Resistência de aderência (MPa)
B1	5,4	Colher	6,7	0,37
		Bisnaga	6,4	0,49
B2	6,5	Colher	6,2	0,64
		Bisnaga	6,3	0,30
B3	3,2	Colher	4,4	0,26
		Bisnaga	5,1	0,53

Os resultados vistos na Tabela 2 levam à conclusão de que o tipo de ferramenta utilizada não tem interferência na resistência à compressão de prismas. Por outro lado, a grande variação dos resultados de resistência de aderência deixa esta análise inconclusiva.

3.2.3 ESPESSURA DA JUNTA HORIZONTAL

Segundo a NBR 8798 (1985), a espessura da junta horizontal de assentamento deve ser de 10 ± 3 mm. Variações além destas podem diminuir a resistência da parede. Com relação a este item, um dos trabalhos mais citados por grande número de pesquisadores é o de SAHLIN (1971), que verificou em seus ensaios que a cada aumento de 3 mm na espessura da junta, há uma redução de 15% na resistência da parede.

Outros autores também verificaram este efeito. MORENO JUNIOR e ALBUQUERQUE (1997) fizeram um estudo para verificar a influência da espessura da junta na resistência à compressão de 60 prismas com três tipos diferentes de argamassa. Este estudo foi feito com o objetivo de analisar a situação real dos materiais nacionais, uma vez que SAHLIN usou blocos de 80 MPa, bem diferentes dos materiais usados atualmente no Brasil (os usados por MORENO JUNIOR e ALBUQUERQUE tinham dimensões de 19 x 19 x 39 cm e resistência média de 8,5 MPa.) Os resultados mostraram que a resistência à compressão decresce com o aumento da espessura das juntas. Porém, diferentemente de SAHLIN, observaram reduções de no máximo 6% para cada aumento de 5 mm na espessura das juntas de assentamento. De qualquer maneira, confirmaram que a junta ideal é justamente a da norma, de 1cm. Seus resultados podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3 – Resistência à compressão de prismas em função da espessura da junta de assentamento – MORENO JUNIOR e ALBUQUERQUE (1997)

DECRÉSCIMO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PRISMAS				
Argamassa		Variação da espessura da junta de assentamento		
Traço	Resistência (MPa)	5 para 10 mm	10 para 15 mm	15 para 20 mm
1:0:3	22,9	3,24%	1,84%	1,28%
1:0,5:4,5	13,4	4,18%	2,35%	1,65%
1:1:6	9,10	5,74%	3,17%	2,17%

KHALAF (1996) também estudou a influência da espessura da junta de argamassa. O autor ensaiou prismas de três blocos de concreto vazados e preenchidos com graute. No seu caso, aumentando a espessura da junta de 5 para 20 mm, houve uma redução na resistência à compressão de prismas cheios de 12% e de 18% para prismas vazados. Seus resultados podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 – Resistência à compressão de prismas em função da espessura da junta de assentamento – KHALAF (1996)

Espessura da junta (mm)	f_a (MPa)	f_b (MPa)	f_p (MPa)	f_{pc} (MPa)
5 mm	21,2	11,3	23,3	14,5
10 mm	26,5	11,3	21,4	14,5
20 mm	21,2	11,3	19,2	12,8

3.2.4 USO DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA

O uso de argamassa industrializada está sendo cada vez mais difundido, pois apresenta algumas vantagens em relação à argamassa preparada *in loco*, principalmente em obras de maior porte. O tempo de preparo é menor, uma vez que na maioria dos casos só se acrescenta água à mistura. O número de funcionários para o preparo também diminui, já que é um trabalho mais fácil de ser executado, o que acaba gerando uma economia à obra. Por isso, é importante que se façam avaliações do desempenho de argamassas industrializadas utilizadas em obras de alvenaria estrutural.

Geralmente, as argamassas industrializadas possuem em suas composições aditivos incorporadores de ar, com o objetivo de aumentar a trabalhabilidade e a retenção de água. Por isso, deve-se tomar cuidado com o tempo de mistura, pois quanto maior for este tempo, maior o teor de ar incorporado na argamassa e, conseqüentemente, menor sua resistência. CASALI (2003) verificou em seus estudos com vários tipos de argamassas industrializadas indicadas para alvenaria estrutural, que o tempo de mistura deve ser inferior a dois minutos, caso contrário os teores de ar incorporado elevam-se demais.

BARROS e SABBATINI (1995) fizeram um trabalho comparando o desempenho de quatro argamassas industrializadas (I_1 , I_2 , I_3 , I_4), indicadas para alvenaria estrutural, com duas convencionais, de traços 1:2:9 (C_1) e 1:1:6 (C_2). As características estudadas foram a resistência à compressão e resistência de aderência por tração na flexão, a partir de ensaios em prismas e paredinhas.

Os prismas para ensaio de resistência à compressão foram feitos com 3 blocos, e os para o ensaio de aderência, com cinco blocos. As paredinhas para o ensaio de resistência à compressão tinham três fiadas, com dois blocos em cada fiada. Os blocos de concreto utilizados tinham resistência à compressão média de 10 MPa, e os cerâmicos, 12 MPa. Para prismas e paredinhas com blocos estruturais de concreto e

cerâmicos, os resultados de resistência à compressão estiveram muito próximos, não havendo variações significativas. Os resultados podem ser observados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Resistência à compressão de prismas e paredinhas de blocos de concreto – BARROS e SABBATINI (1995)

Tipo de argamassa	f_p (MPa)	f_{par}^* (MPa)
l_2	5,84	3,54
l_4	5,87	4,23
C_2	5,25	3,41

* calculada na área bruta

Tabela 6 – Resistência à compressão de prismas e paredinhas de blocos cerâmicos – BARROS e SABBATINI (1995)

Tipo de argamassa	f_p (MPa)	f_{par}^* (MPa)
l_1	2,13	1,52
l_2	2,86	1,20
l_4	1,97	2,10
C_1	2,38	1,89

* calculada na área bruta

Já para o caso da resistência de aderência por tração na flexão, os autores afirmam que comparando os resultados obtidos com argamassas industrializadas e com argamassas convencionais, fica claro o melhor desempenho das primeiras. O valor nominal da resistência de aderência obtida foi superior, e a maioria dos prismas não rompeu, indicando que esta resistência poderia até ser maior que a observada. Os resultados podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 – Resistência de aderência para blocos de concreto e cerâmicos em função do tipo de argamassa – BARROS e SABBATINI (1995)

Tipo de argamassa	Resistência de aderência usando blocos de concreto (MPa)	Resistência de aderência usando blocos cerâmicos (MPa)
I ₁	-	0,25
I ₂	0,74	0,30
I ₄	0,27	0,19
C ₁	-	0,18
C ₂	0,15	-

3.2.5 PRESENÇA DE GRAUTE

A presença de graute influencia diretamente a resistência à compressão de uma parede. A norma inglesa BS 5628 (1978) afirma que quando a alvenaria é construída com blocos vazados e os furos verticais são preenchidos com graute, o valor da resistência da alvenaria f_k deve ser obtido como se os blocos fossem maciços, sendo que o graute não deve ter resistência menor que a do bloco (área efetiva). Se a resistência do graute for menor que a do bloco, a resistência do bloco cheio deverá ser tomada como a resistência do graute. Segundo KHALAF (1996), as normas americanas e canadenses dão a mesma recomendação. Em ensaios deste autor, a resistência dos blocos aumentou significativamente com o aumento da resistência do graute.

KHALAF (1997) verificou em seus estudos experimentais que, quando preenchidos com graute, prismas de três blocos aumentaram sua resistência à compressão em aproximadamente 60%. Os blocos usados tinham 11 MPa e o graute, 34 MPa.

Já KHALAF, HENDRY e FAIRBAIRN (1994), usando blocos de 11 MPa, ensaiaram prismas de três blocos, variando a resistência do graute. Seus resultados

também mostraram que há um aumento significativo da resistência dos prismas quando preenchidos com graute, e concluíram que o graute se torna mais efetivo quando sua resistência é igual ou superior à resistência do bloco.

Como o graute e o bloco devem trabalhar monoliticamente, a NBR 10837 (1989) especifica que a resistência do graute deve ser duas vezes maior que a resistência do bloco. Isto se deve porque a resistência do bloco é calculada na área bruta do bloco. Como geralmente a área líquida do bloco de concreto é metade da área bruta, na verdade o concreto de que é feito o bloco tem resistência igual a duas vezes o f_{bk} .

3.2.6 USO DE REVESTIMENTOS RESISTENTES

OLIVEIRA e HANAI (1998) estudaram o uso de revestimentos resistentes em paredes. Para casos de reabilitação de estruturas, existe o procedimento de revestir paredes de alvenaria estrutural com revestimentos resistentes, como, por exemplo, a argamassa armada. Os autores ensaiaram paredes de 1,20 por 2,60 m, com blocos de concreto de resistência média de 4,5 MPa cujos resultados são apresentados na Tabela 8. A parede P1 foi ensaiada sem revestimento, e o ensaio foi interrompido após o início das fissuras. Essa parede foi revestida (P1R) com 1,5 cm em cada face e então ensaiada até a ruptura. A parede P2 foi revestida com argamassa armada e a parede P3 não teve revestimento e foi ensaiada até a ruptura. Os resultados mostraram que, mesmo recuperada com uma argamassa de baixa resistência à compressão, a parede 1R teve sua resistência multiplicada por 3,7, e sem ocorrência de fissuras no revestimento.

Tabela 8 – Resistência à compressão de paredes em função da presença de revestimentos resistentes – OLIVEIRA E HANAI (1998)

Parede	Condição de revestimento	$f_{\text{revest.}}$ (MPa)	f_p (MPa)	f_{par}^* (MPa)
P1	sem revestimento	-	4,2	1,45
P2	com revestimento	8	5,3	2,50
P3	sem revestimento	-	4,1	2,17
P1R	fissurada e recuperada com revestimento	11	5,4	5,40

* calculada na área bruta

3.2.7 TIPO DE ASSENTAMENTO

A NBR 8798 (1985) especifica, no item 4.2.5.2:

“c) a argamassa deve ser aplicada em todas as paredes do bloco para formação da junta horizontal e em dois cordões verticais nos bordos de uma das extremidades do bloco para formação da junta vertical.”

Ou seja, a norma especifica o uso de argamassa plena, e o que vem ocorrendo em muitas obras é o preenchimento apenas nas paredinhas longitudinais dos blocos (argamassa longitudinal).

O ITQC (1999), através do Programa Qualihab, recomenda que a argamassa seja aplicada com bisnaga ou desempenadeira estreita, “formando cordões de cerca de 15 mm de diâmetro, dos dois lados dos blocos, em suas laterais”. O procedimento é mostrado nas Figura 4. Com isso, fica claro que a recomendação do ITQC é o preenchimento com argamassa longitudinal, portanto em desacordo com a norma citada anteriormente.

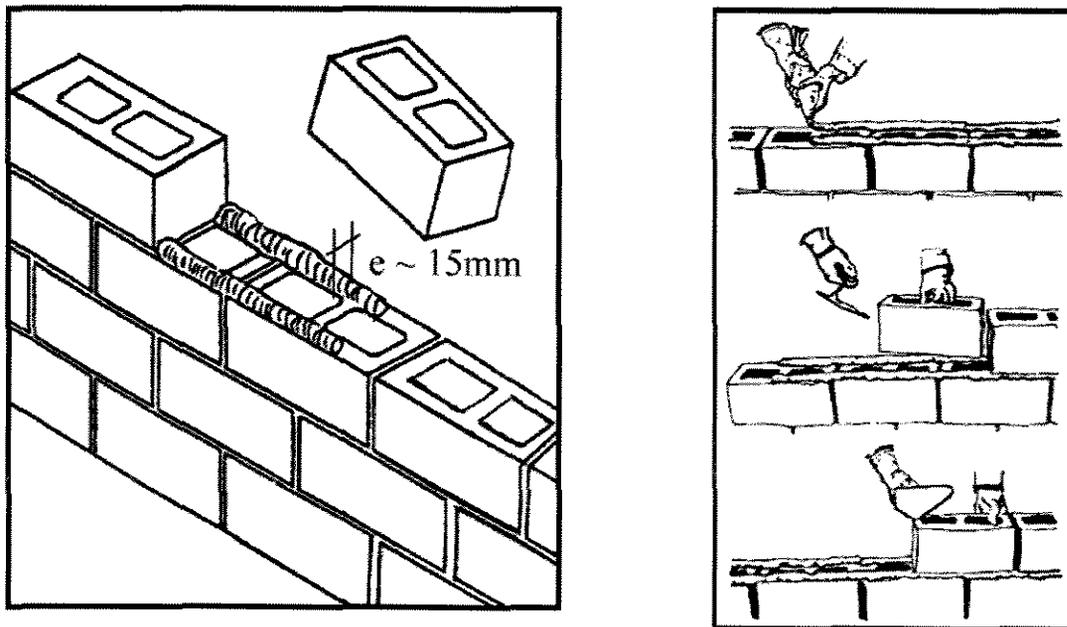


Figura 4 – Recomendação do ITQC (1999) para assentamento de blocos

Em outros países, também é comum o uso de argamassa longitudinal. MAURENBRECHER (1985) afirma que no Canadá a prática comum é o assentamento com argamassa longitudinal, tanto para blocos cerâmicos como para blocos de concreto. A Associação de Alvenaria com Blocos de Concreto da Austrália – CMAA (2000) afirma o mesmo. Já segundo PAGE e SHRIVE (1990a), na América do Norte, a alvenaria estrutural é geralmente assentada com argamassa longitudinal. De acordo com o autor, este tipo de alvenaria, com carregamento uniforme, rompe tipicamente através de fissuras verticais nos septos transversais dos blocos, não ocorrendo, neste caso, fissuras externas. DRYSDALE, HAMID e BACKER (1994) chegaram às mesmas conclusões. Porém, levando em conta a área efetiva (área de contato entre os blocos), as resistências observadas foram maiores em prismas de três blocos com argamassa longitudinal do que naqueles com argamassa plena.

A norma inglesa BS 5628 (1989) prevê que no caso de argamassa longitudinal, o valor da resistência deve ser calculado levando-se em conta a área efetivamente preenchida com argamassa. Segundo GANESAN e RAMAMURTHY (1992), as normas americanas recomendam que se façam ensaios em paredes e blocos com argamassa longitudinal no caso desta ser a prática da obra.

MÜLLER (1989) fez um trabalho buscando correlações entre resistências à compressão de paredes e prismas de blocos cerâmicos. Neste estudo, onde as paredes foram assentadas apenas com argamassa longitudinal, a autora comenta que outros trabalhos experimentais verificaram este efeito de redução da carga de ruptura em relação às assentadas com argamassa plena.

SHRIVE, *apud* HENDRY (1990), verificou em seus experimentos que na alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto construída com argamassa longitudinal, desenvolvem-se tensões de tração nos septos transversais dos blocos, como pode ser visto na Figura 5, onde é mostrado $\frac{1}{4}$ do septo transversal de um bloco de concreto. A compressão é aplicada no bloco na região do ponto A, resultando, à meia altura do bloco, no diagrama de tensões de compressão visto na linha BC. Por equilíbrio, ao longo da linha CD ocorrem as tensões indicadas, sendo no topo do bloco tensões de tração.

HAMID e CUKWWNENYE (1985) fizeram simulações de ensaios de prismas em computador. Com um modelo tridimensional, simularam prismas assentados com argamassa longitudinal e com argamassa plena. Os resultados indicam que são criadas grandes tensões nos septos transversais no caso de assentamento com argamassa longitudinal. Também indicam que uma fissuração irá ocorrer com cargas relativamente menores, se comparado aos prismas assentados com argamassa plena.

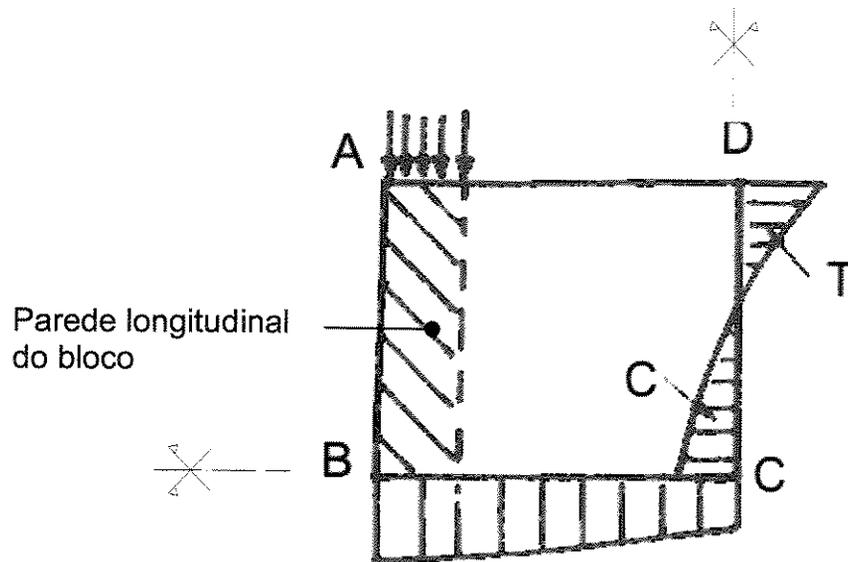


Figura 5 – Mecanismo de ruptura da alvenaria assentada com argamassa longitudinal.
Fonte: HENDRY (1990)

Da mesma maneira que SHRIVE (1990), GANESAN e RAMAMURTHY (1992) verificaram, em elementos finitos, que no assentamento com argamassa longitudinal, as tensões de tração desenvolvidas são muito maiores (Figura 6), e a recomendação da norma inglesa de considerar a área de assentamento seria inadequada. Então, segundo estes autores, o critério de projeto deveria ser, a tensão de tração lateral, e não a tensão de compressão axial, porque estas tensões de tração provocam fissuração com cargas mais baixas.

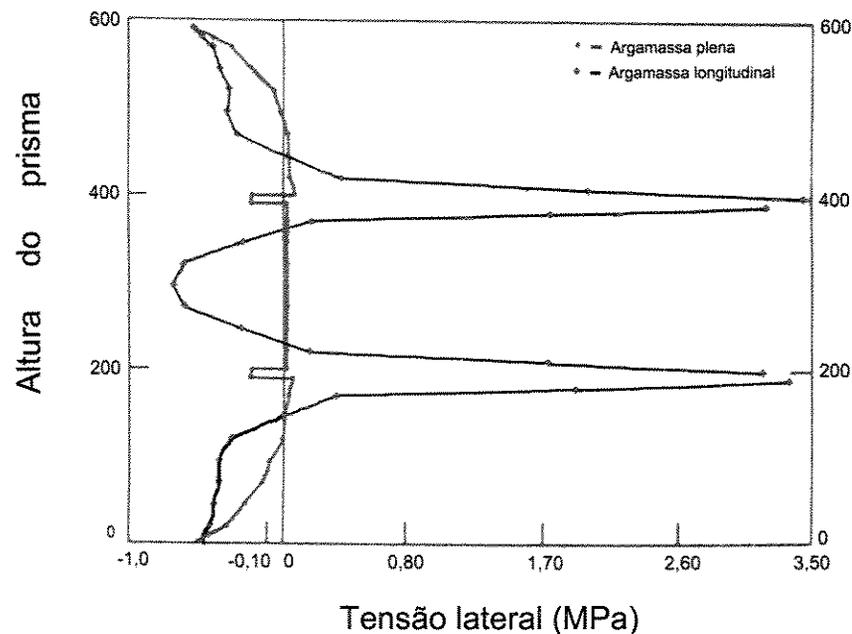


Figura 6 – Tensão lateral no septo transversal de prismas com argamassa plena e longitudinal.
 Fonte: GANESAN e RAMAMURTHY (1992)

Analisando os resultados de todos os trabalhos citados aqui, tanto dos ensaios como dos modelos em elementos finitos, finaliza-se este item sobre a redução da carga de ruptura das paredes com argamassa longitudinal em relação à argamassa plena, com as seguintes observações:

- Nenhum dos trabalhos cita o Princípio de Saint-Venant, descrito em LEONHARDT e MÖNNING (1978), como justificativa do surgimento de tensões de tração nos septos transversais, responsáveis pelas fissuras e até pela ruptura dessas paredes quando muito solicitadas, com características de ruptura frágil.
- Alguns desses autores se precipitaram em julgar as altas tensões nos septos transversais como limitadoras das resistências dessas paredes, criticando seu uso e criticando até mesmo a norma inglesa. O erro foi não perceber que as tensões de tração devido ao efeito de Saint-Venant são trações de

compatibilidade e não de equilíbrio. Ou seja, deveriam ter incluído fissuras e plastificações nos seus modelos para suas conclusões finais.

- Um dos trabalhos citados, DRYSDALE, HAMID e BAKER (1994), ensaiando prismas de três blocos, mostraram que, apesar de ocorrerem fissuras nos septos transversais, a resistência (carga de ruptura média sobre área efetiva) foi maior nas paredes com argamassa longitudinal. Ou seja, os resultados desses autores comprovam a hipótese de que pouco antes da ruptura, os septos transversais devem apresentar fissuras e plastificação, com um diagrama de tensões, sem o efeito do atrito dos pratos, provavelmente como o da Figura 7, onde:

- (1) trecho fissurado
- (2) trecho com tração plastificada
- (3) trecho com tração
- (4) trecho com compressão

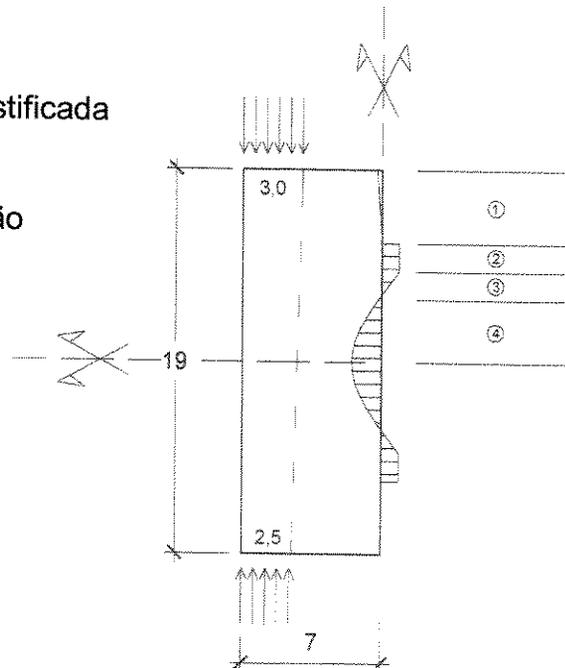


Figura 7 – Tensões em um bloco com carga nas paredinhas longitudinais

3.3 OUTROS FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA DA PAREDE

3.3.1 ESBELTEZ

Em casos de esbeltez (h/t) elevada, pode haver uma significativa redução na resistência à compressão da parede. Por isso, a NBR 10837 (1985) fixa para paredes não armadas, um limite de esbeltez de 20. Ou seja, para paredes usuais de 14 cm de espessura, a altura efetiva da parede não pode ultrapassar 2,80 m. Além disso, a esbeltez da parede é considerada no cálculo das tensões na parede:

$$\sigma_{adm} = 0,20 \cdot f_p \cdot \left[1 - \left(\frac{h}{40 \cdot t} \right)^3 \right]$$

onde:

f_p = resistência média dos prismas

h = altura efetiva da parede

t = espessura média da parede

$\left[1 - \left(\frac{h}{40 \cdot t} \right)^3 \right]$ = coeficiente redutor que leva em conta a esbeltez da parede

Já na BS 5628, a relação h/t não deve ultrapassar 27 para edifícios residenciais, mas também não deve ser superior a 20 para paredes com menos de 90 mm e para edifícios com mais de dois pavimentos.

Com relação à esbeltez de prismas, HENDRY (1990) afirma que a resistência dos prismas diminui com o aumento da altura nos ensaios de resistência à compressão. Isto ocorre devido à influência do atrito entre o corpo-de-prova e os pratos da prensa, reduzindo os deslocamentos laterais.

DRYSDALE, HAMID e BAKER (1994) também verificaram esta diminuição de resistência com o aumento da altura do prisma devido ao atrito. Porém, o autor afirma que o uso de prismas de dois blocos é um limite prático para o controle de qualidade. Por outro lado, sugere que outros tipos de prismas, com variação de tipo de assentamento e altura devem ser feitos para estudar os modos de ruptura da estrutura.

Segundo KHALAF (1996), a resistência de prismas diminuiu 30% quando se aumentou a relação h/t de 2,0 para 6,0. A principal razão da redução da resistência com o aumento da altura foi a redução da influência do confinamento no topo e da base do prisma devido ao atrito.

3.3.2 CARGAS CONCENTRADAS

PAGE e SHRIVE (1989 e 1990) estudaram o comportamento de paredinhas de sete fiadas (concreto e cerâmicas) assentadas com argamassa longitudinal submetidas a cargas concentradas.

Seus resultados levaram a duas conclusões importantes. A primeira é de que, no caso de paredes sujeitas a cargas concentradas, o uso de uma fiada grauteada no topo da parede aumentou muito a resistência das paredinhas, comparando com as ensaiadas com a carga concentrada aplicada diretamente sobre o bloco vazado. Sem a fiada grauteada, a carga de ruptura média das paredinhas foi de 300 KN, enquanto que, nos outros casos a carga de ruptura média foi de 450 KN. Isto ocorreu justamente devido à capacidade de distribuição do carregamento pela fiada grauteada.

A segunda conclusão importante é que a resistência do graute desta fiada não exerce nenhuma influência na resistência da parede, porque a ruptura se dá sempre na parte mais fraca do corpo-de-prova, ou seja, nos blocos não grauteados. Variando a resistência à compressão do graute de 9,2 a 33,4 MPa, não houve variações significativas nas cargas de ruptura das paredinhas. Um estudo similar, mas teórico (em

elementos finitos) feito por SAYED-AHMED e SHRIVE (1995) chegou às mesmas conclusões.

SHRIVE e SAYED-AHMED (1997) fizeram um estudo para investigar experimentalmente o efeito de cargas concentradas em paredes de alvenaria estrutural assentadas com argamassa longitudinal. Segundo os autores, a prática comum no Canadá para estes casos é o grauteamento de alguns blocos sob a carga concentrada para aumentar a resistência da parede. Este trabalho buscou a melhor configuração para este grauteamento, já que estudos prévios em elementos finitos de SAYED-AHMED e SHRIVE (1996a e b) mostraram que a prática comum da indústria local não era a melhor solução. A Figura 8 apresenta as paredes ensaiadas.

Além da configuração do graute, também foi estudada a posição de aplicação da carga concentrada, se no septo transversal central do bloco, ou se nos septos transversais externos de dois blocos adjacentes (Figura 8).

As conclusões deste trabalho foram que as configurações de graute podem aumentar significativamente a resistência das paredes com argamassa longitudinal submetidas a cargas concentradas. Um aumento de 22 a 37% na carga de ruptura pôde ser observado com o grauteamento de alguns blocos sob a carga aplicada. A melhor configuração foi a das Paredes 1 e 4, que tiveram a melhor capacidade de distribuir a carga concentrada pela parede.

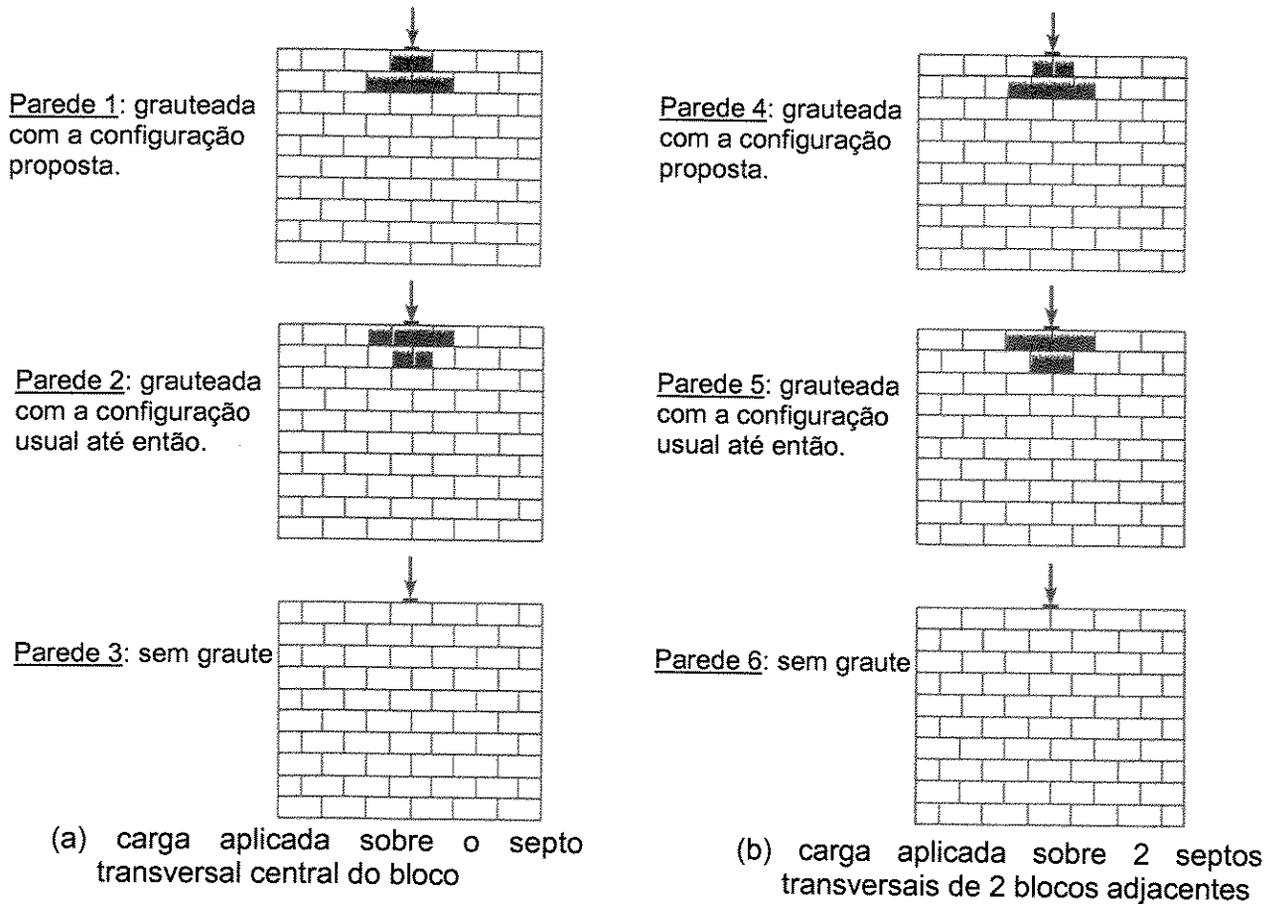


Figura 8 – Esquema dos seis tipos de paredes ensaiadas por SHRIVE e SAYED-AHMED (1997)

A outra conclusão importante foi de que a posição da carga concentrada em relação aos septos transversais dos blocos também tem efeito significativo em relação à resistência da parede. As cargas de ruptura foram maiores quando a aplicação foi feita sobre dois septos externos de dois blocos adjacentes (Parede 4 foi melhor que a Parede 1). Em ambos os casos, a ruptura foi localizada em torno do ponto de aplicação de carga e as fissuras não se estenderam ao resto da parede.

4 TRABALHO EXPERIMENTAL

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 BLOCOS

Foram utilizados nesta pesquisa blocos de concreto e cerâmicos com dimensões em planta de 14 x 29 cm e 19 cm de altura. O bloco cerâmico usado pode ser observado nas Figuras 9 e 10. As dimensões dos blocos de concreto podem ser vistas nas Figuras 11 e 12 (todas as dimensões em cm).

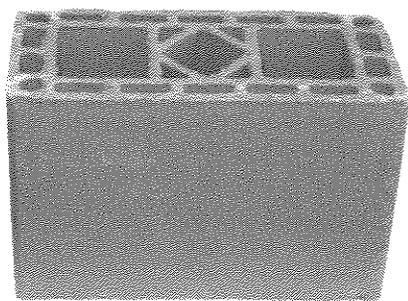


Figura 9 – Bloco cerâmico

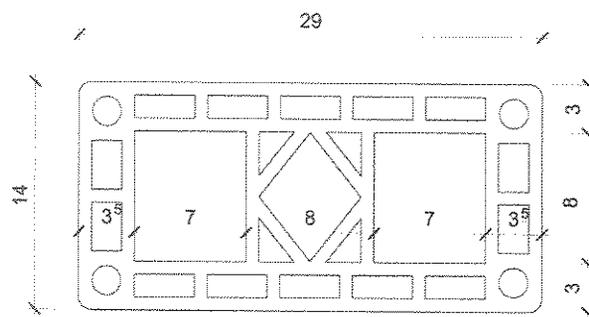


Figura 10 – Dimensões dos blocos cerâmicos

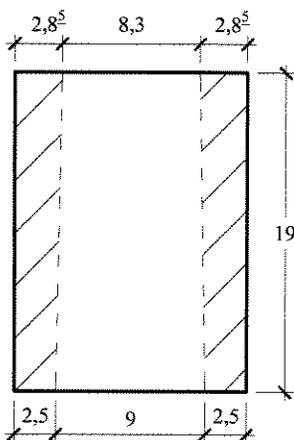


Figura 11 – Corte transversal do bloco

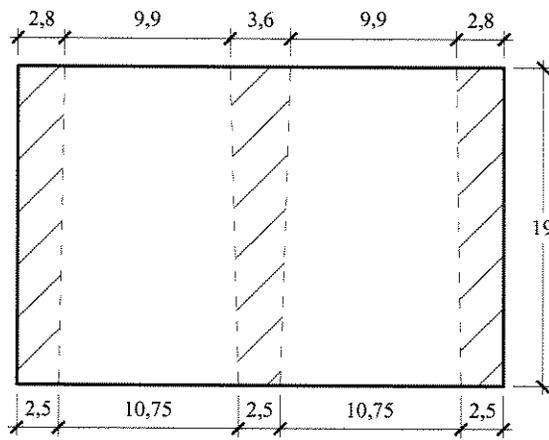


Figura 12 – Corte longitudinal do bloco

Na Tabela 9, são apresentados os resultados de caracterização dos blocos. Os ensaios realizados nessa etapa foram módulo de deformação, razão inicial de absorção (IRA), absorção total, resistência à compressão e aderência bloco/argamassa. As normas utilizadas em cada ensaio estão indicadas na mesma tabela.

Tabela 9 – Caracterização dos blocos utilizados

Tipo de Bloco		Concreto	Cerâmico	Norma Utilizada
Altura (mm)	Média	190,2	189,8	NBR 6136 (2000) NBR 8042 (1992)
	D.P.	0,8	0,4	
	C.V.	0,4%	0,2%	
Espessura (mm)	Média	138,7	139,8	
	D.P.	0,5	0,8	
	C.V.	0,4%	0,5%	
Comprimento (mm)	Média	291,7	290,2	
	D.P.	0,8	0,8	
	C.V.	0,3%	0,3%	
Resistência Média à Compressão (MPa)	Média	10,6	7,7	NBR 7184 (1992) NBR 6461 (1983)
	D.P.	0,6	0,8	
	C.V.	5,8%	11,1%	
Aderência bloco/argam. (MPa)	Média	0,16	0,23	ASTM E 518 (2002)
	D.P.	0,02	0,03	
	C.V.	10,4%	13,5%	
Módulo de Deformação (MPa)	Média	14688,8	10565,0	ASTM E 111 (1997)
	D.P.	2774,2	1832,0	
	C.V.	18,9	17,3	
Sucção Inicial (IRA) (g/193 cm ²)	Média	24,3	53,1	ASTM C 67 (2002)
	D.P.	2,6	6,6	
	C.V.	10,8%	12,4%	
Absorção Total (%)	Média	9,2	14,6	NBR 12118 (2001)
	D.P.	0,1	0,45	
	C.V.	1,1%	3,1%	

4.1.2 ARGAMASSA

Como não era objetivo deste trabalho verificar a influência de diferentes tipos e traços de argamassa, foi usada a Votomassa, uma argamassa industrializada, com resistência média de aproximadamente de 5 MPa. Usando a argamassa industrializada, tem-se praticamente garantida uma argamassa com resistência uniforme e uma boa aderência durante toda a pesquisa. Outra razão para o uso da argamassa industrializada é de se estar simulando uma situação que ocorre nas obras. Devido à grande racionalização do sistema construtivo de alvenaria estrutural, o uso da argamassa industrializada tem sido cada vez mais freqüente, como mencionado em item anterior.

Na Tabela 10, são apresentados os resultados de caracterização da argamassa utilizada neste trabalho. Os ensaios realizados foram do índice de consistência, resistência à compressão, retenção de água, resistência à tração por compressão diametral e de módulo de deformação. As normas utilizadas em cada ensaio estão indicadas na mesma tabela.

Tabela 10 – Caracterização das argamassas utilizadas

Ensaio			Norma Utilizada
Consistência (mm)	Média	195,7	NBR-7215 (1996)
	D.P.	1,5	
	C.V.	0,5%	
Retenção de Água (%)	Média	96,7	ASTM 1506 (2003)
	D.P.	1,1	
	C.V.	1,2%	
Resistência Média à Compressão (MPa)	Média	5,2	NBR-7215 (1996)
	D.P.	0,4	
	C.V.	8,2%	
Resistência à Tração (MPa)	Média	0,7	NBR-7222 (1994)
	D.P.	0,1	
	C.V.	8,3%	
Módulo de Deformação (MPa)	Média	5022,5	NBR-8522 (1984)
	D.P.	426,4	
	C.V.	8,5%	

4.2 METODOLOGIA DE ENSAIO

4.2.1 BLOCOS

Para blocos de concreto, o ensaio de resistência à compressão é prescrito na norma NBR-7184 (1992). A norma especifica um capeamento com enxofre ou pasta de cimento em toda a superfície do bloco (argamassa plena) ou a regularização por meio de uma retífica adequada. Neste trabalho optou-se pelo capeamento com pasta de cimento para blocos de concreto e cerâmicos. Para os blocos cerâmicos, a norma que prescreve tal ensaio é a NBR-6461 (1983). Para cada material, foram ensaiados doze blocos, sendo seis com capeamento pleno e seis com capeamento longitudinal.

4.2.2 PRISMAS

Foram ensaiados oito prismas com blocos de concreto e oito com blocos cerâmicos. Porém, os mesmos foram preparados de duas maneiras diferentes. O primeiro tipo é o prisma que está de acordo com a NBR-8215 (1983), ou seja, assentado com argamassa plena e com capeamento pleno. O segundo é assentado com argamassa e capeamento longitudinal. Os tipos de prismas podem ser vistos na Figura 13.

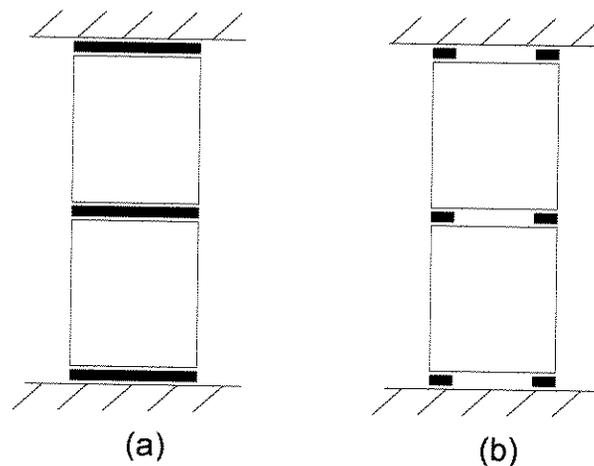


Figura 13 – (a) Prismas com argamassa plena, (b) Prismas com argamassa longitudinal.

4.2.3 PAREDES

As dimensões das paredes ensaiadas, em relação à NBR-8949 (1985), tiveram as seguintes diferenças: enquanto a norma especifica 2,60 m de altura por 1,20 m de comprimento, as paredes deste trabalho tinham as dimensões de 1,40 m de altura por 0,60 m de comprimento. Ainda, das sete fiadas que compõem estas paredes, duas foram reforçadas, ou seja, a primeira, composta de blocos assentados sobre uma chapa metálica, foi reforçada com graute em todos os furos. A sétima fiada, no topo da parede, foi assentada com blocos canaleta, reforçados com graute e duas barras de 8 mm.

O número de corpos-de-prova para cada material (blocos de concreto e cerâmicos) foi de oito paredes, sendo quatro com blocos assentados com argamassa plena e 4 com argamassa longitudinal. O capeamento das paredes também foi feito com pasta de cimento. Foi cogitado o uso de placas de madeira reconstituída (forro pacote) como capeamento. Esta solução não foi adotada, pois, além de não atender as normas, ensaios de MEDEIROS e SABATTINI (1993) comprovaram que blocos capeados com enxofre possuíam resistência média 20% maior do que aqueles rompidos apenas com uma placa de madeira reconstituída.

a) Efeitos nocivos das extremidades

As duas fiadas a mais, denominadas aqui como “prolongamento da prensa”, com blocos reforçados, foram criadas por duas razões. A primeira foi de afastar o efeito negativo do atrito das extremidades do “corpo-de-prova” de 1,00 m, proporcionando, aí, as mesmas condições de aderência das quatro juntas do corpo-de-prova. A segunda razão foi de conseguir uma distribuição de cargas mais uniforme na última fiada efetiva do “corpo-de-prova” (Figura 14). Para isto, foram colocados dois pequenos roletes entre um perfil e uma chapa metálica pois o perfil, em contato direto com a fiada reforçada da parede, poderia introduzir cargas excêntricas, com a ajuda da rigidez entre os elementos: macaco, perfil e parede.

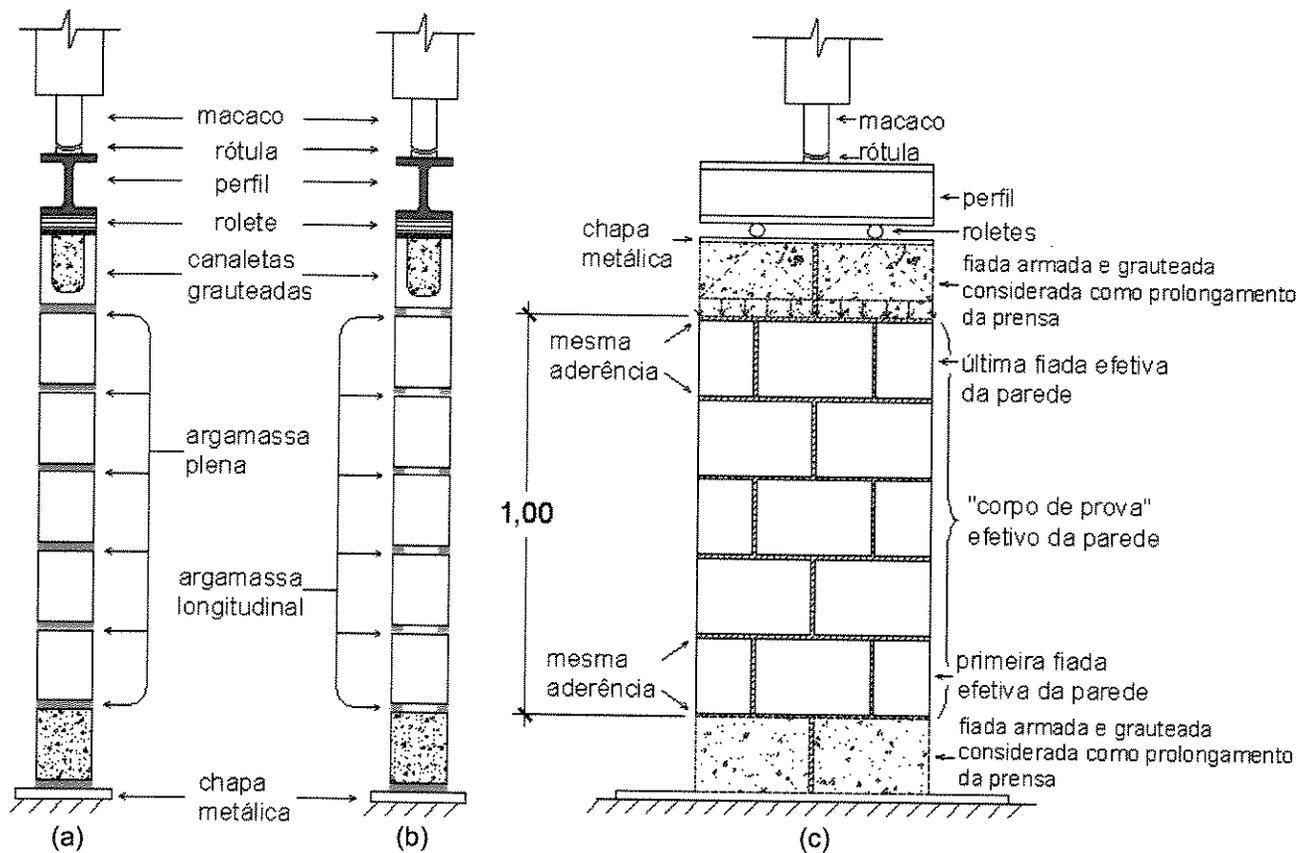


Figura 14 – (a) Paredes com argamassa plena; (b) Paredes com argamassa longitudinal; (c) Esquema da aplicação das cargas do ensaio.

Já a fiada grauteada inferior foi colocada também por duas razões. Para transportar o corpo-de-prova do local da moldagem até o local do ensaio, o mesmo foi assentado sobre uma chapa metálica de 40 mm de espessura, que poderia se deformar durante o transporte e comprometer o corpo-de-prova.

Desta maneira, optou-se pela solução de assentar inicialmente uma fiada de blocos grauteados sobre esta chapa, e só depois assentar o “corpo-de-prova” (Figura 15). A outra razão foi a mesma citada anteriormente, ou seja, de conseguir as mesmas condições de aderência entre o corpo-de-prova e essa primeira fiada grauteada.

Com este procedimento, a primeira e a última fiada seriam como um prolongamento da prensa, com a vantagem da argamassa estar sempre em contato

com blocos de concreto (ou cerâmicos) e não em contato com o aço e, ainda, deixando a parte central da parede mais afastada das interferências dos atritos das extremidades.

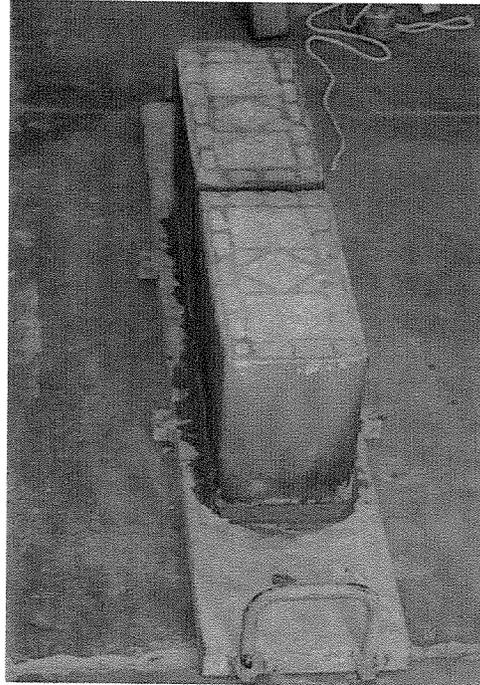


Figura 15 – Primeira fiada em contato com a chapa: blocos grauteados

b) Instalação do equipamento de filmagem nas paredes assentadas com argamassa longitudinal

Como neste tipo de assentamento as fissuras ocorrem internamente, para registrar, no instante da primeira fissura, a carga correspondente, foi instalado dentro destes corpos-de-prova um equipamento de filmagem.

Este equipamento consiste no mesmo equipamento usado em filmagens de segurança de condomínios, supermercados, shopping-centers, etc. Trata-se de 16 micro-câmeras colocadas no interior dos blocos, fixadas, em cada fiada, em uma chapa de aço de 3 mm de espessura, que foi posicionada no espaço vazio remanescente deste tipo de assentamento. Como a espessura da junta foi de 1 cm, não houve

nenhuma interferência nos resultados devido à presença deste equipamento no interior da parede.

A instalação do equipamento no interior da parede pode ser vista na Figura 16, e o seu posicionamento ao longo de toda a parede, na Figura 17. Uma vez posicionadas na parede, as câmeras foram conectadas diretamente a um computador, que capturou e gravou as imagens geradas. Este equipamento não correu o risco de ser danificado ou perdido, pois as câmeras são blindadas, resistindo a eventuais impactos no momento da ruptura.



Figura 16 – Instalação do equipamento de filmagem dentro da parede

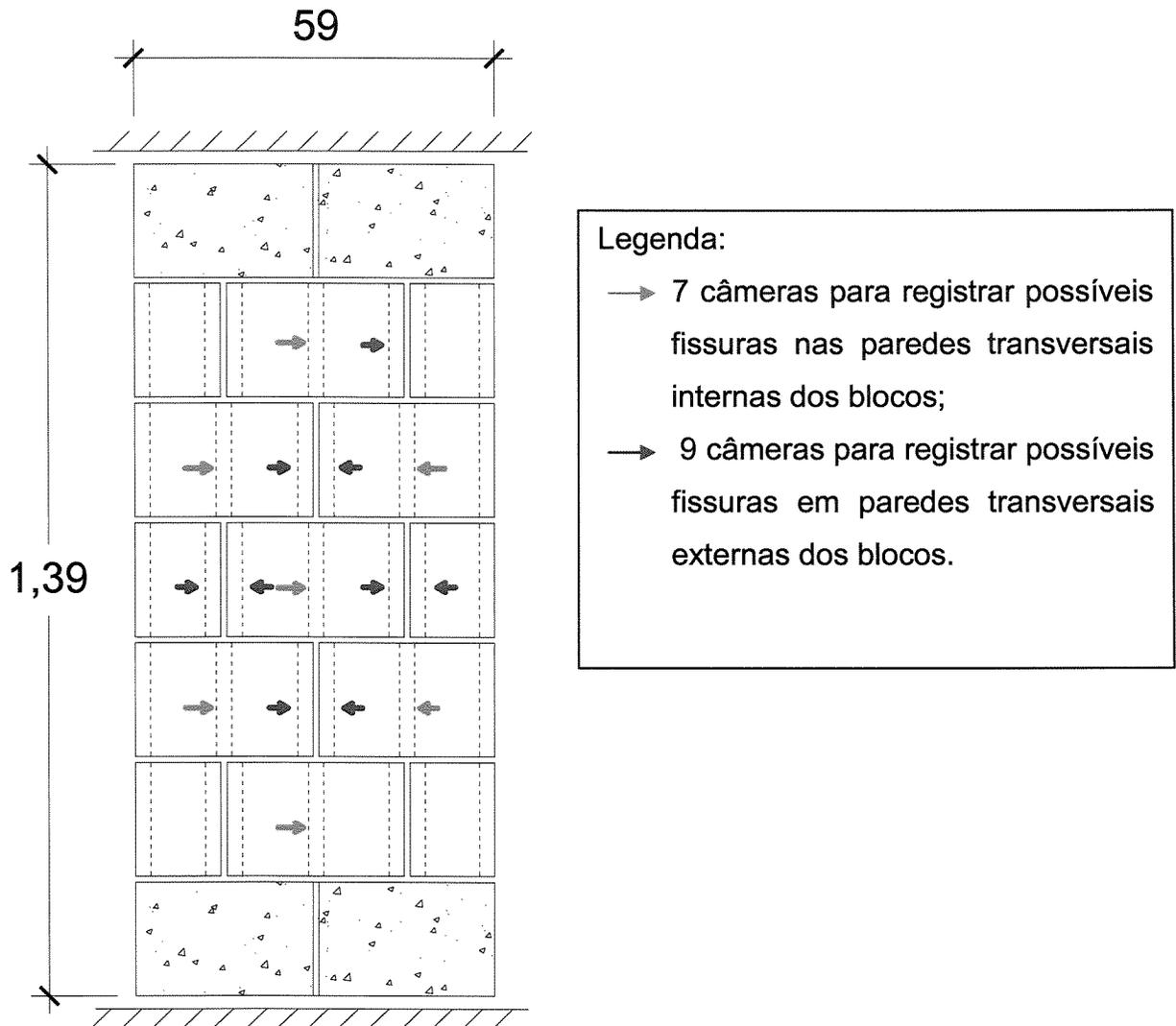


Figura 17 – Disposição das câmeras no interior da parede

A Figura 18 mostra uma parede montada com o equipamento de filmagem. Na Figura 19, é mostrada a imagem gerada pelas câmeras durante o ensaio, que são automaticamente gravadas no computador.

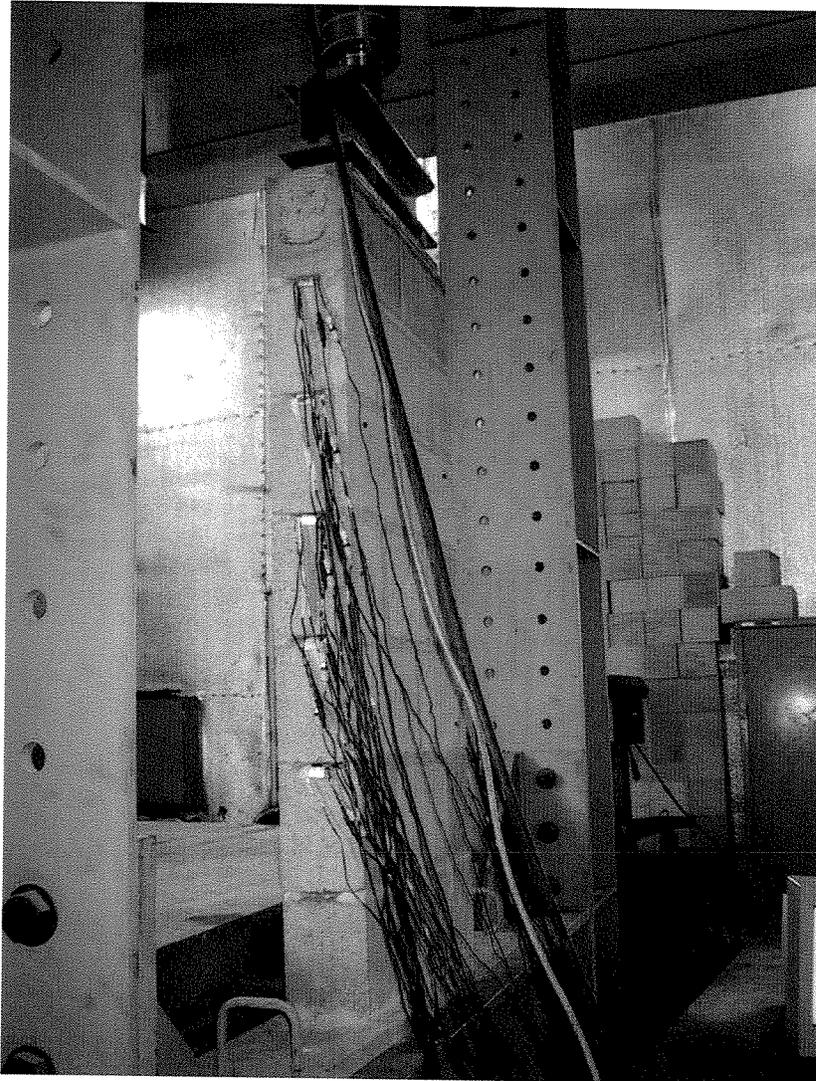


Figura 18 – Parede com argamassa longitudinal e equipamento de filmagem

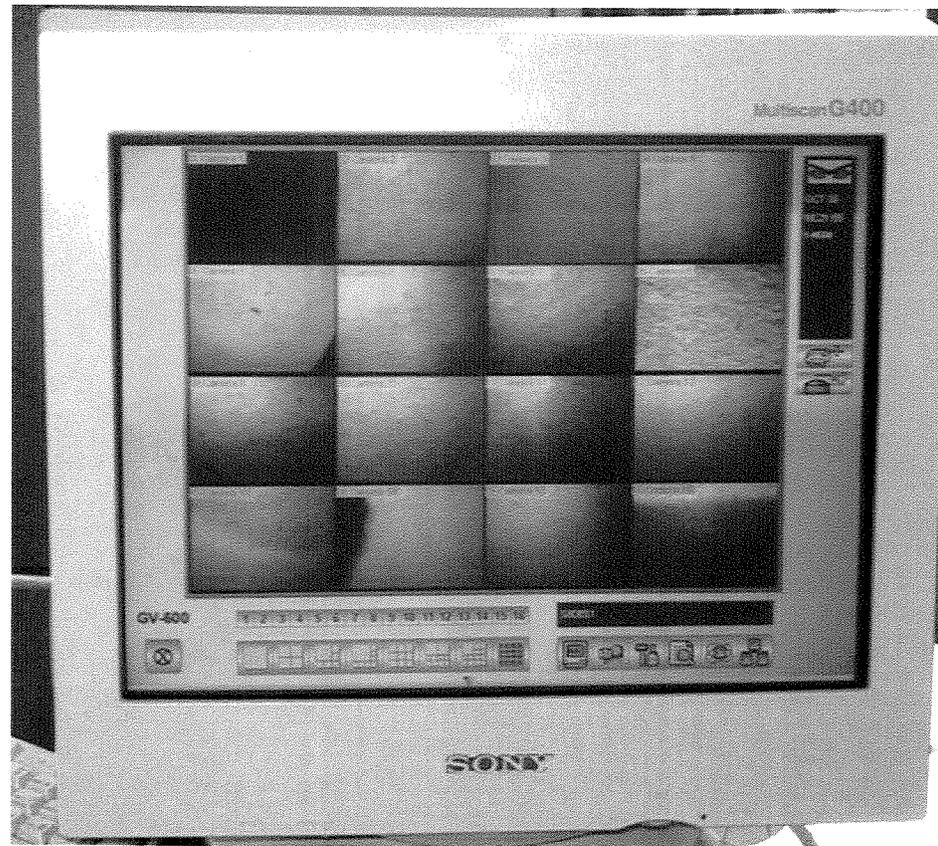


Figura 19 – Captura e gravação das imagens do interior da parede

Um esquema do pórtico de ensaio, com a parede posicionada, pode ser visto na Figura 20.

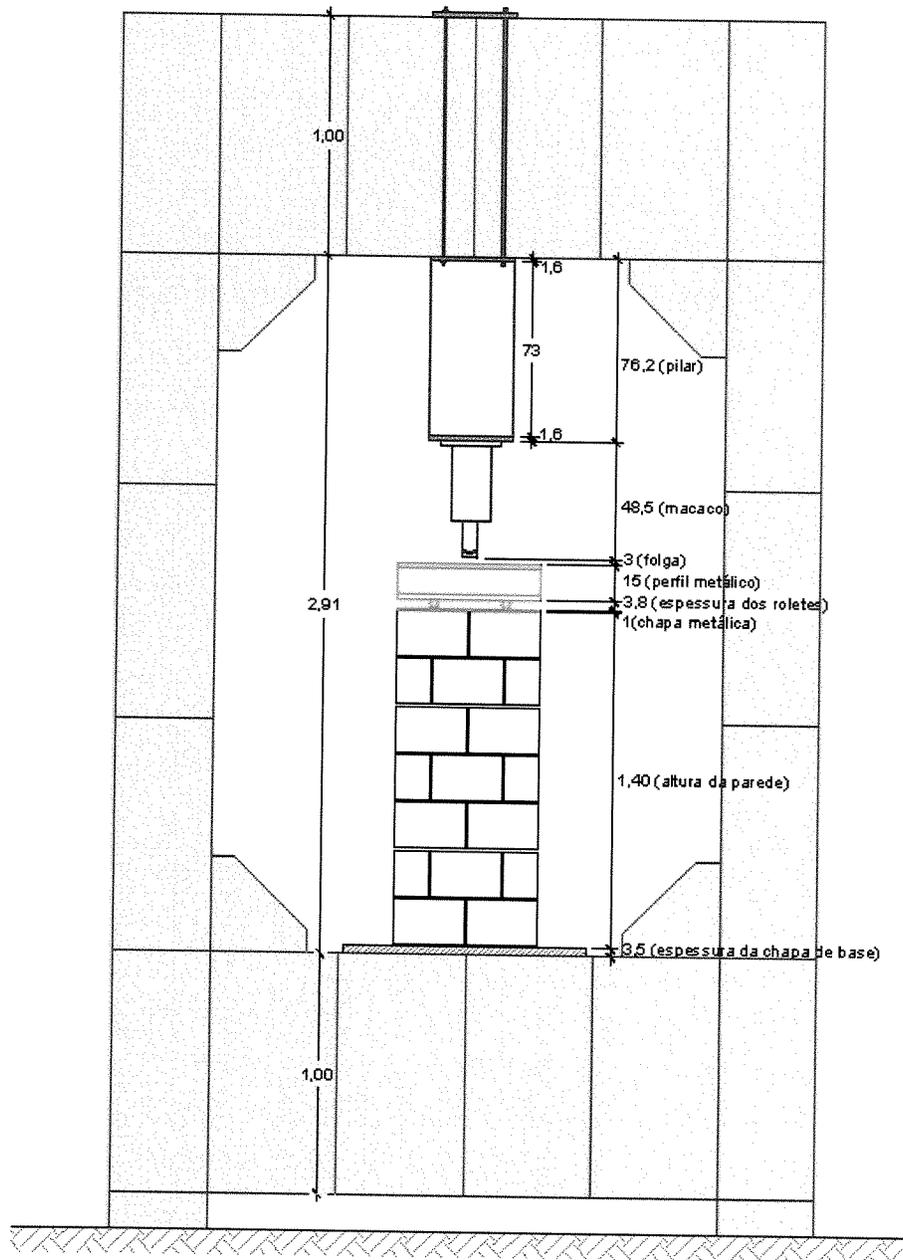


Figura 20 – Parede posicionada no pórtico de ensaio

c) Transporte das paredes

O transporte das paredes do local de moldagem ao local de ensaio teve que ser feito com todo o cuidado, para não prejudicar os resultados. Qualquer movimentação brusca, ou esforços horizontais no transporte poderiam comprometer a aderência entre os blocos e a argamassa. Por isso, foram tomadas duas medidas para garantir a qualidade da parede.

A primeira foi assentar a parede sobre uma chapa metálica de 4 cm de espessura, como descrito no item a). Apesar da parede ser leve, a chapa poderia se deformar durante o transporte, provocando movimentações indesejáveis. Por isso, a primeira fiada foi grauteada (Figura 15), e a primeira fiada efetiva do corpo-de-prova assentada sobre essa fiada grauteada.

A segunda medida foi usar um mecanismo de transporte, que permitisse levar o corpo-de-prova ao local de ensaio com o auxílio da empilhadeira. Para isso, foi usado um sistema composto por barras de aço, ligadas à chapa inferior e, no topo do corpo-de-prova, ligadas a duas pequenas chapas de aço, que continham alças. Estas alças (Figura 21) permitiam a entrada das pás da empilhadeira, possibilitando o transporte da parede. Antes do transporte, as barras eram parafusadas nas chapas superiores. Este mecanismo poder ser visto na Figura 22.



Figura 21 – Alças para transporte das paredes



Figura 22 – Parede sendo transportada até o local de ensaio

4.3 RESULTADOS

4.3.1 BLOCOS DE CONCRETO

As intenções da execução destes ensaios foram:

- No caso de blocos com capeamento pleno, verificar se o f_{bk} estava em conformidade com o encomendado para os ensaios, o que na verdade é o objetivo de todos os ensaios de blocos.
- No caso de blocos com capeamento longitudinal, a intenção foi de obter a relação entre a sua resistência e a do bloco com capeamento pleno e, com isso, compreender melhor o funcionamento estrutural das paredes com este tipo de assentamento. Ainda, para simular melhor o funcionamento desses blocos, fez-se o capeamento longitudinal avançando 1 cm sobre os septos transversais, conforme a Figura 23.

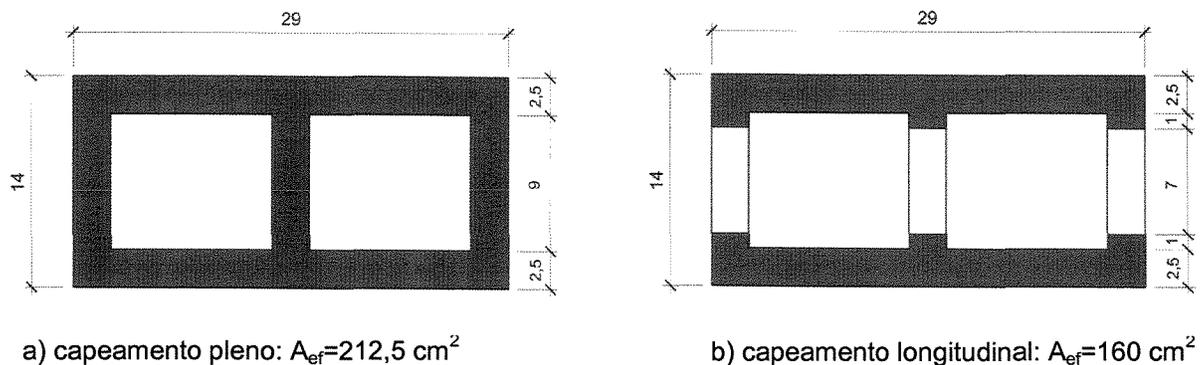


Figura 23 – Tipos de capeamento dos blocos ensaiados com indicação das áreas efetivas (A_{ef}) de transferência de cargas

Os resultados dos ensaios dos blocos estão indicados na Tabela 11, onde os seis primeiros corpos-de-prova receberam capeamento pleno (1P a 6P), e os restantes, capeamento longitudinal (1L a 6L).

Tabela 11 - Resistência à compressão dos blocos com capeamento pleno (P) e longitudinal (L)

CP	Larg. (mm)	Compr. (mm)	Alt. (mm)	Área bruta (cm ²)	Carga (Kgf)	$f_b^{(1)}$ (MPa)	f_b média (MPa)	f_{bk} (MPa) (NBR 6136)	D.P. (MPa)	C.V. (%)
1P	138	291	191	401,58	45200	11,04	10,64	9,5 ⁽²⁾	0,62	5,8
2P	139	293	190	407,27	40800	9,83				
3P	139	292	189	405,88	41500	10,03				
4P	139	292	190	405,88	44200	10,68				
5P	138	291	190	401,58	47000	11,48				
6P	139	291	191	404,49	44500	10,79				
1L	139	291	190	404,49	33600	8,15	8,81	7,8 ⁽³⁾	0,50	5,7
2L	139	292	191	405,88	36600	8,85				
3L	138	291	189	401,58	36200	8,84				
4L	138	291	190	401,58	37400	9,14				
5L	139	291	190	404,49	39200	9,51				
6L	139	292	191	405,88	34500	8,34				

OBS: (1) Adotou-se 1 MPa=10,2 kgf/cm²

(2) Este é o valor de f_{bk} destes blocos ensaiados

(3) Este resultado não tem valor normativo

Tabela 11a - Comparações das resistências calculadas com as respectivas cargas médias e áreas efetivas

C.P.	Carga média de ruptura (kgf)	A_{ef} (cm ²)	$f_{b,ef}$ (MPa)
Pleno	43886,7	212,5	20,25
Longitudinal	36250,0	160,0	22,21
Perda (-) Ganho (+)	-17,4%	-24,7%	+9,7%

Vê-se na Tabela 11a que a resistência média de ruptura ($f_{b,ef}$) dos blocos com capeamento longitudinal foi 9,7% maior do que a resistência média dos blocos com capeamento pleno, indicando que mecanismos prejudiciais aos blocos com capeamento longitudinal (como as tensões de Saint-Venant), foram provavelmente eliminados pelo atrito dos pratos da prensa. Além disso, para esses blocos, houve uma grande ajuda dos septos transversais que, mesmo não recebendo cargas da prensa em todos os

seus comprimentos, proporcionaram uma maior resistência à ruptura bloco. Isto pode ser visto na Figura 24, onde as fissuras aparecem sob os pontos de introdução de carga (trechos capeados), e não no centro das extremidades dos septos transversais, como seria esperado no caso da presença das tensões de Saint-Venant.



Figura 24 – Fissuras na paredinha transversal externa de um bloco de concreto, rompido com capeamento longitudinal

4.3.2 PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO

Os objetivos destes ensaios foram dois. O primeiro, semelhante ao dos blocos, foi obter a relação entre a resistência de prismas com os dois tipos de assentamento, pleno e longitudinal, para melhor compreender o funcionamento estrutural desse último. Já o segundo, era verificar se para a obtenção de f_p , no caso de paredes com argamassa longitudinal, o prisma mais indicado seria o executado com argamassa e capeamento longitudinais.

Foram ensaiados dois conjuntos de quatro prismas de dois blocos. As áreas efetivas são as mesmas dos blocos, ou seja, $212,5 \text{ cm}^2$ e 160 cm^2 para os prismas com argamassa e capeamento pleno e longitudinal, respectivamente. Os resultados dos ensaios dos prismas estão indicados na Tabela 12, onde os quatro primeiros corpos-de-prova receberam argamassa e capeamento pleno (1P a 4P), e os restantes, argamassa e capeamento longitudinal (1L a 4L).

Tabela 12 - Resistência à compressão dos prismas e das argamassas correspondentes

CP	Carga (kgf)	A_{ef} (cm^2)	f_p (MPa)	f_p média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	f_a (MPa)
1P	31200	212,5	14,39	13,23	0,90	6,8	4,7
2P	28800		13,29				5,5
3P	26500		12,23				6,1
4P	28200		13,01				5,5
1L	19500	160	11,95	11,29	0,58	5,1	4,7
2L	18500		11,34				4,9
3L	17200		10,54				5,8
4L	18500		11,34				5,5

OBS: Adotou-se $1 \text{ MPa} = 10,2 \text{ kgf/cm}^2$

Tabela 12a - Comparações importantes dos ensaios de prismas

C.P.	Carga média de ruptura (kgf)	A_{ef} (cm ²)	$f_{p,média}$ (MPa)
Pleno	28675,0	212,5	13,23
Longitudinal	18425,0	160,0	11,29
Perda (-) Ganho (+)	-35,7%	-24,7%	-14,7%

Contrariamente aos ensaios dos blocos, estes resultados deixam claro que o efeito de Saint-Venant, agora ajudado pelos atritos nas extremidades dos blocos, provocou uma redução da resistência média de ruptura dos prismas com argamassa e capeamento longitudinal de 14,7% em relação à resistência média dos prismas com argamassa e capeamento pleno, como pode ser observado na Tabela 12a.

Na Figura 25, vê-se um prisma rompido com capeamento e argamassa longitudinal, onde as fissuras ocorrem apenas nas paredes transversais. Nos prismas, só foram fotografadas as paredes transversais externas, por serem semelhantes ao septo interno. Percebe-se, observando o desenvolvimento das fissuras visíveis, uma maior abertura na da região central (junta), que desaparece nas regiões dos pratos da prensa. É bom observar também que a fissura do bloco inferior começa em cima, onde a espessura é maior (2,8 cm) e desaparece embaixo, onde é menor (2,5 cm). Devido à total liberdade de deformação horizontal da região central e também ao impedimento de qualquer deslocamento horizontal na região dos pratos da prensa, o prisma com argamassa longitudinal fica muito mais vulnerável aos deslocamentos na região central devido às fissuras provocadas pelas tensões de Saint-Venant nesse local.

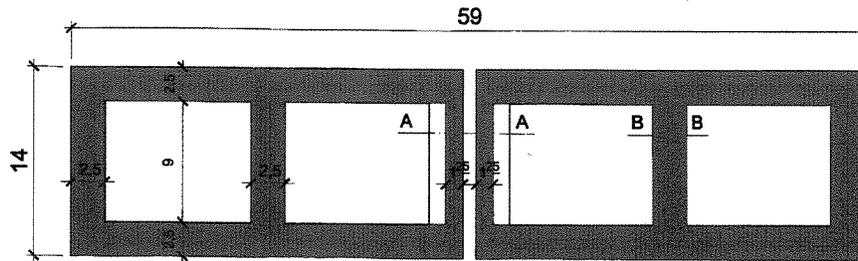


Figura 25 – Fissuras nas paredinhas transversais dos blocos com capeamento e argamassa longitudinais

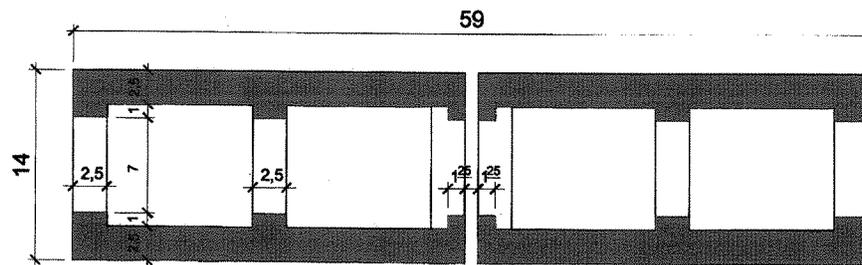
4.3.3 PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO

A intenção desses ensaios foi de obter e comparar a resistência à compressão das paredes quando seus blocos são assentados com argamassa plena e longitudinal.

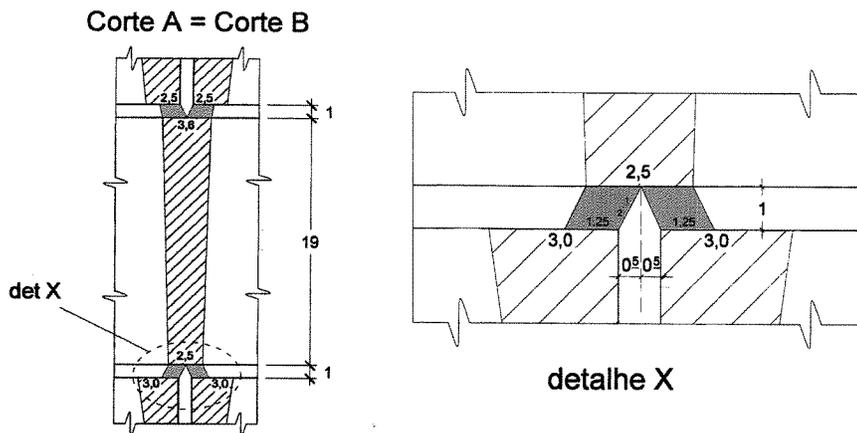
Como as paredes são assentadas em fiadas amarradas, para comparar os resultados é necessário avaliar a área mínima de transferência de cargas (área efetiva) que ocorre nas juntas entre duas fiadas consecutivas das paredes, como mostra a Figura 26. Para as paredes com argamassa longitudinal, estimou-se aqui, como no caso dos blocos e prismas, uma invasão das argamassas sobre os septos transversais de 1 cm.



a) blocos assentados com argamassa plena: $A_{ef} = 402,5 \text{ cm}^2$



b) blocos assentados com argamassa longitudinal: $A_{ef} = 315 \text{ plena}$



Hipótese assumida:

Que todas as paredinhas transversais, ao transferirem carga de uma fiada para outra, o façam com inclinação de 1 para 2 (ver item 14.6.2.3 da NBR-6118/03), e que suas espessuras sejam de 2,5 cm ao longo de todas as juntas.

Figura 26 – Valores estimados para as áreas efetivas (A_{ef}) de transferência de cargas

Conforme os valores indicados na Tabela 13, foram ensaiados dois conjuntos de quatro paredes de 1,40 x 0,59 m com blocos de 14 x 29 cm. No primeiro conjunto, os blocos foram assentados com argamassa plena (1P a 4P) e no segundo, com argamassa longitudinal (1L a 4L).

Tabela 13 - Resistência à compressão das paredes e das argamassas, e cargas de 1ª fissura das paredes

CP	Carga (kgf)	f _{par} (MPa)	f _{par} média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	f _a (MPa)	Carga 1ª fiss. nas paredes transversais internas (kgf)	Carga 1ª fiss. nas paredes longitudinais externas (kgf)
1P	37440	9,12				4,4	-	35200 (94%)
2P	41400	10,08	9,71	0,60	6,2	4,5	-	39200 (95%)
3P	38100	9,28				4,7	-	35600 (93%)
4P	42468	10,34				4,8	-	40158 (95%)
1L	30200	9,40						4,5
2L	38992	12,14	10,70	1,15	10,7	5,0	35340 (90,6%)	38200 (98%)
3L	35170	10,95				4,3	N.A.*	35000 (99,5%)
4L	33083	10,30				4,0	29668 (89,7%)	32800 (99%)

OBS: 1º) Adotou-se 1 MPa = 10,2 kgf/cm²

2º) N.A.: Não avaliado

Tabela 13a - Comparações importantes dos ensaios de paredes

C.P.	Carga média de ruptura (kgf)	A _{ef} (cm ²)	f _{par} média (MPa)
Pleno	39852,0	402,5	9,71
Longitudinal	34361,0	315,0	10,69
Perda (-) Ganho (+)	-13,8%	-21,7%	+10,2%

Para as paredes com argamassa longitudinal, houve um aumento da resistência média de ruptura de 10,2% em relação às paredes com argamassa plena, indicando assim que a ruptura provocada pelas tensões de Saint-Venant ocorreu após uma grande colaboração de todas as paredinhas transversais dos blocos.

Observa-se na Tabela 13 que, no caso das paredes com argamassa plena, as fissuras iniciaram-se com 93 a 95% da carga de ruptura. Essas fissuras ocorreram sempre nas paredinhas longitudinais dos blocos, não sendo observadas fissuras nas suas paredinhas transversais.

Para as paredes com argamassa longitudinal, as fissuras internas (ou seja, nos septos transversais dos blocos), captadas com o sistema de vídeo, iniciaram-se com cerca de 90% da carga de ruptura. Por outro lado, as fissuras externas, nas paredinhas longitudinais dos blocos, ocorreram acima de 98% da carga de ruptura, ou seja, na iminência da ruptura, o que caracteriza uma ruptura mais frágil do que no caso de paredes assentadas com argamassa plena.

As fissuras observadas em paredes com argamassa plena são mostradas na Figura 27. A Figura 28 mostra a fissura interna captada com este sistema de vídeo, e a Figura 29 mostra uma parede com argamassa longitudinal rompida, parcialmente desmontada, onde podem ser observadas as fissuras nos septos transversais dos blocos.

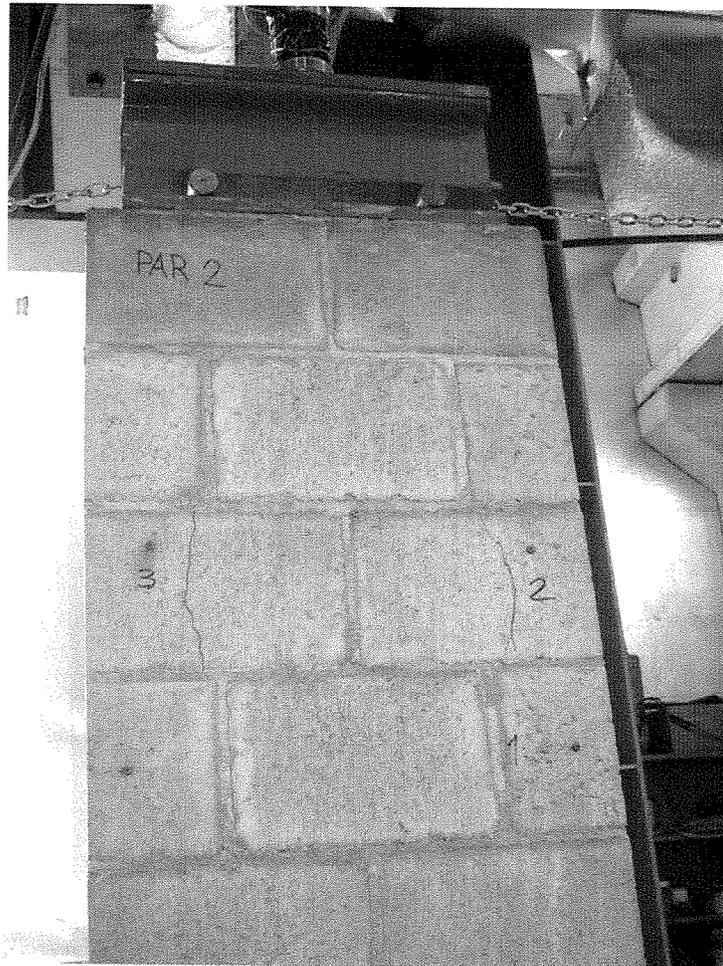


Figura 27 – Fissuras em uma parede com argamassa plena

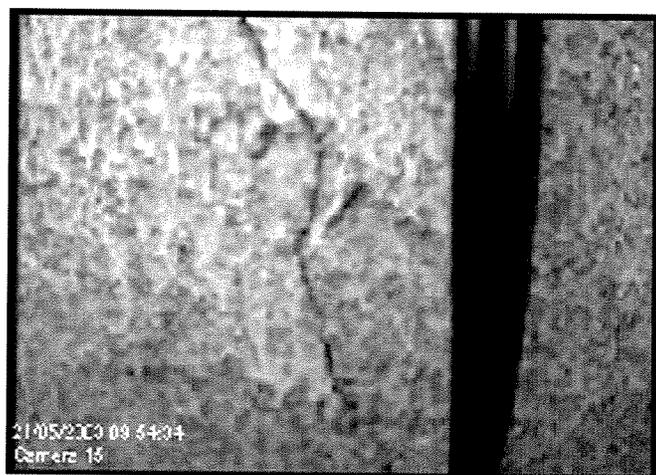


Figura 28 – Fissura captada no interior da parede



Figura 29 – Fissuras nos septos transversais dos blocos

4.3.4 BLOCOS CERÂMICOS

As intenções destes ensaios foram as mesmas dos blocos de concreto, ou seja, verificar o f_{bk} e melhor compreender o funcionamento estrutural de cada um dos blocos. Aqui também, para simular o funcionamento dos blocos em paredes com argamassa longitudinal, fez-se o capeamento longitudinal avançando 1 cm sobre os septos transversais (Figura 30).

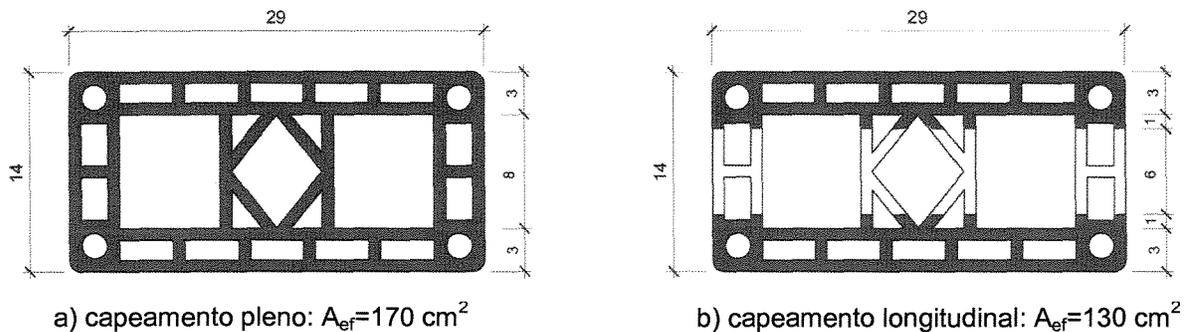


Figura 30 – Tipos de capeamento dos blocos ensaiados, com indicação das áreas efetivas (A_{ef}) de transferência de cargas

Os resultados dos ensaios dos blocos estão indicados na Tabela 14, onde os seis primeiros corpos-de-prova receberam capeamento pleno (1P a 6P), e os restantes, capeamento longitudinal (1L a 6L).

Tabela 14 - Resultados dos ensaios dos blocos cerâmicos

CP	Larg. (mm)	Compr. (mm)	Alt. (mm)	Área bruta (cm^2)	Carga (kgf)	f_b (MPa)	f_b média (MPa)	f_{bk} (MPa) (NBR 6136)	D.P. (MPa)	C.V. (MPa)
1P	139	290	190	403,10	35400	8,61				
2P	141	291	190	410,31	27500	6,57				
3P	140	290	189	406,00	31000	7,49	7,7	6,2	0,85	11,1
4P	140	290	190	406,00	29500	7,13				
5P	139	291	190	404,49	31200	7,56				
6P	140	289	190	404,60	36200	8,77				
1L	139	289	190	401,71	30400	7,42				
2L	140	290	191	406,00	23500	5,68				
3L	139	289	190	401,71	25100	6,13	6,4	5,1	0,66	10,3
4L	139	289	189	401,71	24900	6,08				
5L	139	289	188	401,71	25600	6,25				
6L	139	290	190	403,10	29000	7,06				

OBS: Adotou-se $1 \text{ MPa} = 10,2 \text{ kgf/cm}^2$

Tabela 14a - Comparações das resistências calculadas com as respectivas cargas médias e áreas efetivas

C.P.	Carga média de ruptura (kgf)	A_{ef} (cm ²)	$f_{b,ef}$ (MPa)
Pleno	31800,0	170,0	18,35
Longitudinal	26416,7	130,0	19,93
Perda (-) Ganho (+)	-16,9%	-23,5%	+8,6%

Analogamente aos blocos de concreto, vê-se na Tabela 14a, que os ensaios dos blocos cerâmicos com capeamento longitudinal apresentaram uma resistência média 8,6% maior do que os blocos ensaiados com capeamento pleno, não acusando a presença de nenhum mecanismo negativo de redução de cargas como o das tensões de Saint-Venant, muito provavelmente impedidos pelo atrito dos pratos da prensa. Ainda, como a resistência média efetiva dos blocos com capeamento longitudinal aumentou, conclui-se que aqui também, como ocorrera com os blocos de concreto, que houve uma colaboração à resistência dos blocos, de todos septos transversais que não receberam cargas da prensa.

Na Figura 31, vê-se que as fissuras de um bloco cerâmico ensaiado com capeamento longitudinal têm um comportamento normal, se forem consideradas apenas as duas regiões capeadas nas extremidades dos blocos. Semelhantes às dos blocos de concreto (Figura 24), essas fissuras surgem sob os pontos de introdução de cargas (trechos capeados), e se desenvolvem na direção vertical, aparentando uma maior espessura na altura média do bloco. No centro das extremidades dos septos transversais, local das tensões máximas de Saint-Venant, não se vê nenhuma fissura.



Figura 31 – Fissuras na paredinha transversal externa de um bloco cerâmico, rompido com capeamento longitudinal

4.3.5 PRISMAS DE BLOCOS CERÂMICOS

Aqui também os objetivos foram os mesmos dos prismas de concreto. O primeiro foi obter a relação entre a resistência de prismas com os dois tipos de assentamento, pleno e longitudinal. O segundo, verificar se para obtenção de f_p , no caso de paredes com argamassa longitudinal, não seria mais indicado o prisma com argamassa e capeamento longitudinais.

Foram ensaiados dois conjuntos de quatro prismas de dois blocos. As áreas efetivas são as mesmas dos blocos, ou seja, 170 cm^2 e 130 cm^2 para os prismas com argamassa e capeamento pleno e longitudinal, respectivamente. Os resultados dos ensaios dos prismas estão indicados na Tabela 15, onde os quatro primeiros corpos-de-prova receberam argamassa e capeamento pleno (1P a 4P), e os restantes, argamassa e capeamento longitudinal (1L a 4L).

Tabela 15 - Resultados dos ensaios dos prismas de blocos cerâmicos

CP	Carga (kgf)	A_{ef} (cm^2)	f_p (MPa)	$f_{p \text{ média}}$ (MPa)	DP (MPa)	C.V. (%)	f_a (MPa)
1P	11000	170	6,3	6,4	0,39	6,2	4,3
2P	12000		6,9				4,4
3P	10800		6,2				4,3
4P	10400		6,0				5,0
1L	10000	130	7,5	7,4	0,18	2,4	4,7
2L	10100		7,6				4,5
3L	9600		7,2				4,2
4L	9700		7,3				4,8

OBS: Adotou-se $1 \text{ MPa} = 10,2 \text{ kgf/cm}^2$

Tabela 15a - Comparações importantes dos ensaios de prismas

C.P.	Carga média de ruptura (kgf)	A_{ef} (cm^2)	$f_{p,ef}$ (MPa)
Pleno	11050,0	170,0	6,4
Longitudinal	9850,0	130,0	7,4
Perda (-) Ganho (+)	-10,9%	-23,5%	+15,6%

Contrariando o esperado, a relação entre a resistência média dos prismas de blocos cerâmicos com argamassa plena e longitudinal não apresentou a redução encontrada nos ensaios com prismas de blocos de concreto, que foi de -14,7% (Tabela 12a), mas sim um aumento dessa resistência de 15,6% (Tabela 15a). Ainda, constatou-se, que esse aumento é maior do que os 8,6% (Tabela 14a) encontrado nas resistências médias dos blocos cerâmicos.

Em face desses resultados, conclui-se que estes prismas não sofreram as interferências negativas das tensões de Saint-Venant, intensificadas com a ajuda do atrito dos pratos da prensa, como ocorreu no caso dos ensaios de prismas de blocos de concreto.

Na Figura 32, vê-se um prisma de blocos cerâmicos, rompido com capeamento e argamassa longitudinal, onde as fissuras aparecem na sua junta, porém nas extremidades do septo transversal, local onde não existem as tensões de Saint-Venant.

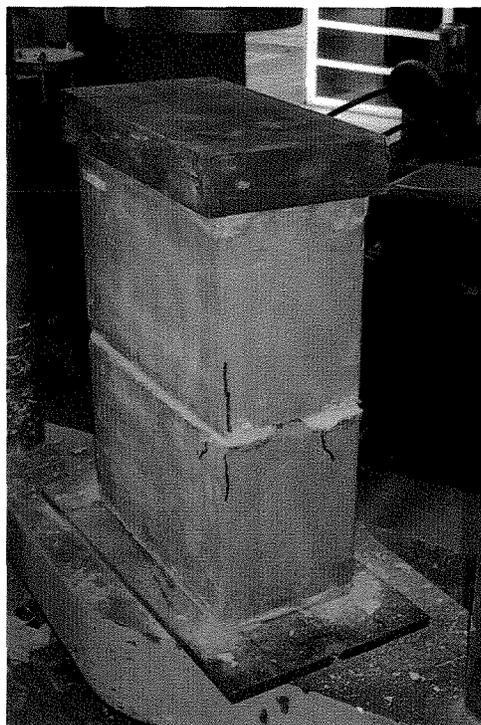


Figura 32 – Ruptura de um prisma de bloco cerâmico com indicação das primeiras fissuras

4.3.6 PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS

O objetivo desses ensaios foi também, como nas paredes de blocos de concreto, comparar as resistências médias das paredes de blocos cerâmicos com argamassa plena e longitudinal. Como as paredes apresentam duas fiadas distintas (fiadas compostas de blocos inteiros e fiadas compostas de um bloco inteiro e dois meio-blocos), temos duas áreas efetivas quando se subtraem as juntas verticais. Nas fiadas de dois blocos inteiros, temos uma área efetiva proporcional ao comprimento efetivo de 58 cm e, nas outras fiadas, ao comprimento de 57 cm.

Em face das primeiras fissuras terem ocorrido sempre nas fiadas compostas de dois blocos inteiros (Figuras 34 e 35), adotou-se, para o cálculo da área efetiva, o comprimento efetivo de 58 cm. Nessas condições, para o cálculo da área efetiva da parede foram consideradas apenas as áreas das paredinhas da fiada de dois blocos que se superpõem com as paredinhas dos blocos das fiadas contíguas, podendo considerar nesta superposição, as áreas que possam transferir cargas em conformidade com o item 14.6.2.3 da NBR 6118 (2003). Ainda, para as paredes com argamassa longitudinal, estimou-se aqui, como no caso dos blocos e prismas, uma invasão das argamassas sobre os septos transversais de 1 cm (Figura 33).

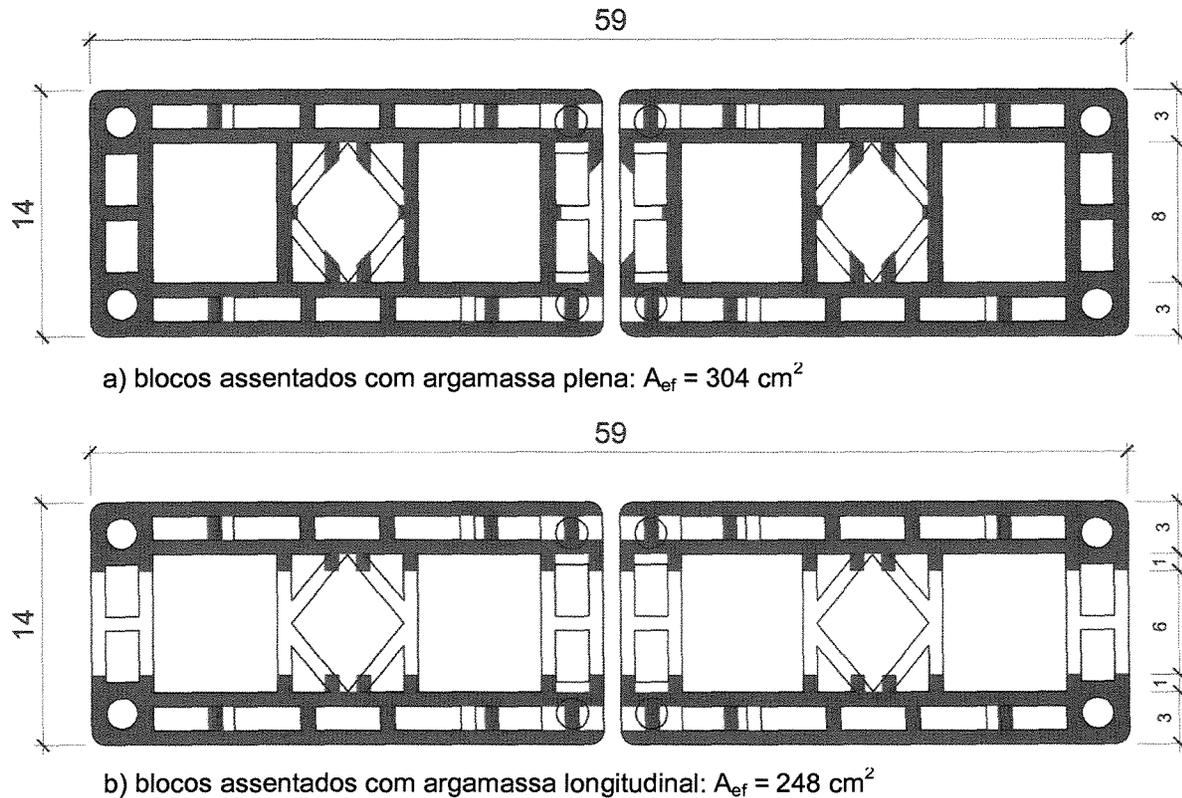


Figura 33 – Tipos de capeamento dos blocos ensaiados com indicação das áreas efetivas (A_{ef}) de transferência de cargas

Conforme os valores indicados na Tabela 16, foram ensaiados dois conjuntos de quatro paredes de 1,40 x 0,59 m com blocos de 14 x 29 cm. No primeiro conjunto, os blocos foram assentados com argamassa plena (1P a 4P) e no segundo, com argamassa longitudinal (1L a 4L).

Tabela 16 - Resultados dos ensaios das paredes de blocos cerâmicos

CP	Carga (kgf)	f_{par} (MPa)	$f_{par \text{ média}}$ (MPa)	DP (MPa)	C.V. (%)	f_a (MPa)	Carga 1ª fiss. nas paredes transversais internas (kgf)	Carga 1ª fiss. nas paredes longitudinais externas (kgf)
1P	18870	6,1				4,6	N.A.	16275 (86,2%)
2P	15519	5,0				4,1	N.A.	13570 (87,4%)
3P	19036	6,1	5,7	0,52	9,1	4,7	N.A.	15950 (83,8%)
4P	17727	5,7				4,8	N.A.	15840 (89,4%)
1L	14190	5,6				4,2	N.A.	13900 (98,0%)
2L	14320	5,7				5,0	sem fissura	13840 (96,6%)
3L	15560	6,2	5,7	0,28	4,9	5,4	N.A.	14950 (96,1%)
4L	13985	5,5				4,5	sem fissura	13230 (94,6%)

OBS: Adotou-se $1 \text{ MPa} = 10,2 \text{ kgf/cm}^2$

Tabela 16a - Comparações importantes dos ensaios de paredes

C.P.	Carga média de ruptura (kgf)	A_{ef} (cm ²)	$f_{par,média}$ (MPa)
Pleno	17788,0	304,0	5,7
Longitudinal	14513,8	248,0	5,7
Perda (-) Ganho (+)	-18,4%	-18,4%	0%

Por uma grande coincidência, as resistências das duas paredes deram o mesmo resultado. Com isto, e, considerando o fato das fissuras nas paredes com argamassa longitudinal não terem ocorrido nas paredinhas transversais, conforme se vê nas Figuras 35 e 36, descarta-se qualquer possibilidade das suas rupturas terem ocorrido por tensões de Saint-Venant. Muito provavelmente a ruptura pode ter se dado por cisalhamento dos septos transversais das paredinhas longitudinais dos blocos (Figura 36), antecipando, assim, à ruptura provocada pelas tensões de Saint-Venant.

Da Tabela 16, no caso das paredes com argamassa plena, as fissuras iniciaram-se com 84 a 89% da carga de ruptura. Essas fissuras ocorreram sempre nas paredinhas longitudinais dos blocos, não sendo observadas fissuras nas suas paredinhas transversais. Tem-se assim, uma ruptura avisada com uma folga de 11 a 16%.

Conforme se vê na Tabela 16, para paredes com argamassa longitudinal, as primeiras fissuras ocorreram acima de 95% da carga de ruptura, ou seja, com 5% de aviso, caracterizando uma ruptura mais frágil do que no caso das paredes com argamassa plena. Porém, menos frágil do que as paredes de blocos de concreto e com argamassa longitudinal (2% de aviso).

Nas Figuras 34 e 35 observa-se que, tanto no caso das paredes com argamassa longitudinal como das com argamassa plena, as fissuras ocorreram sempre nos blocos inteiros, evidenciando que os meio-blocos, com uma área efetiva maior, têm maior

resistência. Este fato, quando as paredes são muito estreitas (como nos ensaios de prismas e paredes), pode falsear os resultados contra a segurança.

Quanto às fissuras das paredes com argamassa plena (Figura 34), constatou-se que elas ocorreram na região central dos blocos, na direção vertical e com espessura constante, caracterizando assim uma ruptura normal por deformação de Poisson seguida de flexão das paredinhas longitudinais dos mesmos.

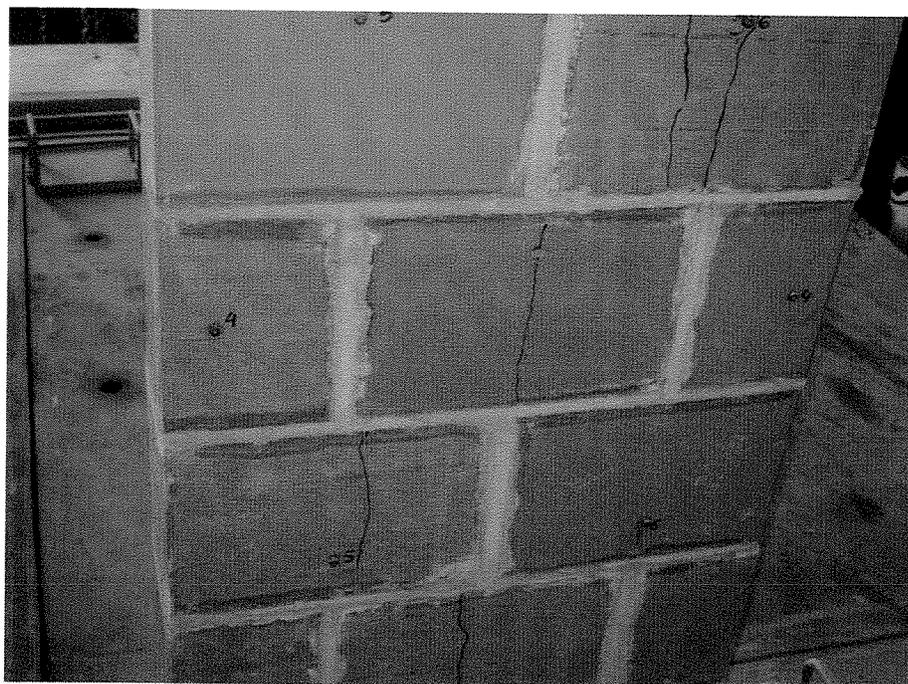


Figura 34 – Fissuras em uma parede com blocos cerâmicos assentada com argamassa plena

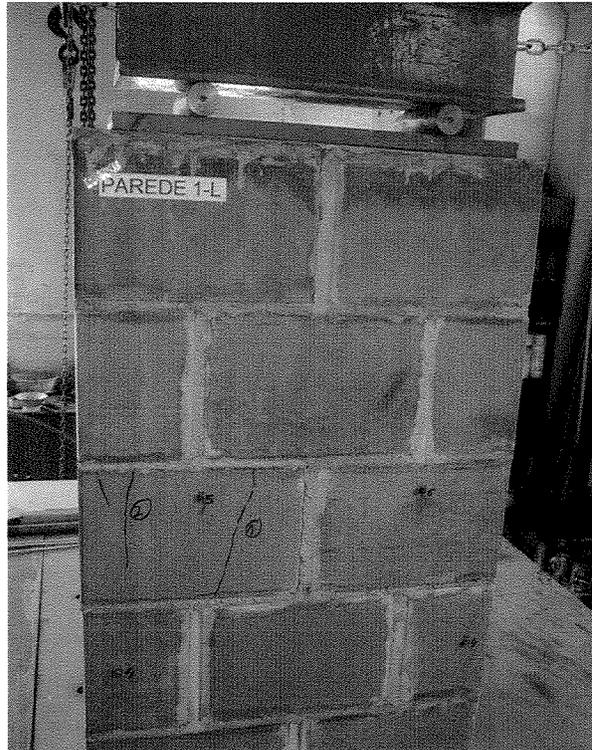


Figura 35 – Fissuras em uma parede com blocos cerâmicos assentada com argamassa longitudinal

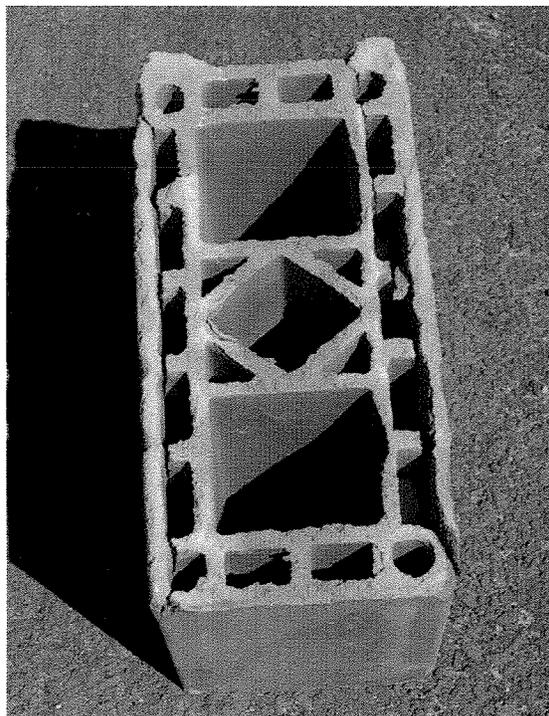


Figura 36 – Fissuras internas em um bloco de uma parede assentada com argamassa longitudinal

4.3.7 COMPARAÇÃO COM OUTROS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Este item tem por objetivo comparar os resultados deste trabalho com os resultados obtidos em outros trabalhos citados no Capítulo 3. Esses resultados estão resumidos na Tabela 17, e todos os valores de resistência foram feitos considerando a área bruta dos corpos de prova.

Tabela 17: Comparação entre eficiências de vários trabalhos

Tipo	Autor	f_b (MPa)	f_a (MPa)	Eficiências			1ª fiss. nas paredes	1ª fiss. nas paredinhas
				f_p/f_b	f_{par}/f_b	$f_{paredinha}/f_b$		
BLOCOS CERÂMICOS	FRANCO (1987)	10,6	7,2	0,52	0,41	0,44	50-60%	-
	GOMES (1983)	7,5	5,0	-	0,34	-	-	-
	MÜLLER (1989)	23,3	3,6	0,26	0,13	0,14	-	-
	GRACIA (2000)	12,1	11,0	-	0,33	-	49%	-
	CER. SELECTA (<i>apud</i> GARCIA)	12,56	12,8	0,58	0,33	-	45%	-
	CER. MARISTELA (<i>apud</i> GARCIA)	20,8	7,2	0,27	0,18	-	55%	-
	RAMALHO e CORRÊA (2003)	-	-	-	0,2-0,5	-	-	-
	Este trabalho	7,7	5,2	0,35	-	0,27	-	87%
BLOCOS DE CONCRETO	MOHAMAD (1998)	10,7	4,2	0,76	-	-	-	-
	KHALAF (1996)	11,3	9,2	0,88	-	-	-	-
	LEGLER (1998)	11,7	4,8	0,91	-	-	-	-
	MORENO JR (1997)	8,3	7,7	0,84	-	-	-	-
	RAMALHO e CORRÊA (2003)	-	-	-	0,4-0,6	-	-	-
	Este trabalho	10,6	5,2	0,65	-	0,39	-	90%

Os diversos trabalhos citados usaram materiais diferentes dos usados aqui, ou seja, resistências de blocos, argamassas e geometrias diferentes. Por esta razão, estas comparações não são perfeitas.

De qualquer maneira, com relação aos blocos cerâmicos, as eficiências deste trabalho estiveram próximas às dos demais. Os outros trabalhos tiveram eficiências f_p/f_b variando de 27 a 58%, e aqui, tal valor foi de 35%. Para paredes, os trabalhos citados tiveram eficiências entre 18 e 41% e aqui, a eficiência para as paredes de 1,00 m foi de 27%.

Já com blocos de concreto, a eficiência dos prismas variou de 76 a 91% e neste trabalho foi de 65%. Para paredes, RAMALHO e CORRÊA (2003) indicam eficiências entre 40 e 60% e aqui, a eficiência para as paredes de 1,00 m foi de 39%.

5 ESTUDO EM ELEMENTOS FINITOS

Foi feito neste trabalho um estudo em elementos finitos, utilizando o programa SAP 2000 (versão 8.3.3), com o objetivo de verificar o desenvolvimento de tensões de tração, e conseqüentes fissuras, no septo transversal interno do bloco de concreto, quando o mesmo é carregado apenas nas suas paredinhas longitudinais. Descartou-se um mesmo estudo para blocos cerâmicos pelo simples fato deles não terem apresentado em nenhum dos ensaios, sinais da participação negativa das tensões de Saint-Venant.

5.1 PARÂMETROS UTILIZADOS

Neste modelo tridimensional, foram utilizados elementos *Shell*, com dimensões de 0,5 x 0,5 cm e espessura de 2,5 cm. O material utilizado foi o concreto, com módulo de elasticidade $E=1649000 \text{ t/m}^2$, e coeficiente de Poisson $\nu = 0,2$. A malha resultante pode ser vista nas Figuras 37 e 38, onde se pode perceber que apenas um quarto do bloco foi simulado, impondo, para isso, condições de simetria ao modelo. Foram feitas duas considerações: a argamassa avançando apenas 1 cm sobre o septo transversal (condição mais desfavorável), e avançando 2 cm sobre o septo transversal.

Em face da simplicidade de se conseguir os objetivos desse capítulo, bem como não ser a parte principal deste trabalho, não se adotou o modelo tridimensional sólido.

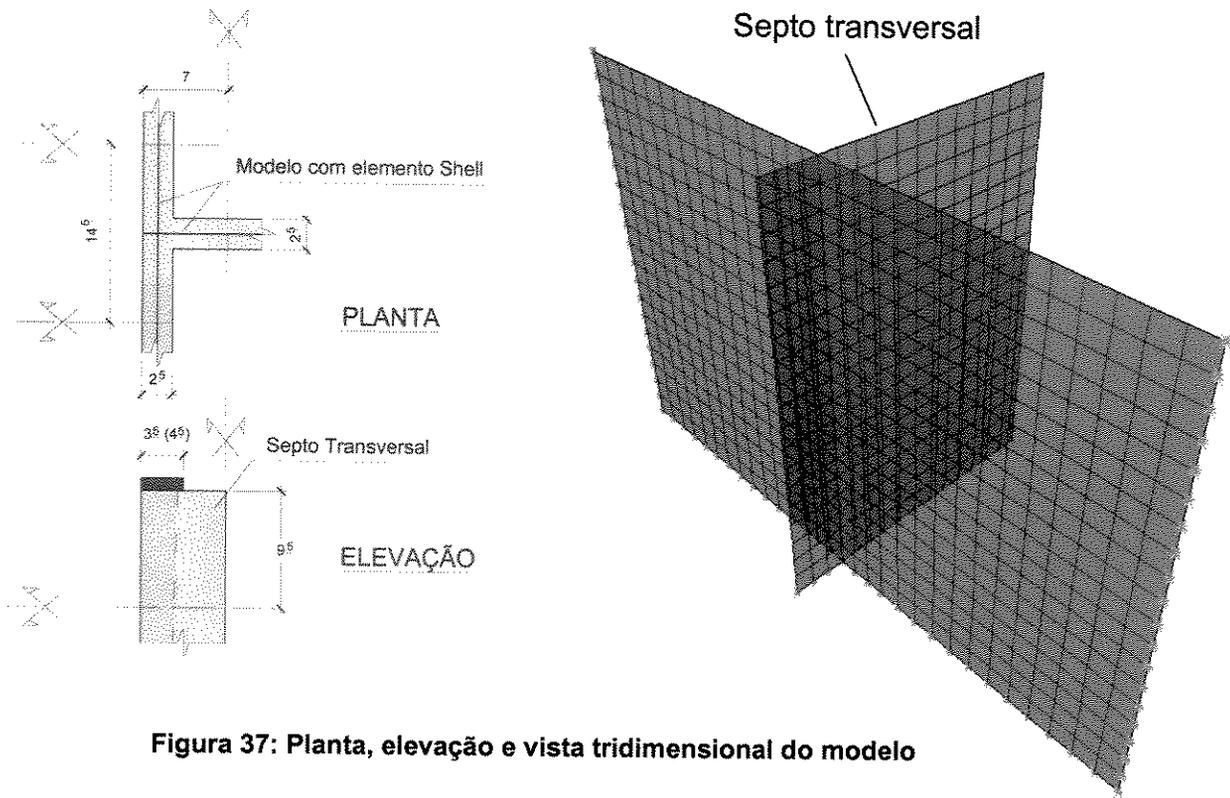


Figura 37: Planta, elevação e vista tridimensional do modelo

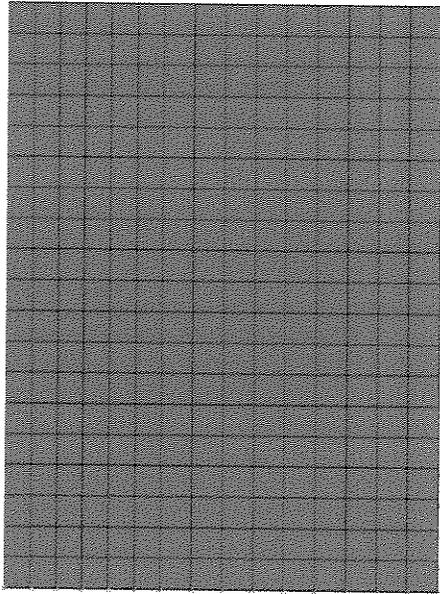


Figura 38: Vista do septo transversal

5.1.1 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA DOS BLOCOS

Para determinar a resistência à compressão máxima do modelo, foi usada a resistência do prisma. Adotou-se a relação entre a resistência do prisma e do bloco:

$$f_p = 1,7 \cdot f_{bk} \quad (1)$$

Como se supôs blocos de 6 MPa, obteve-se a resistência f_p igual a 10,2 MPa, que é o carregamento máximo a ser colocado no modelo.

5.1.2 CÁLCULO DA TENSÃO EM SERVIÇO $\bar{\sigma}_c$ QUE ATUA NOS BLOCOS

Da expressão $\bar{\sigma}_c = 0,20 \cdot f_p \cdot \left[1 - \left(\frac{h}{40 \cdot t} \right)^3 \right]$ para $h=2,80$ m e $t = 14$ cm, tem-se:

$$\bar{\sigma}_c = 0,20 \cdot f_p \cdot \left[1 - \left(\frac{280}{40 \cdot 14} \right)^3 \right] = 0,175 \cdot f_p$$

Para $f_p = 10,2$ MPa, tem-se $\bar{\sigma}_c = 1,78$ MPa, que é a tensão em serviço que atua no modelo.

5.1.3 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO MÉDIA DAS PAREDINHAS DOS BLOCOS

O cálculo da resistência média à tração das paredinhas do bloco foi feito segundo a NBR 6118 (2003), onde temos:

$$f_{tm} = 0,3 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad (2)$$

O f_{ck} da equação (2) é a resistência real do concreto do bloco, ou seja:

$$f_{ck} = f_{bk} \cdot \frac{A_{br}}{A_{ef}} = 6 \cdot \frac{14 \cdot 29}{212,5} = 11,46 \text{ MPa} \quad (3)$$

Logo, colocando o resultado de (3) em (2), obteve-se a resistência à tração média das paredinhas dos blocos, que corresponde a 1,52 MPa, ou 15,5 kgf/cm².

5.2 PROCEDIMENTOS

Com o modelo pronto e com posse das informações do item anterior, iniciou-se a fase de análise. Depois de executado o programa pela primeira vez, observou-se, como esperado, uma grande tensão de tração no meio das extremidades do septo transversal, da ordem de 5,5 MPa, como pode ser visto na Figura 39.

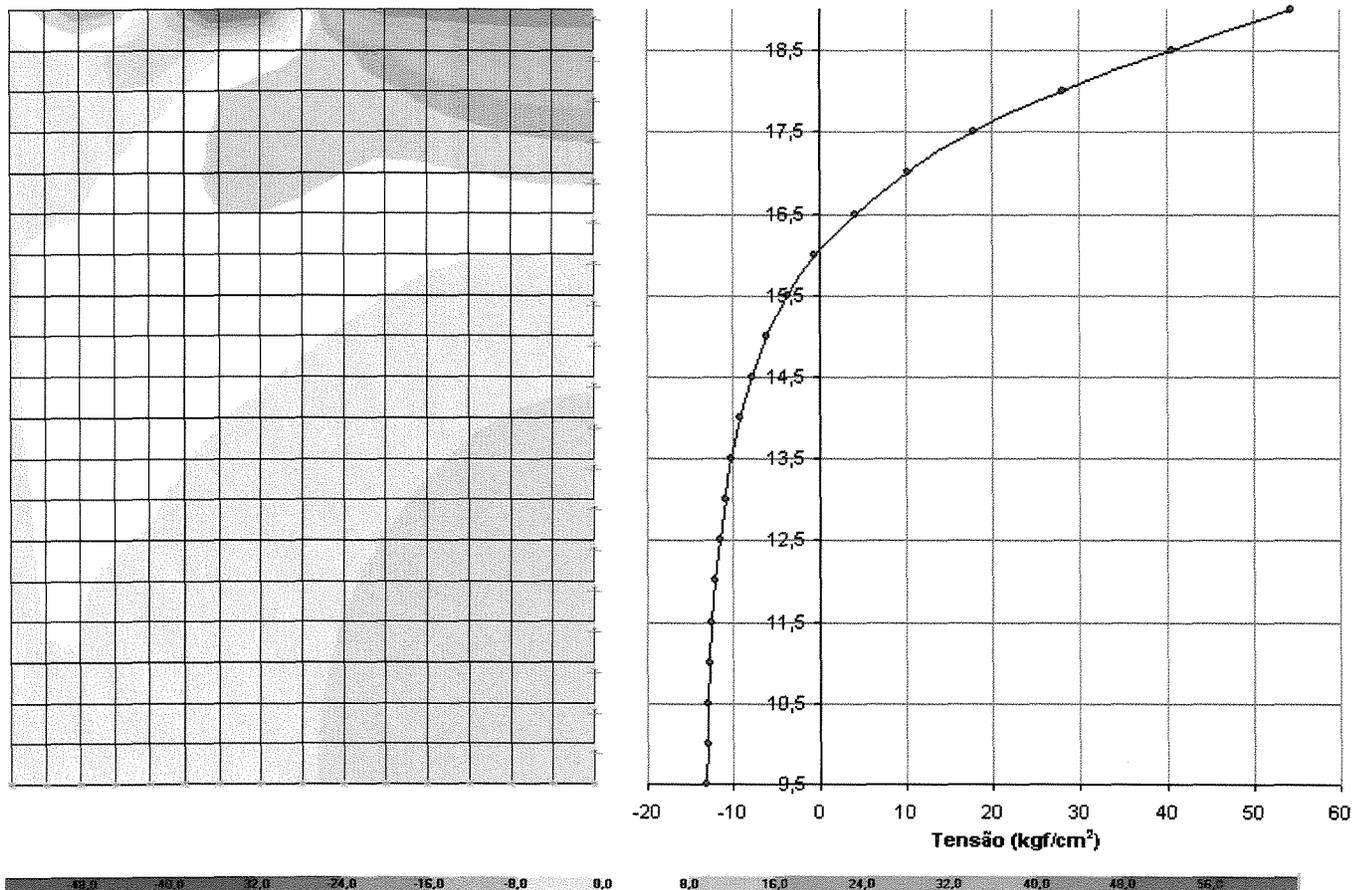


Figura 39: Tensões no meio do septo transversal (kgf/cm²)

Então, o primeiro nó no topo do centro do septo transversal foi liberado, ou seja, simulou-se uma fissura nos primeiros 5 mm do septo, e o programa foi executado novamente. Neste caso, a tensão de tração a 5 mm do topo ainda foi grande, mas ligeiramente menor que no primeiro caso.

Este procedimento foi repetido até que a tensão de tração no primeiro nó não liberado, ou seja, o primeiro nó após o término da fissura, não ultrapassasse os 15,5 kgf/cm² estabelecidos em 5.1.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 CONSIDERANDO A ARGAMASSA AVANÇANDO 1 cm SOBRE O SEPTO TRANSVERSAL E O BLOCO SUBMETIDO À TENSÃO DE RUPTURA

$$f_p = 10,2 \text{ MPa}$$

Esta hipótese (1 cm de avanço) foi usada nos cálculos da área efetiva dos blocos, prismas e paredes por estar a favor da segurança. A consideração foi de que, nos casos de assentamento com argamassa longitudinal, é impossível que a argamassa avance menos do que 1 cm sobre os septos transversais, embora na observação da execução deste tipo de assentamento se percebeu que a argamassa avançou um pouco mais.

Após executar o procedimento descrito em 5.2, verificou-se que as tensões de tração chegam a um valor de 15,5 kgf/cm² num ponto localizado 7 cm abaixo do topo do bloco, ou seja, temos uma região de 5 cm no centro do septo transversal onde as tensões de tração não provocam fissuras. Nessa região, ocorre também um trecho de compressão. Os resultados do programa e o diagrama de tensões no meio do septo transversal são mostrados na Figura 40.

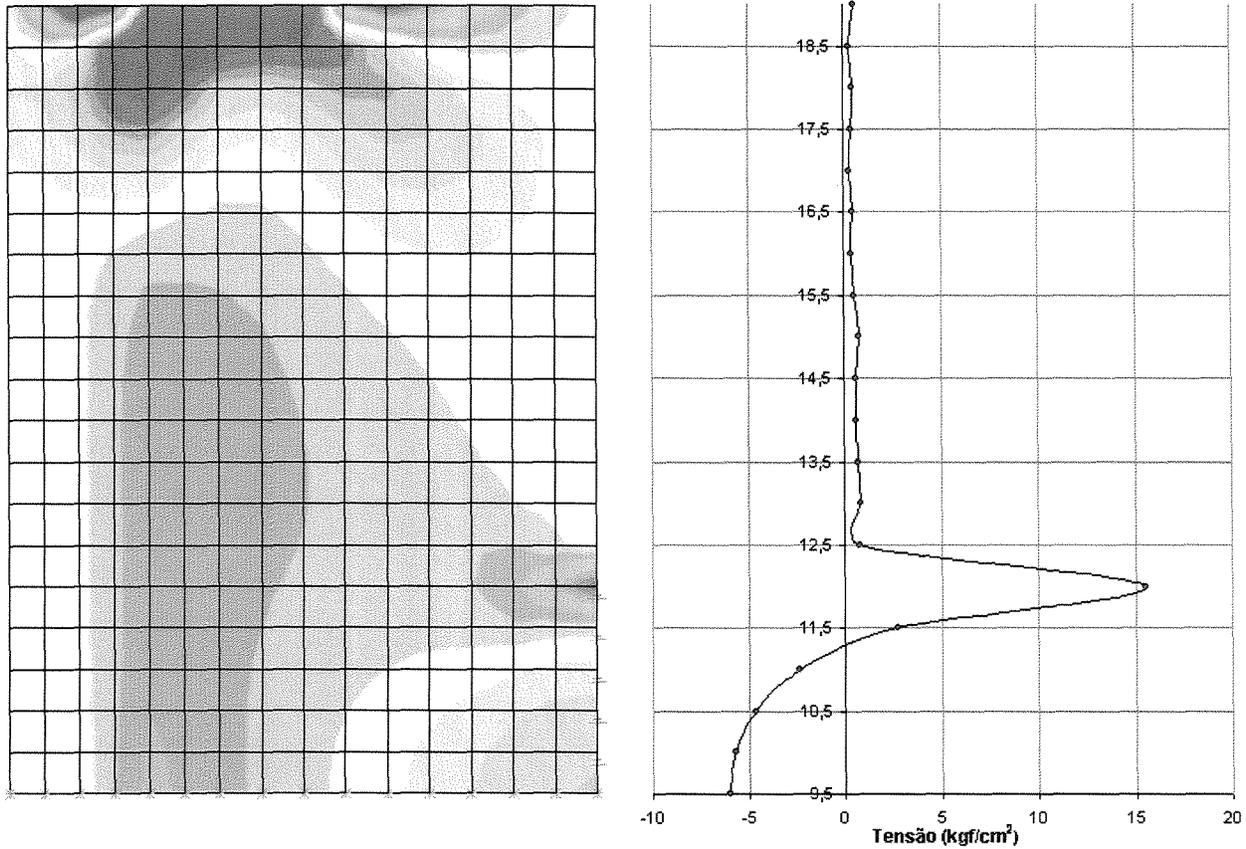


Figura 40: Tensões no meio do septo transversal (kgf/cm²)

5.3.2 CONSIDERANDO A ARGAMASSA AVANÇANDO 2 cm SOBRE O SEPTO TRANSVERSAL E O BLOCO SUBMETIDO À TENSÃO DE RUPTURA

$$f_p = 10,2 \text{ MPa}$$

Esta consideração foi feita por se aproximar mais da realidade das paredes executadas com argamassa longitudinal. Neste caso, os resultados foram melhores do que os apresentados em 5.3.1. O diagrama de tensões é apresentado na Figura 41, e mostra que houve uma região de 6 cm no centro do septo transversal com tensões de tração menores do que $15,5 \text{ kgf/cm}^2$, ou seja, que não provocariam fissuras.

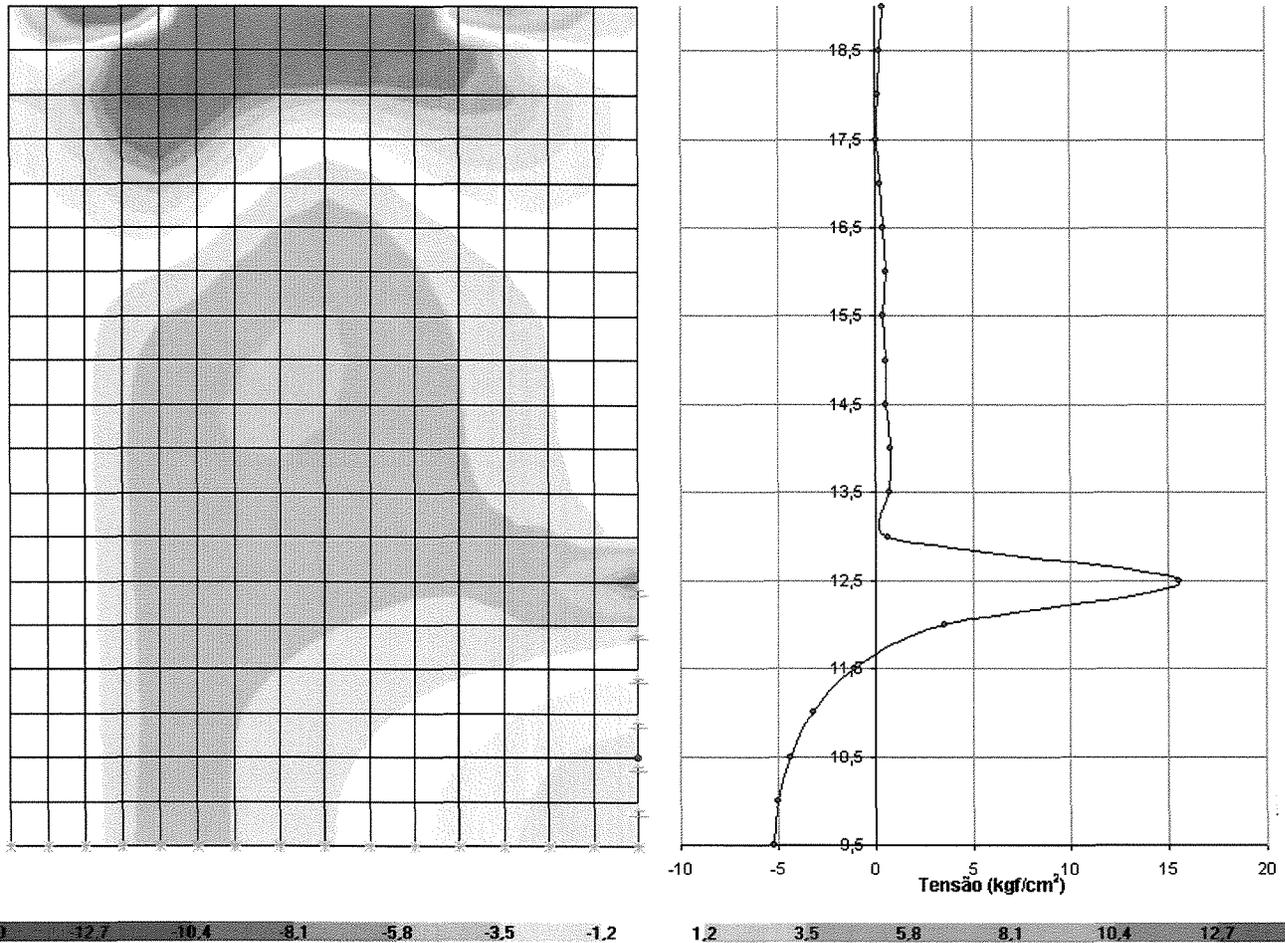


Figura 41: Tensões no meio do septo transversal (kgf/cm^2)

5.3.3 CONSIDERANDO A ARGAMASSA AVANÇANDO 1 cm SOBRE O SEPTO TRANSVERSAL E O BLOCO SUBMETIDO À TENSÃO EM SERVIÇO $\bar{\sigma}_c = 1,78 \text{ MPa}$

Esta consideração foi feita para verificar as tensões em serviço no bloco. O diagrama de tensões é apresentado na Figura 42, e mostra que na extremidade superior do septo transversal do bloco houve tensões de tração de 11 kgf/cm^2 , incapazes de provocar fissuras.

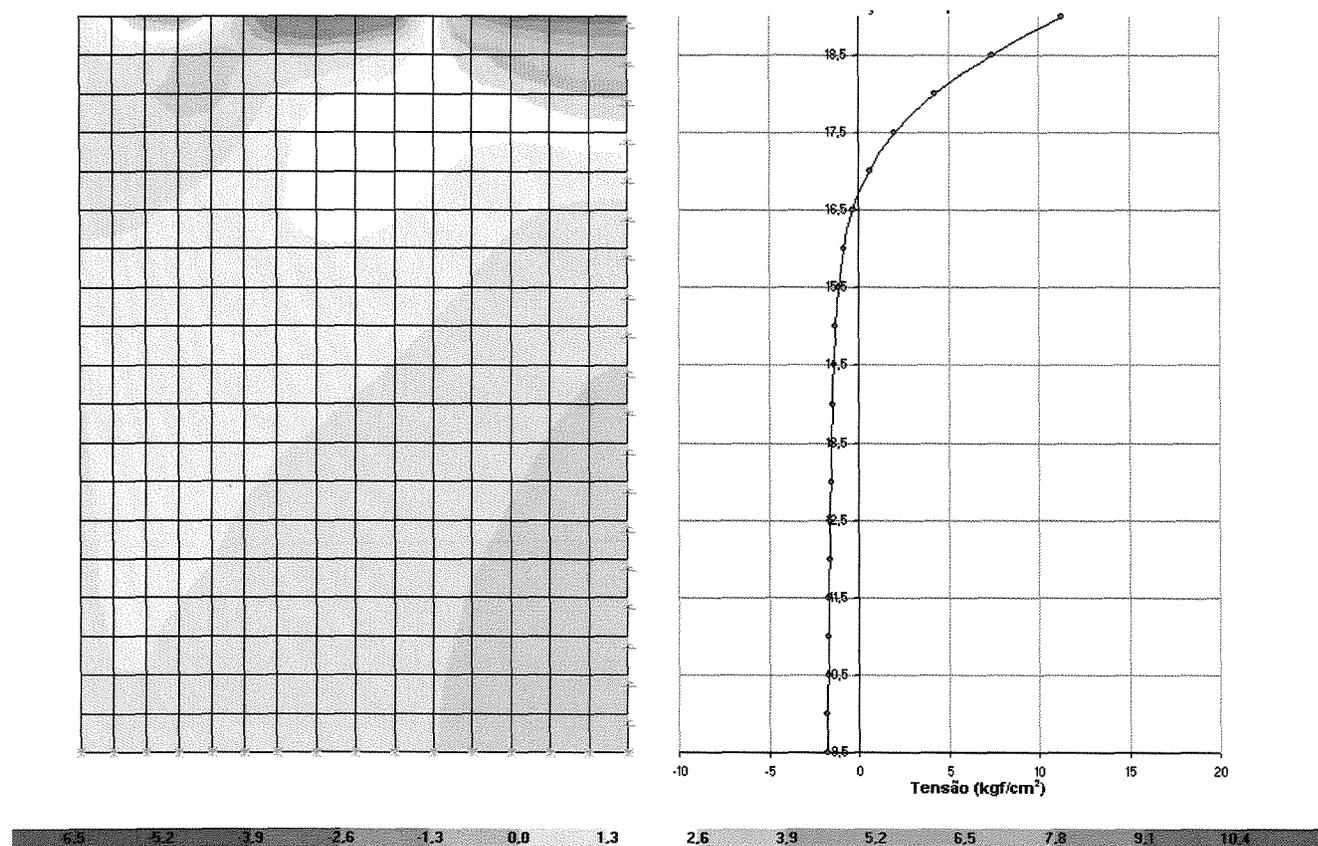


Figura 42: Tensões no meio do septo transversal (kgf/cm^2)

6 CONCLUSÕES

6.1 BLOCOS E PRISMAS DE CONCRETO

Comparando as cargas de ruptura dos blocos e dos prismas, vê-se que a resistência caiu muito, ou seja, caiu 35%:

$$\text{Eficiência} = \frac{P_{R \text{ prisma}}}{P_{R \text{ bloco}}} = \frac{28675}{43887} = 0,65$$

Como a relação h/t dos prismas é baixa (2,8), a maior parte dessa diferença é consequência do efeito do confinamento devido ao atrito dos pratos da prensa, que atua nos dois corpos-de-prova de maneiras opostas. No bloco, o atrito provoca um confinamento favorável à sua resistência, que apresenta um comportamento típico da ruptura por deformação de Poisson, iguais às rupturas dos corpos-de-prova de concreto à compressão axial. Já nos prismas, o confinamento devido ao atrito nas extremidades acelera as deformações de Poisson na região central do prisma (na região da junta de argamassa), ajudado por uma rotação dos blocos em torno dos pratos da prensa.

Resumindo essas análises, percebe-se que com os ensaios normalizados, as resistências dos prismas estão sub-avaliadas e a dos blocos superavaliadas. As resistências dos blocos superavaliadas não apresentam nenhum inconveniente pelo simples fato dele ser apenas um valor de referência. Já quanto aos prismas, a sub-avaliação ameniza em parte o fato das paredes terem uma área efetiva menor do que a utilizada em seus ensaios. Ou seja, como os prismas de dois blocos são superpostos, a sua área efetiva é plena (212,5 cm²). Nas paredes, a área efetiva correspondente a esse prisma seria de 190 cm². Com isso, comete-se um erro contra segurança de 12% que "equilibra" em parte a redução das cargas dos prismas sofrida pelos atritos dos pratos da prensa em seus ensaios.

Quanto aos blocos e prismas com argamassa longitudinal, observou-se que a resistência do prisma em relação ao bloco caiu 49%, ou seja:

$$\text{Eficiência} = \frac{P_{R \text{ prisma}}}{P_{R \text{ bloco}}} = \frac{18425}{36252} = 0,51$$

Aqui, o atrito com os pratos da prensa continua beneficiando, como no caso anterior, a resistência dos blocos. Já para os prismas, surgem as tensões de Saint-Venant, e então se iniciam as deformações na região central (juntas). Essas deformações são aceleradas pela rotação em torno das extremidades, devido ao atrito com os pratos da prensa.

Para representar o comportamento estrutural desse prisma, com deformações horizontais semelhantes às de segunda ordem dos pilares, criou-se o esquema estático da Figura 43.

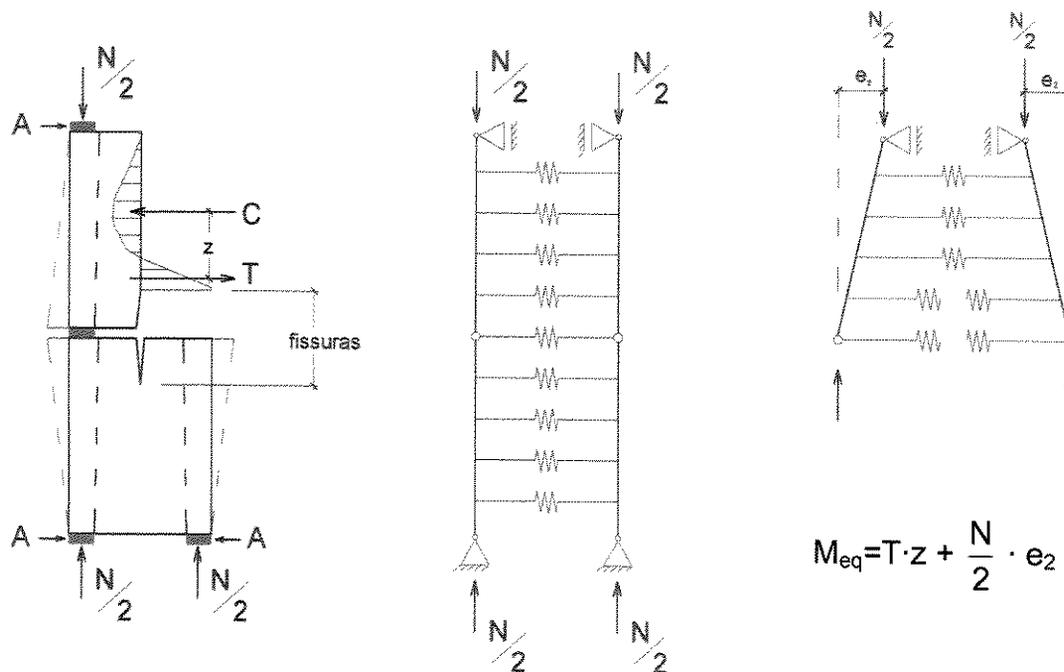


Figura 43: Esquema estático dos prismas com argamassa longitudinal

Concluindo, seria melhor utilizar modelos de prismas que simulassem melhor o comportamento estrutural das paredes. Assim, facilitariam as análises estruturais e, principalmente, indicariam resultados mais corretos nas pesquisas feitas sobre argamassas e outros componentes da alvenaria estrutural.

6.2 PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO

Como houve um aumento da resistência à compressão das paredes com argamassa longitudinal em relação às com argamassa plena de 10,2% (Tabela 13a), conclui-se que não há problemas em se executar paredes com blocos assentados com argamassa longitudinal.

O problema da ruptura frágil (desavisada) das paredes com argamassa longitudinal em relação às paredes com argamassa plena é um ponto negativo, que pode ser questionado com os seguintes argumentos:

- a) Com argamassa plena a primeira fissura nas paredinhas longitudinais dos blocos apareceu em nos com 94,3% da respectiva carga de ruptura, enquanto que com argamassa longitudinal apareceu com 98,9%. Mesmo no caso das paredes com argamassa plena, a diferença de 5,7% entre a carga de primeira fissura e a carga de ruptura não é tão significativa e, no entanto, nunca existiu preocupação quanto a essa pequena ductilidade.
- b) A capacidade de redistribuição dos esforços é maior nas paredes de alvenaria do que nos pilares de concreto armado.
- c) Os pilares das estruturas em concreto armado também não têm ruptura dúctil (com aviso) e, no entanto, nunca se questionou seu uso.

Finalizando, este trabalho constatou bons resultados nos ensaios das paredes com argamassa longitudinal em relação aos de argamassa plena, com redução de cargas de apenas 13,8% (Tabela 13a). Se comprovados com mais ensaios, inclusive em escala real, eliminar-se-á definitivamente mais um preconceito no Brasil contra a Alvenaria Estrutural.

6.3 BLOCOS E PRISMAS CERÂMICOS

Aqui, como no caso de blocos de concreto, observou-se também uma queda muito grande das cargas dos prismas em relação à dos blocos com argamassa e capeamento pleno, só que neste caso a queda foi muito maior:

$$\text{Eficiência} = \frac{P_{R \text{ prisma}}}{P_{R \text{ bloco}}} = \frac{11050}{31800} = 0,35$$

Ou seja, a carga de ruptura do prisma caiu 65! Ainda, nos ensaios desses prismas, as fissuras ocorreram nos cantos dos blocos e se desenvolveram verticalmente. Comparando com a carga de ruptura do prisma de concreto, que caiu 35%, percebe-se que, além do efeito negativo dos pratos da prensa, associado às deformações de Poisson, o cisalhamento devido à geometria dos blocos cerâmicos pode também ter colaborado na redução da carga de ruptura.

Analisando agora as cargas dos prismas em relação à dos blocos com argamassa e capeamento longitudinal, tem-se:

$$\frac{P_{R \text{ prisma}}}{P_{R \text{ bloco}}} = \frac{9850}{26416,7} = 0,37$$

Ou seja, a queda de 63% não piorou neste caso de argamassa e capeamento longitudinal, como aconteceu nos prismas correspondentes de concreto. Observando as fissuras deste caso (Figura 32), percebe-se a não existência das tensões de Saint-Venant, indicando que algum outro mecanismo negativo, no caso o cisalhamento devido à geometria, se apresentou antes dos demais.

6.4 PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS

A Tabela 16a mostra que as paredes com argamassa longitudinal perderam carga, porém, proporcionalmente à diminuição das áreas efetivas, resultando na igualdade das resistências das paredes. Como essas paredes já são usadas há muito tempo no Brasil, os resultados apenas confirmam a sua adequação.

Comparando as resistências dos blocos e paredes dos dois grupos de ensaios executados neste trabalho, pode-se tirar algumas conclusões quanto à geometria dos blocos cerâmicos (em face das conclusões do item 6.1, não se utilizaram aqui os resultados dos prismas). Assim, temos:

Tabela 18 – Concreto: resistências médias

Assentamento	Bloco (MPa)	Parede (MPa)	Eficiência
Pleno	20,25	9,71	48%
Longitudinal	22,21	10,69	48%

Tabela 19 – Cerâmico: resistências médias

Assentamento	Bloco (MPa)	Parede (MPa)	Eficiência
Pleno	18,35	5,74	31%
Longitudinal	19,93	5,74	29%

Como as eficiências (48% e 30%) foram tiradas de ensaios de mesmo material e mesmo tipo de assentamento, a queda maior nas paredes com blocos cerâmicos muito provavelmente é uma consequência da geometria dos seus blocos. Por exemplo, a Figura 36 mostra nitidamente a ruptura por cisalhamento dos septos transversais das paredinhas longitudinais de um bloco de uma dessas paredes. Se esta suposição se confirmar, poderá estar aí a razão do não aparecimento das fissuras devido ao efeito de Saint-Venant nos prismas e paredes com argamassa longitudinal. Ou seja, a má superposição entre fiadas contíguas dos septos transversais rompidos por cisalhamento, provocou uma ruptura que antecipou a ruptura devido às tensões de Saint-Venant.

6.5 ESTUDO EM ELEMENTOS FINITOS

Do cálculo por elementos finitos de um bloco de concreto com carregamento apenas nas suas paredinhas longitudinais, comprovou-se a ocorrência das já conhecidas tensões de tração de Saint-Venant, no centro das extremidades do septo transversal interno do mesmo. Para cargas em serviço, essas trações foram inferiores às de ruptura, conforme visto em 5.3.3.

Já com cargas de ruptura (5.3.1 e 5.3.2), essas tensões de tração causaram fissuras, deixando, porém, um trecho de 5 cm no centro do septo transversal com tensões de tração e de compressão menores às da ruptura. Poder-se-ia concluir, então, que essas fissuras são de compatibilidade e não de equilíbrio.

Entretanto, como os ensaios dessas paredes indicaram rupturas com fissuras apenas nas paredinhas transversais dos blocos, conclui-se que a análise por elementos finitos feita aqui de um só bloco não contempla os deslocamentos de segunda ordem que, muito provavelmente, foram responsáveis pela ruptura dos 5 cm remanescentes. Qualquer confirmação dessas conclusões por elementos finitos deve ser feita com um modelo tridimensional que tenha o mesmo número de fiadas das paredes ensaiadas, bem como condições de contemplar os deslocamentos de segunda ordem existentes nas paredes longitudinais dos blocos.

6.6 SUGESTÃO PARA PRISMAS

Após a constatação neste trabalho da viabilização da alvenaria estrutural com argamassa longitudinal, bem como do mau funcionamento dos prismas com argamassa plena, e péssimo no caso de blocos de concreto com argamassa longitudinal, propõe-se aqui, para ensaios de prismas com blocos de concreto ou cerâmicos, o modelo com três fiadas, com dois blocos por fiada, assentados com amarração, conforme a Figura 46.

Com este modelo, eliminam-se as duas deficiências dos atuais prismas de dois blocos, tendo-se ainda um corpo-de-prova bem menor e mais barato que o de uma parede. Este prisma poderia ser usado em ensaios para simular o comportamento de uma parede e dos seus componentes.

6.6.1 ÁREAS DE ASSENTAMENTO ENTRE BLOCOS DOS PRISMAS, DIFERENTE DA ÁREA DAS PAREDES

Os atuais prismas têm área efetiva (Figura 44) diferente da área efetiva da parede, devido à amarração entre blocos existente nas paredes.

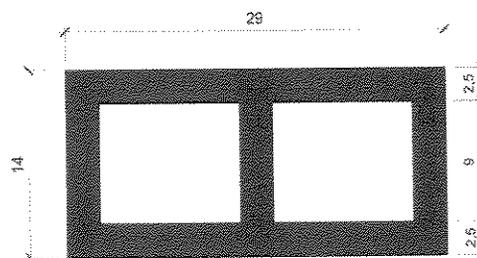


Figura 44 – Área efetiva dos prismas atuais de blocos de concreto com argamassa plena

No modelo atual de prisma com blocos de concreto, tem-se:

$$A_{\text{ef}} = \frac{212,5}{0,30} = 708,3 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mas como a área efetiva da parede é de 633,3 cm²/m (Figura 47), tem-se uma diferença de 12%.

Correção: assentar os blocos com amarração e eliminar com EPS a participação dos septos transversais das extremidades. Assim, as áreas de assentamento dos blocos ficam iguais às das paredes.

6.6.2 ATRITO NAS EXTREMIDADES DO PRISMA

Correção: executar prismas com três fiadas, colocando em cada extremidade mais uma fiada de blocos reforçados com a função de ajudar na distribuição das cargas da prensa para o prisma e eliminar totalmente os atritos existentes nas extremidades dos prismas atuais (Figura 45 e 46). Ainda, estas fiadas reforçadas sendo feitas com blocos iguais aos dos prismas e assentados com a mesma argamassa, dão às suas extremidades a mesma aderência e deformabilidade existentes nas três fiadas internas.

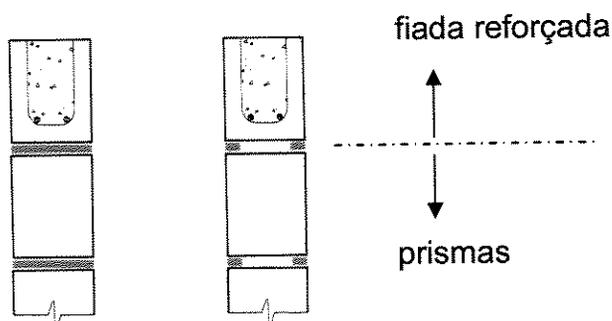


Figura 45 – Blocos reforçados na extremidade dos prismas

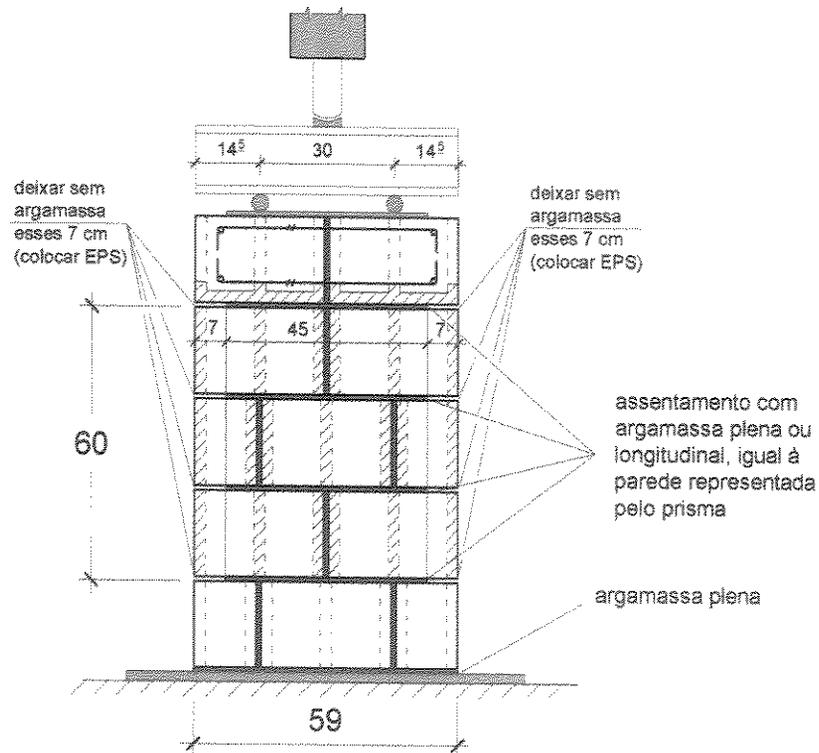


Figura 46 - Proposta para ensaios de prismas com blocos de concreto ou cerâmicos

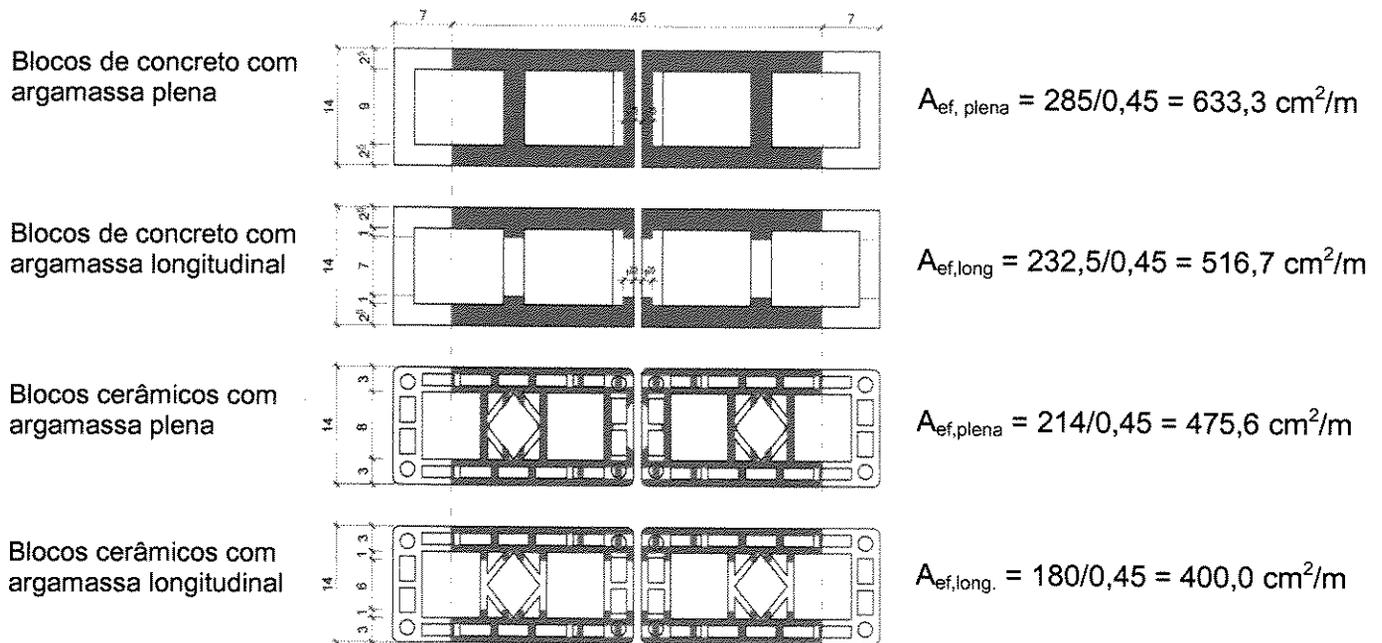


Figura 47 – Áreas efetivas de transferência de cargas (A_{ef}) correspondentes a 45 cm de parede

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 170 p.

_____. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 2000. 7 p.

_____. **NBR 7171**: Bloco cerâmico para alvenaria - Recebimento. Rio de Janeiro, 1992. 8 p.

_____. **NBR 7184**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1992. 2 p.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à Compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

_____. **NBR 7222**: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.

_____. **NBR 8042**: Bloco cerâmico para alvenaria – Formas de dimensões. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.

_____. **NBR 8215**: Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro, 1983. 2 p.

_____. **NBR 8522**: Concreto - determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação. Rio de Janeiro, 1984. 9p.

_____. **NBR 8549**: Paredes de alvenaria estrutural - ensaio à compressão simples. Rio de Janeiro, 1985. 7 p.

_____. **NBR 8798**: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985. 29 p.

_____. **NBR 10837**: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989. 21 p.

_____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da absorção de água, do índice de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 2001. 4 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C 67**: Standard Test for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. West Conshohocken, PA, 2002. 11 p.

_____. **C 1506**: Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters. West Conshohocken, PA, 2003. 4 p.

_____. **E 111**: Standard Test method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. West Conshohocken, PA, 1997. 6 p.

_____. **E 518**: Standard Test Methods for Flexural Bond Strength of Masonry. West Conshohocken, PA, 2002. 5 p.

BARROS, M. M. B.; SABBATINI, F. H. Avaliação das Características de Alvenarias Assentadas com Argamassas Industrializadas. *In*: 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: 1995, p. 143-152.

BRICK INDUSTRY ASSOCIATION. Hollow Brick Masonry. **Technical Notes on Brick Construction**, v. 41, p. 1-8, Feb. 1996.

- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 5628**: Part 1: Code of practice for use of masonry. London, 1978. 48 p.
- CASALI, J. M. **Estudo Comparativo do Comportamento de Diferentes Tipos de Argamassa de Assentamento para Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto**. Florianópolis, 2003. 184 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- CONCRETE MASONRY ASSOCIATION OF AUSTRALIA. Concrete Masonry Handbook. In: CMAA. **Concrete Masonry Walling**. Brisbane: 2000. 28 p.
- DRYSDALE, R.; HAMID, A.; BAKER, L. **Masonry Structures - Behavior and Design**. Edição. Englewood Cliffs, NJ: Practice Hall, 1994. 864 p.
- FRANCO, L. S. **Desempenho Estrutural do Elemento Parede de Alvenaria Estrutural não Armada, quando Submetido a Esforços de Compressão**. São Paulo, 1987. 135 p. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- GANESAN, T. P.; RAMAMURTHY, K. Behavior of Concrete Hollow-Block Masonry Prisms under Axial Compression. **Asce - Journal of Structural Engineering**, v. 18, p. 1751-1769, jul. 1992.
- GARCIA, P. D. **Contribuições ao Estudo da Resistência à Compressão de Paredes de Alvenaria de Blocos Cerâmicos**. São Carlos, 2000. 115 p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- GOMES, N. S. **A Resistência das paredes de alvenaria**. São Paulo, 1983. 147 p. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- HAMID, A. A.; CHUKWUNENYE, A. O. Compression Behavior of Concrete Masonry Prisms. **Asce - Journal of Structural Engineering**, v. 112, n. 3, p. 605-613, Mar. 1986.

HENDRY, A. W. **Structural Masonry**. Hounmills, Basingstoke: Macmillan, 1990. 248 p.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA E QUALIDADE DA CONSTRUÇÃO. Programa QualiHab - Execução de Alvenaria Estrutural com Bloco de Concreto. 1999. Disponível em: <www.infohab.org.br>. Acesso em: 22 / 04 / 2004.

KALGAL, R. M.; PRAKASH, M. R. Effect of Joint Thickness on Compressive Strength of Stack Bonded Prisms - A Preliminary Investigation. *In*: 6th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 2000, Bangalore-India. **Proceedings...** Bangalore-India: 2000, p. 96-101.

KHALAF, F. M. Factors influencing compressive strength of concrete masonry prisms. **Magazine of Concrete Research**, v. 48, n. 175, p. 95-101, Jun. 1996.

_____. Blockwork Masonry Compressed in Two Orthogonal Directions. **Asce - Journal of Structural Engineering**, v. 123, n. 5, p. 591-596, Mai. 1997.

KHALAF, F. M.; HENDRY, A. W.; FAIRBAIRN, D. R. Study of the Compressive Strength of Blockwork Masonry. **ACI Structural Journal**, v. 91, n. 4, p. 367-374, Jul-Aug. 1994.

LEGLER, L. M.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L. Estudo da Influência da geometria de blocos de concreto na resistência à compressão de prismas grauteados e não grauteados. *In*: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 1998, p. 133-140.

LEONHARDT, F.; MÖNNING, E. **Construções de Concreto**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1978. Vol.2. 161 p.

MACHADO JUNIOR, E. F.; FONTE, T. F. Influência da Técnica de Assentamento de Blocos Cerâmicos em Paredes de Alvenaria Estrutural, não Armada, na Resistência de

Aderência à Flexão Bloco/Argamassa. *In*: Congresso de Engenharia Civil, 2000, Juiz de Fora-MG. **Anais...** Juiz de Fora-MG: 2000, p. 541-552.

MAUREMBRECHER, A. H. P. Axial Compression Tests on Masonry Walls and Prisms. *In*: 3rd North American Masonry Conference, 1985, Arlington, Texas. **Proceedings...** Arlington, Texas: 1985, p. 19.1-19.14.

MEDEIROS, J. S.; DORNELLES, V. P.; FRANCO, L. S. Blocos de Concreto para Alvenaria Estrutural: Avaliação de Parâmetros Básicos de Produção. *In*: 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 1994, Florianópolis, SC. **Proceedings...** Florianópolis, SC: 1994, p. 462-470.

MEDEIROS, J. S.; SABATTINI, F. H. **Alvenaria Estrutural não Armada de Blocos de Concreto: Produção de Componentes e Parâmetros de Projeto**. São Paulo, 1993. 8 p. Boletim Técnico BT/PCC/98 - Escola Politécnica, USP.

MOHAMAD, G. **Comportamento Mecânico na Ruptura de Prismas de Blocos de Concreto**. Florianópolis, 1998. 178 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Florianópolis.

MORENO JUNIOR, A. L.; ALBUQUERQUE, C. C. Influência da Espessura da Junta da Argamassa de Assentamento no Comportamento à Compressão de Prismas de Alvenaria de Blocos Vazados de Concreto. *In*: Congresso Brasileiro do Concreto, 43. 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1997, p. 10.

MULLER, M. S. K. **Estudo das Correlações entre Resistência à Compressão de Paredes e Prismas de Alvenaria Estrutural Cerâmica não Armada Submetidos a Esforços de Compressão**. São Paulo, 1989. p. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, USP.

OLIVEIRA, F. L.; HANAI, J. B. Análise do Comportamento de Paredes de Alvenaria Recuperadas com Revestimentos Resistentes. *In: Damstruc - 1º Congresso Internacional sobre o Comportamento de Estruturas Danificadas*, 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 1998, p. 1-9.

PAGE, A. W.; SHRIVE, N. G. Concentrated Loads on Hollow Concrete Masonry. **ACI Structural Journal**, v. 87, n. 4, p. 436-444, Jul-Ago. 1990a.

_____. Concentrated Loads on Hollow Clay Masonry. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 17, p. 431-439, 1990b.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 2003. Vol.1. 174 p.

SAHLIN, S. **Structural Masonry**. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1971.

SAYED-AHMED, E. Y.; SHRIVE, N. G. Numerical-Analysis of Face-Shell Bedded Hollow Masonry Walls Subject to Concentrated Loads. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 22, n. 4, p. 802-818, Aug. 1995.

_____. Design of face-shell bedded hollow masonry subject to concentrated loads. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 23, n. 1, p. 98-106, Feb. 1996a.

_____. Nonlinear finite-element model of hollow masonry. **Asce - Journal of Structural Engineering**, v. 122, n. 6, p. 683-690, Jun. 1996b.

SHRIVE, N. G.; SAYED-AHMED, E. Y. Design recommendations for hollow concrete masonry walls subject to concentrated loads, based on a test program. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 24, n. 3, p. 380-391, Jun. 1997.