

INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSAMENTO E DA UTILIZAÇÃO DE PEÇAS DE AJUSTE DIMENSIONAL NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO

Orieta Soto Izquierdo¹ & Márcio Roberto Silva Corrêa²

Resumo

A alvenaria estrutural ainda se destaca na indústria da construção civil atual pelas vantagens que apresenta em comparação com outros sistemas convencionais, porém deve seguir sendo estudada para um melhor aproveitamento do sistema. Este trabalho estuda a alteração de resistência de compressão em paredes de alvenaria estrutural devido ao lançamento da argamassa de assentamento apenas nas laterais dos blocos em comparação com o lançamento total e à inserção de peças de ajuste dimensional para o acerto de modulações de paredes de alvenaria. Foram realizados os ensaios experimentais correspondentes à caracterização dos materiais empregados e os ensaios da resistência à compressão das unidades, prismas e mini-paredes. Todos os materiais cumpriram com os requisitos da norma para sua correta utilização nos testes experimentais. Os resultados dos ensaios à compressão dos elementos demonstraram que o efeito do tipo de argamassamento influenciou notavelmente na resistência à compressão da alvenaria, apresentando melhor desempenho o argamassamento total. O uso de peças de ajuste dimensional (rapaduras) não influenciou negativamente na resistência à compressão das mini-paredes, ou seja, não provocou uma queda de resistência nas mesmas.

Palavras-chave: Tipo de argamassamento. Peças de ajuste dimensional. Área da região de contato. Resistência à compressão. Alvenaria estrutural.

INFLUENCE OF MORTAR BEDDING TYPE AND USE OF ADJUSTMENT DIMENSIONAL PARTS IN THE COMPRESSIVE STRENGTH OF MASONRY OF CONCRETE BLOCKS

Abstract

Currently, the structural masonry still has some advantages in construction industry as compared with conventional systems, however it should continue to be studied for a better utilization of the system. This research studies the change of compressive strength of masonry walls due to the placement of mortar only on the sides of the blocks compared to the total release; and the insertion of adjustment dimensional parts for the settlement of modulations masonry walls. The experimental tests corresponding of characterization of materials used and compressive strength tests of the units, prisms, and mini-walls were made. All materials complied with the standard requirements for its correct use in the experimental tests. The results of the compression tests of the elements demonstrated that the effect of mortar bedding type significantly influenced the compressive strength of masonry with full mortar bedding showing better performance. The use of adjustment dimensional parts did not reduce the compressive strength of mini-walls.

Keywords: Mortar bedding type. Adjustment dimensional parts. Contact area. Compressive strength, masonry.

¹ Mestre em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, orieta@sc.usp.br

² Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, mcorrea@sc.usp.br

1 INTRODUÇÃO

A palavra alvenaria tem origem no Árabe Al-Bannā, que significa “O construtor” segundo o Dicionário Etimológico Nova Fronteira. O significado restrito em português é “a arte ou a obra do alvenil” (pedreiro em Portugal). Este significado é o mesmo em outras línguas e está relacionado com a obra do operário que constrói com pedras.

Sintetizando o conceito, a alvenaria é definida como uma obra produzida em canteiro, resultante da união de tijolos ou blocos chamados de unidades de alvenaria, através de juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso. É suscetível de ser projetada para resistir a esforços de compressão única ou ainda a uma combinação de esforços, podendo conter armadura envolta em concreto ou argamassa no plano horizontal e /ou vertical (MACHADO, 2001).

As construções de alvenaria foram utilizadas em larga escala pelo homem ao longo de história das civilizações antigas, mas essas obras sempre foram construídas com base na experiência, ou seja, de forma empírica, por conhecimentos passados de uma geração a outra e adquiridos através de tentativas, em um processo de erros e acertos, mantendo-se assim até o século XX.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003) apenas recentemente a alvenaria passou a ser tratada como um verdadeiro material de engenharia, passando o projeto dessas estruturas a ser baseado em princípios científicos rigorosos, proporcionando um aumento significativo na pesquisa básica e aplicada ao longo dos últimos 50 anos.

Hoje em dia tem havido uma progressiva busca da racionalização dos processos construtivos, visando o aumento da produtividade e a redução dos custos de construção. Nesse caso, saem a reluzir em uma demanda crescente, os projetos de edificações em alvenaria estrutural racionalizada, que permitem seu grande uso na atualidade, produto das particularidades desse processo com relação à rapidez de execução, ao rígido controle de qualidade, à coordenação modular e à diminuição das improvisações e dos desperdícios.

A tendência cada vez maior no Brasil e no resto do mundo de se construir em alvenaria estrutural exige a utilização de novas tecnologias, as quais trazem redução no consumo da mão-de-obra, menos desperdícios de materiais e melhores condições de trabalho. Porém esses aspectos devem ser convenientemente estudados para o maior aproveitamento de todas as vantagens que a alvenaria pode oferecer, sendo o primeiro passo a promoção da conscientização do meio técnico. No Brasil, sobretudo pesquisas científicas estão direcionadas à obtenção do melhor desempenho da parede, tanto no aspecto estrutural como no funcional, ajudando assim a um melhor desenvolvimento da alvenaria na construção civil.

No processo de construção, o tipo de argamassamento pode ser determinante na produção e no rendimento da obra. O argamassamento parcial (ou em cordão) nas juntas horizontais vem sendo muito utilizado, pois promove uma maior rapidez na execução. O efeito do tipo de argamassamento na distribuição de tensões, fissuração e ruptura de paredes estruturais tem sido pouco estudado por pesquisadores e engenheiros.

Também a incompatibilidade entre as dimensões dos componentes e as da edificação, muitas vezes, resulta em ajustes dimensionais de grandes espessuras que, algumas vezes, não especificadas soluções para o preenchimento destes ajustes, acabam por ser executados de improviso na obra. Exemplo disso é a adoção de elementos pré-moldados maciços de pequenas dimensões, conhecidos como “rapaduras”, moldados no próprio local da obra, com função apenas de preencher os vazios existentes. No Brasil, não se conhece nenhum estudo acerca do comportamento das paredes estruturais com a utilização dessas peças de ajuste dimensional (rapaduras), o que caracteriza a importância de seu estudo. É por isso que este trabalho se concentra na investigação do comportamento da resistência à compressão em paredes de alvenaria com assentamento lateral e total de argamassa e uso de peças de ajuste dimensional (rapadura).

Por essas justificativas, o objetivo deste trabalho é investigar a alteração da resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural devido:

- a) ao lançamento da argamassa de assentamento apenas nas laterais dos blocos em comparação com o lançamento total;
- b) à inserção de peças de ajuste dimensional para acerto de modulações de parede de alvenaria.

2 METODOLOGIA

A abordagem metodológica foi dividida em várias etapas. Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre estudos do tema, tanto nacional como internacionalmente. Depois, para o desenvolvimento dos objetivos foram feitos os ensaios experimentais nos corpos de prova da alvenaria como prismas e mini-paredes. Os ensaios foram apenas de compressão, com o carregamento distribuído, carga monotônica e de curta duração, seguindo-se o esquema padrão de ensaio de paredes adotado no Laboratório de Estruturas (LE – EESC). Preferencialmente foram executados com controle de deslocamento.

As características gerais dos modelos foram: 4 séries de ensaios de paredes:

- a) I série – usual com argamassamento total;
- b) II série – usual com argamassamento lateral;
- c) III série – com ajuste e argamassamento total;
- d) IV série – com ajuste e argamassamento lateral.

Feitos os ensaios foram apresentados os resultados e análises dos mesmos, chegando a conclusões e recomendações práticas.

3 DESENVOLVIMENTO

Esta pesquisa se caracterizou por ser um estudo experimental, ou seja, foram feitos os ensaios experimentais correspondentes para o cumprimento dos objetivos traçados.

O programa experimental consistiu em estudar o comportamento da alvenaria, mediante corpos de provas denominados: prismas e mini-paredes de blocos de concreto, variando o tipo de argamassamento (total e parcial) e com a inserção de peças de ajuste dimensional (rapaduras).

Foram feitos os ensaios da caracterização dos materiais empregados; a moldagem dos corpos-de-prova e a realização dos ensaios da resistência à compressão dos elementos.

3.1 Caracterização dos materiais empregados

Os blocos utilizados, assim como os meios blocos e as rapaduras, foram adquiridos na fábrica de blocos Tatu Pré-moldados, recebendo dois lotes em datas diferentes. A Tabela 1 apresenta os tipos de unidades, dimensões e quantidades trazidas da fábrica. A resistência característica pedida foi de 4,5 MPa.

Tabela 1 – Tipo, dimensões e quantidades dos blocos comprados

Primeiro lote		
Tipo de bloco	Dimensões (LxAxC) (cm)	Quantidades
Bloco	14x19x39	200
Meio bloco	14x19x19	150
Rapadura	14x19x9	35
Segundo lote		
Bloco	14x19x39	160

A argamassa de assentamento utilizada foi do tipo mista, composta por cimento, cal e areia. O traço em volumem empregado foi 1: 0,5: 4,5 (cimento: cal: areia), que segundo a norma britânica BS 5628: Part 1 (1992) é denominada argamassa de resistência média, tipo (ii). Utilizou-se o cimento tipo CP II-Z-32 e a cal hidratada de classe CH-III. A areia empregada disponível no Laboratório de Estrutura era proveniente do Rio Mogi, localizado em São Carlos.

A caracterização de todos esses materiais empregados foi feita cuidadosamente de acordo com os procedimentos descritos pelas diferentes normas.

As moldagens de todos os corpos-de-prova foram feitas por um pedreiro experiente. No caso dos prismas e das mini-paredes sempre foi verificado o nível, o prumo, a planeza e a espessura da junta, que foi mantida em 10mm±1mm.

3.2 Ensaio da resistência à compressão dos corpos-de-prova

Foi realizado o ensaio da resistência à compressão dos prismas, mini-paredes e corpos-de-prova cilíndricos da argamassa aos 28 dias depois de moldados.

A Tabela 2 mostra o total de corpos-de-prova que foram ensaiados por série.

Tabela 2 – Total de prismas e mini-paredes que serão ensaiados

Tipo de série	Prismas	Mini-paredes	Corpos cilíndricos de argamassa
I série	12	6	6
II série	12	6	6
III série	12	6	6
IV série	12	6	6
Total de C.P's	48	24	24

Importante lembrar que foram recebidos dois lotes de blocos de 14cmx19cmx39cm, porém as duas primeiras séries foram construídas com os blocos pertencentes ao primeiro lote e as duas últimas séries com os blocos do segundo lote. Foram ensaiadas seis unidades de cada lote, sendo um total de doze blocos.

No caso da argamassa, os corpos cilíndricos utilizados tinham as dimensões de 5 cm x 10 cm, e como no caso das unidades, foram ensaiados na máquina computadorizada da marca ELE e Modelo Autotest 2000.

No caso dos prismas e mini-paredes, as Figuras 1 e 2 mostram as dimensões dos mesmos. O ensaio foi feito na máquina servo-hidráulica universal marca INSTRON, modelo 8506. Os prismas não foram instrumentados e as mini-paredes sim, com quatro transdutores em cada mini-parede, sendo colocados dois em cada face.

Utilizou-se, como material de capeamento, placas utilizadas em forros de edificações, especificada como do tipo Forro pacote da empresa Eucatex. A utilização deste tipo de capeamento é

fácil e prática de utilizar. Este forro é um material bastante deformável e funciona bem como material de capeamento, tendo sido utilizado em ensaios realizados no Laboratório de Estrutura da Escola de Engenharia de São Carlos por vários pesquisadores.

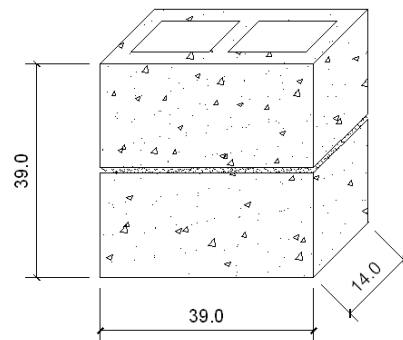


Figura 1 – Dimensões nominais dos blocos (medidas em cm).

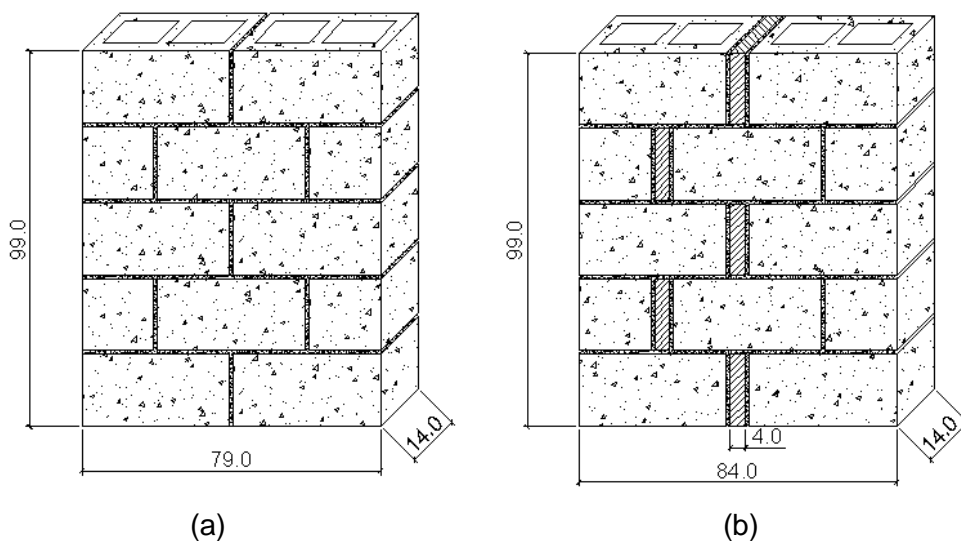


Figura 2 – Mini-parede sem rapadura (a); mini-parede com rapadura (b) (medidas em cm).

4 RESULTADOS

4.1 Resultados da caracterização física dos materiais empregados

Blocos

Na Tabela 3 são mostrados os resultados dos diferentes ensaios da caracterização física dos blocos.

Tabela 3 – Características físicas dos blocos de concreto

Ensaio	Dados
Área bruta (cm ²)	551,08
Área líquida (cm ²)	258,52
Área líquida / Área bruta (%)	47
Massa específica seca ao ar (g/cm ³)	2,53
Massa específica saturada (g/cm ³)	2,69
Absorção de água (%)	7,8
Teor de umidade (%)	40,65

Argamassa de assentamento

A Tabela 4 apresenta o traço em volume, as massas específicas reais e aparentes do cimento e da cal, segundo a NBR NM 23 (2000), a relação água/cimento e a consistência utilizada na argamassa.

Tabela 4 – Características da argamassa de assentamento.

Traço em volume	Cimento		Cal		Relação a/c	Consistência (mm)
	γ (g/cm ³)	δ (g/cm ³)	γ (g/cm ³)	δ (g/cm ³)		
1:0,5:4,5	2,96	1,32	2,63	0,70	1,33	270±10

A Tabela 5 mostra os resultados da caracterização física da areia de acordo com as respectivas normas mencionadas.

Tabela 5 – Resultados da caracterização física da areia

	Peneiras (mm)	Areia				
		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passante acumulada
Granulometria NBR NM 248 (2003)	4,8	0	0	0,0	0	2,48
	2,4	0	0	0,0	0,0	25,51
	1,2	18,7	18,7	3,7	3,7	65,62
	0,6	152,9	171,6	30,6	34,4	96,25
	0,3	200,2	371,8	40,1	74,5	100,00
	0,15	114,9	486,7	23,0	97,5	100,00
	Fundo	12,4	499,1	2,5	100,0	
Módulo de finura NBR NM 248 (2003)				2,1		
Dimensão máxima característica (mm) NBR NM 248 (2003)				1,2		
Massa específica real (g/cm ³) NBR NM 52 (2009)				2,62		
Massa específica aparente (g/cm ³) NBR NM 52 (2009)				2,56		
Massa unitária solta (g/cm ³) NBR NM 45 (2006)				1,50		
Massa unitária compactada (g/cm ³) NBR NM 45 (2006)				1,64		

4.2 Apresentação e análise dos resultados da resistência à compressão dos elementos

A seguir se apresenta os valores médios dos dados e resultados obtidos nos ensaios experimentais, fazendo uma análise dos mesmos.

Também, para uma melhor compreensão dos resultados e obtenção de conclusões satisfatórias, foram formulados testes estatísticos.

Foram empregados os seguintes testes: o teste F, para a análise da homogeneidade das variâncias, ou seja, conhecer se as variâncias das amostras diferem ou não. A seguir é feito o teste T ou “t de Student”, tendo em vista o teste F anteriormente realizado, correspondente para a análise das médias, e assim saber se as médias das amostras são ou não diferentes.

Nas análises realizadas neste trabalho, admitiu-se como hipótese nula, a igualdade entre as médias ou entre as variâncias dos dois conjuntos de dados, a um nível de significância de 5%, ou seja, o valor $\alpha = 0,05$. Tais análises foram realizadas utilizando-se o Programa Microsoft Office Excel.

4.2.1 Resistência à compressão da argamassa de assentamento

Na Tabela 6 são mostrados os resultados da resistência da argamassa utilizada na confecção dos prismas e das mini-paredes das quatro séries, além dos resultados estatísticos.

Tabela 6 – Resultados da resistência à compressão da argamassa de assentamento

Série	Resistência média (f_{am}) (MPa).	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	Coefficiente de Variação (CV) (%)
I	7,22	1,93	7,77
II	6,12	1,82	4,44
III	7,40	2,18	11,84
IV	6,44	2,22	8,28

Analisando os resultados apresentados na Tabela 6, pode-se dizer que a argamassa apresentou uma resistência à compressão esperada, por que segundo a BS 5628: Part 1 (1992) o tipo de argamassa (ii), cujo traço é 1:0,5:4,5, a resistência média é de 6,5 MPa em laboratório, porém os valores da argamassa utilizada estão relativamente de acordo com o referido pela norma inglesa.

4.2.2 Resistência à compressão dos blocos

Os ensaios das unidades à compressão apresentaram geralmente uma ruptura em forma de cone, típica da compressão de um corpo-de-prova confinado nas extremidades, como se refere Mata (2006) em sua dissertação

A Tabela 7 apresenta os resultados da resistência à compressão dos blocos de cada lote.

Tabela 7 – Resultados da resistência à compressão das unidades

Lote	Séries	Resistência média (f_{bm}) (MPa).	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)	Resistência característica (f_{bk}) (MPa)
1	I e II	11,16	0,34	3,05	10,25
2	III e IV	7,48	0,16	2,16	7,10

Apreciando os resultados da Tabela 7, o primeiro lote apresentou uma resistência média superior, em relação ao segundo, da ordem de 33%, diferença que será considerada na análise dos resultados das mini-paredes e prismas. De forma geral, a resistência características dos blocos dos dois lotes foi maior que a resistência característica expressada pelo fornecedor: 4,5 MPa.

A análise estatística feita mostrou que para um nível de confiança de 95%, a resistência à compressão dos blocos dos dois lotes são significativamente diferentes. Por isso, é importante ter em conta essa diferença na compressão dos blocos, na hora de analisar os prismas e as mini-paredes.

4.2.3 Resistência à compressão dos prismas

A ruptura dos prismas, em geral, se caracterizou pelo desenvolvimento de uma fissura vertical ao longo das suas espessuras, ocorrendo uma divisão das unidades através dos septos transversais. Essa fissura foi mais acentuada no caso dos prismas com assentamento lateral, como mostra a Figura 3a. No caso dos prismas com assentamento total, além da presença dessa fissura, que foi mais discreta, ocorreu uma ruptura do elemento por esmagamento do bloco, como indica a Figura 3b.

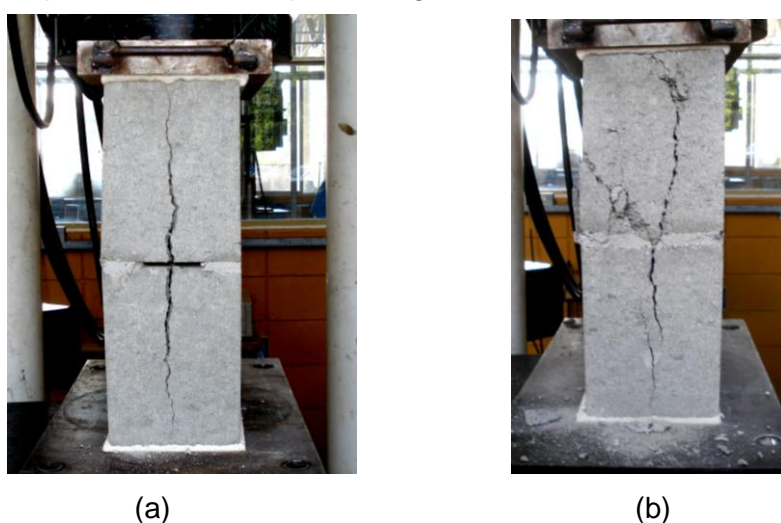


Figura 3 – Ruptura dos prismas com argamassamento lateral (a); ruptura dos prismas com argamassamento total (b).

Os resultados da resistência à compressão dos prismas estão apresentados na Tabela 8. Lembrando que as séries I e III pertencem ao argamassamento total e as séries II e IV ao argamassamento lateral, e que entre esses pares de séries as resistências dos blocos diferem.

Tabela 8 – Resultados da resistência à compressão dos prismas

	Série	Resistência média dos blocos f_{bm} (MPa)	Resistência média dos prismas f_{pm} (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
Argamassamento total	I	11,16	7,82	0,81	10,34
Argamassamento lateral	II		5,25	0,47	8,95
Argamassamento total	III	7,48	5,83	0,25	4,23
Argamassamento lateral	IV		3,55	0,58	16,29

De acordo com os resultados da Tabela 8 observa-se diferenças entre as resistências dos prismas, quanto ao tipo de argamassamento. Já a Tabela 9 faz uma comparação desses valores,

tomando-se sempre como padrão as séries com argamassamento total. Porém foram divididos os valores das séries II e IV com os das séries I e III respectivamente, os valores dessas razões foram subtraídos a um e multiplicadas por 100.

Tabela 9 – Comparação dos resultados da resistência à compressão dos prismas

Série	Resistência (MPa)	Comparação da resistência à compressão
I (total)	7,82	II<I em um 33%
II (parcial)	5,25	
III (total)	5,83	IV<III em um 39%
IV (parcial)	3,55	

A Tabela 9 mostrou uma evidência clara que os prismas feitos com argamassamento parcial apresentaram menor resistência que os prismas com argamassamento total, sendo diferença média de 36%. Essa diferença foi significativa com a análise estatística, comprovando que o tipo de argamassamento influenciou na resistência à compressão dos prismas.

4.2.4 Resistência à compressão das mini-paredes

Conforme descrito anteriormente, foram ensaiadas quatro séries, com 6 mini-paredes para cada série, totalizando 24 mini-paredes. Lembrando que as séries são:

- I série – usual com argamassamento total;
- II série – usual com argamassamento lateral;
- III série – com ajuste e argamassamento total;
- IV série – com ajuste e argamassamento lateral.

Como pode ser observado nessas quatro séries estão sendo estudados dois fatores:

- O efeito do padrão de argamassamento;
- O efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras).

É por isso que a análise dos resultados das mini-paredes vai ser dividida entre esses dois aspectos para uma melhor compreensão e como parte do cumprimento dos objetivos desta pesquisa. Também será tratada em item separado, a área de contato das mini-paredes, para melhor compreensão dos resultados.

A Tabela 10 mostra os resultados da resistência à compressão das mini-paredes, lembrando também que as resistências médias dos blocos, entre as duas primeiras séries e as duas últimas, diferem.

Tabela 10 – Resultados da resistência à compressão das mini-paredes

	Série	Resistência média dos blocos f_{bm} (MPa)	Resistência média dos prismas f_{pm} (MPa)	Resistência média das mini-paredes f_{m-p} (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
Argamasamento total sem rapaduras	I	11,16	7,82	4,62	0,54	11,76
Argamassamento lateral sem rapaduras	II		5,25	4,20	0,26	6,11
Argamasamento total com rapaduras	III	7,48	5,83	3,83	0,60	15,73
Argamassamento lateral com rapaduras	IV		3,55	3,15	0,46	14,73

4.2.4.1 Efeito do padrão de argamassamento

Para o estudo desse efeito serão comparadas: a série I em relação à série II, que diferem no tipo de argamassamento e não apresentam rapaduras; e a série III em relação à série IV que também não têm o mesmo assentamento, mas sim contêm rapaduras. Cada par de séries a ser comparado tem a mesma resistência dos blocos e as resistências das argamassas não diferem muito entre si. A Figura 4 ilustra quão diferentes foram cada par de séries.

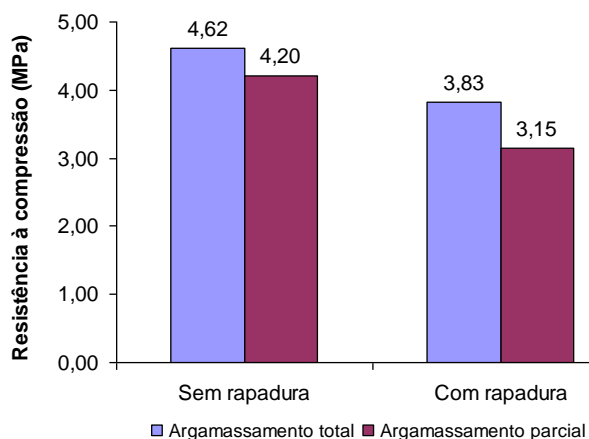


Figura 4 – Resultados da resistência à compressão das mini-paredes, analisando o tipo de assentamento.

A Tabela 11 permite a comparação dos resultados, tomando sempre como referência as mini-paredes com argamassamento total.

Tabela 11 – Comparação dos resultados da resistência à compressão das mini-paredes, analisando o tipo de assentamento

	Série	Resistência à compressão f_{m-p} (MPa)	Comparação da resistência à compressão
Argamassamento total sem rapaduras	I	4,62	II < I em um 10%
Argamassamento lateral sem rapaduras	II	4,20	
Argamassamento total com rapaduras	III	3,83	IV < III em um 18%
Argamassamento lateral com rapaduras	IV	3,15	

Observando os números da Tabela 11 pode-se dizer que da mesma forma que nos primas, o tipo de argamassamento influenciou nas mini-paredes. A diminuição da resistência à compressão das mini-paredes com argamassamento lateral foi de 14% em média, com relação às mini-paredes com argamassamento total. A análise estatística mostrou diferenças significativas entre esses valores, para os dois pares de série. Dessa forma, demonstra-se que o tipo de assentamento da argamassa influenciou no comportamento da resistência à compressão das paredes de alvenaria, sendo melhor o argamassamento total.

4.2.4.2 Efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras)

Para o estudo desse efeito foram comparadas: a série I com a série III, que diferem no ajuste e apresentaram argamassamento total; e a série II com a série IV, que também diferem no ajuste e o argamassamento foi parcial.

A análise desse aspecto fica um pouco mais difícil, pelo fato de que as mini-paredes com rapaduras e sem rapaduras tiveram diferenças na resistência dos blocos. Não obstante, será

analisado cuidadosamente para poder concluir se a rapadura atua favorável ou desfavoravelmente no comportamento mecânico das mini-paredes.

Devido a esse fato, analisou-se a eficiência das mini-paredes, que não foi mais que fazer uma normalização das mesmas, ou seja, retirou-se a influência do bloco dos valores de resistência das mini-paredes, e também analisou-se sem a influência do prisma. Finalmente, foram analisados os resultados normalizados das mini-paredes com relação ao bloco e ao prisma, e dessa forma, foram comparadas as séries que apresentaram diferenças na resistência dos blocos.

A Figura 5 mostra os resultados normalizados das mini-paredes com respeito ao bloco e a Figura 6, com respeito ao prisma.

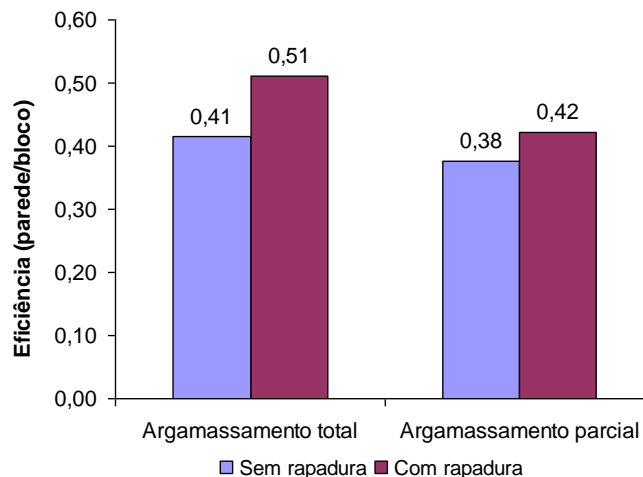


Figura 5 – Eficiência das mini-paredes com respeito ao bloco analisando o uso da rapadura.

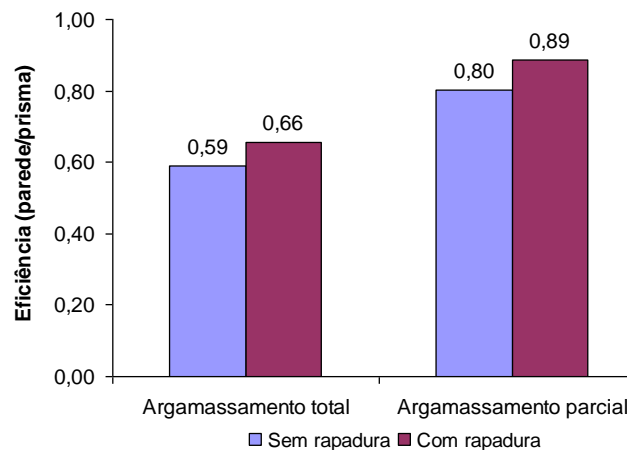


Figura 6 – Eficiência das mini-paredes com respeito ao prisma analisando o uso da rapadura.

As Figuras 5 e 6 mostraram claramente que as séries com rapaduras apresentaram maiores eficiências que as séries sem rapaduras. A Tabela 12 apresentou o quanto foram maiores esses valores para as duas normalizações de mini-paredes. Esses valores estão demonstrando que a influência das peças de ajuste dimensional não está produzindo uma perda de resistência à compressão em paredes de alvenaria estrutural, ou seja, a rapadura está influenciando positivamente nas paredes de alvenaria.

A Tabela 12 mostra as respectivas comparações entre as séries, tomando-se sempre como referência as mini-paredes sem rapaduras, com argamassamento total ou parcial.

Estatisticamente para os dois pares de séries, essas diferenças nos valores foram significativas, para um nível de significância de 0,05.

Tabela 12 – Comparação da eficiência das mini-paredes, analisando o uso da rapadura

	Série	Eficiência (parede/bloco)	Comparação	Eficiência (parede/prisma)	Comparação
Argamassamento total sem rapaduras	I	0,41	III>I em um 24%	0,59	III>I em um 12%
Argamassamento total com rapaduras	III	0,51		0,66	
Argamassamento lateral sem rapaduras	II	0,38	IV>II em um 11%	0,80	IV>II em um 11%
Argamassamento lateral com rapaduras	IV	0,42		0,89	

Até aqui foram analisados os valores de resistência das mini-paredes com relação a sua área bruta, quanto a dois fatores: efeito do padrão de argamassamento, sendo melhor o argamassamento total; e o efeito das rapaduras, que não produziram queda de resistência nas mini-paredes. Considera-se que essas conclusões formuladas até aqui, sejam devidas ao fator muito importante: “o fator da área da região de contato”.

Para chegar a conclusões mais precisas é importante analisar esses valores, agora com a área da região de contato das mini-paredes. A seguir é feita essa análise, sendo também dividida, pelos dois fatores estudados: tipo de argamassamento e uso de peças de ajuste (rapaduras).

4.2.4.3 Área da região de contato das mini-paredes

Considera-se área de contato nas mini-paredes a região onde coincidem os blocos da fiada inferior com os blocos da fiada superior e a argamassa. Essa área foi calculada tendo em conta a menor espessura dos blocos, o formato das rapaduras e, subtraindo-se, no caso necessário, os espaços ocupados pelas juntas verticais.

Para um melhor entendimento a Figura 7 mostra um esquema representativo de como ficou a superposição de duas fiadas consecutivas dos blocos das quatro séries.

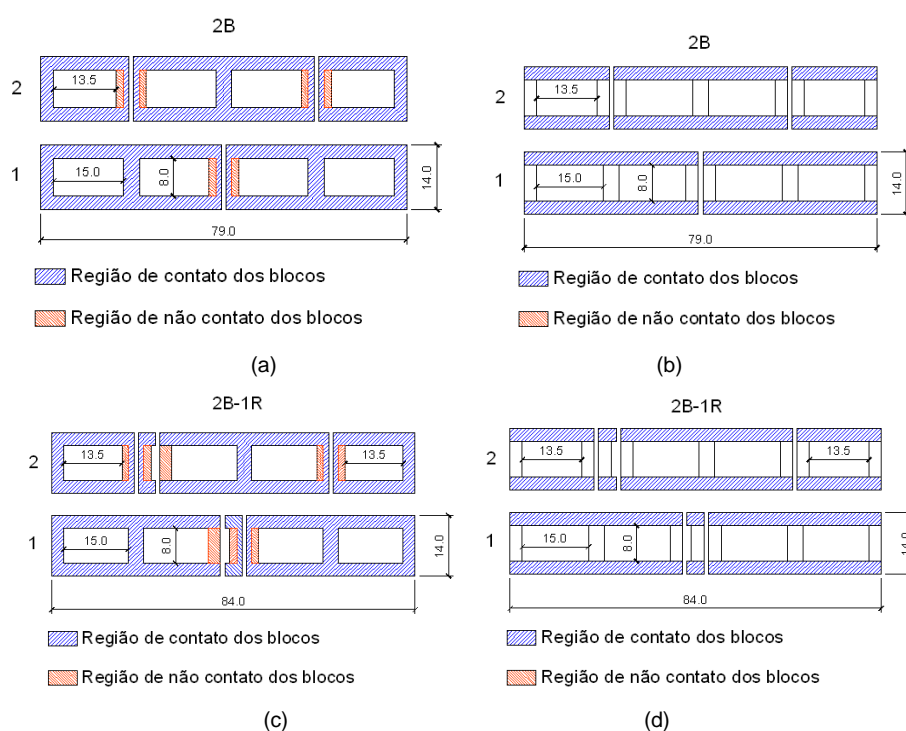


Figura 7 – Área da região de contato das mini-paredes da série I (a), da série II (b), da série III (c) e da série IV (d) (medidas em cm).

Os valores das áreas de contato estão resumidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores das áreas de contato das quatro séries

	Série	Área da região de contato A_c (cm ²)	Área de contato/Área bruta A_c/A_b
Argamassamento total sem rapaduras	I	560	0,51
Argamassamento lateral sem rapaduras	II	440	0,40
Argamassamento total com rapaduras	III	578	0,49
Argamassamento lateral com rapaduras	IV	458	0,39

4.2.4.3.1 Efeito do padrão de argamassamento

A Tabela 14 apresenta os valores de área de contato e a resistência à compressão em função da área bruta das mini-paredes, para verificar se o aumento do primeiro foi proporcional ao segundo e, dessa forma, poder criar uma regra a seguir pelo projetista nesse aspecto. A comparação foi feita tomando sempre como referência as mini-paredes com argamassamento total.

Tabela 14 – Comparação da área de contato e da resistência à compressão das mini-paredes analisando o tipo de argamassamento

	Série	Área de contato (cm ²)	Comparação da área de contato	f_{m-p} (MPa)	Comparação da resistência
Argamassamento total sem rapaduras	I	560	II<I em um 21%	4,62	II<I em um 10%
Argamassamento lateral sem rapaduras	II	440		4,20	
Argamassamento total com rapaduras	III	578	IV<III em um 21%	3,83	IV<III em um 18%
Argamassamento lateral com rapaduras	IV	458		3,15	

De acordo com os dados da Tabela 14, não foi encontrada proporcionalidade entre o aumento da área de contato e a resistência à compressão das mini-paredes com argamassamento total e parcial. Isso indica que não só a área de contato influenciou no comportamento das mini-paredes, mas sim, como nos prismas, é uma estimativa importante de perda ou ganho da resistência à compressão.

Nesse nível de análise, ainda não se pode estabelecer uma regra definitiva que o projetista possa aplicar para a estimativa de resistência nas paredes de alvenaria, tendo em vista apenas o aumento ou a diminuição da área de contato. Entretanto, deve-se estar consciente que esse aspecto tem influência relevante no comportamento à compressão da alvenaria. E que a redução da área de contato leva a uma redução na resistência à compressão. Faz-se necessário, ainda, um estudo mais complexo e profundo, sobre tudo uma análise numérica detalhada para as mini-paredes quanto a esses aspectos.

4.2.4.3.2 Efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras)

A Figura 8 mostra a distribuição dos valores de área de contato das séries, analisando o uso das peças de ajuste.

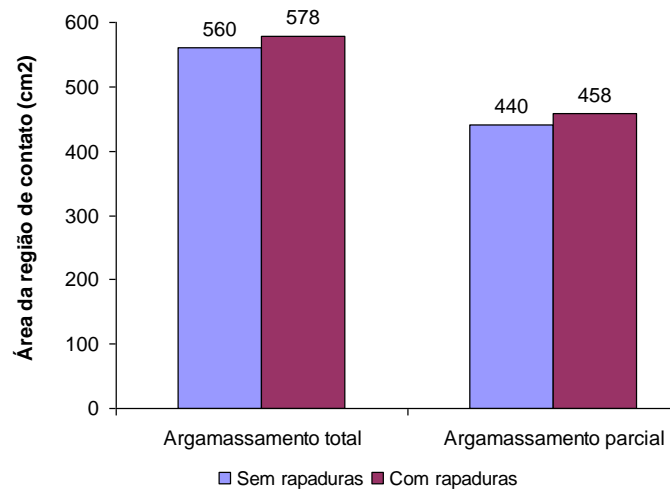


Figura 8 – Valores de área de contato das séries, analisando o uso de peças de ajuste (rapaduras).

Podia-se pensar que, com o uso das rapaduras nas paredes, estas provocariam um desalinhamento dos septos transversais dos blocos, impedindo o contato entre os mesmos e diminuindo, assim, a área de contato. Observando a Figura 8, ocorreu esse fato, mas essa diminuição da área de contato foi mínima.

A Tabela 15 mostra os valores da relação área de contato/área bruta, calculando-se as variações tomando como referências as séries que não apresentaram rapaduras. Apresenta também, os valores da eficiência das mini-paredes com respeito ao bloco, para analisar a correspondência que existe entre a área de contato e o aumento da eficiência.

Tabela 15 – Comparação da relação área de contato/área bruta e da eficiência das mini-paredes analisando o uso de peças de ajuste

Série	A_c/A_b	Comparação da A_c/A_b	Eficiência (parede/bloco) (área bruta)	Comparação da eficiência
Argamassamento total sem rapaduras	I		0,41	
Argamassamento total com rapaduras	III	III<I em 4%	0,51	III>I em 24%
Argamassamento lateral sem rapaduras	II		0,38	
Argamassamento lateral com rapaduras	IV	IV<II em 3%	0,42	IV>II em 11%

Observando-se Tabela 15 a área de contato das mini-paredes com ajuste diminuiu muito pouco em comparação com às sem ajuste, no obstante a resistência delas aumentou. O contrario ocorreu na análise da influência do tipo de argamassamento, onde diminuiu a área de contato das mini-paredes com argamassamento parcial e conseqüentemente ocorreu uma queda de resistência nas mesmas. Desta forma, afirma-se, que o fenômeno torna-se muito complexo e difícil de explicar, mas o fato mais importante é que a presença da rapadura nas mini-paredes não influenciou negativamente no comportamento à compressão das mini-paredes.

4.2.5 Modo de ruptura das mini-paredes

O modo de ruptura das mini-paredes também vai ser analisado através de dois efeitos: argamassamento e ajuste.

4.2.5.1 Efeito do padrão de argamassamento

Todas as mini-paredes com argamassamento parcial, sejam aquelas com ou sem rapaduras, apresentaram fissuras verticais bem acentuadas ao longo da suas espessuras, além de serem essas fissuras as primeiras a aparecer com valores inferiores de cargas de ruptura. Com o argamassamento total ocorreu o inverso: as primeiras fissuras apareceram nas faces frontais externas e com valores de carga superiores; já na face lateral das mesmas, as fissuras foram menos visíveis e, em alguns casos, não apareceram. Também foram observadas rupturas das unidades por esmagamento neste tipo de assentamento. As Figuras 9 até a 12 mostram um exemplar de mini-parede de cada série, com suas respectivas faces laterais e frontais.

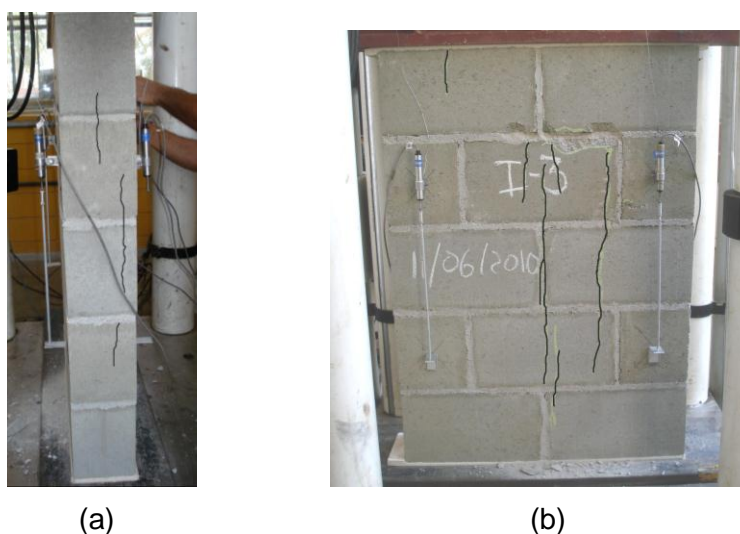


Figura 9 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total e sem rapaduras (Série I).

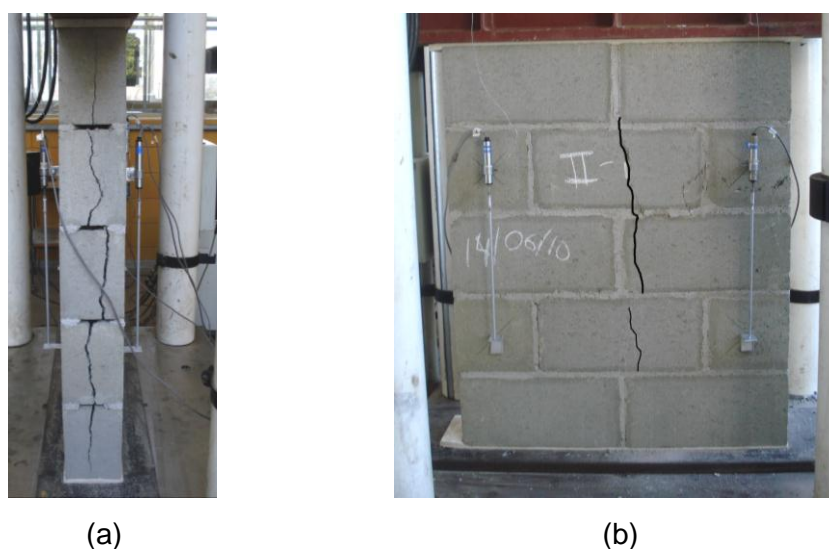


Figura 10 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral e sem rapaduras (Série II).

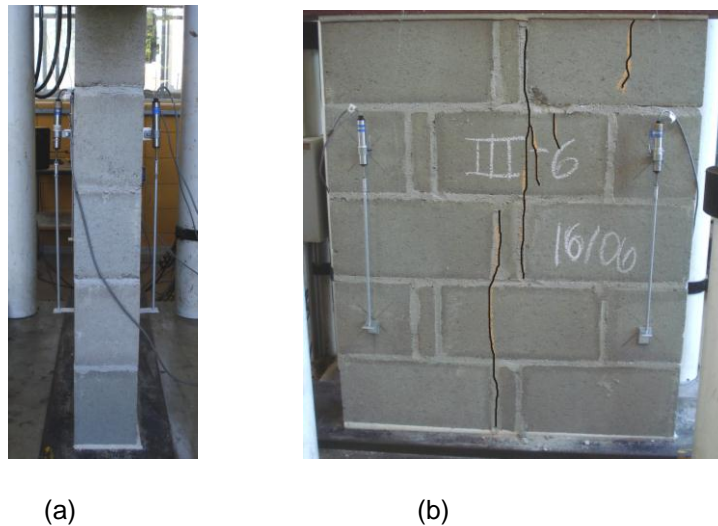


Figura 11 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total com rapaduras (Série III).

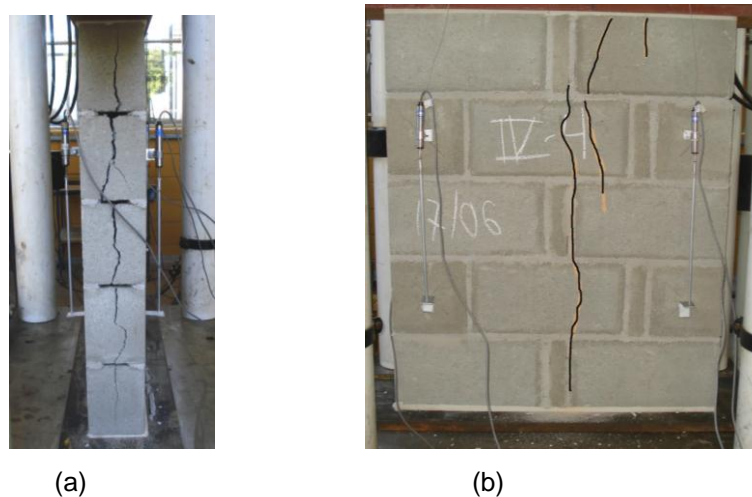


Figura 12 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral com rapaduras (Série IV).

As mini-paredes com argamassamento total foram mais solicitadas e as primeiras fissuras surgiram com valores elevados de carga mais próxima da ruptura, sendo a ruptura mais tardia, ou seja, a primeira fissura nestas paredes demorou mais em parecer que em aquelas com argamassamento parcial. Já nas mini-paredes com argamassamento parcial, a ausência de argamassa nas paredes laterais dos blocos provocou concentração de tensões, causando a redução da resistência e ruptura mais frágil, além de uma fissura vertical de grande envergadura na sua face lateral.

4.2.5.2 Efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras)

Nas mini-paredes com rapaduras surgiu uma fissura bem evidente e acentuada no centro da parede nas faces frontais externas, atravessando todas as rapaduras centrais da mini-parede, como se pode apreciar nas Figuras 13 e Figura 14. Já nas paredes sem rapaduras, as fissuras nas faces frontais apareceram de maneiras mais espaçadas pela área da parede e menos acentuadas, como já se comentou e se mostrou nas Figuras 9 e 10. Quanto à face lateral, essa manteve o mesmo comportamento anterior: as mini-paredes com argamassamento parcial apresentaram fissura vertical ao longo da sua espessura e naquelas com argamassamento total, essas fissuras foram quase imperceptíveis.

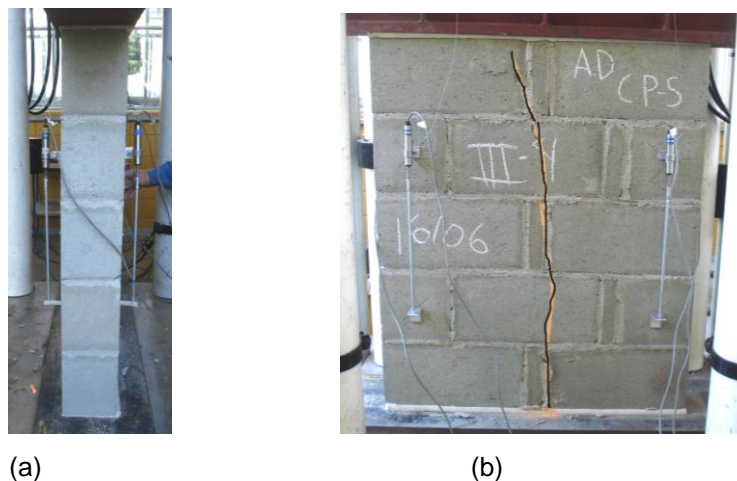


Figura 13 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total com rapaduras (Série III).

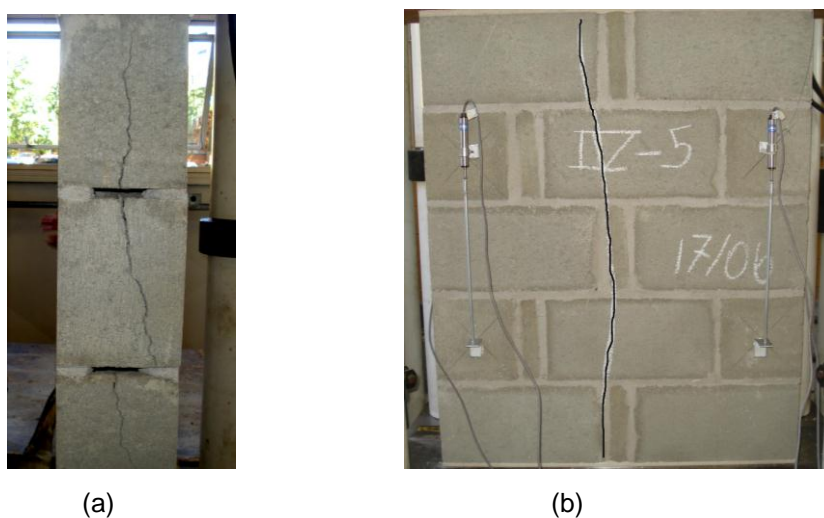


Figura 14 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral com rapaduras (Série IV).

As mini-paredes com rapaduras tiveram uma ruptura bem definida, surgindo uma fissura vertical de grande envergadura no meio das faces frontais dos corpos-de-prova onde estavam situadas as rapaduras centrais, dividindo a parede praticamente ao meio. Essa fissura apareceu sob valores de cargas proporcionalmente inferiores às mini-paredes sem rapadura. Esse fato, porém, pode estar relacionado à menor resistência do bloco neste caso. Nas mini-paredes sem rapaduras as fissuras foram mais numerosas, difusas e menos acentuadas nas faces frontais.

As mini-paredes com rapadura mostraram-se mais eficientes que as sem rapaduras. O comportamento das mini-paredes à compressão apresenta-se como um fenômeno complexo, e requer uma análise mais profunda do que a apresentada no presente trabalho.

5 CONCLUSÕES

A caracterização física das unidades como: área líquida, absorção de água, teor de umidade e massas específicas, cumpriram com os requisitos da referida norma. Dessa maneira, concluí-se que os blocos cumpriram com todos os requisitos exigidos pela norma, o que validou sua utilização nesta pesquisa.

A caracterização física dos materiais que compõem a argamassa também cumpriram com as exigências das normas correspondentes.

Quanto aos resultados da resistência à compressão dos corpos-de-prova seguem as conclusões.

A argamassa utilizada na confecção dos prismas e mini-paredes, segundo a BS 5628: Part 1 (1992) foi do tipo (ii), cujo traço em volume é 1:0,5:4,5, e a resistência à compressão esperada é de 6,5 MPa em laboratório. A resistência média à compressão da argamassa ensaiada foi de 6,8 MPa, valor bastante próximo do sugerido pela norma, o que permite entender que a argamassa utilizada nos ensaios experimentais desta pesquisa foi confeccionada corretamente.

Os blocos utilizados apresentaram resistência característica média superior a 4,5 MPa, classificando-os como blocos estruturais. Geralmente apresentaram ruptura em forma de cone, típica da compressão de um corpo-de-prova confinado nas extremidades, como também foi demonstrado por Mata (2006) na sua dissertação de mestrado.

Quanto aos ensaios de compressão dos prismas pode-se concluir que o efeito do tipo de argamassamento influenciou notavelmente na resistência à compressão dos mesmos, sendo melhor o argamassamento total, já que os corpos-de-prova com esse tipo de assentamento apresentaram maior resistência e eficiência. A ruptura dos prismas, em geral, se caracterizou pelo desenvolvimento de fissura vertical ao longo da sua espessura, ocorrendo uma divisão das unidades através dos septos transversais. Essa fissura foi mais acentuada no caso dos prismas com assentamento lateral, devido ao desenvolvimento de tensões de tração na face lateral, causadas pela rotação e esmagamento dos apoios. O esmagamento da argamassa lateral induz tensões horizontais que levam o material à ruptura por flexão. Esse fenômeno foi explicado e estudado por Shrive (1982). Como os prismas com argamassamento total apresentam maior área de contato, os valores de resistência à compressão são superiores, mas não são proporcionais ao aumento da área de contato. Porém concluí-se que a área de contato não foi o único fator que influenciou na resistência à compressão nos prismas, mas sim é uma estimativa segura de perda ou ganho de resistência.

Os ensaios de compressão das mini-paredes permitiram chegar a duas conclusões de acordo com os objetivos traçados: estudou-se o efeito do padrão de argamassamento e o efeito do uso de peças de ajuste dimensional (rapaduras).

Quanto ao tipo de argamassamento nas mini-paredes chegou-se à mesma conclusão que nos prismas: o efeito do tipo de argamassamento influenciou na resistência à compressão das mini-paredes, sendo melhor o argamassamento total, já que os corpos-de-prova, com esse tipo de assentamento, apresentaram maior resistência e eficiência. Esses resultados se evidenciaram também no modo de ruptura, já que as mini-paredes com argamassamento parcial apresentaram fissuras verticais bem acentuadas ao longo da suas espessuras, além de serem essas fissuras as pioneiras, com valores de cargas inferiores comparados com os das mini-paredes com argamassamento total. O aumento da área de contato das mini-paredes com argamassamento total não foi proporcional com o aumento da resistência, não sendo esse o único fator que influenciou o comportamento à compressão, mas sim o mais importante, e o que o projetista sempre deve considerar.

Quanto ao uso de peças de ajuste dimensional pode-se concluir que as rapaduras não influenciaram negativamente na resistência à compressão das mini-paredes, não provocando queda de resistência nas mesmas.

Outro fator a analisar foi o modo de ruptura: as mini-paredes com rapaduras tiveram uma ruptura bem definida, surgindo uma fissura vertical de grande envergadura no meio das faces frontais dos corpos-de-prova onde estavam situadas as rapaduras centrais, dividindo a parede praticamente ao meio. No obstante, esse comportamento não contribuiu tão negativamente à resistência das mini-paredes com ajuste.

Todas as conclusões obtidas experimentalmente também foram reforçadas pela estatística. Os resultados foram analisados estatisticamente, concluindo-se que para um nível de significância de 0,05, existem diferenças significativas entre o tipo de argamassamento, sendo melhor o

argamassamento total; e que também há diferenças na resistência à compressão com o uso das rapaduras, que atuam positivamente no comportamento à compressão das mini-paredes.

Juntando todas as análises feitas com resultados obtidos nas mini-paredes concluí-se que existem vários fatores que influenciam no comportamento à compressão da alvenaria. Alguns deles podem ser mencionados como: a disposição das unidades na mini-parede (junta amarrada) provocando a presença de mais juntas, o modo de ruptura, onde os septos dos blocos não se encontram sempre bem alinhados e o efeito da área de contato. Todos esses fatores são importantes, mas este trabalho demonstrou que a área da região de contato é um dos mais importantes, que influencia no ganho ou na perda da resistência na alvenaria, e que tem que ser considerado no projeto.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de mestrado. Ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, pela permissão da realização do mestrado e ao Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia de Estruturas pela realização do programa experimental desta pesquisa.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 5628**: Part 1: Code of practice for Structural use of masonry. Unreinforced masonry. London, Inglaterra, 1992.

MATA, R. C. **Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2006. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MACHADO, F. A. M. **Análise crítica do uso de um sistema racionalizado: o caso da alvenaria estrutural em blocos de concreto em edifícios habitacionais**. 2001. 173p. Dissertação (Mestrado em Habitação), Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2001.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 1ª edição, 174 p. 2003.

SHRIVE, N. G. The failure mechanism of face-shell bedded ungrouted and unreinforced masonry. **International Journal for Masonry Construction**, v.9, no.1, p.115-128. 1982.

