

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

PEDRO HENRIQUE MARTINEZ

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE BLOCOS CERÂMICOS NO
COMPORTAMENTO DE VIGAS PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Ilha Solteira

2017

PEDRO HENRIQUE MARTINEZ

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE BLOCOS CERÂMICOS NO
COMPORTAMENTO DE VIGAS PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Especialidade: Sistemas Estruturais e Construtivos

Orientador: Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO

Co-Orientador: Prof. Dr. GUILHERME ARIS PARSEKIAN

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

M385i **Martinez, Pedro Henrique.**
Influência da geometria de blocos cerâmicos no comportamento de vigas paredes de alvenaria estrutural / Pedro Henrique Martinez. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
98 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2017

Orientador: Jefferson Sidney Camacho
Co-orientador: Guilherme Aris Parsekian
Inclui bibliografia

1. Alvenaria estrutural. 2. Blocos cerâmicos. 3. Elemento de apoio. 4. Limite de deslocamentos.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Influência da geometria de blocos cerâmicos no comportamento de vigas paredes de alvenaria estrutural

AUTOR: PEDRO HENRIQUE MARTINEZ

ORIENTADOR: JEFFERSON SIDNEY CAMACHO

COORIENTADOR: GUILHERME ARIS PARSEKIAN

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: ESTRUTURAS pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. ROGÉRIO DE OLIVEIRA RODRIGUES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


PROFESSOR DOUTOR GILBERTO CARBONARI
Departamento de Engenharia Civil / UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA

Ilha Solteira, 20 de janeiro de 2017

AGRADECIMENTOS

Aos professores Jefferson Camacho e Guilherme Parsekian pelo apoio e incentivo durante toda a elaboração deste trabalho.

À Technologys pelo financiamento e fornecimento da mão de obra para a montagem das paredes e aos engenheiros Valério e Rafael por serem extremamente solícitos quando necessário.

À Cerâmica City pelo fornecimento dos diferentes tipos de blocos e outros materiais necessários para a elaboração do trabalho.

Ao Ricardo, engenheiro e técnico do laboratório de sistemas estruturais de São Carlos, por pegar no pesado junto comigo durante tanto tempo.

Ao Flávio, técnico do laboratório NEPAE, por me auxiliar e ensinar muito durante meu período em Ilha Solteira.

À Isabô por me ajudar a corrigir muitos erros de português contidos em versões anteriores do trabalho.

Ao Gugu pela disposição, excelente café e prosa.

RESUMO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo que consegue agregar rapidez na execução e economia na obra, por isso está ganhando cada vez mais mercado no Brasil. O componente mais comum utilizado para a construção de edificações em alvenaria estrutural ainda é o bloco de concreto, porém há uma forte tendência na execução de edificações com blocos cerâmicos. A preocupação com os limites de deslocamentos para as estruturas que servem de apoio para a alvenaria eram, a algumas décadas, principalmente em relação aos elementos de fundação, porém, atualmente a importância desse tema aumentou devido ao modelo construtivo atual. As edificações que utilizam esse sistema construtivo estão se tornando cada vez mais arrojadas pela utilização de vãos maiores entre os cômodos e por estruturas de transição entre pavimento térreo e o pavimento tipo. Por essas razões o presente trabalho desenvolveu um programa experimental de ensaios para paredes de alvenaria estrutural utilizando blocos cerâmicos de diferentes geometrias para avaliar a ductibilidade das paredes sujeitas ao deslocamento do elemento de apoio. Foram ensaiadas três paredes para cada geometria de bloco, totalizando quinze paredes. Os resultados obtidos nesses ensaios foram referentes ao aparecimento de fissuras devido à flecha e à carga aplicada em cada parede. O trabalho possibilitou comparar os resultados experimentais com os limites utilizados na norma para os deslocamentos de base das paredes, sendo possível verificar o Estado Limite de Serviço (ELS) nessas condições. Os blocos que apresentaram melhor desempenho em relação ao critério dos deslocamentos limites proposto pela norma NBR 15812-1 em seu item 10.2 foram os cuja relação entre altura e comprimento igual a 0,65.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Blocos cerâmicos. Elemento de apoio. Limites de deslocamentos.

ABSTRACT

The structural masonry is a constructive system that can add speed in the execution and economy in the work, reason why it is gaining more and more market in Brazil. The most common component used for the construction of buildings in structural masonry is still the concrete block, however there is a strong tendency in the execution of buildings with ceramic blocks. The concern with the limits of displacements for the structures that serve as support for the masonry were, in a few decades, mainly in relation to the elements of foundation, but nowadays the importance of this theme has increased due to the current constructive model. The constructions that use this constructive system are becoming more and more daring by the use of larger spans between the rooms and by transition structures between ground floor and the type pavement. For these reasons the present work developed an experimental program of tests for walls of structural masonry using ceramic blocks of different geometries to evaluate the ductility of the walls subject to the displacement of the support element. Three walls were tested for each block geometry, totaling fifteen walls. The results obtained in these tests were related to the appearance of cracks due to the arrow and the applied load in each wall. The work allowed to compare the experimental results with the limits used in the norm for the base displacements of the walls, being possible to verify the State Service Limit under these conditions. The blocks that presented the best performance in relation to the limit displacement criterion proposed by norm NBR 15812-1 in item 10.2 were those whose relationship between height and length equal to 0.65.

Keywords: Structural masonry. Ceramic blocks. Support element. Displacement limits.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa de Variação - Setores e Construção Civil (2010 a 2015)	14
Figura 2 - Bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas	18
Figura 3 - Blocos cerâmicos estruturais com paredes maciças	19
Figura 4 - Bloco cerâmico estrutural perfurado	19
Figura 5 – Esquema dos ensaios feitos por Holanda Júnior e Ramalho em escala reduzida	22
Figura 6 – Imagem dos blocos utilizados na pesquisa com suas respectivas dimensões e a vista lateral representada em escala junto com a relação entre altura e comprimento para cada geometria de bloco.....	24
Figura 7 – Detalhe de um LVDT sendo utilizado durante um ensaio	24
Figura 8 - Pórtico de reação montado	25
Figura 9 - Prensa utilizada, módulo 1	26
Figura 10 - Prensa utilizada, módulo 2 e 3.....	26
Figura 11 - Sistema de aquisição de dados	26
Figura 12 - Largura, altura e comprimento dos blocos.....	27
Figura 13 - Medições dos septos	28
Figura 14 - Desvio em relação ao esquadro	28
Figura 15 - Planeza	29
Figura 16 - Esquema para capeamento com pasta de cimento.....	30
Figura 17 - Capeamento.....	30
Figura 18 - Base de madeira sobre blocos	33
Figura 19 - Montagem das paredes, colocação da argamassa	33
Figura 20 - Montagem das paredes, colocação do bloco	34
Figura 21 - Montagem das paredes, nivelamento da fiada.....	34
Figura 22 - Disposição das paredes no laboratório.....	34
Figura 23 - Pesando os materiais	35
Figura 24 - Despejo do cimento na argamassadeira	36
Figura 25 - Molde para a confecção dos corpos de prova prismáticos.....	37
Figura 26 - Ensaio de tração na flexão da argamassa.....	37
Figura 27 - Dispositivo de carga para o ensaio de compressão.....	38
Figura 28 - Ensaio de compressão realizado	39
Figura 29 - Esquema para aplicar a força de compressão	40

Figura 30 - Movimentação das paredes	41
Figura 31 - Parede sendo centralizada com o auxílio de duas empilhadeiras	41
Figura 32 - Parede centralizada e apoiada sobre uma rotula	42
Figura 33 - Parede com bloco de 14x19x29cm	42
Figura 34 - Parede com bloco de 14x19x59cm	43
Figura 35 - Parede com bloco de 14x29x44cm	43
Figura 36 - Parede com bloco de 14x29x59cm	44
Figura 37 - Localização dos LVDTs.....	45
Figura 38 - LVDTs sobre a base de madeira.....	45
Figura 39 - Esquema da parte superior do ensaio	46
Figura 40 – Vista lateral da parte superior do ensaio	46
Figura 41 - Esquema estático do ensaio	47
Figura 42 - Nomenclatura adotada para as paredes	51
Figura 43 - Ensaio das paredes executadas com blocos de 14x19x29 cm, sendo a P1, P2 e P3 as paredes P1-29-A2, P1-29-B2 e P1-29-C2	66
Figura 44 - Ensaio das paredes executadas com blocos de 14x19x59 cm, sendo a P1, P2 e P3 as paredes P1-59-A3, P1-59-B3 e P1-59-C3	72
Figura 45 - Ensaio das paredes executadas com blocos de 14x19x59 cm, sendo a P1, P2 e P3 as paredes P1-59-A4, P1-59-B4 e P1-59-C4	78
Figura 46 - Ensaio das paredes executadas com blocos de 14x29x59 cm, sendo a P1, P2 e P3 as paredes P2-59-A3, P2-59-B3 e P2-59-C3	86
Figura 47 - Ensaio das paredes executadas com blocos de 14x29x44 cm, sendo a P1, P2 e P3 as paredes P2-44-A3, P2-44-B3 e P2-59-C3	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de cerâmica vermelha no Brasil para o uso na construção civil. Dados referentes ao tipo de produção, número de peças feitas, porcentagem aproximada por tipo de peça, produção em toneladas por mês e consumo de argila total.	17
Tabela 2 – Recomendações de valores limites para evitar fissuração.	21
Tabela 3 - Tabela na NBR 15270-2 para cálculo da resistência característica a compressão	32
Tabela 4 – Resultados médios de largura (L), altura (H), comprimento (C), espessura das paredes externas (EPE), espessura dos septos (ES), esquadro (ESQ) e planeza (PLAN) dos cinco blocos analisados.....	52
Tabela 5 – Tabela das dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais, destaque em vermelho para as dimensões de largura, altura e comprimento do bloco usual.....	53
Tabela 6 – Resultados de carga de ruptura máxima (CRM), resistência à compressão (fb), coeficiente de variação de $fb(CV)$ e resistência à compressão de cálculo (fbk) dos cinco blocos analisados	54
Tabela 7 – Resultados da compressão da argamassa: força máxima da compressão e resistência à compressão para os corpos de prova referentes a cada tipo de parede.	55
Tabela 8 – Resultados da tração na flexão da argamassa: força máxima na flexão e resistência à tração para os corpos de prova referentes a cada tipo de parede.	58
Tabela 9 - Flecha inicial (P1-29-A2)	60
Tabela 10 - Resumo do ensaio da parede P1-29-A2.....	60
Tabela 11 - Flecha inicial (P1-29-B2).....	61
Tabela 12 - Resumo do ensaio da parede P1-29-B2	61
Tabela 13 - Flecha inicial (P1-29-C2).....	63
Tabela 14 - Resumo do ensaio da parede P1-29-C2	63
Tabela 15 - Flecha inicial (P1-59-A3)	66
Tabela 16 - Resumo do ensaio da parede P1-59-A3.....	66
Tabela 17 - Flecha inicial (P1-59-B3).....	68
Tabela 18 - Resumo do ensaio da parede P1-59-B3	69
Tabela 19 - Flecha inicial (P1-59-C3).....	70
Tabela 20 - Resumo do ensaio da parede P1-59-C3	70
Tabela 21 - Flecha inicial (P1-59-A4)	72
Tabela 22 - Resumo do ensaio da parede P1-59-A4.....	73

Tabela 23 - Flecha inicial (P1-59-B4).....	74
Tabela 24 - Resumo do ensaio de flexão simples para a parede P1-59-B4.....	74
Tabela 25 - Flecha inicial (P1-59-C4).....	76
Tabela 26 - Resumo do ensaio da parede P1-59-C4.....	76
Tabela 27 - Flecha inicial (P2-59-A3)	79
Tabela 28 - Resumo do ensaio da parede P2-59-A3.....	79
Tabela 29 - Flecha inicial (P2-59-B3).....	81
Tabela 30 - Resumo do ensaio da parede P2-59-B3	81
Tabela 31 - Flecha inicial (P2-59-C3).....	83
Tabela 32 - Resumo do ensaio da parede P2-59-C3	83
Tabela 33 - Flecha inicial (P2-44-A3)	86
Tabela 34 - Resumo do ensaio da parede P2-44-A3.....	87
Tabela 35 - Flecha inicial (P2-44-B3).....	89
Tabela 36 - Resumo do ensaio de flexão simples para a parede P2-44-B3.....	89
Tabela 37 - Flecha inicial (P2-44-C3).....	91
Tabela 38 - Resumo do ensaio de flexão simples para a parede P2-44-C3.....	91

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO.....	14
1.2	JUSTIFICATIVA.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	ALVENARIA ESTRUTURAL.....	16
2.2	ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS	17
2.2.1	<i>Bloco Cerâmico Estrutural</i>	18
2.3	Deslocamentos Limites.....	20
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	23
3.1	MATERIAIS	23
3.2	MÉTODOS	27
3.2.1	<i>Dimensional dos blocos</i>	27
3.2.2	<i>Capeamento e ensaio de compressão dos blocos</i>	29
3.2.3	<i>Cálculo da resistência à compressão dos blocos</i>	31
3.2.4	<i>Montagem das paredes</i>	32
3.2.5	<i>Fabricação da argamassa</i>	35
3.2.6	<i>Ensaio de tração na flexão da argamassa</i>	36
3.2.7	<i>Ensaio de compressão da argamassa</i>	38
3.2.8	<i>Ensaio das paredes</i>	39
3.2.9	<i>Cálculo do Momento fletor máximo das paredes durante o ensaio</i>	47
3.2.10	<i>Linha elástica para o cálculo do deslocamento limite</i>	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES REFERENTES À CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	51
4.1	NOMENCLATURA ADOTADA PARA AS PAREDES	51
4.2	DIMENSIONAL DOS BLOCOS	51
4.3	COMPRESSÃO DOS BLOCOS	54

4.4	COMPRESSÃO DA ARGAMASSA.....	55
4.5	TRAÇÃO NA FLEXÃO DA ARGAMASSA.....	56
5	RESULTADOS REFERENTES AO ENSAIO DAS PAREDES	59
5.1	PAREDES COM BLOCO DE 14X19X29 CM.....	60
5.2	PAREDES COM BLOCO DE 14X19X59CM (TRÊS FUIROS).....	66
5.3	PAREDES COM BLOCO DE 14X19X59CM (QUATRO FUIROS).....	72
5.4	PAREDES COM BLOCO DE 14X29X59CM.....	79
5.5	PAREDES COM BLOCO DE 14X29X44CM.....	86
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

As paredes de alvenaria estrutural são elementos estruturais compostos por materiais de diferentes características físicas, sendo os dois principais a argamassa de assentamento e o bloco estrutural. Isso implica que o comportamento final da alvenaria é consequência do comportamento do conjunto, bloco estrutural mais argamassa de assentamento.

Além de conhecer os principais componentes de um sistema estrutural é importante saber outras informações para uma avaliação física final do conjunto, como por exemplo, as ações e os possíveis deslocamentos prescritos que atuarão na estrutura, sejam globais ou locais.

Levando em consideração o desenvolvimento dos materiais e dos modelos de cálculo e os efeitos que podem surgir na estrutura como consequência das ações e dos possíveis deslocamentos prescritos, é possível entender o desenvolvimento dos edifícios construídos em alvenaria estrutural no último século.

Os primeiros edifícios em alvenaria estrutural do começo do século passado eram mais robustos que os atuais, tinham paredes mais espessas, possuíam maior número de paredes por metro quadrado e todos os pavimentos eram feitos apenas em alvenaria estrutural. Isso ocorria devido à resistência mecânica inferior dos materiais que eram empregados na época, da falta de conhecimento científico a respeito do sistema estrutural e da representação do problema por modelos mais simplistas de cálculo.

Portanto a ideia básica para se projetar utilizando os conhecimentos da época era garantir alta rigidez e peso próprio elevado da estrutura, de tal forma que possíveis tensões de cisalhamento, devido à flexão causada por cargas horizontais, pudessem ser mínimas ou até mesmo desprezadas, dependendo da altura e da geometria do edifício. Dessa forma, a principal preocupação era referente ao esforço de compressão atuante, sendo os efeitos em forma de deformação ou deslocamento consequências diretas da compressão.

A partir da metade do século passado surgiram muitas pesquisas a respeito da relação entre a resistência à compressão de blocos, prismas e paredes, além de um aumento considerável na resistência dos próprios blocos estruturais, possibilitando projetos que aproveitavam melhor a resistência das paredes de forma a diminuir sua espessura e aumentar o número de pavimentos.

A principal consequência do melhor aproveitamento da resistência dos componentes e dos elementos foi a diminuição da rigidez e do peso próprio relativo por pavimento da estrutura. Nesse contexto os efeitos das cargas horizontais aumentaram substancialmente e o cisalhamento devido à flexão nas paredes de contraventamento já atingiam valores

consideráveis. Para combater esses efeitos, nos casos onde havia necessidade, foi adotada a técnica da alvenaria estrutural armada, que constitui na utilização de armaduras passivas e graute nos furos dos blocos em certas regiões da edificação, funcionando de forma parecida aos pilares de concreto armado.

No Brasil, ainda nesse mesmo período, o material que se destacou foi o concreto na produção de blocos estruturais, devido ao crescimento da produção desse material no país, levando ao surgimento de fábricas desses blocos para satisfazer a crescente demanda.

No final do século passado a tecnologia empregada na alvenaria estrutural, tanto de blocos cerâmicos como de blocos de concreto, melhorou de maneira significativa devido ao aumento de pesquisas na área. Os modelos matemáticos para a avaliação da estrutura se tornaram mais próximos do seu comportamento real, os componentes e os elementos da alvenaria já apresentavam resistências elevadas à compressão e a prática em obra começou a se consolidar no Brasil. O déficit habitacional do país era muito mais elevado comparado aos dias atuais e esse fator, somado à tecnologia e ao ganho de confiança na execução de obras em alvenaria, impulsionou esse processo construtivo ainda mais.

Atualmente as edificações em alvenaria estrutural estão se tornando cada vez mais arrojadas, tanto na arquitetura quanto na utilização de outros sistemas construtivos em conjunto. Por tanto, hoje a alvenaria estrutural é caracterizada pela construção de edifícios com paredes feitas com espessura em torno de 14 cm, vãos maiores entre cômodos, número de pavimentos podendo ultrapassar 20 andares e pavimento térreo feito com concreto armado. Nesse contexto atual, a cerâmica está ganhando cada vez mais mercado e ganhando confiabilidade dos investidores.

Devido ao melhor aproveitamento arquitetônico da alvenaria estrutural, ao ganho de mercado que a cerâmica demonstra nos últimos anos e à utilização de estruturas de transição em concreto armado é possível destacar a necessidade de maiores avaliações do comportamento das paredes de alvenaria estrutural feitas com blocos cerâmicos e que estão apoiadas sobre alguma estrutura de transição de forma a se sujeitarem aos efeitos dos deslocamentos que esta estrutura sofrerá.

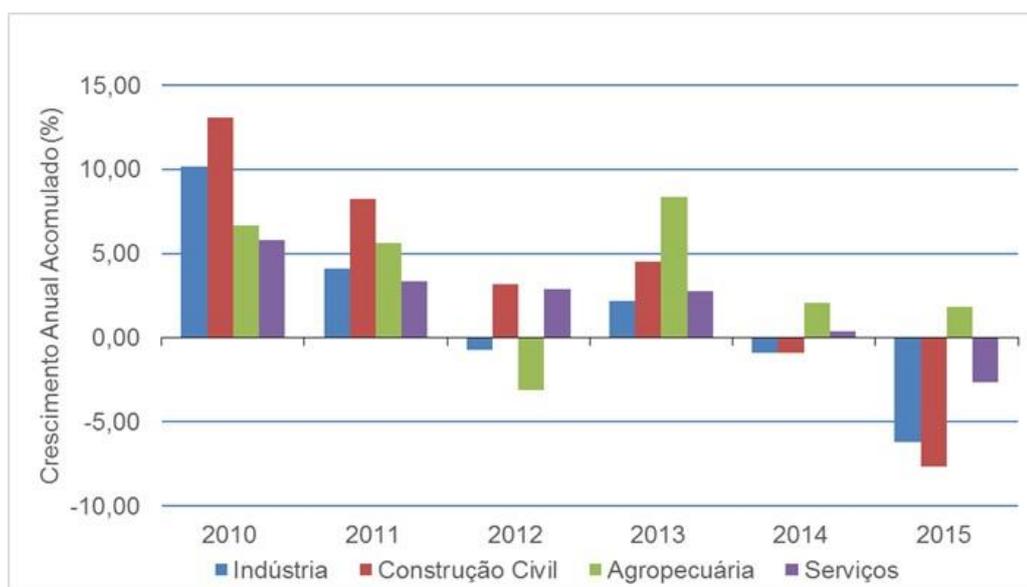
1.1 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa foi avaliar o desempenho de vigas paredes feitas com blocos cerâmicos estruturais de diferentes geometrias mediante ao deslocamento do elemento de apoio, e comparar com os limites estabelecidos pela NBR 15812-1(ABNT,2010) no item 10.2, referente aos elementos estruturais que servem de apoio para a alvenaria.

1.2 JUSTIFICATIVA

É possível destacar duas justificativas para a realização deste trabalho, uma de cunho econômico e outra referente ao aspecto técnico. A justificativa econômica se dá levando em consideração os dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2016) apresentados na Figura 1, que mostram que a Construção Civil e os outros setores apresentaram uma diminuição de seus respectivos crescimentos nos anos de 2010 a 2013 e a partir de 2014 houve um decréscimo dos mesmos.

Figura 1 - Taxa de Variação - Setores e Construção Civil (2010 a 2015)



Fonte: Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2016)

Nesse mesmo período as construções em alvenaria estrutural aumentaram de maneira significativa no país, inicialmente utilizando blocos estruturais de concreto e logo em seguida começaram a aparecer cada vez mais edificações com blocos estruturais cerâmicos.

O aumento das construções em alvenaria estrutural cerâmica, a necessidade de se construir com menores custos e a competição das próprias empresas para garantirem sua permanência no mercado devido ao quadro atual do país, faz com que haja maior incentivo para pesquisas referentes aos aspectos técnicos da alvenaria estrutural cerâmica.

A justificativa técnica para fazer ensaios de flexão simples em paredes de alvenaria estrutural cerâmica é embasada no modelo construtivo que está sendo adotado em boa parte das edificações atuais. Esse modelo consiste na utilização de estruturas de transição entre pavimento térreo e pavimento tipo, sendo o pavimento térreo projetado em concreto armado e o pavimento tipo projetado em alvenaria estrutural cerâmica.

A questão que surge nesse contexto é a respeito da ductibilidade das paredes quando há um deslocamento da estrutura sob a alvenaria. Esse deslocamento, seja ele de uma viga ou de uma laje, pode gerar tensões semelhantes às geradas na flexão. Isto é um inconveniente grande para a alvenaria estrutural visto que o dimensionamento é feito levando em conta principalmente os efeitos da compressão.

Além de verificar a ductibilidade em paredes feitas com blocos de dimensões usuais é importante verificar se há melhor desempenho com outras geometrias possíveis de blocos cerâmicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural pode ser entendida como o processo construtivo no qual os elementos de alvenaria são responsáveis por resistir e transmitir os esforços solicitantes, sendo os componentes e elementos de alvenaria estrutural projetados, dimensionados e executados de forma racional.

No quesito construtivo e econômico percebeu-se, pela prática, algumas vantagens da alvenaria estrutural quando esta é bem executada. Segundo Camacho (2006), algumas vantagens da alvenaria estrutural são:

- Redução de custos;
- Menor diversidade de materiais empregados;
- Redução da diversidade de mão de obra especializada;
- Maior rapidez de execução; e
- Robustez estrutural, devido à rigidez das paredes resistentes.

O comportamento mecânico da alvenaria estrutural, como um todo, é consequência do comportamento mecânico dos seus componentes e elementos.

Os componentes da alvenaria estrutural podem ser definidos como as unidades básicas responsáveis por formar os elementos de alvenaria estrutural. Os principais componentes utilizados atualmente são: blocos; argamassa; graute e armadura. Os elementos já são uma parte suficientemente elaborada da estrutura formada por pelo menos dois componentes. Os principais elementos são: paredes, pilares, cintas e vigas. (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Ainda de acordo com Ramalho e Corrêa (2003) os principais esforços que atuam em uma edificação em alvenaria estrutural podem ser divididos em verticais e horizontais, sendo estes:

- Esforços verticais: peso próprio da estrutura, ações nas lajes e sobrecargas permanentes e acidentais; e
- Esforços horizontais: ação dos ventos e o desaprumo.

As cargas principais são os esforços verticais. Dessa forma, há predominantemente esforços de compressão ao longo da estrutura como um todo, sendo esses transmitidos do topo à base da edificação. Os esforços horizontais são responsáveis principalmente pelo aparecimento de tensões de tração na alvenaria devido à sua ação nas paredes de contraventamento.

As características mecânicas e físicas de edificações em alvenaria estrutural dependem diretamente das características de seus componentes. O principal componente da alvenaria estrutural é o bloco e os principais materiais do bloco para a alvenaria estrutural são o concreto e a cerâmica.

2.2 ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS

Conforme Carvalho (2003), dos processos construtivos baseados na alvenaria estrutural introduzidos no país, o que melhor adaptou-se à realidade brasileira é o da alvenaria não armada, e o material que merece destaque nesse sistema construtivo é o bloco cerâmico. Isto ocorre pelo potencial que a cerâmica apresenta no mercado brasileiro.

Segundo a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER, 2008), em 2008, o Brasil apresentou 6.903 empresas de cerâmica com um faturamento anual da ordem de R\$18 bilhões, representando 4,8% do faturamento da indústria da construção. A Tabela 1 apresenta alguns dados da produção de cerâmica vermelha no Brasil.

Tabela 1 – Produção de cerâmica vermelha no Brasil para o uso na construção civil. Dados referentes ao tipo de produção, número de peças feitas, porcentagem aproximada por tipo de peça, produção em tonelada por mês e consumo de argila total.

Tipo de produção	Produção média mês (Nº de peças)	Porcentagem aproximada Por tipo	Produção t/mês	Consumo de argila t
Blocos/Tijolos	4.346	63%	4.000.000,0t	7.800.000
Telhas	2.547	36%	1.300.000,0t	2.500.000
Tubos	10	0,1%	325,5km	-

Fonte: (ANICER, 2008).

O perfil de produção da cerâmica vermelha é praticamente o mesmo em todo o país e apresenta um potencial grande de produção, mas de maneira geral com pouca tecnologia e pouca capacidade de investimentos (RIZZATTI et al., 2011).

A produção do bloco cerâmico estrutural apresenta um baixo custo relativo pela facilidade e simplicidade da adaptação tecnológica à produção. Além disso, o produto apresenta uma qualidade satisfatória de resistência mecânica, conforto térmico e durabilidade (CARVALHO, 2003).

A grande capacidade de produção da cerâmica vermelha que o Brasil possui, junto ao interesse das construtoras em se tornarem mais competitivas e diminuírem seus custos, aumentou o interesse das produtoras de cerâmica de investirem na fabricação de blocos cerâmicos estruturais nos últimos anos.

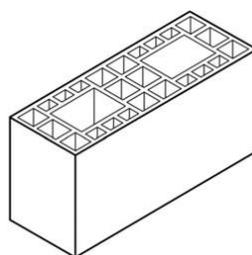
2.2.1 Bloco Cerâmico Estrutural

De acordo com a NBR 15270-2(ABNT, 2005) o bloco cerâmico estrutural é definido como o componente da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que o contêm. Os blocos estruturais cerâmicos podem ser divididos em:

- Bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas;
- Bloco cerâmico estrutural de paredes maciças; e
- Bloco cerâmico estrutural perfurado.

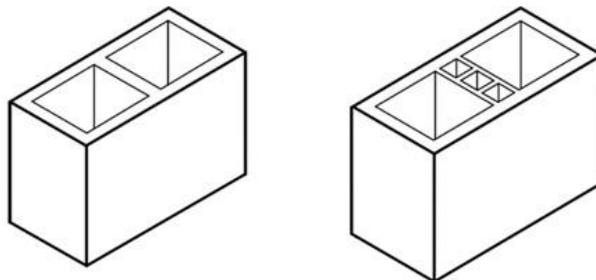
Todos são componentes da alvenaria estrutural e são esquematizados conforme as Figura 2, 3 e 4.

Figura 2- Bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas



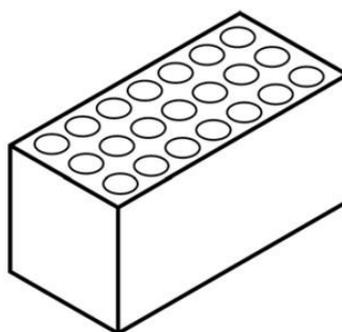
Fonte: (ABNT, 2005).

Figura 3 - Blocos cerâmicos estruturais com paredes maciças



Fonte: (ABNT, 2005).

Figura 4 - Bloco cerâmico estrutural perfurado



Fonte: (ABNT, 2005).

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005) também aborda informações sobre a características geométricas, físicas e mecânicas para os blocos cerâmicos estruturais. As características geométricas são baseadas nos seguintes itens:

- Medidas das faces – dimensões efetivas;
- Espessura dos septos e das paredes externas dos blocos;
- Desvio em relação ao esquadro
- Planeza das faces; e
- Área bruta e área líquida.

As características físicas do bloco cerâmico estrutural são definidas pelos seguintes itens:

- Massa seca; e
- Índice de absorção de água.

As características mecânicas estruturais do bloco estrutural são definidas por meio de ensaios de resistência à compressão individual. Os métodos para se obter esses parâmetros estão descritos na norma da ABNT NBR 15270-3 (2010).

2.3 DESLOCAMENTOS LIMITES

Toda estrutura projetada e executada deve seguir alguns parâmetros para que possua melhor desempenho durante sua vida útil. Um desses parâmetros é o de deslocamentos limites, que define limites de deslocamentos para que não haja dano à estrutura e desconforto ao usuário, caracterizando dessa forma o Estado Limite de Serviço.

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) define deslocamentos limites para os elementos em determinadas condições para alvenaria estrutural cerâmica no item 10.2.

- Para quaisquer elementos fletidos, os deslocamentos finais não devem passar de $L/150$ ou 20mm para peças em balanço e $L/300$ ou 10mm nos demais casos (sendo L o vão).
- As contraflechas podem chegar ao máximo de $L/400$ compensando parcialmente os deslocamentos.
- Para elementos estruturais que servem de apoio para a alvenaria cerâmica, os deslocamentos não devem ser maiores que $L/500$, 10 mm ou com angulação de 0,0017 rad.

Os critérios para os deslocamentos limites são de suma importância, visto que a alvenaria estrutural é um modelo estrutural mais rígido e robusto que as estruturas convencionais metálicas e de concreto armado, e por essa razão não apresenta desempenho elevado quando submetida aos deslocamentos prescritos, principalmente os que geram tensões de tração na alvenaria.

Holanda Júnior e Ramalho (2008) fizeram um estudo sobre a influência de recalques em edifícios de alvenaria estrutural antes da efetivação da NBR 15812-1 de 2010. Nesse trabalho um dos objetivos foi buscar valores máximos de recalques diferenciais que poderiam ocasionar danos aos edifícios de alvenaria estrutural além de se verificar experimentalmente o aparecimento de fissuras.

A Tabela 2 contém os valores limites para evitar fissuração encontrados na em outros trabalhos da literatura antes da norma atual de 2010.

Tabela 2 – Recomendações de valores limites para evitar fissuração.

REFERÊNCIA	δ/l	Δ/L	TENSÃO DE TRAÇÃO
Meyerhof (1953)	-	1/2000	0,21 MPa
Skempton & MacDonald (1956)	1/30	-	-
Polshin & Tokar (1957)	-	0,0003 a 0,0007	-
Grant et al. (1974)	1/30	-	-
Komornik & Mazurik (1977)	-	1/1000	-
Beranek (1987)	-	-	0,10 a 0,3 MPa
Thomaz (1998)	1/30	-	-

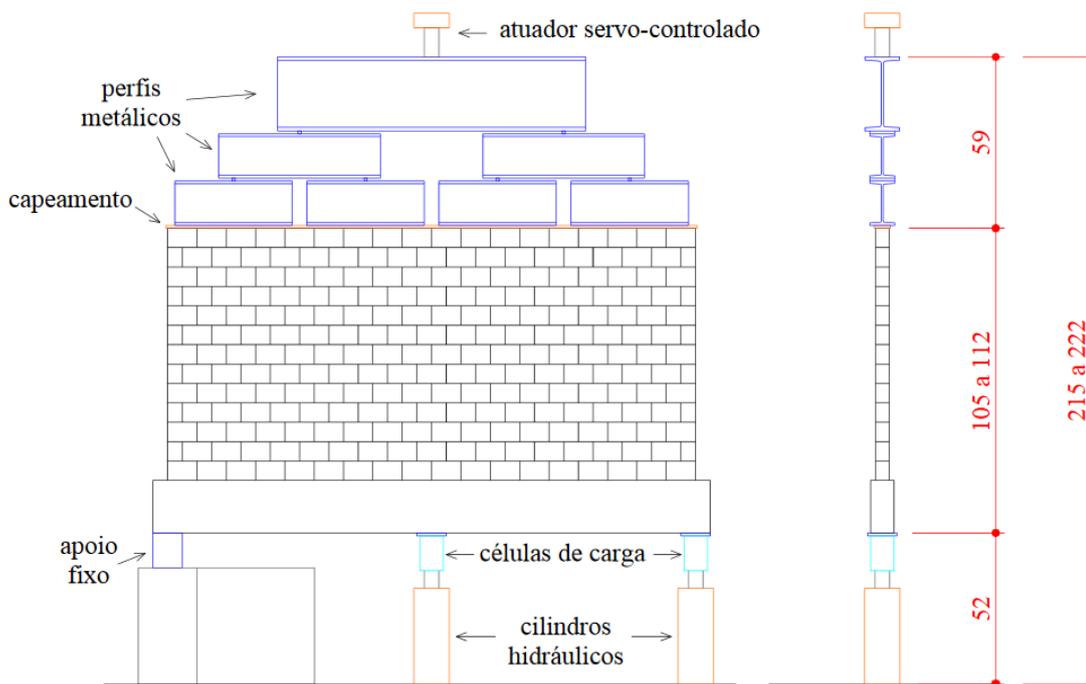
Fonte: Holanda Junior e Ramalho (2008).

Na tabela acima pode-se observar que o valor limite da razão de deflexão Δ/L não é único, não havendo concordância na literatura a esse respeito. Em contra partida, há um consenso sobre o valor para a rotação relativa δ/l entre os autores, porém o limite estabelecido para a rotação relativa apresenta apenas uma origem.

Comparando-se os valores de tração encontradas na literatura com os valores atuais especificados no item 6.3.5 da NBR 15812-1 de 2010, pode-se dizer que os limites máximos da tabela acima eram inferiores aos da norma atual, porém os limites atuais levam em consideração a resistência à compressão da argamassa de assentamento e a direção das tensões de tração.

O esquema utilizado por Holanda Júnior e Ramalho (2008) para os ensaios na alvenaria está na Figura 5.

Figura 5 – Esquema dos ensaios feitos por Holanda Júnior e Ramalho em escala reduzida



Fonte: Holanda Junior e Ramalho (2008)

No esquema utilizado por Holanda Junior e Ramalho a parede foi construída em escala reduzida sobre uma viga de concreto armado apoiada em três pontos, sendo que em dois deles foi utilizado células de carga e cilindros hidráulicos para medir as reações de apoio e fornecer os deslocamentos na base respectivamente. Por meio dos resultados se procurou identificar limites para o aparecimento de fissuras utilizando os valores da Tabela 2, porém não houve concordância para se estabelecer um limite único.

Comparando os valores da literatura com os valores da norma atual é possível perceber primeiramente que a norma atual propõe a metade da rotação para elementos que servem de apoio para a alvenaria, visto que $1/300$ equivale a $0,0033\text{rad}$ e a NBR 15812-1 propõe $0,0017\text{rad}$. Para as deflexões, a norma propõe a verificação pela relação vão sobre uma constante, cuja a finalidade é estabelecer limites para as deflexões nas paredes com comprimentos elevados.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Todo o programa experimental foi realizado nos laboratórios NETPRE (Núcleo de Estudo e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto) e no LSE (Laboratório de Sistemas Estruturais) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Os blocos e as argamassas foram ensaiadas no LSE e as paredes no NETPRE.

Para ser possível a realização do trabalho, contou-se com a parceria das empresas Technologys e Ceramica City, sendo a primeira financiadora do trabalho e fornecedora da mão de obra e a segunda fornecedora dos diferentes tipos de blocos e materiais complementares.

O programa experimental foi composto de duas etapas: a primeira foi a caracterização dos materiais para a confecção das paredes de alvenaria estrutural cerâmica e a realização dos ensaios de compressão simples de 13 blocos para cada geometria diferente de bloco, totalizando na compressão simples de 65 blocos, e a segunda etapa foi a montagem de 15 paredes, sendo 3 paredes para cada tipo diferente de bloco, e na realização dos ensaios de flexão simples nas paredes.

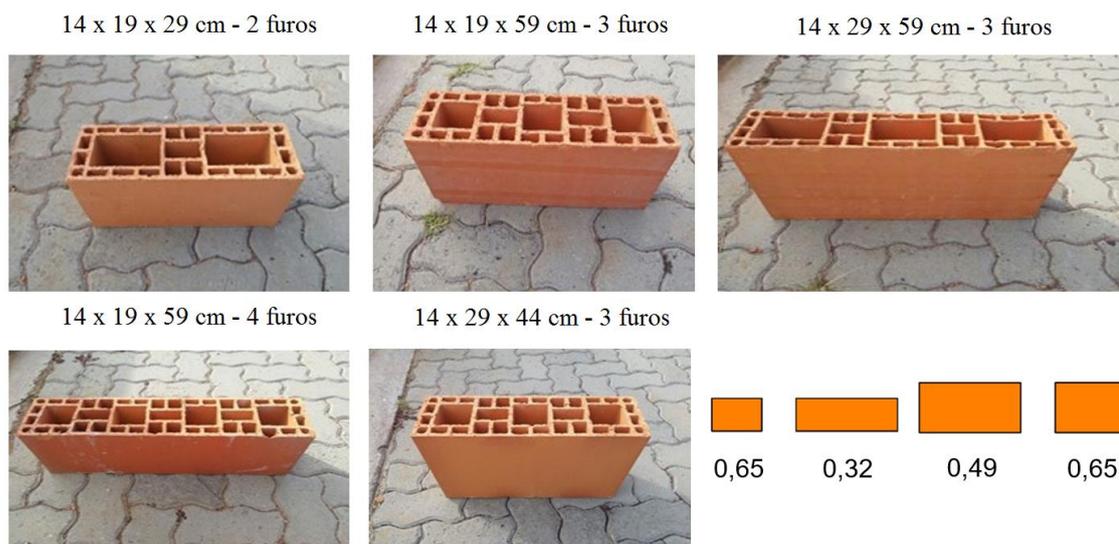
3.1 MATERIAIS

Os principais materiais utilizados ao longo da pesquisa foram os blocos cerâmicos. Foram utilizados 5 unidades diferentes de blocos, duas delas com medidas iguais e diferentes tipos de furação. As medidas, os maiores furos e a quantidade de blocos e pares estão indicados nos itens abaixo:

- Bloco de 14x19x29 cm com 2 furos – 13 blocos – 3 paredes
- Bloco de 14x19x59 cm com 3 furos – 13 blocos – 3 paredes
- Bloco de 14x19x59 cm com 4 furos – 13 blocos – 3 paredes
- Bloco de 14x29x59 cm com 3 furos – 13 blocos – 3 paredes
- Bloco de 14x29x44 cm com 3 furos – 13 blocos – 3 paredes

A Figura 6 contém as imagens dos blocos utilizados na pesquisa, as informações de suas medidas externas e um esquema da vista lateral, em escala, de cada tipo de bloco acompanhada com a relação entre altura e comprimento de cada bloco utilizado na pesquisa.

Figura 6 – Imagem dos blocos utilizados na pesquisa com suas respectivas dimensões e a vista lateral representada em escala junto com a relação entre altura e comprimento para cada geometria de bloco



Fonte: Próprio autor.

Para a instrumentação do ensaio de flexão simples nas paredes foram utilizados cinco LVDTs (Linear Variable Differential Transformer). A Figura 7 representa um LVDT em uso durante um ensaio.

Figura 7 – Detalhe de um LVDT sendo utilizado durante um ensaio



Fonte: Próprio autor.

O pórtico de reação foi montado conforme a Figura 8 para a realização do ensaio de flexão das paredes. Nessa figura há uma parede sendo preparada para o ensaio.

Figura 8 - Pórtico de reação montado



Fonte: Próprio autor.

Para o ensaio das paredes foi escolhido utilizar cargas concentradas em vez de cargas distribuídas para ser possível garantir que os pontos de aplicação das forças fossem constantes durante todo o ensaio mesmo com flechas superiores à 5 mm.

A prensa hidráulica utilizada para os ensaios de compressão dos blocos cerâmicos foi da marca EMIC, modelo PC200-ESP. A Figura 9 e a Figura 10 mostram os três módulos da prensa utilizados para os ensaios, sendo o primeiro utilizado para os ensaios de argamassa e o segundo e terceiro para os ensaios de compressão dos blocos. A aquisição de dados foi feita pelo próprio software da EMIC.

Figura 9 - Prensa utilizada, módulo 1



Fonte: Próprio autor.

Figura 10 - Prensa utilizada, módulo 2 e 3



Fonte: Próprio autor.

O sistema de aquisição de dados utilizado para obter os dados de deslocamento no ensaio de flexão simples das paredes foi o correspondente ao software System 5000. O sistema está representado na Figura 11.

Figura 11 - Sistema de aquisição de dados



Fonte: Próprio autor.

Os cimentos utilizados durante o trabalho foram o CP-V e o CP-II-Z-32, sendo o primeiro utilizado para o capeamento dos blocos em ensaios de compressão e o segundo para a fabricação da argamassa de assentamento. Para a argamassa de assentamento também foram utilizados areia média e cal CH-II. As paredes foram montadas sobre bases de madeira do tipo Pinus. No total foram utilizadas 15 bases com dimensão 5x20x260 cm. Outros materiais básicos para a pesquisa são citados durante o texto quando necessário.

3.2 MÉTODOS

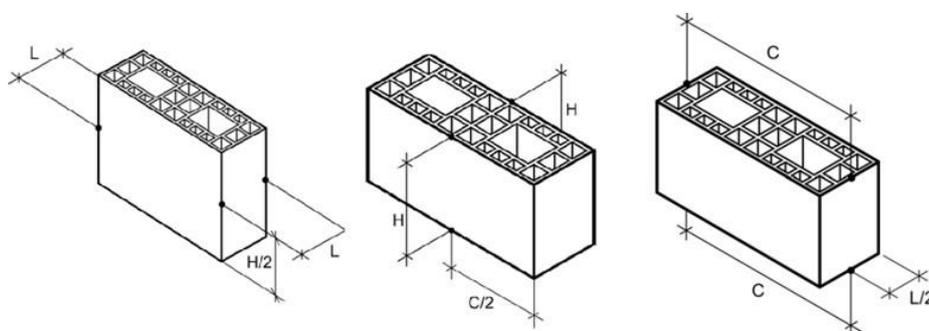
3.2.1 Dimensional dos blocos

O ensaio dimensional dos blocos cerâmicos foi realizado conforme a NBR 15270-3 (ABNT, 2005). Nesse ensaio foi medido a largura, comprimento, altura, tamanho dos septos, parede externa, desvio em relação ao esquadro e planeza.

As medições mencionadas a seguir foram feitas para cada lote de blocos, sendo que cada lote continha 13 blocos, totalizando ao final do ensaio dimensional 65 blocos medidos. As especificações da norma, referente aos instrumentos de medidas, foram atendidas.

A largura (L), comprimento (C) e a altura (H) foram medidas nas regiões demonstradas na Figura 12. Foram feitas duas medidas para cada dimensão especificada.

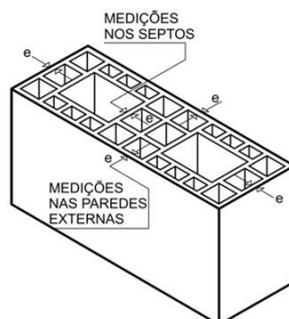
Figura 12- Largura, altura e comprimento dos blocos



Fonte: (ABNT, 2005).

As medições dos septos (e) foram feitas nas regiões demonstradas na Figura 13. Foram feitas 4 medidas para cada bloco ensaiado.

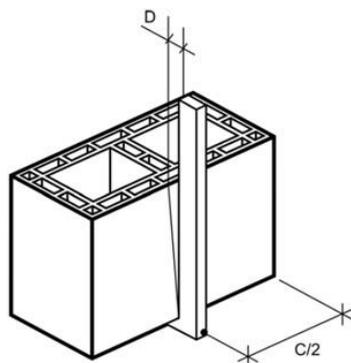
Figura 13- Medições dos septos



Fonte: (ABNT, 2005).

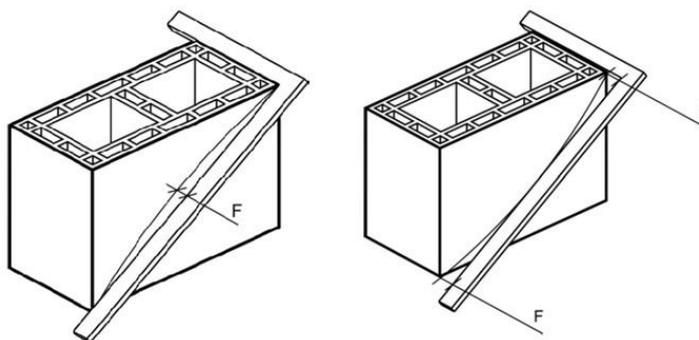
As medições do desvio em relação ao esquadro foram feitas conforme demonstrado na Figura 14. Para cada bloco foi realizado duas medidas.

Figura 14 - Desvio em relação ao esquadro



Fonte: (ABNT, 2005).

A planeza foi medida conforme a Figura 15. Foram feitas duas medidas para cada bloco.

Figura 15 - Planeza

Fonte: (ABNT, 2005).

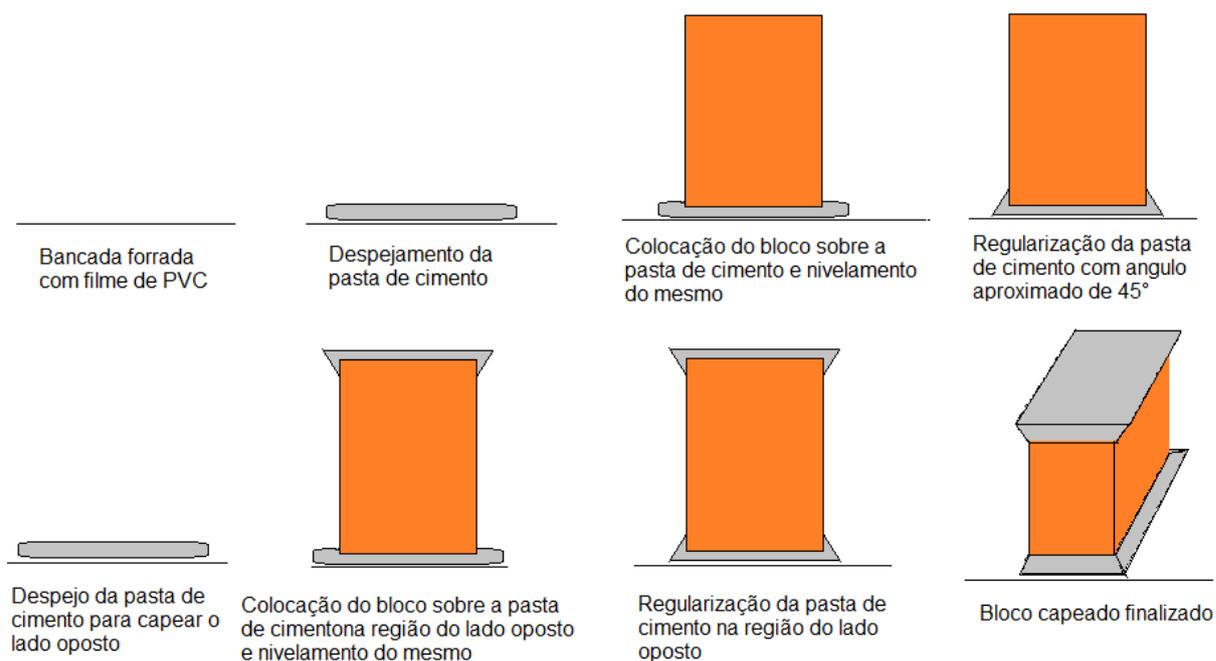
3.2.2 *Capecamento e ensaio de compressão dos blocos*

O capecamento e a compressão dos blocos foram executadas por lote, sendo cada lote constituído por 13 blocos. Para realizar o ensaio de compressão dos blocos primeiramente foi executado o capecamento dos mesmos. O capecamento foi feito conforme os itens abaixo:

- Primeiramente foi preparada a pasta de cimento, na proporção 2/1 (cimento/água) em volume. O cimento utilizado foi o Ari CP V;
- Um filme de PVC foi utilizado para forrar uma bancada previamente umedecida;
- Sobre o filme de PVC foi despejado o suficiente de pasta de cimento para sobrar 1 cm aproximadamente de pasta ao redor do bloco após sua colocação;
- Logo após o bloco foi nivelado com o nível de bolha;
- Com uma espátula, régua de metal ou colher de pedreiro regularizou-se a sobra de 1 cm de maneira a formar aproximadamente 45° com a superfície da bancada; e
- Esse procedimento foi repetido para o outro lado do bloco.

A Figura 16 demonstra esquematicamente como foi realizado o capecamento com pasta de cimento.

Figura 16- Esquema para capeamento com pasta de cimento



Fonte: Próprio autor.

A Figura 17 mostra a regularização da pasta de cimento e despejo da mesma sobre a bancada.

Figura 17 - Capeamento



Fonte: Próprio autor.

A NBR 15270-3(ABNT,2005) prescreve que após o capeamento devidamente realizado o bloco deve ser levado a condição de saturamento antes do ensaio de compressão. Depois de

capeados, os blocos de cada lote foram submersos em um recipiente contendo água por pelo menos 24 horas.

Os ensaios de compressão dos blocos foram realizados de acordo com a norma NBR 15812-2 (ABNT, 2010). Os ensaios foram realizados em prensa hidráulica de 2000 kN, marca EMIC, modelo PC 200.

3.2.3 Cálculo da resistência à compressão dos blocos

O cálculo da resistência à compressão dos blocos seguiu as recomendações da NBR 15270-2 (ABNT, 2005) item 5.5. Para estimar a resistência característica do bloco à compressão usa-se a seguinte equação, citada na norma acima:

$$f_{bk,est} = 2 \frac{[f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}]}{i-1} - f_{bi}$$

$f_{bk,est}$ É a resistência característica estimada da amostra em MPa.

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{b(i)}$ Referentes à compressão individual de cada bloco em ordem crescente.

$I = N/2$ Se n for par.

$I = (N-1)/2$ Se n for ímpar.

n É quantidade de blocos da amostra.

Depois do cálculo de $f_{bk,est}$ deve-se seguir conforme os itens abaixo:

- Se $f_{bk,est} \geq f_{bm}$ (média da compressão dos blocos do lote) adota-se f_{bm} como a resistência característica do lote;

- Se $f_{bk,est} < \emptyset \times f_{b(1)}$ adota-se o valor de $\emptyset \times f_{b(1)}$ como resistência característica da amostra; e
- Caso o $f_{bk,est}$ esteja entre os limites mencionados acima adota-se o próprio $F_{bk,est}$ como resistência característica à compressão do lote.

A Tabela 3 é a tabela auxiliar, retirada na norma citada acima, para o cálculo da resistência característica do bloco de alvenaria estrutural cerâmico.

Tabela 3 - Tabela na NBR 15270-2 para cálculo da resistência característica a compressão

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	≥ 18
\emptyset	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04
NOTA	Recomenda-se adotar $n \geq 13$.											

Fonte: (ABNT, 2005).

3.2.4 Montagem das paredes

No total foram montadas 15 paredes, sendo 3 paredes para cada tipo de bloco utilizado na pesquisa. As paredes foram montadas com a mesma dimensão, 240x120x14cm (comprimento x altura x espessura)

A montagem das paredes para o ensaio de flexão simples foi realizada sobre uma base de madeira impermeabilizada com o impermeabilizante Neutrol e apoiada sobre blocos estruturais conforme a Figura 18. As dimensões das madeiras utilizadas foram de 5x20x260 cm.

Entre a primeira fiada e a madeira despejou-se uma camada de argamassa. Para a parede ter o alinhamento e o prumo corretos, foram utilizados escantilhões em sua montagem.

A argamassa utilizada na montagem das paredes foi fabricada a medida que se montavam as paredes. Detalhes sobre a fabricação da argamassa estão no item 3.2.5.

Figura 18 - Base de madeira sobre blocos



Fonte: Próprio autor.

As Figura 19, 20 e 21 mostram como foi realizada a montagem de cada parede. A Figura 22 mostra a disposição das paredes no laboratório.

Figura 19 - Montagem das paredes, colocação da argamassa



Fonte: Próprio autor.

Figura 20 - Montagem das paredes, colocação do bloco



Fonte: Próprio autor.

Figura 21 - Montagem das paredes, nivelamento da fiada



Fonte: Próprio autor.

Figura 22 - Disposição das paredes no laboratório



Fonte: Próprio autor.

3.2.5 Fabricação da argamassa

Os materiais para a fabricação da argamassa foram: cimento Ari CP II, areia média, cal CH-II e água. O traço da argamassa em massa foi 1/10/1/1,6 (cimento/areia/cal/água). As etapas para a produção da argamassa foram:

- Primeiramente foi colocado 40 kg de areia na argamassadeira;
- Logo após foi colocado 4 kg de cimento e 4 kg de cal;
- Utilizou a argamassadeira até a mistura ficar homogênea; e
- Aos poucos acrescentou-se água (total 6,4 kg) até mistura ficar pronta.

Para cada lote de argamassa feito foram recolhidas amostras para a montagem dos corpos de prova para os ensaios de compressão e tração na flexão da argamassa. A Figura 23 mostra a pesagem dos materiais, e a Figura 24 o despejo dos materiais na argamassadeira.

Figura 23 - Pesando os materiais



Fonte: Próprio autor.

Figura 24 - Despejo do cimento na argamassadeira



Fonte: Próprio autor.

3.2.6 *Ensaio de tração na flexão da argamassa*

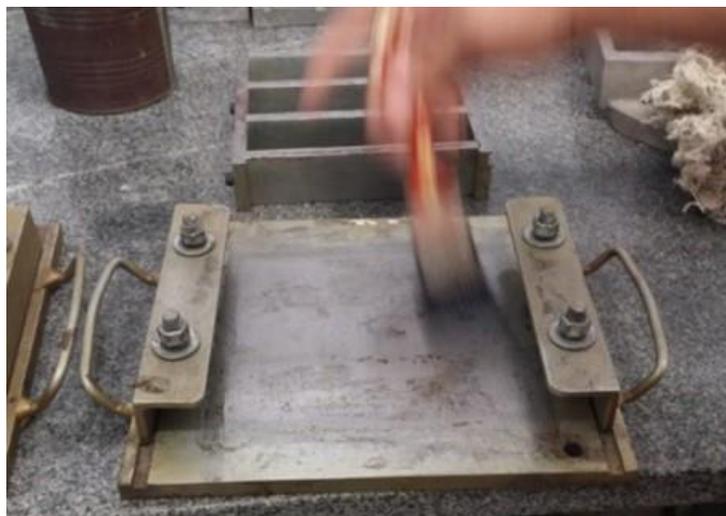
Os ensaios de tração na flexão da argamassa foram feitos conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005) prescreve. A medida que o lote de argamassa foi feito para a montagem das paredes, foram retiradas amostragens da mesma para a montagem dos corpos de prova.

Os corpos de prova moldados para este ensaio foram de 4x4x16 cm utilizando o molde prescrito na norma já citada. O procedimento para a montagem dos corpos de prova foi:

- Aplicou-se uma fina camada de óleo mineral nas faces internas do molde;
- Fixou-se o molde na mesa de adensamento;
- Logo após foi despejado a argamassa até passar um pouco da metade da profundidade do molde;
- Em seguida foi aplicado 30 golpes na mesa de adensamento;
- Despejou-se mais uma camada de argamassa de maneira a completar o molde; e
- Em seguida foi aplicado mais 30 golpes e ao termino, utilizando uma régua metálica, rasou-se os corpos de prova.

A Figura 25 exibe as duas partes do molde utilizadas para a confecção dos corpos prismáticos. A mesma imagem também mostra o momento onde foi aplicada a fina camada de óleo em uma das partes do molde.

Figura 25 - Molde para a confecção dos corpos de prova prismáticos



Fonte: Próprio autor.

Feito os corpos de prova, o ensaio foi realizado aos 28 dias em uma prensa universal, da marca EMIC, modelo DL 60000, com célula de carga de 20kN. A Figura 26 mostra em detalhe o corpo de prova e o esquema de apoios utilizado para os ensaios de flexão na prensa.

A norma citada neste item também contém os desenhos técnicos para a fabricação dos moldes e os esquemas, em detalhe, dos aparatos para a realização do ensaio de tração na flexão da argamassa.

Figura 26 - Ensaio de tração na flexão da argamassa



Fonte: Próprio autor.

O valor da resistência a tração na flexão foi calculada seguindo a fórmula abaixo:

$$R_T = \frac{1,5F_T \cdot xL}{40^3}$$

R_T é a resistência a tração, em megapascals (MPa)

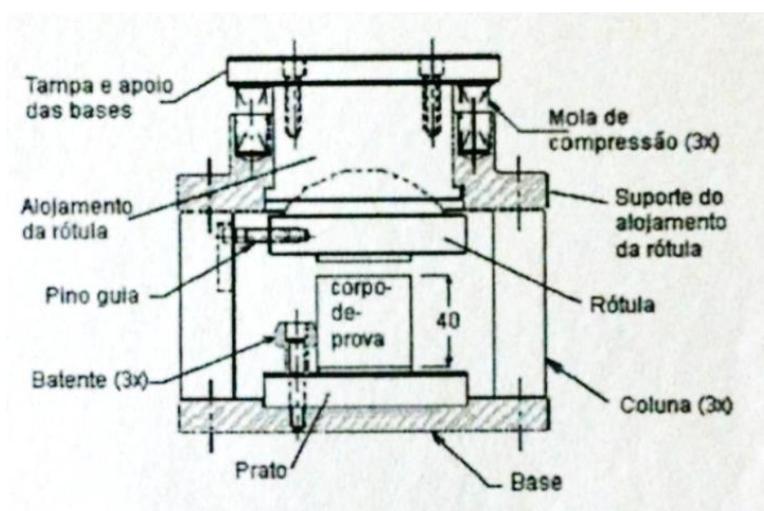
F_T é a carga aplicada verticalmente, em newtons (N)

L é a distância entre os apoios, em milímetros (mm)

3.2.7 Ensaio de compressão da argamassa

Os ensaios de compressão da argamassa também foram feitos baseando-se na NBR 13279 (ABNT, 2005). Para este ensaio foram utilizadas as metades restantes do ensaio de tração da flexão da argamassa, que foram colocadas de forma que a face rasada não ficou em contato com o dispositivo de apoio e nem com o dispositivo de carga. A Figura 27 foi retirada da norma e contém o dispositivo de carga que deve ser utilizado. A Figura 28 mostra o ensaio feito com um corpo de prova aproveitado do ensaio de tração na flexão da argamassa.

Figura 27 - Dispositivo de carga para o ensaio de compressão



Fonte: (ABNT, 2005).

Figura 28- Ensaio de compressão realizado



Fonte: Próprio autor.

A resistência à compressão da argamassa é calculada pela seguinte fórmula:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

R_c é a resistência à compressão, em megapascals (MPa);

F_c é a carga máxima aplicada em newtons (N);

1600 mm² é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga de lado igual a 40 mm.

3.2.8 Ensaio das paredes

No ensaio das paredes foi necessário movê-las sob o pórtico de reação do laboratório (NETPRE). O procedimento de preparação para o ensaio de cada parede individualmente está nos itens a seguir.

- Primeiramente apoiou-se sobre a parede uma madeira com as mesmas medidas da madeira da base;

- Em seguida aplicou-se uma força de compressão na parede utilizando 8 chapas de aço retangulares com um furo centrado em cada extremidade e barras roscadas conforme a Figura 29;
- Após a compressão da parede, movimentou-se a parede utilizando a ponte rolante do laboratório com a ajuda de duas fitas conforme a Figura 30;
- Logo em seguida utilizou-se a ponte rolante para descer a parede sobre duas empilhadeiras;
- Com o auxílio das empilhadeiras a parede foi centralizada abaixo do pórtico de reação conforme a Figura 31; e
- Utilizando as empilhadeiras, ergueu-se a parede até ser possível colocar os apoios em suas respectivas regiões, de forma a se ter um vão entre os apoios de 2,10 m.

A Figura 32 mostra a parede centralizada já apoiada e o detalhe do apoio utilizado.

Figura 29 - Esquema para aplicar a força de compressão



Fonte: Próprio autor.

Figura 30 - Movimentação das paredes



Fonte: Próprio autor

Figura 31 - Parede sendo centralizada com o auxílio de duas empilhadeiras



Fonte: Próprio autor.

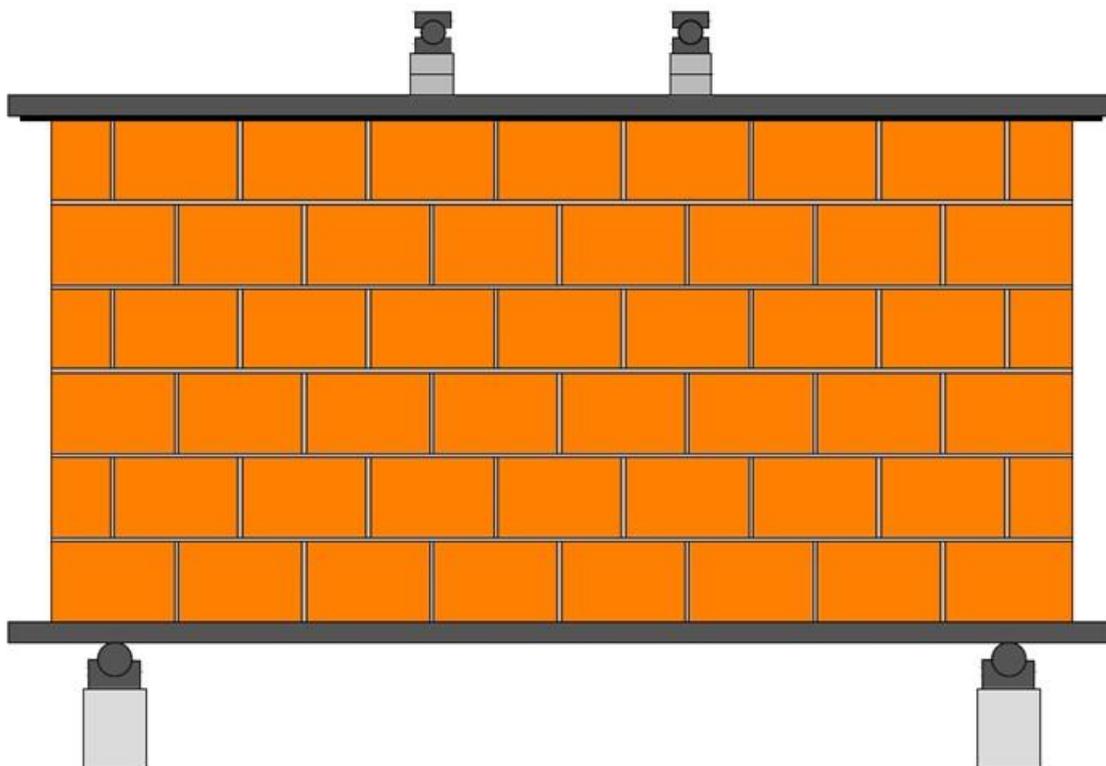
Figura 32 - Parede centralizada e apoiada sobre uma rotula



Fonte: Próprio autor

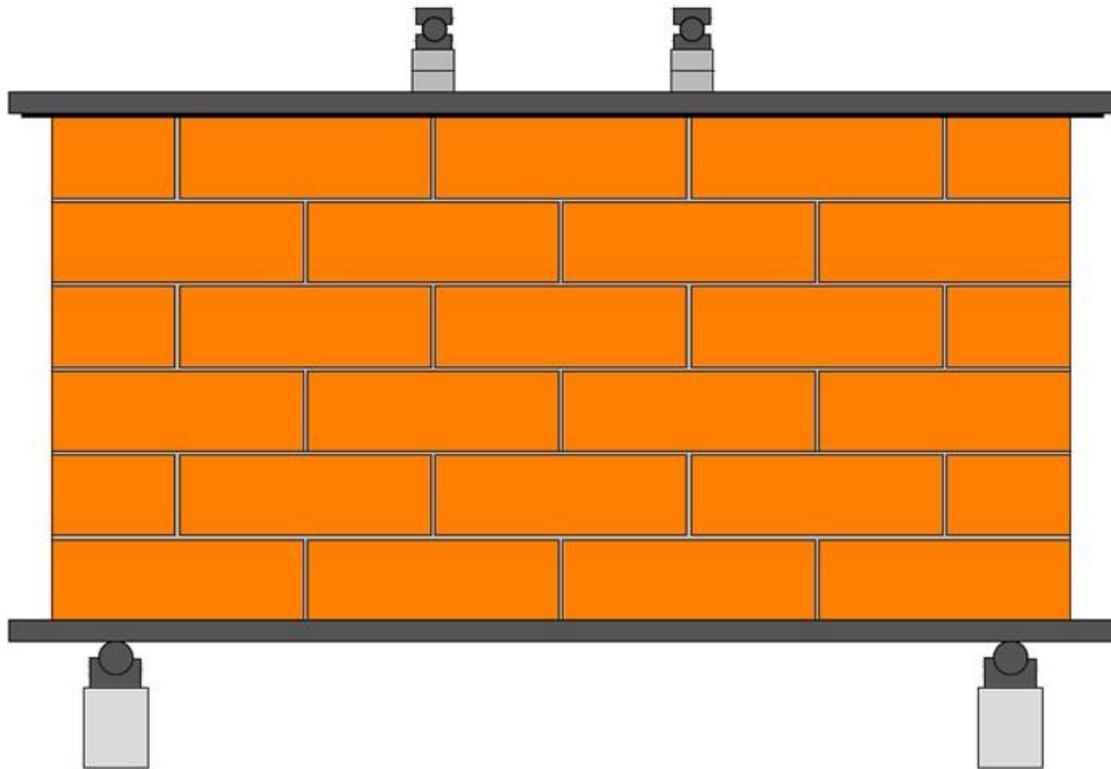
Da Figura 33 até a Figura 36 temos a representação em escala das paredes montadas prontas para ensaiar.

Figura 33 - Parede com bloco de 14x19x29cm



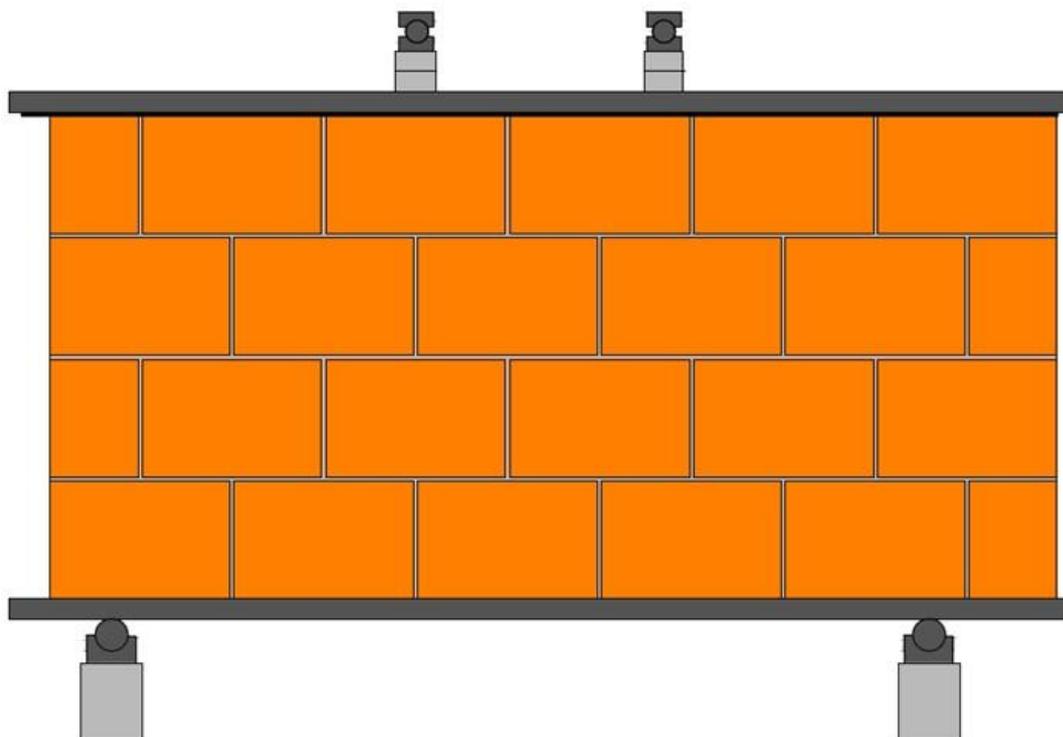
Fonte: Próprio autor.

Figura 34- Parede com bloco de 14x19x59cm



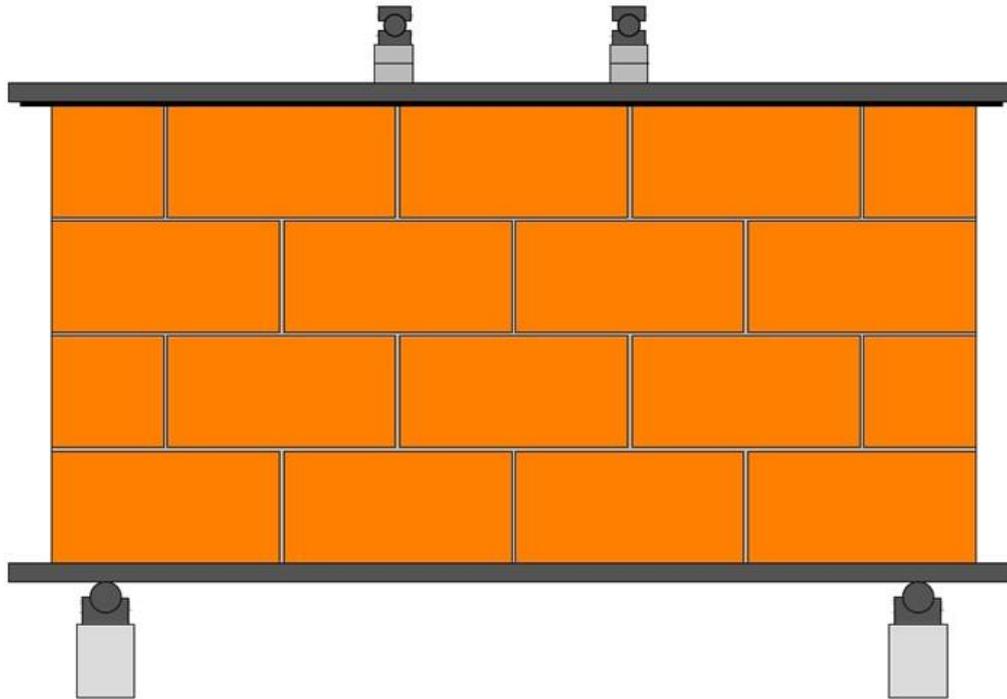
Fonte: Próprio autor

Figura 35 - Parede com bloco de 14x29x44cm



Fonte: Próprio autor

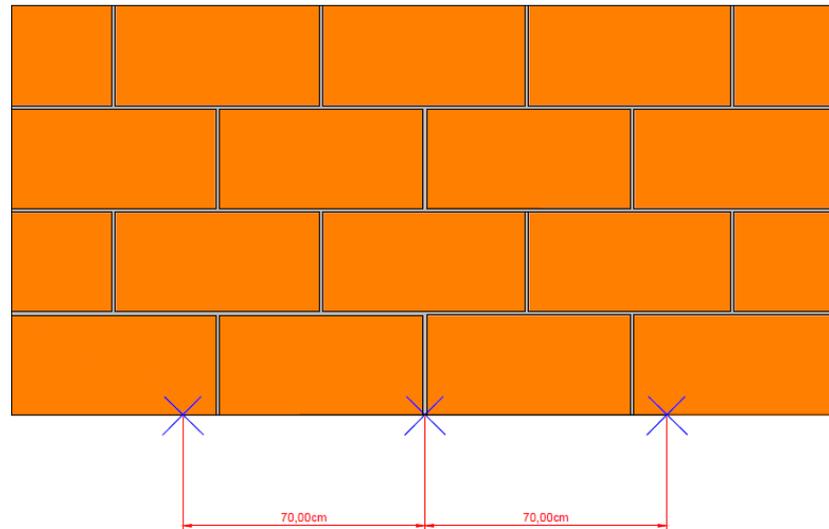
Figura 36 - Parede com bloco de 14x29x59cm



Fonte: Próprio autor.

O ensaio de cada parede após o alinhamento delas abaixo do pórtico de reação seguiu o seguinte procedimento:

- Primeiramente os cinco LVDTs foram posicionados conforme a Figura 37 e a Figura 38 (um dos lados ficou sem um LVDT em uma das pontas);
- Retirou-se as chapas de aço que exerciam força de compressão nas paredes. Foi anotado a flecha decorrente do peso próprio da parede;
- O sistema de aquisição foi zerado após a medida da flecha inicial para que se possa padronizar as medidas das flechas durante os ensaios de todas as paredes;
- Colocou-se entre a madeira superior e a parede um forro cartonado; e
- Feito isso, foram fixados os pratos da Emic e as rótulas para ajustar a altura e transmitir a carga do pistão até a parede. O esquema está representado na Figura 39 e na Figura 40.

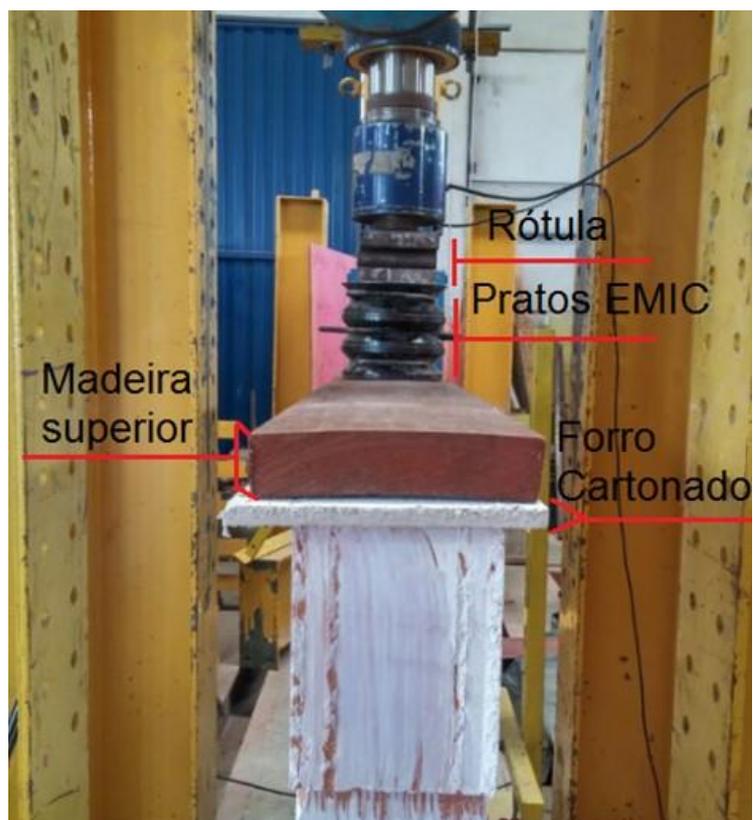
Figura 37 - Localização dos LVDTs

Fonte: Próprio autor.

Figura 38 - LVDTs sobre a base de madeira

Fonte: Próprio autor

Figura 39 - Esquema da parte superior do ensaio



Fonte: Próprio autor.

Figura 40 – Vista lateral da parte superior do ensaio



Fonte: Próprio autor.

Após essa etapa de preparação o ensaio segue da seguinte maneira:

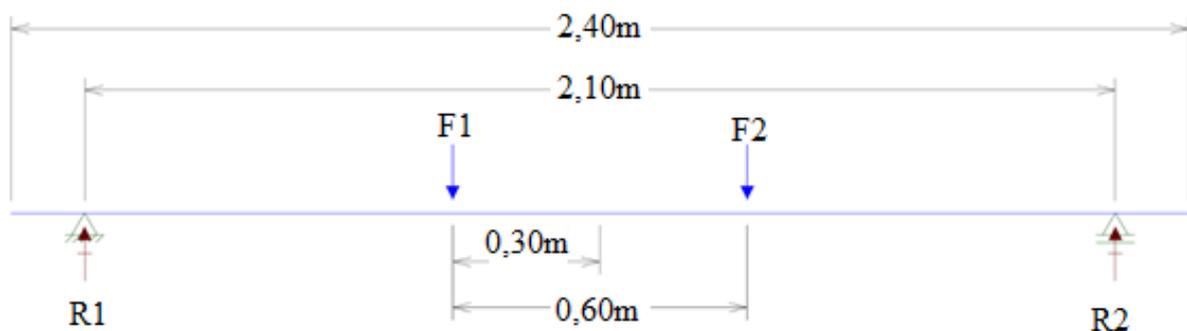
- Começou-se a colocar carga na parede até a parede marcar uma flecha de 1 mm. Chegando a essa marca parou-se de acrescentar carga ao sistema e a parede foi inspecionada. Se encontrada alguma fissura na parede, a mesma era marcada com giz;
- Voltou-se a acrescentar carga na parede até 2 mm e foi repetido o procedimento de inspeção;
- Fez-se a mesma coisa para 3 mm, 4 mm, 6 mm e 8 mm. Para a primeira parede a inspeção foi feita em 2 mm, 4 mm e 8 mm para ajustes dos demais ensaios; e
- Finalmente dos procedimentos citados foi retirada a carga da parede.

A fim de obter o momento exato da fissura, para cada ensaio foram acrescentados nos dados finais as respectivas flechas devido ao peso próprio.

3.2.9 Cálculo do Momento fletor máximo das paredes durante o ensaio

Para o cálculo do momento fletor foi utilizado como base o esquema estático da Figura 41, no qual as cotas representam exatamente as medidas utilizadas no ensaio.

Figura 41 - Esquema estático do ensaio



Fonte: Próprio autor.

Sendo F1 e F2 as forças exercidas pelos pistões e R1 e R2 as reações em cada apoio respectivamente, o cálculo do momento máximo foi feito pela seguinte fórmula:

$$-\frac{(F1+F2)}{2}x_{0,3} + \frac{(R1+R2)}{2}x_{1,05}$$

3.2.10 Linha elástica para o cálculo do deslocamento limite

Um dos principais pontos desse trabalho é avaliar o Estado Limite de Serviço das vigas paredes mediante ao deslocamento do elemento que serve de apoio para a alvenaria, para isso, é preciso avaliar os resultados e compara-los com as indicações da norma vigente. A norma em questão é a citada no objetivo do trabalho, NBR 15812-1 (ABNT, 2010) mais especificamente em seu item 10.2. Referente aos elementos estruturais que servem de apoio para a alvenaria.

Uma das verificações que ela prescreve é em relação à angulação de rotação do elemento que serve de apoio para a alvenaria e o valor dessa verificação é de 0,0017 rad. Quando a norma refere-se à rotação do elemento que serve apoio para a alvenaria quer dizer que o limite de deslocamento para o centro do vão deverá ser calculado levando-se em consideração o modo de deformação do elemento de apoio.

Existem alguns modelos que podem ser utilizados para determinar a curva de deslocamento do elemento de apoio. No caso desse trabalho, o mais importante é avaliar a diferença de desempenho das paredes executadas com blocos de diferentes geometrias, ou seja, independentemente do modelo adotado ainda sim chegaríamos aos mesmos resultados para começo de fissuração nas paredes. Outro fator importante levado em consideração foi a respeito das flechas máximas das paredes, elas foram pequenas visto que as primeiras fissuras começaram a ocorrer entre 1mm e 1,5mm nos piores casos. Levando isso o que foi dito acima a respeito do principal objetivo do trabalho e dos pequenos deslocamentos que as paredes sofreram foi escolhido o modelo mais simples possível para servir como referência nos análises. Utilizando outros modelos as variações dos limites seriam da ordem de 0,02mm não alterando as principais conclusões do trabalho. Portanto foi escolhido a seguinte equação para o cálculo da flecha limite, levando em consideração o elemento de apoio (base de madeira).

$$\frac{d^2v_{(x)}}{dx^2} = -\frac{M_z}{EI_z}$$

Sendo:

v a flecha;

M_z a equação do momento do trecho analisado;

E o módulo de elasticidade do material; e

I_z o momento de inércia da seção analisada (base de madeira).

O esquema estático adotado foi o mesmo da Figura 41. Vale destacar que em uma situação real de projeto o engenheiro responsável deve adotar o esquema estático que melhor representará o elemento que serve de apoio à alvenaria. Para não se estender desnecessariamente neste item do trabalho será apresentado um resumo do procedimento de cálculo realizado.

Desenvolvendo a equação diferencial da linha elástica utilizando como base o esquema estático adotado é possível encontrar as equações da rotação e da flecha para o elemento, em questão, em três trechos distintos, antes da primeira carga concentrada, entre as duas cargas concentradas e depois da segunda carga concentrada.

Para chegar ao resultado final da flecha será necessário utilizar a equação da rotação referente ao primeiro trecho e a equação da flecha referente ao segundo trecho. As equações utilizadas estão abaixo.

$$\beta_{1(x)} = -\frac{Px^2}{2EI_z} + \frac{PL^2}{9EI_z}$$

$$v_{2(x)} = -\frac{PLx^2}{6EI_z} + \frac{PL^2x}{6EI_z} - \frac{PL^3}{162EI_z}$$

Sendo:

$\beta_{1(x)}$ rotação em função da distância x do primeiro trecho ;

$v_{2(x)}$ flecha em função de distância x do segundo trecho;

P carga aplicada; e

L comprimento do vão.

Substituindo o valor de 0,0017 rad no lugar da rotação em função da distância x do primeiro trecho e fazendo x igual a 0 chega-se que 0,0017 rad é igual ao segundo termo da

primeira equação. Finalmente, substituindo essa igualdade na segunda equação e fazendo x igual à 1,05 m é possível chegar ao valor final de 1,14 mm para a flecha no centro do vão.

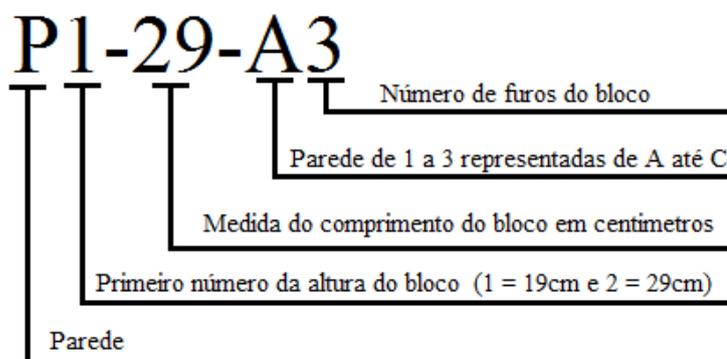
Portanto o valor que foi utilizado para fazer a verificação da norma referente à flecha do elemento estrutural que serve de apoio para a alvenaria, utilizando o valor de 0,0017 rad, é de 1,14 mm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES REFERENTES À CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1 NOMENCLATURA ADOTADA PARA AS PAREDES

Para facilitar a apresentação dos resultados, em alguns itens foram adotadas algumas nomenclaturas para as paredes. O esquema da nomenclatura está representado na Figura 42 e abaixo da figura temos a representação adotada para cada tipo de parede.

Figura 42 - Nomenclatura adotada para as paredes



Fonte: Próprio autor.

- Paredes com blocos de 14x19x29cm (P1-29-A2, P1-29-B2 e P1-29-C2)
- Paredes com blocos de 14x19x59cm/ 3 furos (P1-59-A3, P1-59-B3 e P1-59-C3)
- Paredes com blocos de 14x19x59cm/ 4 furos (P1-59-A4, P1-59-B4 e P1-59-C4)
- Paredes com blocos de 14x29x59cm (P2-59-A3, P2-59-B3 e P2-59-C3)
- Paredes com blocos de 14x29x44cm (P2-44-A3, P2-44-B3 e P2-59-C3)

4.2 Dimensional dos blocos

A Tabela 4 contém os resultados referentes ao ensaio dimensional dos blocos, nela estão os valores médios da largura, altura, comprimento, espessura das paredes externas, espessura dos septos, esquadro e planeza dos blocos analisados.

Tabela 4 – Resultados médios de largura (L), altura (H), comprimento (C), espessura das paredes externas (EPE), espessura dos septos (ES), esquadro (ESQ) e planeza (PLAN) dos cinco blocos analisados.

Blocos	L	H	C	EPE	ES	ESQ	PLAN
	-----mm-----						
140x190x290 2 furos	141,05	190,16	290,1	9,14	7,76	1,62	1,25
DP	0,24	0,74	0,55	0,08	0,12	0,49	0,41
140x190x590 3 furos	138,73	187,85	589,77	8,59	7,57	1,24	1,59
DP	0,25	1,02	0,89	0,10	0,12	0,66	0,88
140x190x590 4 furos	139,13	189,6	590,65	8,98	7,99	1,71	1,36
DP	0,3	0,55	1,15	0,14	0,10	0,56	0,62
140x290x440 3 furos	141,51	289,63	441,21	8,62	8,06	1,21	1,53
DP	0,09	1,13	0,41	0,17	0,11	0,61	0,72
140x290x590 3 furos	141,44	290,35	596,96	8,12	7,35	2,08	2,7
DP	0,26	0,98	1,01	0,08	0,09	1,06	0,87

Nota: DP: Desvio Padrão

Fonte: Próprio autor.

As considerações desse trabalho foram embasadas na norma NBR 15270-2 (ABNT, 2005) estabelece alguns critérios dimensionais para os blocos cerâmicos estruturais.

Os primeiros resultados analisados foram referentes às dimensões nominais das larguras, das alturas e dos comprimentos de cada tipo de bloco. A norma, em questão, no seu item 4.5.2 estabelece algumas dimensões de fabricação, demonstradas na Tabela 5, junto com as dimensões do único bloco utilizado na pesquisa que possui suas dimensões de fabricação normalizadas, destacado em vermelho. Esse bloco foi escolhido como referência pois ele é largamente utilizado na modulação de edifícios em alvenaria estrutural cerâmica e também por possuir o menor comprimento da família de blocos que possui 14 cm de largura.

Tabela 5 – Tabela das dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais, destaque em vermelho para as dimensões de largura, altura e comprimento do bloco usual.

Dimensões L x H x C	Dimensões de fabricação cm					
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)			
			Bloco principal	½ Bloco	Amarração (L)	Amarração (T)
(5/4)M x (5/4)M x (5/2)M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (5/2)M		19	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (3)M			29	14	26,5	41,5
(5/4)M x (2)M x (4)M			39	19	31,5	51,5
(3/2)M x (2)M x (3)M	14		19	29	14	-
(3/2)M x (2)M x (4)M			39	19	34	54
(2)M x (2)M x (3)M	19	19	29	14	34	49
(2)M x (2)M x (4)M			39	19	-	59

Bloco L – bloco para amarração em paredes em L.
Bloco T – bloco para amarração em paredes em T.

Fonte: (ABNT, 2005).

No item 5 da mesma norma são indicados as tolerâncias dimensionais para as medidas da largura, comprimento, altura, espessura das paredes externas, espessura dos septos, esquadro e planeza. Apesar de 4 dos 5 blocos utilizados na pesquisa não terem suas dimensões de fabricação normalizadas, os critérios adotados serão os estabelecidos no item citado acima.

Nesse item é estabelecido uma tolerância de 5 mm para as medidas de largura, altura e comprimento em medições individuais. Nesse quesito o único bloco que não teve um desempenho satisfatório foi o de 14x29x59 cm pois sua média no comprimento passou em mais de 5 mm da medida nominal de 590 mm.

Ainda em relação às medidas de altura, comprimento e largura existe mais um critério que é relativo à variação em torno da média das medidas, sendo essa tolerância de 3 mm. Nesse quesito todos os blocos satisfizeram a recomendação, mesmo no caso do bloco de 14x29x59 cm cujo comprimento médio foi de 597 mm.

Para a espessura dos septos e para a espessura das paredes externas a norma estabelece uma medida mínima de 7 mm e 8 mm respectivamente. Nesse quesito todos os blocos superaram as recomendações.

Na medição do desvio em relação ao esquadro e na medida da planeza é estabelecido um critério cujo valor é 3 mm. Nenhum dos blocos medidos superou esse desvio em relação à

média, porém, o maior bloco (14x29x59 cm) obteve o maior desvio em relação à medida do esquadro e da planeza chegando a 2 mm.

De forma geral os blocos apresentaram desempenho satisfatório em relação à sua fabricação. O bloco de 14x29x59 cm foi o único que não satisfaz o critério estabelecido para a medida de seu comprimento, pois por ser um bloco com dimensões muito elevadas, houve dificuldade em sua fabricação para manter seu comprimento com uma variação menor que 5 mm.

4.3 COMPRESSÃO DOS BLOCOS

A Tabela 6 contém os resultados referentes ao ensaio de compressão dos blocos, nela estão os valores da carga máxima de ruptura, a resistência à compressão (f_b), o coeficiente de variação de f_b (CV) e a resistência à compressão de cálculo (f_{bk}) dos cinco tipos de blocos.

Tabela 6 – Resultados de carga de ruptura máxima (CRM), resistência à compressão (f_b), coeficiente de variação de f_b (CV) e resistência à compressão de cálculo (f_{bk}) dos cinco blocos analisados

Blocos	CRM kN	Fb MPa	CV ⁽¹⁾ %	Fbk MPa
140x190x290	391,96	9,65 ± 1,18	12,26	7,76
140x190x590 3 furos	606,62	7,34 ± 0,78	10,63	6,33
140x190x590 4 furos	660,88	8,00 ± 0,75	9,33	6,47
140x290x440	493,81	8,02 ± 0,63	7,81	6,91
140x290x590	509,27	6,16 ± 0,77	12,42	4,54

Nota: ⁽¹⁾Coeficiente de variação relacionado a f_b

Fonte: Próprio autor.

O primeiro fator que pode-se deixar em evidência é a resistência mínima que a NBR 15270-2 exige para que se considere o bloco cerâmico como estrutural, sendo esse valor de 3 MPa. Na tabela acima está claro que, nesse quesito, não houve nenhum tipo de problema pois a menor resistência característica encontrada foi de 4,54 MPa, tornando possível a classificação de todos os blocos como estruturais.

Apesar do coeficiente da variação apontar uma variação média de 10 % pode-se perceber que o f_{bk} , em todos os casos, deu menor que o f_b médio menos o desvio padrão. Isso

indica que os blocos além de satisfazerem o requisito de bloco estrutural possuem uma margem de segurança considerável em relação a sua resistência média.

Mesmo sendo possível criar blocos estruturais cerâmicos que passam dos 25 MPa de resistência, com a resistência média encontrada nos blocos dessa pesquisa já é possível projetar edificações de até 4 andares. Essa informação se faz necessária pois atualmente a maior parte dos edifícios construídos atingem esse número de pavimentos e em muitos casos as paredes são apoiadas sobre alguma estrutura de transição como lajes e vigas de concreto armado.

4.4 COMPRESSÃO DA ARGAMASSA

A Tabela 7 contém os resultados referentes ao ensaio de compressão da argamassa, nela estão os valores da força máxima de compressão (kgf), a resistência à compressão, em MPa, e a indicação em qual parede foi utilizada de acordo com a nomenclatura adotada anteriormente.

Tabela 7 – Resultados da compressão da argamassa: força máxima da compressão e resistência à compressão para os corpos de prova referentes a cada tipo de parede.

Corpo de Prova	Força Máxima kgf	Resistência à compressão MPa	Referência
CP 1	563,17	3,45	P1-29-A2
CP 2	600,58	3,68	P1-29-B2 P1-29-C2
CP 3	637,99	3,91	P1-59-A3
CP 4	592,7	3,63	P1-59-B3 P1-59-C3
CP 5	590,73	3,62	P1-59-A4
CP 6	533,63	3,27	P1-59-B4 P1-59-B4
CP 7	508,03	3,11	P2-59-A3
CP 8	474,56	2,91	P2-59-B3 P2-59-C3
CP 9	476,52	2,92	P2-44-A3
CP 10	456,83	2,8	P2-44-B3 P2-44-B3
Média	543,47	3,33	-
Desvio padrão	62,65	0,38	-

Fonte: Próprio autor.

A primeira consideração a respeito da argamassa que pode ser feita é em relação à sua resistência. A NBR 15812-1(ABNT, 2010) estabelece que a escolha da argamassa para o

projeto de alvenaria estrutural cerâmica deve variar de 1,5 MPa até no máximo 70% da resistência característica do bloco em relação a sua área líquida. Em nenhum corpo de prova a resistência à compressão foi menor ou maior que o estipulado pela norma.

A resistência média característica dos blocos à compressão foi de 6,402 MPa e a resistência média da argamassa à compressão foi de 3,33 MPa, aproximadamente metade da resistência à compressão característica dos blocos.

Vale comentar que o limite máximo da resistência à compressão da argamassa foi estabelecido para que o módulo de elasticidade da argamassa não ficasse demasiadamente grande a ponto de prejudicar as deformações da alvenaria, ocasionando concentrações de tensões e fissuras localizadas nas paredes (BARBOSA, 2008). Como o atual trabalho pretende avaliar o Estado Limite de Serviço devido ao movimento da estrutura que serve de apoio para a parede é importante ter uma argamassa que ajude na acomodação da parede com cargas relativamente pequenas e que atenda aos requisitos mínimos da norma.

Outro ponto importante que pode ser destacado é a respeito da influência da resistência à compressão da argamassa na resistência final da alvenaria. As resistências dos blocos utilizados nessa pesquisa não são elevadas, portanto um aumento da resistência à compressão da argamassa não iria aumentar substancialmente a resistência do conjunto. Logo, a resistência à compressão da argamassa utilizada nessa pesquisa atende aos critérios de projeto da NBR 15812-1 e ao objetivo final deste trabalho.

4.5 TRAÇÃO NA FLEXÃO DA ARGAMASSA

A

Tabela 8 contém os resultados referentes ao ensaio de tração na flexão da argamassa, nela estão os valores da força máxima na flexão (kgf), da resistência à tração em MPa e a indicação em qual parede foi utilizada de acordo com a nomenclatura adotada anteriormente.

Tabela 8 – Resultados da tração na flexão da argamassa: força máxima na flexão e resistência à tração para os corpos de prova referentes a cada tipo de parede.

Corpo de Prova	Força Máxima kgf	Resistência à tração MPa	Referência
CP 1	45,09	1,05	P1-29-A2 P1-29-B2 P1-29-C2
CP 2	38,44	0,90	P1-59-A3 P1-59-B3 P1-59-C3
CP 3	50,22	1,17	P1-59-A4 P1-59-B4 P1-59-B4
CP 4	33,94	0,79	P2-59-A3 P2-59-B3 P2-59-C3
CP 5	41,90	0,98	P2-44-A3 P2-44-B3 P2-44-C3
Média	41,92	0,98	-
Desvio Padrão	8,41	0,14	-

Fonte: Próprio autor.

Visto que uma das principais preocupações em projetos em alvenaria estrutural é a resistência à compressão da alvenaria, a NBR 15812-1 não apresenta nada específico a respeito da resistência à tração da argamassa. Ela apenas faz uma recomendação sobre a tração da alvenaria como um todo, ou seja, do conjunto argamassa mais bloco cerâmico.

Essa recomendação está no item 6.3.5 e serve para a escolha do valor de tração da alvenaria em MPa. Nesse trabalho o valor adotado foi de 0,10 MPa na direção normal à fiada e de 0,2 0MPa paralelo a fiada. É importante deixar claro que essa recomendação é feita apenas para cargas horizontais e temporárias, como, por exemplo, a ação do vento.

A NBR 15812-1 não apresenta nenhuma recomendação específica para a análise da flexão simples das paredes de alvenaria estrutural sujeitas ao deslocamento da estrutura de apoio levando em consideração a resistência à tração da argamassa. Por tanto, foram adotados os valores do item 6.3.5 da norma quando houve descolamentos na interface do bloco com a argamassa e foi adotado o valor médio do ensaio de tração na flexão da argamassa quando a fissura ocorreu apenas na argamassa.

5 RESULTADOS REFERENTES AO ENSAIO DAS PAREDES

Neste item do trabalho são apresentados os resultados referentes ao ensaio das paredes por meio de uma tabela para cada parede ensaiada e um gráfico para cada tipo de parede ensaiada, totalizando 15 tabelas e 5 gráficos.

As tabelas são um resumo descritivo do ensaio de cada parede, e nelas há duas imagens referentes à flecha na qual o acréscimo de carga foi interrompido para ser feito a inspeção na parede. A flecha apresentada nas tabelas são as flechas definidas no item referente ao ensaio das paredes mais a flecha inicial devido ao peso próprio. Nas tabelas também foram colocadas algumas observações para cada inspeção.

Nos gráficos deste item, foi indicado com uma linha roxa o limite de 1,14mm calculado no item referente a linha elástica. As primeiras fissuras de cada parede estão indicadas com uma linha vertical da respectiva cor da legenda e as fissuras nos blocos estão indicadas no texto abaixo do gráfico.

Além da avaliação dos limites sugeridos pela norma, também foi avaliado o aparecimento de fissuras quando a tensão de tração das paredes passaram do valor de 0,20 MPa. Esse valor foi discutido no item anterior e foi adotado também como um limite para a avaliação das paredes.

Baseado na dimensão das paredes é possível determinar o momento fletor que ocasionará essa tensão de tração na primeira fiada, no centro do vão. O valor do momento fletor para surgir uma tensão de tração de 0,20MPa na primeira fiada é de 8 kN.m e foi encontrado utilizando a expressão a seguir.

$$\sigma = \frac{M_z}{I_z} y \rightarrow 0,020kN / cm^2 = \frac{M_z}{2016000cm^4} 50,5cm \rightarrow M_z = 7,98kN.m$$

O modelo físico acima não é o modelo mais indicado, porem como o principal objetivo do trabalho é avaliar o desempenho relativo das paredes executadas com bloco de diferentes geometrias, escolheu-se esse modelo apenas como uma referência em termos tensão. Portanto os dois limites escolhidos para avaliar o Estado Limite de Serviço das paredes foram o de 1,14 mm para a flecha no centro do vão e o momento fletor de 8 kN.m. Deve-se lembrar que em nenhum momento durante o ensaio retirou-se carga dos pistões, as regiões onde houve queda

do momento fletor foram ocasionadas pela acomodação da parede devido ao aumento das flechas.

5.1 PAREDES COM BLOCO DE 14X19X29 CM

A parede feita com este bloco foi a primeira a ser ensaiada afim de verificar todo o sistema, sendo que no primeiro ensaio o acréscimo de carga foi suspenso de maneira diferente. As paradas foram realizadas em 2 mm, 4 mm e 8 mm, porém como a carga foi acrescentada lentamente, as inspeções ocorreram a todo tempo.

A Tabela 9 contém os valores das flechas iniciais devido ao peso próprio da parede e a Tabela 10 apresenta o resumo do ensaio feito na parede P1-29-A2.

Tabela 9 - Flecha inicial (P1-29-A2)

	Medida 1	Medida 2	Média
Flecha inicial	0,64 mm	0,22 mm	0,43 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 10 - Resumo do ensaio da parede P1-29-A2

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
2,43			(AZUL) Descolamento da junta 1ª fiada bloco/madeira. Pequenas fissuras na interface argamassa/bloco buscando os apoios.

4,43



(VERDE)
Carga
aproximada
21kN
Continua
abrindo fissuras
na interface
argamassa/bloco

8,43



(LARANJA)
Carga
aproximada
26kN
Fissurou o
bloco em
7,58mm de
flecha

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 11 apresenta a flecha inicial devido ao peso próprio da parede P1-29-B2 e a Tabela 12 apresenta o resumo do ensaio da mesma.

Tabela 11 - Flecha inicial (P1-29-B2)

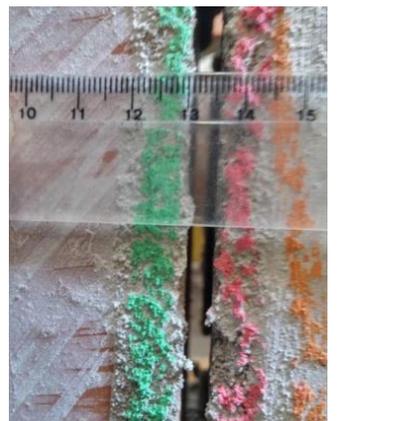
	Medida 1	Medida 2	Média
Flecha inicial	0,03 mm	0,03 mm	0,03 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 12 - Resumo do ensaio da parede P1-29-B2

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação

1,03			<p>(AZUL) Carga aproximada 15kN Começo de fissura na horizontal 1ª e 4ª fiada na região central. Interface Argamassa/Bloco</p>
2,03			<p>(VERDE) Carga aproximada 33kN Fissura contínua na diagonal, no centro da parede.</p>
3,03			<p>(LARANJA) Carga aproximada 28kN Fissura com abertura aproximada de 0,8mm no centro da parede. Trinca do bloco.</p>
4,03			<p>(VERMELHO) Carga aproximada 28,4kN Aumento das fissuras na horizontal e vertical, no centro, buscando apoio. Trinca do bloco</p>

6,03			<p>(AMARELO) Carga aproximada 19kN Fissura na horizontal e vertical, no centro, buscando apoio. Abertura considerável de todas as trincas, possível ver do outro lado.</p>
8,03			<p>Carga aproximada 32kN Fissura na horizontal e vertical, no centro, buscando apoio.</p>

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 13 apresenta a flecha inicial devido ao peso próprio da parede P1-29-C2 e a Tabela 14 apresenta o resumo da mesma.

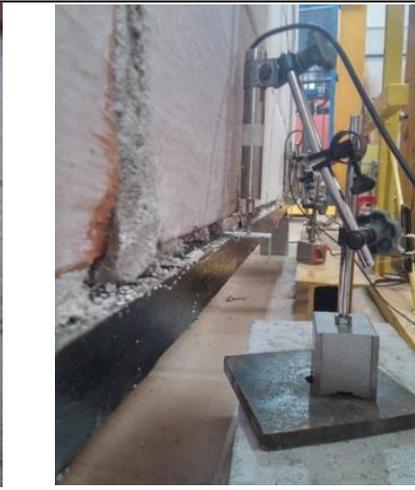
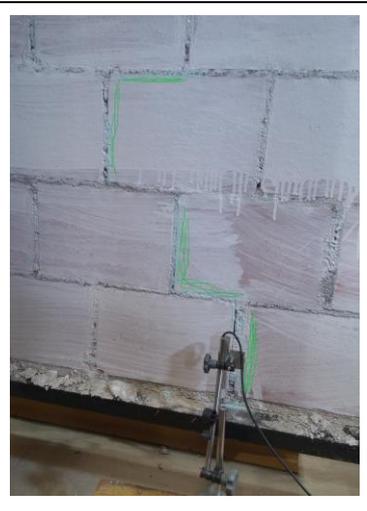
Tabela 13 - Flecha inicial (P1-29-C2)

	Medida 1	Medida 2	Média
Flecha inicial	0,16 mm	0,26 mm	0,21 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 14 - Resumo do ensaio da parede P1-29-C2

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação

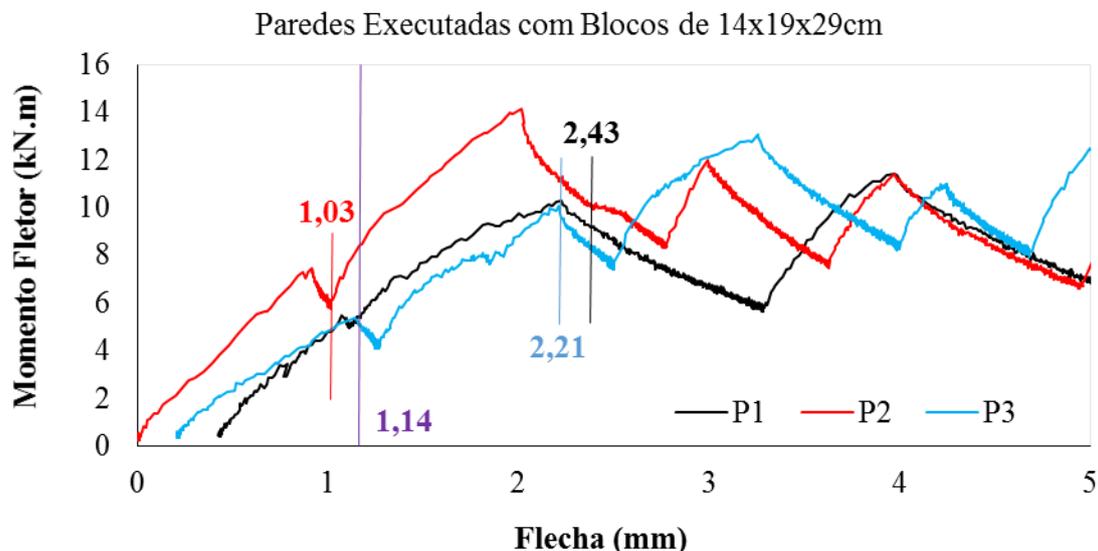
1,21			<p>(AZUL) Carga aproximada 12kN Nenhuma fissura visível.</p>
2,21			<p>(VERDE) Carga aproximada 23kN Primeiras fissuras na horizontal e vertical. Interface argamassa/bloco</p>
3,21			<p>(LARANJA) Carga aproximada 32kN Fissura contínua na diagonal.</p>



Fonte: Próprio autor.

A Figura 43 representa o gráfico das paredes executadas com os blocos de 14x19x29cm.

Figura 43 - Ensaio das paredes executadas com blocos de 14x19x29 cm, sendo a P1, P2 e P3 as paredes P1-29-A2, P1-29-B2 e P1-29-C2



Fonte: Próprio autor.

Duas das três paredes feitas com o bloco de 14 x 19 x 29 cm passaram na verificação estabelecida pela NBR 15812-1, já que as primeiras fissuras na P1 (P1-29-A2) e na P3 (P1-29-C2) começaram a ocorrer depois do limite de 1,14 mm de flecha. A parede P2 apresentou a primeira fissura com 1,03 mm, 0,11 mm antes do limite. As primeiras fissuras encontradas para as três paredes foram sempre na interface entre a argamassa e o bloco. A parede P1 (P1-29-A2) apresentou a primeira fissura no bloco em uma flecha de 7,43 mm, a parede P2 (P1-29-B2) em uma flecha de 3 mm e na P3 (P1-29-C2) não houve fissuração em nenhum bloco.

5.2 PAREDES COM BLOCO DE 14X19X59CM (TRÊS FUROS)

A Tabela 15 contém os valores das flechas iniciais devido ao peso próprio da parede e a Tabela 16 apresenta o resumo do ensaio para cada inspeção feita na parede P1-59-A3.

Tabela 15 - Flecha inicial (P1-59-A3)

	Medida 1	Medida 2	Média
Flecha inicial	0,50 mm	0,07 mm	0,28 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 16 - Resumo do ensaio da parede P1-59-A3

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
1,28			Parede moldada fora de prumo. Aproximadamente 14kN Nenhuma fissura visível.
2,28			(VERDE) Aproximadamente 29kN Primeiras fissuras na 1ª fiada na argamassa da junta central na vertical.
3,28			(LARANJA) Aproximadamente 43kN. Início de várias fissuras e abertura das fissuras existentes.

4,28			<p>(VERMELHO) Aproximadamen te 52kN Abertura maior, novas fissuras e trinca do bloco.</p>
6,28			<p>(AZUL) Aproximadamen te 43kN Abertura aumentou de forma considerável, trincou outros blocos, buscou apoio.</p>
8,28			<p>(PRETO) Aproximadamen te 28kN Abertura aumentou de forma considerável.</p>

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 17 apresenta a flecha inicial devido ao peso próprio da parede P1-59-B3 e a Tabela 18 apresenta o resumo do ensaio da mesma.

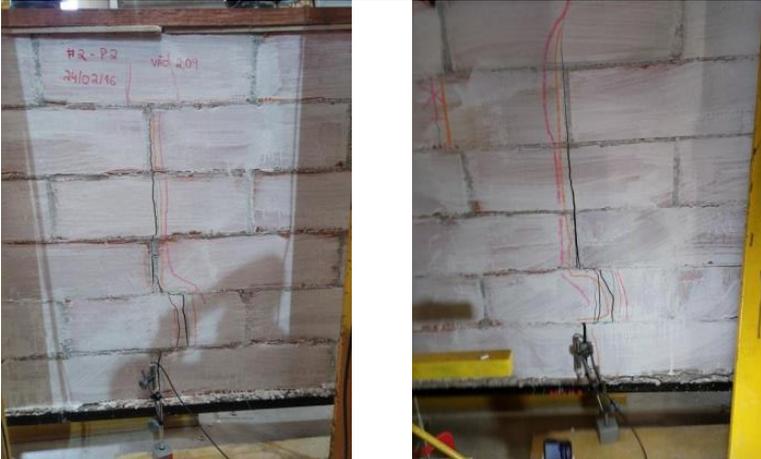
Tabela 17 - Flecha inicial (P1-59-B3)

	Medida 1	Medida 2	Média
Flecha inicial	0,01 mm	0,05 mm	0,03 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 18 - Resumo do ensaio da parede P1-59-B3

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
1,03			(AZUL) Aproximadamente 33kN. Um dos blocos já possuía uma pequena fissura, que aumentou um pouco na flecha de 1mm.
2,03			(VERDE) Aproximadamente 52kN Trinca bloco do centro 2ª e 4ª fiada e junta de argamassa.
3,03			(LARANJA) Abertura considerável das fissuras existentes.

4,03		<p>(VERMELHO) Aproximadamente 54kN Abertura bem maior e de tamanho considerável.</p>
------	--	--

Fonte: Próprio autor.

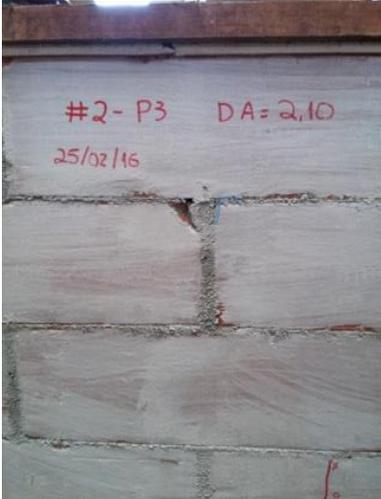
A Tabela 19 apresenta a flecha inicial devido ao peso próprio da parede P1-59-C3 e a Tabela 20 apresenta o resumo do ensaio da mesma.

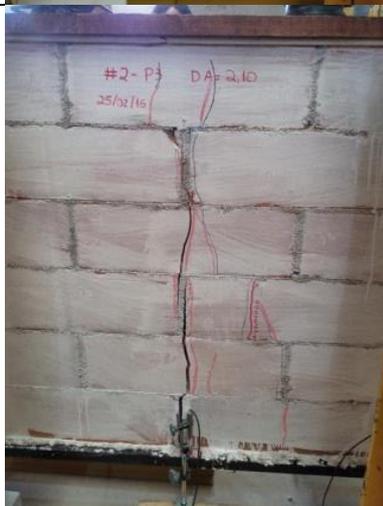
Tabela 19 - Flecha inicial (P1-59-C3)

Flecha inicial	Medida 1	Medida 2	Média
	0,20 mm	0,06 mm	0,13 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 20 - Resumo do ensaio da parede P1-59-C3

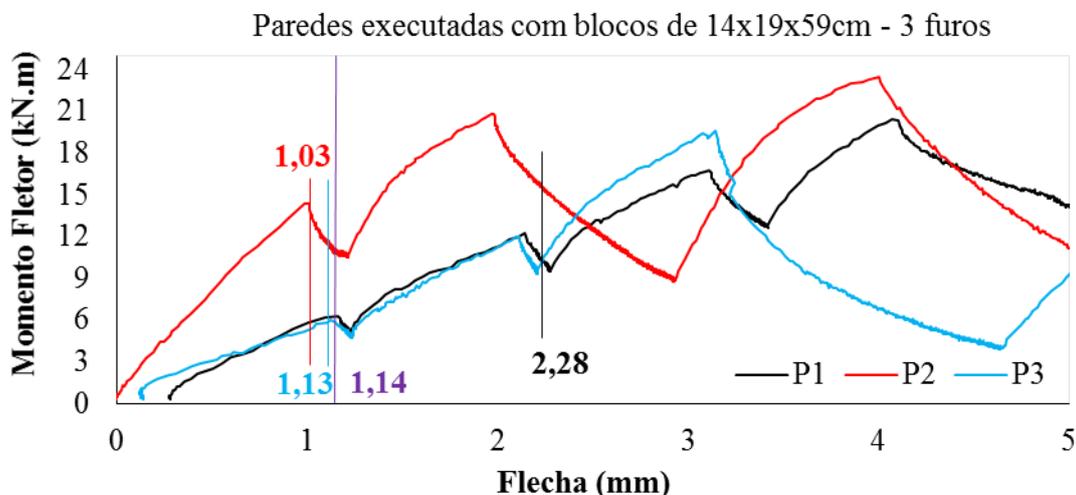
Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
1,13			<p>(AZUL) Aproximadamente 14kN Começo de fissuração na 1ª fiada de cima para baixo no centro e 2ª fiada do outro lado trinca buscando o apoio, onde a parede possuía uma falha na argamassa Interface Argamassa/bloco</p>

2,13			<p>(VERDE) Aproximadamente 28kN Abertura de novas fissuras e aumento das existentes.</p>
3,13			<p>(VERMELHO) Aproximadamente 34kN Começou a deformar de forma constante, abrindo de fora a fora no centro da parede com aberturas consideráveis.</p>
4,13			<p>(PRETO) Aproximadamente 36kN Continuou abrindo as fissuras chegando a aproximadamente 1 cm.</p>

Fonte: Próprio autor.

A Figura 44 representa o gráfico das paredes executadas com os blocos de 14x19x99cm com três furações principais.

Figura 44 - Ensaio das paredes executadas com blocos de 14x19x59 cm, sendo a P1, P2 e P3 as paredes P1-59-A3, P1-59-B3 e P1-59-C3



Fonte: Próprio autor.

Duas das três paredes executadas com os blocos de 14 x 19 x 59 cm, com 3 furações maiores, não passaram na verificação estabelecida pela NBR 15812-1. As paredes P1 (P1-59-A3) e P3 (P1-59-C3) começaram a fissurar na interface entre a argamassa e o bloco um pouco antes do limite de 1,14mm. A parede P1 (P1-59-A3) apresentou a primeira fissura em 2,28 mm, 1 mm acima do limite. A parede P1 (P1-59-A3) apresentou a primeira fissura no bloco com 4mm de flecha, a P2 (P1-59-B3) com 2 mm e a P3 (P1-59-C3) com 3mm.

5.3 PAREDES COM BLOCO DE 14X19X59CM (QUATRO FUROS)

A Tabela 21 contém os valores das flechas iniciais devido ao peso próprio da parede e a Tabela 22 apresenta o resumo do ensaio para cada inspeção feita na parede P1-59-A4.

Tabela 21 - Flecha inicial (P1-59-A4)

Flecha inicial	Medida 1	Medida 2	Média
	0,20 mm	0,13 mm	0,17 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 22 - Resumo do ensaio da parede P1-59-A4

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
1,17			(AZUL) Aproximadamente 20kN Soltou argamassa da madeira. Assim como todas e uma pequena fissura na primeira fiada no centro da parede.
2,17			(VERDE) Aproximadamente 43kN Fissura argamassa central na 1ª fiada de baixo
3,17			(LARANJA) Aproximadamente 44kN Abertura das trincas existentes, inclusive a trinca do bloco.

4,17



Detalhe das
aberturas na
argamassa e no
bloco em 4mm

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 23 apresenta a flecha inicial devido ao peso próprio da parede P1-59-B4 e a Tabela 24 apresenta o resumo do ensaio da mesma.

Tabela 23 - Flecha inicial (P1-59-B4)

Flecha inicial	Medida 1	Medida 2	Média
	1,97 mm	2,15 mm	2,06 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 24 - Resumo do ensaio de flexão simples para a parede P1-59-B4

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
3,06			<p>(AZUL) Aproximadamente 15kN Soltou argamassa da madeira, assim como todas e uma pequena fissura na primeira fiada de cima no centro da parede.</p>

4,06			<p>(VERDE) Aproximadamente 37kN Abertura junta argamassa central na 1ª fiada de baixo.</p>
5,06			<p>(LARANJA) Aproximadamente 52kN Abertura das trincas existentes, trincou bloco e abriu outras fissuras.</p>
6,06			<p>(VERMELHO) Enquanto se verificava as trincas, as fissuras foram se abrindo rapidamente.</p>



Fonte: Próprio autor.

A Tabela 25 apresenta a flecha inicial devido ao peso próprio da parede P1-59-C4 e a Tabela 26 apresenta o resumo do ensaio da mesma.

Tabela 25 - Flecha inicial (P1-59-C4)

Flecha inicial	Medida 1	Medida 2	Média
	0,13 mm	0,07 mm	0,10 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 26 - Resumo do ensaio da parede P1-59-C4

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
1,10			<p>(AZUL) Aproximadamente 33kN Descolamento da argamassa da madeira e abriu fissura na argamassa verticalmente no centro</p>

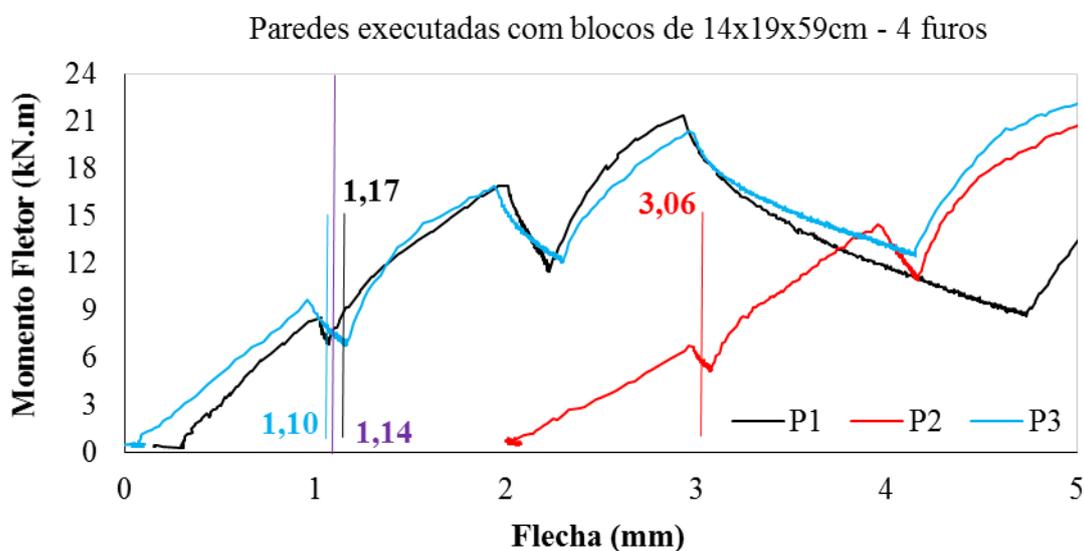
2,10			<p>(VERDE) Aproximadamente 43kN Abertura de pequenas fissuras.</p>
3,10			<p>(VERMELHO) Abertura de várias fissuras na junta de argamassa.</p>
4,10			<p>(AMARELO) Aproximadamente 50kN Abertura bem maior e de tamanho considerável, trinca de vários blocos, buscando o apoio.</p>



Fonte: Próprio autor.

A Figura 45 representa o gráfico das paredes executadas com os blocos de 14x19x59cm com 4 furações principais.

Figura 45 - Ensaio das paredes executadas com blocos de 14x19x59 cm, sendo a P1, P2 e P3 as paredes P1-59-A4, P1-59-B4 e P1-59-C4



Fonte: Próprio autor.

As paredes feitas com os blocos de 14 x 19 x 59 cm com 4 furações maiores apresentaram desempenho parecido com as paredes representadas no Gráfico 2, duas paredes começaram a fissurar próximo ao limite estabelecido pela NBR 15812-1. A parede P2 apresentou uma flecha inicial devido ao peso próprio de 2 mm e a primeira fissura ocorreu logo após o primeiro acréscimo de carga em uma flecha de 3,06 mm, 1,92 mm acima do limite.

5.4 PAREDES COM BLOCO DE 14X29X59CM

A Tabela 27 contém os valores das flechas iniciais devido ao peso próprio da parede e a Tabela 28 apresenta o resumo do ensaio para cada inspeção feita na parede P2-59-A3.

Tabela 27 - Flecha inicial (P2-59-A3)

Flecha inicial	Medida 1	Medida 2	Média
	0,60mm	1,13mm	0,87mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 28 - Resumo do ensaio da parede P2-59-A3

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
1,87			(Azul/preto) Algumas fissuras nas regiões da argamassa. O preto indica fissuras que ocorreram durante a montagem das paredes.
2,87			(Verde) Aumento das fissuras nas regiões da argamassa

3,87



(Laranja)
Sem fissuras no
blocos, apenas
aumento das
existentes

4,87



(Rosa)
Aparecimento
de **fissuras no**
bloco onde
havam fissuras
pré-existentes

6,87



(Amarelo)
Aumento das
fissuras

8,87



Fotos gerais no final do ensaio

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 29 apresenta a flecha inicial devido ao peso próprio da parede P2-59-B3 e a Tabela 30 apresenta o resumo do ensaio da mesma.

Tabela 29 - Flecha inicial (P2-59-B3)

Flecha inicial	Medida 1	Medida 2	Média
	0,21 mm	0,31 mm	0,26 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 30 - Resumo do ensaio da parede P2-59-B3

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
1,26			(Azul) Pequenos descolamentos na região da argamassa

2,26			(Verde) Pequenos aumentos de fissura e aparecimento em outras regiões da argamassa
3,26			(Laranja) Começo de aberturas maiores
4,26			(Vermelho) Grande abertura na região central. Trinca no bloco.

6,26			(Amarelo) Aberturas ainda maiores
8,26			Regiões com grandes aberturas

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 31 apresenta a flecha inicial devido ao peso próprio da parede P2-59-C3 e a Tabela 32 apresenta o resumo do ensaio da mesma.

Tabela 31 - Flecha inicial (P2-59-C3)

Flecha inicial	Medida 1	Medida 2	Média
	0,45 mm	0,61 mm	0,53 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 32 - Resumo do ensaio da parede P2-59-C3

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação

1,53



Falha na
montagem da
parede
(Azul)
Pequenas
fissuras nas
regiões da
argamassa

2,53



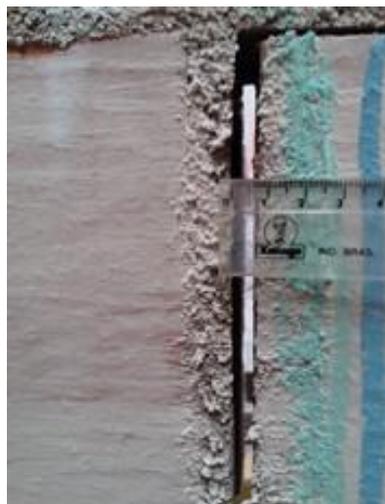
(Verde)
Fissuras
caminham nas
regiões centrais
da parede

3,53



(Vermelho)
Maior abertura
nas fissuras nos
blocos

4,53



(Rosa)
Aumento das
fissuras.
Segunda fiada

6,53

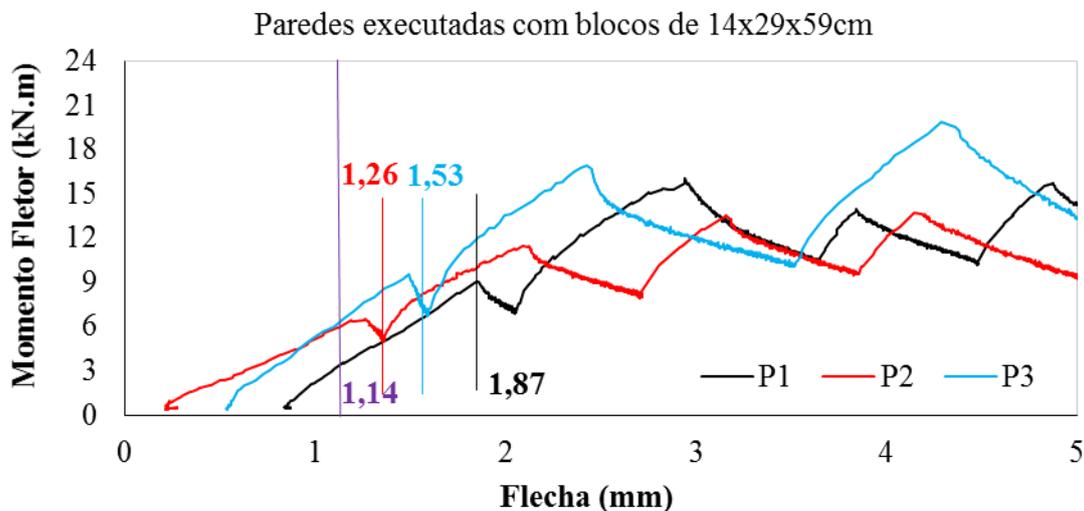


(Vermelho
caneta)
Fissuras
chegam a quase
1 cm

Fonte: Próprio autor.

A Figura 46 representa o gráfico das paredes executadas com os blocos de 14x29x59cm com 4 furações principais.

Figura 46 - Ensaio das paredes executadas com blocos de 14x29x59 cm, sendo a P1, P2 e P3 as paredes P2-59-A3, P2-59-B3 e P2-59-C3



Fonte: Próprio autor.

As paredes representadas no Gráfico 4 são as executadas com as maiores unidades de blocos cerâmicos, 14 x 29 x 59 cm. Todas passaram na verificação estabelecida pela NBR 15812-1. A parede P2 foi a que apresentou a primeira fissura, na interface da argamassa com o bloco, mais próxima ao limite, 0,12 mm de diferença.

Os blocos das três paredes começaram a apresentar algumas falhas durante a sua montagem e transporte, possivelmente ocasionadas pelo tamanho elevado do bloco, visto que a espessura dos septos de todos os tipos de blocos ficaram na faixa de 8 mm. As falhas e surgimento de novas fissuras nos blocos começaram a ocorrer em média, com uma flecha de 4 mm.

5.5 PAREDES COM BLOCO DE 14X29X44CM

A Tabela 33 contém os valores das flechas iniciais devido ao peso próprio da parede e a Tabela 34 apresenta o resumo do ensaio para cada inspeção feita na parede P2-44-A3.

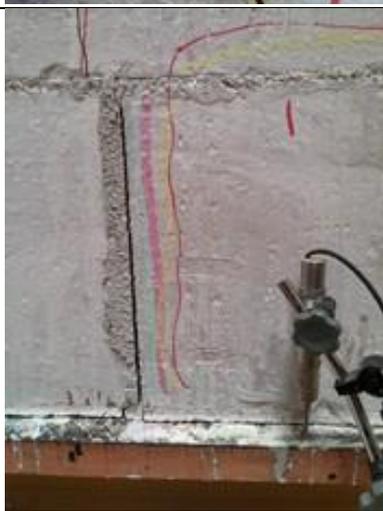
Tabela 33 - Flecha inicial (P2-44-A3)

Flecha inicial	Medida 1	Medida 2	Média
	0,13 mm	0,36 mm	0,24 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 34 - Resumo do ensaio da parede P2-44-A3

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
1,24			(Azul) Sem fissuras. Descolamento da argamassa da madeira Carga aproximada 6,5kN
2,24			(Verde) Pequena fissura central na primeira fiada Carga aproximada 13,5kN
3,24			(Rosa) Abertura da fissura central Carga aproximada 18,0kN

4,24			<p>(Amarelo) Fissura sobe pela argamassa para a segunda fiada e trinca o bloco Carga aproximada 21,0kN</p>
6,24			<p>(Caneta vermelha) Fissuras continuam abrindo Carga aproximada 30,0kN</p>
8,24			<p>(Caneta azul) Trincas grandes se formam Carga aproximada 27,5kN</p>

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 35 apresenta a flecha inicial devido ao peso próprio da parede P2-44-B3 e a Tabela 36 apresenta o resumo do ensaio de flexão simples da mesma.

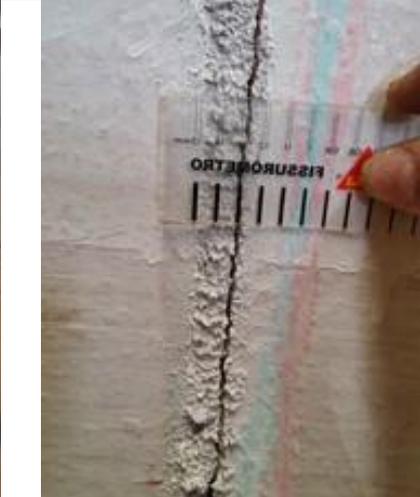
Tabela 35 - Flecha inicial (P2-44-B3)

Flecha inicial	Medida 1	Medida 2	Média
	1,42 mm	1,62 mm	1,52 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 36 - Resumo do ensaio de flexão simples para a parede P2-44-B3

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
2,52			(Azul) Fissura no centro na argamassa Carga aproximada 8,0kN
3,52			(Verde) Aumento das fissuras e caminhamento das mesmas pelas juntas Carga aproximada 12,0kN

4,52			<p>(Rosa) Trinca no bloco e abertura das fissuras Carga aproximada 14,0kN</p>
5,52			<p>(Caneta azul) Abertura das trinças Carga aproximada 20,0kN</p>
7,52			<p>(Amarelo) Aparecimento de novas trinças Carga aproximada 25,0kN</p>



Fonte: Próprio autor.

Esta parede passou na verificação do critério referente à flecha de 1,14 mm mas não passou na verificação do critério referente à tensão 0,20 MPa. A primeira fissura encontrada foi quando a parede apresentou uma flecha de 2,52 mm e um momento fletor abaixo de 8 kN.m em uma região de acréscimo de carga.

A Tabela 37 apresenta a flecha inicial devido ao peso próprio da parede P2-44-C3 e a Tabela 38 apresenta o resumo do ensaio de flexão simples da mesma.

Tabela 37 - Flecha inicial (P2-44-C3)

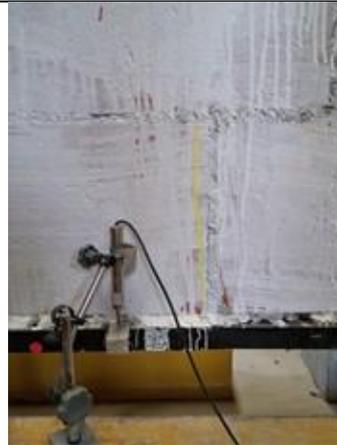
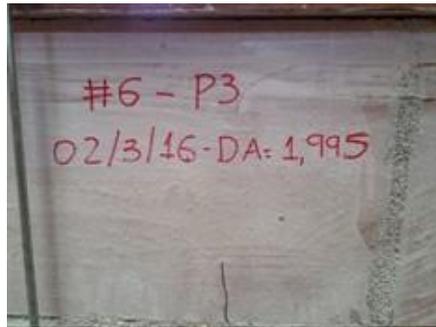
Flecha inicial	Medida 1	Medida 2	Média
	0,66 mm	0,66 mm	0,66 mm

Fonte: Próprio autor.

Tabela 38 - Resumo do ensaio de flexão simples para a parede P2-44-C3

Flecha (mm)	Foto 1	Foto 2	Observação
-------------	--------	--------	------------

1,66



(Amarelo)
Pequena fissura
central na junta
de argamassa
Carga
aproximada
6,5kN

2,66



(Verde)
Fissuras
começam a
caminhar nas
juntas das
argamassas na
região central
Carga
aproximada
12,0kN

3,66



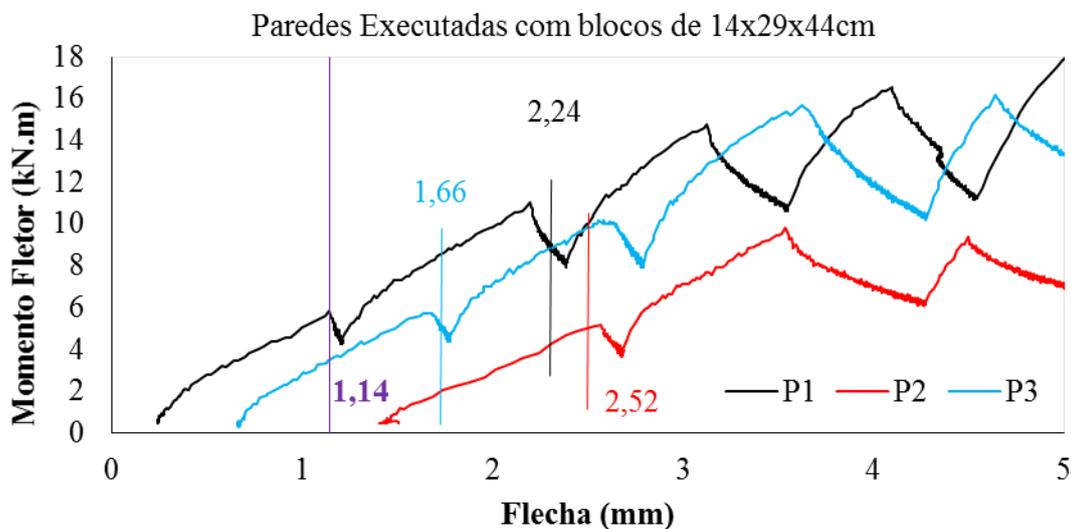
(Rosa)
Abertura das
existentes e
novas buscando
o apoio.
Carga
aproximada
19,5kN

4,66			<p>(Azul) Fissuras aumentam na região do apoio. Primeira fissura no bloco Carga aproximada 20,0kN</p>
6,66			<p>(Caneta vermelha) Trincas no bloco na primeira fiada Carga aproximada 23,0kN</p>
8,66			<p>Foto geral Carga aproximada 24,0kN</p>

Fonte: Próprio autor.

A Figura 47 representa o gráfico das paredes executadas com os blocos de 14x29x59cm com 4 furações principais.

Figura 47 - Ensaio das paredes executadas com blocos de 14x29x44 cm, sendo a P1, P2 e P3 as paredes P2-44-A3, P2-44-B3 e P2-59-C3



Fonte: Próprio autor.

As paredes que apresentaram melhor desempenho e ductibilidade foram as executadas com os blocos de 14 x 29 x 44 cm representadas pelo Gráfico 5. Todas as paredes passaram na verificação, a parede P3 apresentou a primeira fissura com 1,66 mm na interface da argamassa com o bloco, 0,52 mm depois do limite estabelecido. A parede P2 teve uma flecha inicial em torno de 1,4 mm e a primeira fissura encontrada foi com 2,52 mm. Nas três paredes começaram a surgir fissuras nos blocos em torno de 4,3 mm de flecha.

Nos quinze ensaios realizados pode-se observar que as primeiras fissuras sempre ocorreram na interface da argamassa com o bloco, sendo inicialmente fissuras que não comprometem o desempenho estrutural da parede. A região de aparecimento das primeiras fissuras foram parecidas em todas as paredes, primeira fiada no centro do vão. Pôde-se observar pequenas fissuras entre a base de madeira e a parede, mesmo todas paredes acompanhando a curvatura da madeira.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Durante o trabalho foi comentado o que a norma NBR 15812-1 considera a respeito dos elementos que servem de apoio para a alvenaria estrutural cerâmica. O único critério que adota é a verificação dos deslocamentos limites para esses elementos, ou seja, o Estado Limite de Serviço das paredes são verificados levando em consideração os valores limites de flecha estabelecidos para os elementos de apoio. Portanto, as primeiras conclusões e recomendações foram feitas levando em conta apenas o que a norma propõe. É importante lembrar também que as conclusões e recomendações feitas aqui foram referentes ao esquema estático adotado nos ensaios, sendo que o valor do menor limite encontrado foi utilizando a equação diferencial da linha elástica.

As paredes executadas com blocos de 14x19x29 cm são amplamente utilizadas para a modulação nos projetos de alvenaria estrutural cerâmica. Das paredes executadas, foram as que apresentaram menor rigidez à flexão, sendo necessário menos carga para chegar às flechas estipuladas neste trabalho. Isso pode ser explicado pela quantidade elevada de argamassa por metro quadrado de parede e pelo menor comprimento do bloco, se for comparado essas características com os outros tipos de paredes executadas. A argamassa apresenta um módulo de elasticidade baixo em relação ao módulo de elasticidade do bloco, portanto quanto mais argamassa no elemento maior será a sua ductibilidade.

A respeito das verificações estabelecidas pela norma, duas das paredes passaram e uma não, sendo a parede que não passou a P1-29-B2. As primeiras fissuras começaram a ocorrer com 1 mm de flecha, antes do 1,14 mm estipulado pela norma para este caso. Apesar de serem fissuras pequenas apresentaram aberturas consideráveis durante o acréscimo de carga entre 1 e 2mm. Para as paredes executadas com blocos de 14x19x29 cm é possível dizer, que mesmo seguindo as recomendações estabelecidas pela norma, é possível que haja começo de fissuração antes do desejado.

Não houve diferenças consideráveis de comportamento entre as paredes feitas com os blocos de 14x19x59 cm com 3 e 4 furações maiores, indicando que as furações internas pouco influenciam na ductibilidade da parede, desde que sejam respeitados os limites dimensionais estabelecidos pela NBR 15270-2. Por essa razão, a avaliação feita levou em consideração as 6 paredes executadas com estes tipos de blocos. Essas paredes apresentaram a maior rigidez à flexão dentre todas as feitas nesse trabalho, explicada

principalmente pela geometria do bloco, pois não é o tipo de parede que apresenta maior quantidade de argamassa de assentamento por metro quadrado.

Dividindo a altura do bloco pelo comprimento chega-se a uma relação de 0,32, a menor relação de altura por comprimento entre todos os tipos de blocos estudados. Em relação à verificação estabelecida pela norma de 1,14mm de flecha as paredes com blocos de 14x19x59cm com 3 e 4 furações maiores foram as que apresentaram pior ductibilidade, sendo que 4 das 6 paredes não passaram na verificação. Levando em consideração os resultados aqui apresentados é possível dizer que este é o bloco menos indicado para a execução de paredes sobre outro elemento estrutural mesmo respeitando os limites de deslocamentos propostos pela NBR 15812-1.

As paredes executadas com os blocos de 14x29x59cm apresentaram algumas falhas devido à dificuldade de assentamento ocasionada pelo seu tamanho e conseqüentemente seu maior peso. Mesmo com essas falhas e com um comprimento de 59cm (maior comprimento utilizado na pesquisa), o bloco apresentou um desempenho relativamente bom. As 3 paredes passaram na verificação dos deslocamentos limites estabelecidos pela norma, porém a parede P2-59-B3 começou a apresentar fissuras em um valor de flecha muito próximo ao valor limite. Em relação à rigidez à flexão, as cargas máximas aplicadas ficaram entre os valores das paredes executadas com os blocos de 14x19x29cm e as de 14x19x59cm. Comparando as paredes feitas com os blocos de 14x19x29cm e com os blocos de 14x29x59cm é possível dizer que as primeiras possuem melhor ductibilidade em relação ao aparecimento de fissuras nos blocos. Esta é uma informação relevante pois o principal componente da alvenaria é o bloco.

Analisando os resultados das paredes feitas com os blocos de 14x29x44cm cuja relação entre altura e comprimento do bloco é de 0,65 é possível dizer que em relação ao limite de deslocamento estabelecido pela norma as três paredes passaram com no mínimo uma diferença de 0,5mm na flecha. Em comparação com as outras paredes ensaiadas, as feitas com este bloco foram as que tiveram o melhor desempenho quanto ao aparecimento das fissuras. Porém, em relação ao aparecimento de fissuras nos blocos, as paredes feitas com os blocos de 14x19x29cm tiveram um desempenho melhor.

Para finalizar, considerando as geometrias dos blocos e os limites de deslocamentos estabelecidos pela NBR 15812-1, é possível colocar os blocos em ordem crescente de desempenho pela relação entre altura e comprimento. O pior desempenho foi para a relação de 0,32 (14 x 19 x 29 cm), seguido da relação de 0,49 (14 x 29 x 59 cm) devido a falhas nos blocos e pôr fim a melhor relação para os blocos foi a de 0,65 (14 x

29 x 44 cm). As paredes feitas com o bloco de 14 x 19 x 29 cm apresentaram bom desempenho quanto ao aparecimento de fissuras nos blocos, porém uma das paredes fissurou antes do menor limite estabelecido.

Utilizando o limite de 8 kN.m de momento fletor para que haja uma tensão de 0,20 MPa na região central da primeira fiada para as paredes é possível fazer algumas considerações. Apenas considerando o momento fletor de 8 kN.m, nove das quinze paredes ensaiadas iriam passar na verificação. Considerando o limite que está mais a favor da segurança para todas as paredes, apenas 3 das 15 paredes não passariam na verificação, sendo duas delas feitas com os blocos de 14x19x59cm. Mais uma vez o bloco menos indicado para ser utilizado como modulação sobre outros elementos estruturais é o de 14 x 19 x 59 cm.

Por tanto as paredes que apresentaram o melhor comportamento foram as executadas com os blocos de 14x29x44cm, passaram nas verificações exigidas pela NBR15812-1 (ABNT, 2010) com maior segurança e as paredes com o pior desempenho foram as executadas com os blocos de 14x19x59cm. As paredes executadas com os blocos de 14x19x29cm apresentaram o melhor desempenho quanto ao aparecimento de fissuras e trincas nos blocos, sendo que uma das paredes não apresentou fissuras nos blocos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER. **Setor**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://portal.anicer.com.br/setor/>>. Acesso em: 5 maio 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15270-2**: componentes cerâmicos: parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15270-3**: componentes cerâmicos: parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005. 33 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15812-1**: alvenaria estrutural: blocos de cerâmicos: parte 1: projetos. Rio de Janeiro, 2010. 41 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15812-2**: alvenaria estrutural: blocos de cerâmicos: parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010. 28 p.

BARBOSA, C. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto, prismas e paredes e suas correlações com as propriedades mecânicas dos materiais constituintes**. 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

BERANEK, W. J. The prediction of damage to masonry buildings caused by subsoil settlements. **Heron**, Delft, v. 32, n. 4, p. 55-93, 1987.

BRASIL. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **PIB Brasil e construção civil**: arquivo: taxa de crescimento: setores e construção civil. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: 11 maio 2016.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Ilha Solteira: Unesp, 2006. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/downloads.php>>. Acesso em: 02 maio 2016.

CARVALHO, J. N. **Desempenho estrutural de prismas de blocos cerâmicos com diferentes formas e dimensões**. 2003. 172 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

GRANT, R. et al. Differential settlement of buildings. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, New York, v. 100, n. GT9, p. 973-91, 1974.

HOLANDA JUNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. Influência de Recalques em Edifícios de Alvenaria Estrutural. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 10, n. 44, p. 95-128, 2008.

KOMORNIK, A.; MAZURIK, A. Restrained settlements of masonry buildings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 9., Tokyo, 1977. **Proceedings...** Tokyo: Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1977. v. 1, p. 613-8, 1977.

MEYERHOF, G.G. Some recente foundation research and its application to design. **The Structural Engineer**, London, v. 31, p. 151-67, 1953.

POLSHIN, D. E; TOKAR, R. A. Maximun allowable non-uniform settlement of structures. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4., London, 1957. **Proceedings...** London: Butterworths Scientific Publications, 1957. v. 1, p. 402-5.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: PINI, 2003. 174 p.

RIZZATTI, E; ROMAN, H. R; MOHAMAD, G.; NAKANISHI, E. Y. Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 730-746, 2011. 5 p.

SKEMPTON, A. W; MacDONALD, D. H. The allowable settlement of buildings. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, London, Part 3, v. 5, p. 727-68, 1956.

THOMAZ, E. As causas de fissuras. **Téchne**, São Paulo, n. 36, p. 44-9, 1998.