

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE
BLOCOS CERÂMICOS COM DIFERENTES
LARGURAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DOUGLAS GARRIDO PINHEIRO

Santa Maria, RS, Brasil

2009

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS CERÂMICOS COM DIFERENTES LARGURAS

por

Douglas Garrido Pinheiro

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós
Graduação em Engenharia Civil, na Área de Concentração em
Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau
de **Mestre em Engenharia Civil**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rizzatti

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS
CERÂMICOS COM DIFERENTES LARGURAS**

elaborada por

Douglas Garrido Pinheiro

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

Comissão Examinadora

**Eduardo Rizzatti, Prof. Dr.
(Presidente/Orientador)**

José Mario Doleys Soares, Prof. Dr. (UFSM)

Gihad Mohamad, Prof. Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 01 de Junho de 2009.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Carlos e Maria de Fátima;
aos meus irmãos Daniel, Diego e Carlos;
e aos demais familiares
pelo apoio, fé e incentivo,
durante todos esses anos.
E a Deus, pela plenitude da vida.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Eduardo Rizzatti, pela amizade, orientação, dedicação e incentivo durante o decorrer da pesquisa.

Aos colegas do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, em especial, Eng. Fabiana Rezende e Eng. Mauro Joel Friederich dos Santos, pelo auxílio e amizade durante o transcorrer da pesquisa.

Aos amigos, Fernando Flain Júnior, Valdirene Silveira Flain e Ana Maria Garrido pela amizade e auxílio, que foram muito importantes para a realização desse trabalho.

Ao Eng. Marco Antonio Pozzobon e aos bolsistas Gabriela Martins e Vicenzo Agustini, pelo auxílio nas pesquisas.

Ao diretor do Laboratório de Materiais de Construção Civil Mauro Just, e aos funcionários deste laboratório: João, Vitor e demais funcionários, pela infra-estrutura, apoio e incentivo fornecidos.

Ao fabricante dos blocos estruturais Pauluzzi Blocos Cerâmicos, juntamente com a empresa Reitex, pelo fornecimento do material necessário, possibilitando a realização desta pesquisa.

A todas as outras pessoas, que contribuíram de alguma forma. Agradeço a todos, por participarem desta importante etapa da minha vida.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS CERÂMICOS COM DIFERENTES LARGURAS

AUTOR: DOUGLAS GARRIDO PINHEIRO

ORIENTADOR: EDUARDO RIZZATTI

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 01 de Junho de 2009.

Este trabalho apresenta como objetivo principal avaliar o desempenho de blocos cerâmicos estruturais de 11,5 (Bloco A) e 14 (Bloco B) centímetros de largura, através de ensaios de blocos, prismas e pequenas paredes, utilizando dois traços de argamassa designados pela Norma Britânica, confeccionados em laboratório. O programa experimental compreendeu ensaios de compressão axial simples das unidades, prismas de três fiadas sobrepostas e pequenas paredes de dois blocos por quatro fiadas de altura. Durante os ensaios de prismas e pequenas paredes foram medidas suas deformações e, posteriormente, obtidos os módulos de elasticidade dos elementos. Com base na análise dos resultados, é possível concluir que o bloco com 11,5 centímetros de largura apresenta capacidade de absorver esforços equivalente ao bloco tradicional, podendo ser empregado com segurança. Foi possível verificar valores próximos de resistência à compressão para os corpos-de-prova ensaiados utilizando os dois tipos de blocos, estabelecendo comparações entre prismas e pequenas paredes com um mesmo traço de argamassa. Foi realizada a análise estatística do experimento, para verificar a comparação entre os dois blocos, onde foi observada a igualdade entre as resistências à compressão média para os ensaios de blocos e prismas com os dois tipos de argamassa, no entanto nos ensaios com pequenas paredes foi observada diferença entre as resistências médias obtidas com os dois tipos de blocos.

Palavras-chave: alvenaria estrutural, bloco cerâmico, geometria, pequenas paredes

ABSTRACT

**Master's degree Dissertation
Civil Engineering Post-Graduation Program
The Federal University of Santa Maria**

STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOR CERAMIC BLOCKS OF DIFFERENT THICKNESS

**AUTHOR: DOUGLAS GARRIDO PINHEIRO
ADVISOR: EDUARDO RIZZATTI**

Date and Place of the Thesis Defense: Santa Maria, June 1st, 2009.

The main goal of this project is comparing the performance of structural ceramic blocks with 11,5 (Block A) e 14 (Block B) centimeters thickness, through tests with blocks, prisms and small walls using two types of mortar, ii and iii, determined by the British Norm (BS-5628) developed in laboratory. The experimental program includes simple axial units compression tests, prisms of three overlapping rows and wallettes of two blocks by four height rows. During the prisms and wallettes tests, their strains were measure, and subsequently the elasticity modulus was obtained. From the results, it was concluded that the 11,5 centimeters thickness block (Block A) presented the capacity to absorb the strain of equal value as the tradicional block, and may be used with safety. Analyzing the results of the tests it was possible to verify different values near to the compression strength value in the test specimens using the two types of blocks, establishing difference between prisms and wallettes, with the same type of mortar. It was carried out the statistical analysis to check the difference between the blocks, where it was observed the equality between the blocks with average compression strength and the prisms with two types of mortar, however in the wallettes tests it was observed difference between the average strength with the two types of blocks.

Key words: structural masonry; ceramic blocks; geometry; wallette.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Edifício Monadnock.....	15
FIGURA 2 – Geometria dos blocos utilizados.....	24
FIGURA 3 – Unidades ensaiadas à compressão (Prado, 1995).....	25
FIGURA 4 – Resistência à compressão característica da alvenaria.....	27
FIGURA 5 – Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas.....	30
FIGURA 6 – Distribuição de tensões conforme o modelo de Hilsdorf.....	41
FIGURA 7 – Deformação lateral dos blocos e argamassa de assentamento submetidos à compressão simples.....	42
FIGURA 8 – Distribuição de tensões segundo o modelo de Atkinson e Nolan...	43
FIGURA 9 – Curva tensão-deformação típica de concreto.....	45
FIGURA 10 – Geometria dos blocos utilizados na pesquisa.....	49
FIGURA 11 – Blocos utilizados na pesquisa.....	50
FIGURA 12 – Ensaio de resistência à tração.....	52
FIGURA 13 – Corpos-de-prova moldados.....	56
FIGURA 14 – Corpos-de-prova das argamassas utilizadas.....	56
FIGURA 15 – Ensaio de resistência à tração na flexão.....	57
FIGURA 16 – Ensaio de resistência à compressão das argamassas.....	58
FIGURA 17 – Prismas utilizados na pesquisa.....	59
FIGURA 18 – Capeamento de prismas e pequenas paredes.....	60
FIGURA 19 – Ensaio de resistência à compressão de prisma.....	60
FIGURA 20 – Posição dos relógios medidores de deformação nos prismas.....	61
FIGURA 21 – Ilustrações das pequenas paredes ensaiadas.....	62

FIGURA 22 – Execução de pequenas paredes.....	63
FIGURA 23 – Pequenas paredes e prismas.....	63
FIGURA 24 – Ensaio de compressão de pequenas paredes.....	64
FIGURA 25 – Pequena parede com o relógio medidor de deformação fixado..	65
FIGURA 26 – Gráficos tensão x deformação, em relação à área líquida, dos prismas com blocos A e B, respectivamente, com argamassa de traço A..	72
FIGURA 27 – Gráficos tensão x deformação, em relação à área líquida, dos prismas com blocos A e B, respectivamente, com argamassa de traço B..	73
FIGURA 28 - Gráfico tensão x deformação, em relação à área líquida, das pequenas paredes com bloco A, com argamassa de traço A.....	76
FIGURA 29 - Gráfico tensão x deformação, em relação à área líquida, das pequenas paredes com bloco B, com argamassa de traço A.....	76
FIGURA 30 - Gráfico tensão x deformação, em relação à área líquida, das pequenas paredes com bloco A, com argamassa de traço B.....	77
FIGURA 31 - Gráfico tensão x deformação, em relação à área líquida, das pequenas paredes com bloco B, com argamassa de traço B.....	77
FIGURA 32 – Gráfico da resistência à compressão dos prismas em relação à área líquida.....	81
FIGURA 33 – Gráfico da resistência à compressão das pequenas paredes em relação à área líquida.....	84
FIGURA 34 – Gráfico dos módulos dos módulos de elasticidade encontrados na pesquisa.....	85
FIGURA 35 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão obtidos na pesquisa.....	87
FIGURA 36 – Forma de ruptura dos prismas ensaiados.....	88
FIGURA 37 – Forma de ruptura das pequenas paredes ensaiadas.....	89
FIGURA 38 – Fator de eficiência em relação aos prismas e pequenas paredes ensaiadas.....	90

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Resultados das médias de blocos e prismas (Rizzatti, 2003).....	24
TABELA 2 – Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias segundo a Norma Britânica.....	28
TABELA 3 – Resultados de resistência à compressão (Mohamad, 1998).....	29
TABELA 4 – Resistência à compressão em relação à área bruta (Santos, 2008).....	30
TABELA 5 – Influência da espessura da junta na resistência do prisma.....	31
TABELA 6 – Resultado médio da resistência dos blocos à compressão (Mohamad, 1998).....	33
TABELA 7 – Módulos de Elasticidade e resistências à compressão.....	47
TABELA 8 – Traços das argamassas utilizadas.....	52
TABELA 9 – Composição granulométrica do agregado miúdo.....	53
TABELA 10 – Características físicas da areia.....	54
TABELA 11 – Características da cal hidratada.....	54
TABELA 12 – Características do cimento.....	55
TABELA 13 – Argamassas de assentamento utilizadas na pesquisa.....	55
TABELA 14 – Características geométricas.....	67
TABELA 15 – Área líquida e área bruta dos blocos.....	67
TABELA 16 – Índices de absorção de água e índice de absorção de água inicial.....	68
TABELA 17 – Resistência à compressão dos blocos.....	68
TABELA 18 – Resistência à tração dos blocos.....	69
TABELA 19 – Resistência à tração na flexão das argamassas utilizadas.....	70

TABELA 20 – Resistência à compressão axial das argamassas utilizadas.....	70
TABELA 21 – Resistência à compressão dos prismas em relação à área bruta.....	71
TABELA 22 – Resistência à compressão dos prismas em relação à área líquida.....	71
TABELA 23 – Módulos de elasticidade dos prismas.....	72
TABELA 24 – Resistência à compressão das pequenas paredes em relação à área bruta.....	74
TABELA 25 – Resistência à compressão das pequenas paredes em relação à área líquida.....	74
TABELA 26 – Módulos de elasticidade das pequenas paredes.....	75
TABELA 27 – Relação entre as áreas dos blocos.....	79
TABELA 28 – Relação entre resistência à compressão na área bruta.....	80
TABELA 29 – Relação entre resistência à compressão na área líquida.....	80
TABELA 30 – Relação entre resistência à compressão na área bruta.....	83
TABELA 31 – Relação entre resistência à compressão na área líquida.....	83
TABELA 32 – Módulos de elasticidade obtidos por outros autores.....	86
TABELA 33 – Comparação entre as resistências à compressão dos blocos....	91
TABELA 34 – Comparação entre as resistências à tração dos blocos.....	91
TABELA 35 – Comparação entre as resistências à compressão axial das argamassas.....	92
TABELA 36 – Comparação entre as resistências à compressão de prismas com os dois tipos de blocos , em relação à área bruta.....	92
TABELA 37 – Comparação entre as resistências à compressão de prismas com os dois tipos de blocos, em relação à área líquida.....	93
TABELA 38 – Comparação entre as resistências à compressão de pequenas paredes com os dois tipos de blocos, em relação à área bruta....	93
TABELA 39 – Comparação entre as resistências à compressão de pequenas paredes com os dois tipos de blocos, em relação à área líquida..	94
TABELA 40 – Comparação entre os módulos de elasticidade dos prismas com os dois tipos de blocos, em relação à área líquida.....	95
TABELA 41 – Comparação entre os módulos de elasticidade das pequenas paredes com os dois tipos de blocos, em relação à área líquida.....	95

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Características geométricas dos blocos.....	106
APÊNDICE B – Resistência à compressão dos blocos.....	108
APÊNDICE C – Resistência à compressão dos prismas.....	109
APÊNDICE D – Resistência à compressão das pequenas paredes.....	111
APÊNDICE E – Módulos de elasticidade de prismas e pequenas paredes.....	113
APÊNDICE F – Modo de ruptura de prismas e pequenas paredes.....	115

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE APÊNDICES	11
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Considerações Iniciais	15
1.2 Objetivo geral	17
1.3 Objetivos específicos	17
1.4 Justificativa	18
1.5 Estrutura do trabalho	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Considerações iniciais	21
2.2 Conceituações preliminares	21
2.3 Fatores que influenciam a resistência da alvenaria	23
2.3.1 Geometria do bloco	23
2.3.2 Índices de absorção do bloco.....	26
2.3.3 Resistência à compressão do bloco	26
2.3.4 Resistência à tração do bloco	27
2.3.5 Resistência à compressão da argamassa	28
2.3.6 Espessura da junta da argamassa	31
2.3.7 Tipo de assentamento da argamassa	32

2.3.8 Tipo de capeamento	32
2.4 Características dos materiais componentes e elementos da alvenaria..	33
2.4.1 Bloco cerâmico estrutural.....	33
2.4.2 Argamassa de assentamento	34
2.4.3 Prisma	35
2.4.4 Pequenas paredes	36
2.5 Resistência à compressão na alvenaria	36
2.5.1 Equações propostas	36
2.5.2 Modelos de ruptura na alvenaria	40
2.5.3 Ruptura na alvenaria	44
2.5.4 Módulo de elasticidade	45
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	48
3.1 Considerações iniciais	48
3.2 Ensaio dos componentes	49
3.2.1 Blocos Estruturais	49
3.2.1.1 Determinação da geometria, área líquida, área bruta, índice de absorção de água e índice de absorção e água inicial	50
3.2.1.2 Determinação da resistência à compressão.....	50
3.2.1.3 Determinação da resistência à tração	51
3.2.2 Argamassa de assentamento	52
3.2.2.1 Materiais utilizados	53
3.2.2.2 Execução da argamassa de assentamento	55
3.2.2.3 Ensaio de resistência à tração na flexão e compressão axial.....	55
3.3 Ensaio dos elementos	59
3.3.1 Prismas	59
3.3.1.1 Execução dos prismas	59
3.3.1.2 Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas	60
3.3.2 Pequenas paredes	61
3.3.2.1 Execução das pequenas paredes	61
3.3.2.2 Resistência à compressão e módulo de elasticidade das pequenas paredes.....	64
4 RESULTADOS OBTIDOS	66
4.1 Considerações iniciais	66

4.2 Ensaio com blocos estruturais	66
4.2.1 Caracterização geométrica, índice de absorção de água, área bruta e área líquida e índice de absorção de água inicial	66
4.2.2 Resistência à compressão	68
4.2.3 Resistência à tração	69
4.3 Ensaio com argamassas	69
4.3.1 Resistência à tração na flexão	69
4.3.2 Resistência à compressão axial	70
4.4 Ensaio com prismas	70
4.4.1 Resistência à compressão	70
4.4.2 Módulo de elasticidade	71
4.5 Ensaio com pequenas paredes	73
4.5.1 Resistência à compressão	73
4.5.2 Módulo de elasticidade	74
5 ANÁLISES E COMPARAÇÕES	78
5.1 Blocos estruturais	78
5.1.1 Análise geométrica	78
5.1.2 Resistência à compressão e tração	79
5.2 Prismas	79
5.2.1 Resistência à compressão	79
5.2.2 Módulo de elasticidade	81
5.3 Pequenas paredes	82
5.3.1 Resistência à compressão	82
5.3.2 Módulo de elasticidade	84
5.4 Formas de ruptura	87
5.5 Fator de eficiência	89
5.6 Análise estatística	90
6 CONCLUSÃO	96
6.1 Conclusões sobre o programa experimental	96
6.2 Conclusões gerais	97
6.3 Sugestões para trabalhos futuros	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
APÊNDICES	105

CAPITULO I

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O uso da alvenaria vem de tempos antigos, desde o início das atividades humanas, quando os métodos empregados para a construção em alvenaria eram empíricos e intuitivos, baseados em experiências anteriores. Apesar de ser um método construtivo muito tradicional, segundo Rizzatti (2003), apenas na metade do século XX se inserem informações que permitiram a criação de normas, que estabeleceram critérios e forneceram dados para projetos utilizando o tijolo como material estrutural.

O Edifício Monadnock, localizado em Chicago, é um símbolo clássico da moderna alvenaria estrutural, construído de 1889 a 1891, possui 16 pavimentos e 65 metros de altura. Em consequência dos métodos empíricos de dimensionamento empregados, suas paredes na base apresentam 1,80 metros de espessura. Acredita-se que se fossem utilizados os métodos de dimensionamento existentes atualmente, fazendo uso dos mesmos materiais empregados na obra, sua espessura de parede na base seria inferior a 30 centímetros.



Figura 1 – Edifício Monadnock

No Brasil, os primeiros edifícios construídos, utilizando o sistema de alvenaria com blocos estruturais de concreto, surgiram por volta de 1966, em São Paulo. Esses edifícios possuíam quatro pavimentos apenas. Edifícios mais altos também foram construídos um pouco depois, em 1972, também em São Paulo, como o condomínio Central Parque Lapa, constituído de quatro blocos com 12 pavimentos em alvenaria armada, com blocos de concreto.

Desde então, o uso da alvenaria estrutural tem sido crescente no Brasil nos últimos anos, principalmente por aumentar a produtividade nas construções, ao permitir sua racionalização e proporcionar uma maior rapidez de execução. Atualmente, os mecanismos de financiamento vêm se tornando cada vez mais acessíveis, e o sistema de alvenaria estrutural ocupa um espaço importante como alternativa para construir com racionalidade, evitando desperdícios de materiais, reduzindo o tempo de execução, diminuindo assim a utilização de mão-de-obra, evitando improvisações e assim reduzindo custos sem abrir mão da qualidade.

A alvenaria estrutural é um sistema em que as paredes atuam simultaneamente como elementos estruturais e de vedação, podendo ser executadas com blocos de concreto ou blocos cerâmicos. Segundo Rizzatti (2003), essa é a vantagem básica do sistema, pois o mesmo elemento exerce diferentes funções, apresentando a capacidade de resistir a tensões e também atuando como divisor de ambientes. Além disso, o material cerâmico apresenta alto grau de proteção ao fogo, com bom isolamento térmico e acústico, proporcionando boas condições de habitabilidade.

As pesquisas realizadas sobre o assunto aumentaram paralelamente ao crescimento de sua utilização, buscando aprimorar os critérios de dimensionamento e a técnica construtiva. Na busca pela otimização de um sistema construtivo caracterizado pela racionalidade, é importante compreender o comportamento mecânico dos elementos que compõem o sistema. Segundo Sabbatini (1984), a utilização de todo o potencial da alvenaria só será possível através do maior conhecimento das características dos componentes e, principalmente, da maneira correta de sua aplicação. Acredita-se que a necessidade de realização de estudos sobre os materiais e o comportamento estrutural do elemento parede de alvenaria é essencial e urgente para o desenvolvimento de normalização nacional específica e coerente com o contexto nacional.

O surgimento de componentes ou unidades, também é uma alternativa importante na tentativa de promover melhorias para os sistemas construtivos. É importante que todas as suas características sejam conhecidas, afim de que seu uso seja bem empregado, com eficiência e segurança. Daí, a necessidade da realização de pesquisas que caracterizem e estabeleçam parâmetros para a utilização desses materiais.

É neste contexto, frente à necessidade de conhecer o comportamento de um componente disponível, que esse trabalho é realizado. Nele será avaliado o comportamento do bloco estrutural cerâmico com 11,5 centímetros de largura e comparado ao bloco mais utilizado de 14 centímetros.

1.2 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a capacidade resistente e de deformação de blocos cerâmicos estruturais de 11,5 e 14 centímetros de largura, através de ensaios de blocos, prismas e pequenas paredes, utilizando dois traços de argamassa confeccionada em laboratório, com a finalidade de estabelecer uma comparação entre os blocos.

1.3 Objetivos específicos

- Determinar a resistência à compressão de blocos cerâmicos, prismas e pequenas paredes, confeccionados com blocos de 11,5 e 14 centímetros de largura e dois traços diferentes de argamassa de assentamento;
- estabelecer comparação entre os resultados encontrados nos ensaios de blocos, prismas e pequenas paredes, utilizando os blocos com 11,5 e 14 centímetros de largura;

- verificar o modo de ruptura ocorrido nos ensaios de prismas e pequenas paredes;
- obter o módulo de elasticidade dos prismas e pequenas paredes a fim de caracterizar seu comportamento sob carga;
- verificar estatisticamente se há significância entre os resultados encontrados nas comparações estabelecidas entre os dois tipos de blocos.

1.4 Justificativa

A alvenaria estrutural ocupa uma importante posição no mercado brasileiro de construção habitacional e se apresenta como uma alternativa para redução de custos na habitação. Quando o sistema é bem utilizado, minimiza índices de desperdício e apresenta grande agilidade de execução, características que atraem cada vez mais o interesse das construtoras.

Na busca pela racionalização do processo construtivo em alvenaria estrutural, a norma brasileira para blocos cerâmicos (NBR 15270/2005), acrescenta nas dimensões de blocos cerâmicos para fins estruturais blocos com largura de 11,5 centímetros, onde anteriormente existia a possibilidade de produção de unidades cerâmicas com 14 e 19 centímetros de largura. Ainda não existe uma norma específica para o cálculo de estruturas em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. A norma está em fase de projeto e deverá incluir a regularização do uso desses novos blocos.

A norma brasileira para blocos vazados de concreto NBR 6136(2006) acrescentou na sua revisão em 2006 uma nova classe de blocos, os blocos de classe C ($f_{bk} \geq 3\text{MPa}$), que disponibiliza a utilização de blocos com larguras de 9 e 11,5 centímetros para fins estruturais. A norma também regulamenta a utilização dos blocos com 9 cm de largura para construções residenciais térreas e os blocos de concreto com 11,5 cm de largura, para construção de sobrados.

Com a utilização de blocos mais delgados, existe ainda a possibilidade de uma maior redução de custos no sistema, que já tem como sua principal

característica a racionalização. Obras residenciais de menor porte podem ter seus custos reduzidos na medida em que há redução do custo na compra dos blocos, redução do consumo de argamassa de assentamento, também pode haver ganho de produtividade na execução, uma vez que os blocos mais delgados são mais leves. Também cabe aqui ressaltar, que é importante que as características dos novos materiais sejam estudadas e conhecidas, para que sejam usados de forma racional e segura.

Nesse contexto, o trabalho proposto irá avaliar o comportamento dos blocos cerâmicos estruturais com 11,5 e 14 centímetros de largura, com argamassas de diferentes resistências e estabelecer uma comparação entre os blocos, com a finalidade de verificar a capacidade estrutural do bloco de menor largura.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em seis capítulos, que procuram descrever as diferentes etapas e o processo de elaboração desta dissertação.

Este Capítulo 1 apresenta uma introdução sobre o sistema construtivo em alvenaria estrutural, define os objetivos propostos para esse trabalho, justifica a importância do estudo realizado e também apresenta a estruturação desta dissertação.

A revisão bibliográfica pesquisada para a elaboração deste trabalho encontra-se no Capítulo 2. Estão incluídos, nesta revisão, os fatores que influenciam a resistência da alvenaria estrutural, as características dos materiais que compõem o sistema e uma revisão de estudos realizados sobre o comportamento da alvenaria sob carga.

O Capítulo 3 apresenta o procedimento experimental realizado na pesquisa. Estão incluídos, neste capítulo, os materiais utilizados no trabalho e os procedimentos e ensaios adotados.

Os resultados obtidos na pesquisa e as primeiras conclusões verificadas com os ensaios estão incluídos no Capítulo 4.

O Capítulo 5 apresenta uma análise crítica dos resultados obtidos nos ensaios, estabelece comparações entre os resultados dos ensaios com os dois tipos de blocos, e também apresenta uma análise estatística das comparações estabelecidas entre os dois blocos.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões verificadas nesta pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais

Este capítulo tem por objetivo apresentar os componentes que constituem a alvenaria, os fatores que influenciam em seu comportamento e uma revisão na literatura sobre o comportamento da alvenaria, quando submetida à compressão.

A alvenaria, por ser um material composto, anisotrópico e heterogêneo, apresenta dificuldades para se estabelecer seu comportamento, o que aumenta a exigência de que se façam estudos para otimizar o emprego dos diversos materiais e componentes. Esses estudos servem para garantir a diminuição do desperdício financeiro e de recursos materiais e também para assegurar a qualidade e segurança das edificações.

Esta revisão está estruturada em quatro etapas: conceituações preliminares; fatores que influenciam a resistência da alvenaria; características dos materiais componentes da alvenaria e resistência à compressão na alvenaria.

2.2 Conceituações preliminares

Com o objetivo de estabelecer uma linguagem comum, são apresentados alguns conceitos:

Alvenaria: componente complexo, que utiliza como componentes básicos tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa de modo a formar um conjunto rígido e coeso.

Alvenaria Estrutural: toda a estrutura em alvenaria, predominantemente laminar, dimensionada por procedimentos racionais de cálculo, para suportar cargas além do peso próprio.

Argamassa: material composto por areia, água e um ou mais aglomerantes (cimento, cal, cimento e cal) que, por suas características plásticas, de aderência a materiais porosos e endurecimento após certo tempo, é usado para unir as unidades da alvenaria, formando as juntas de argamassa.

Amostra: conjunto de blocos retirado aleatoriamente de um lote, para determinação de suas propriedades geométricas, físicas ou mecânicas.

Área Bruta: área calculada por meio do produto da largura pelo comprimento do bloco.

Área Líquida: área efetiva do bloco, ou seja, a área bruta da face, diminuída da área de vazios da face do bloco.

Corpo-de-prova: exemplar do bloco principal, integrante da amostra para ensaio.

Bloco Cerâmico: é o componente básico da alvenaria, que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos, perpendiculares às faces de assentamento. Os blocos cerâmicos são classificados pela sua resistência à compressão, sendo a argila o material básico de sua fabricação.

Componente ou Unidade: cada parte em separado da alvenaria. Cada unidade possui suas propriedades mecânicas individuais (bloco ou tijolo, argamassa, graute).

Deformação específica: grandeza adimensional que expressa a variação de comprimento da base de medida de um corpo-de-prova em relação ao seu comprimento inicial.

Elemento: resultado da união de duas ou mais unidades. São os prismas, pequenas paredes e paredes.

Fator de eficiência: definido pela relação da resistência à compressão axial da parede pela resistência do bloco.

Junta de argamassa: componente utilizado na ligação de blocos ou tijolos.

Módulo de elasticidade: coeficiente de proporcionalidade entre tensão e deformação, sobre um carregamento.

Módulo de elasticidade secante: nesta pesquisa, será considerado o valor obtido pela declividade de uma reta traçada da origem a um ponto da curva tensão x deformação, correspondente a 30% da carga de ruptura do corpo-de-prova.

Paredes: elementos que resistem predominantemente à carga de compressão, e cuja maior dimensão da seção transversal excede cinco vezes a menor dimensão.

Pequenas paredes (paredinhas): corpo-de-prova de alvenaria com a metade do pé direito de uma parede ou com o máximo de altura que o equipamento utilizado pode suportar, sendo necessariamente contra-fiado.

Prisma: corpo-de-prova obtido pela sobreposição de blocos unidos por junta de argamassa, grauteados ou não.

Resistência à compressão axial da alvenaria: valor limite da capacidade da alvenaria de suportar cargas verticais aplicadas ao longo de seu plano axial longitudinal.

2.3 Fatores que influenciam na resistência da alvenaria

Vários são os fatores que podem influenciar na resistência da alvenaria, dentre eles, os principais aqui citados serão: a geometria do bloco, índice de absorção de água, resistência à compressão e à tração do bloco, resistência à compressão da argamassa, espessura da junta de argamassa, tipo de assentamento da argamassa e o tipo de capeamento utilizado.

2.3.1 Geometria do bloco

Por serem vazados, a disposição e o tipo de furos podem ocasionar grandes concentrações de tensões, reduzindo a resistência dos blocos e conduzindo a falhas frágeis.

Além da forma geométrica do bloco, a relação área bruta e área líquida é de fundamental importância, pois ambas influenciam na distribuição de tensões no mesmo.

Rizzatti (2003) salienta que, em blocos vazados, a disposição e os tipos de furos podem ocasionar grandes concentrações de tensões, reduzindo a resistência e conduzindo a falhas frágeis. A Figura 2 ilustra a geometria dos blocos cerâmicos produzidos em escala reduzida, utilizados pelo pesquisador em sua tese.

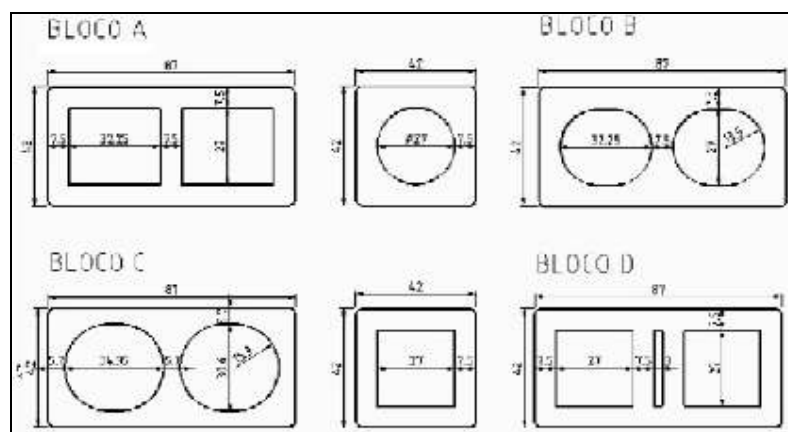


Figura 2 – Geometria dos blocos utilizados
Fonte: Rizzatti (2003)

A Tabela 1 apresenta os resultados encontrados pelo autor com ensaios de prismas, utilizando os blocos representados na Figura 2.

Tabela 1 – Resultados das médias de blocos e prismas (Rizzatti, 2003)

<i>Tipo de bloco</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>Área líquida (cm²)</i>	18,0	20,92	17,50	20,87
<i>Resistência à compressão (MPa)</i>	29,43	32,95	30,31	33,57
<i>Resistência à tração (MPa)</i>	1,81	1,57	1,67	1,80
<i>Resistência dos prismas com argamassa ii) (MPa)</i>	10,56	13,61	11,18	11,67

Observação: Valores de resistência à compressão em relação à área bruta.
Traços de argamassas utilizados segundo a Norma Britânica.

Nos seus ensaios, o autor comprovou que a distribuição geométrica dos blocos e também a sua relação área líquida/área bruta, influenciam na resistência dos prismas. Maiores valores da relação área líquida/área bruta, apresentaram maiores valores de resistência à compressão.

Gomes (1983) constatou a importância da geometria dos blocos para a resistência das paredes e observou que a ruptura começa pelas nervuras em contato com as faces externas dos blocos, o que exemplifica uma das influências da geometria dos blocos no comportamento das paredes. Blocos com paredes mais robustas têm melhores condições de absorver tensões de tração geradas nos mesmos.

Prado (1995) pesquisou a resistência à compressão de cinco blocos diferentes e também prismas confeccionados com eles, e pôde observar que, com o aumento das dimensões das unidades, a resistência à compressão do bloco se aproxima da resistência do prisma. Os resultados obtidos alertam para o risco da generalização de um determinado tipo de bloco, para um universo de tipos mais amplos de unidades, com comportamentos desconhecidos.

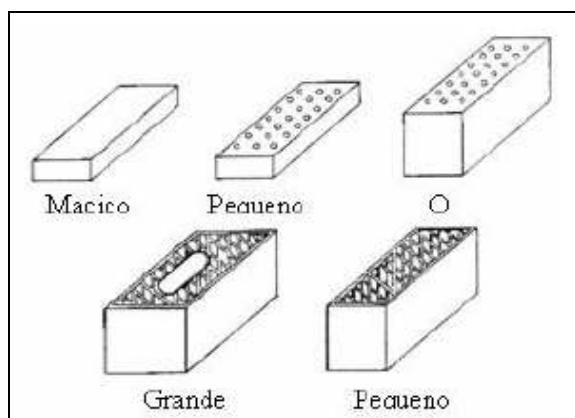


Figura 3 – Unidades ensaiadas à compressão (Prado, 1995)

2.3.2 Índices de absorção do bloco

Blocos com altas taxas de sucção retiram rapidamente a água da argamassa de assentamento, interferindo na resistência à compressão e na aderência da alvenaria.

Franco (1993) salienta que blocos com alta taxa de absorção de água, provocam, quando em contato com a argamassa, diminuição da plasticidade da mesma durante o assentamento, o que ocasiona perda da capacidade de absorver pequenas deformações da alvenaria, oriundas do assentamento.

A NBR 15270(2005) recomenda, caso o índice de absorção inicial do bloco seja superior a $30 \text{ g}/193,55 \text{ cm}^2$, que o bloco deve ser umedecido antes do seu assentamento, para o seu melhor desempenho. Se o índice for menor, o bloco pode ser assentado sem o prévio umedecimento.

2.3.3 Resistência à compressão do bloco

O principal fator que influencia na resistência da alvenaria é a resistência do bloco estrutural. A resistência da alvenaria à compressão cresce consideravelmente com o aumento da resistência do bloco. Entretanto, o aumento da resistência da alvenaria não é linearmente proporcional ao aumento da resistência do bloco.

A norma britânica BS 5628 (78) apresenta parâmetros de crescimento da resistência da parede com a resistência do bloco, como mostra a Figura 4, onde estão representados valores de resistência à compressão dos prismas, de acordo com os blocos estruturais de diferentes resistências (com relação proporção altura/menor dimensão horizontal, entre 2 e 4).

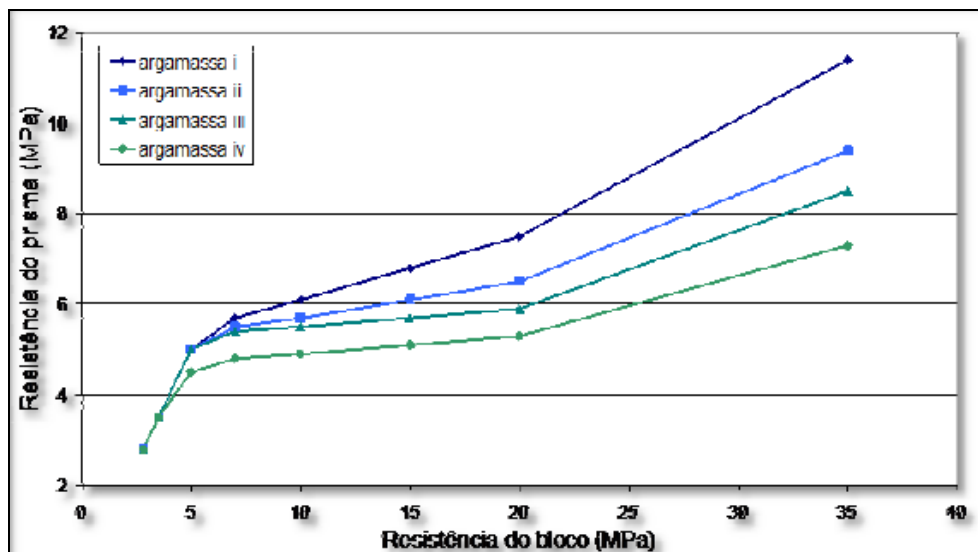


Figura 4 – Resistência à compressão característica da alvenaria
Fonte: BS 5628 (78), adaptado.

De acordo com a Figura 4, que apresenta o desempenho dos quatro traços de argamassa padronizados pela norma britânica BS 5682/78, é possível observar que o aumento da resistência do bloco em 12,5 vezes, ocasiona um ganho de resistência da alvenaria na ordem de 3,25 vezes.

2.3.4 Resistência à tração do bloco

Nos elementos de alvenaria sujeitos à compressão, o bloco absorve as tensões geradas pelos outros componentes da alvenaria e essas tensões provocam tração nas paredes dos blocos. Na maioria dos casos, o bloco rompe à tração, e um dos motivos é a deformação da argamassa que leva as paredes dos blocos a uma tração superior à suportada por eles. Quanto maior for a resistência do bloco à tração, maior será a capacidade de resistência da alvenaria à compressão.

Com base nisso, é importante a determinação da resistência à tração dos blocos. O ensaio indireto mais empregado, no qual o corpo-de-prova é submetido à compressão diametral, ficou conhecido como “Teste Brasileiro”, e foi desenvolvido por Lobo Carneiro.

2.3.5 Resistência à compressão da argamassa

A argamassa de assentamento tem importante função estrutural na alvenaria, pois o seu mecanismo de ruptura está intimamente ligado à interação entre bloco e junta.

A norma britânica BS 5628/78 estabelece quatro traços de argamassa com as respectivas resistências à compressão, como pode ser observado na Tabela 2:

Tabela 2 – Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias segundo a Norma Britânica

<i>Tipo</i>	<i>Traço em volume</i>	<i>Resistência à compressão</i>	
		<i>Laboratório</i>	<i>Obra</i>
<i>i</i>	1:0 a ¼:3	16 MPa	11 MPa
<i>ii</i>	1:½:4 a 4½	6,5 MPa	4,5 MPa
<i>iii</i>	1:2:5 a 6	3,6 MPa	2,5 MPa
<i>iv</i>	1:2:8 a 9	1,5 MPa	1,0 MPa

Fonte: BS 5628/78

Gomes (1983) observou que a resistência da argamassa deve se situar entre 0,7 a 1,0 da resistência do bloco. Ao utilizar argamassas mais resistentes, a alvenaria passa a apresentar uma ruptura excessivamente frágil, não acompanhando eventuais movimentos da estrutura.

Em sua pesquisa, analisando prismas de blocos de concreto, não-grauteados, Mohamad (1998) utilizou blocos com duas resistências diferentes e três tipos de argamassa, com resistência à compressão de 4,20 MPa, 8,63 MPa e 19,90 MPa. Os resultados obtidos na pesquisa encontram-se na Tabela 3:

Tabela 3 – Resultados de resistência à compressão (Mohamad, 1998)

	<i>Resistência à compressão (MPa)</i>			
	Bloco de concreto	Prisma A1	Prisma A2	Prisma A3
B1	10,7	8,17	8,60	10,56
B2	15,7	8,84	10,80	11,70

Através dos resultados obtidos por Mohamad (1998), é verificado um ganho de resistência do prisma de 14% para o aumento de 105% da resistência à compressão da argamassa, quando a resistência da argamassa é aumentada em 160%, o acréscimo de resistência dos prismas é na ordem de 31%.

Mendes (1998) observou em sua pesquisa, trabalhando com alvenaria de blocos cerâmicos, que utilizando blocos de alta resistência, a utilização de argamassas mais resistentes resulta em alvenarias também mais resistentes.

A Figura 5 apresenta uma comparação entre resultados de pesquisas realizadas por vários autores, apresentando o comportamento de prismas sob compressão, utilizando vários tipos de blocos de concreto, argamassas e prismas confeccionados com esses componentes. Através dos resultados obtidos, é possível perceber uma grande variação na relação da resistência da argamassa utilizada, com a resistência do bloco.

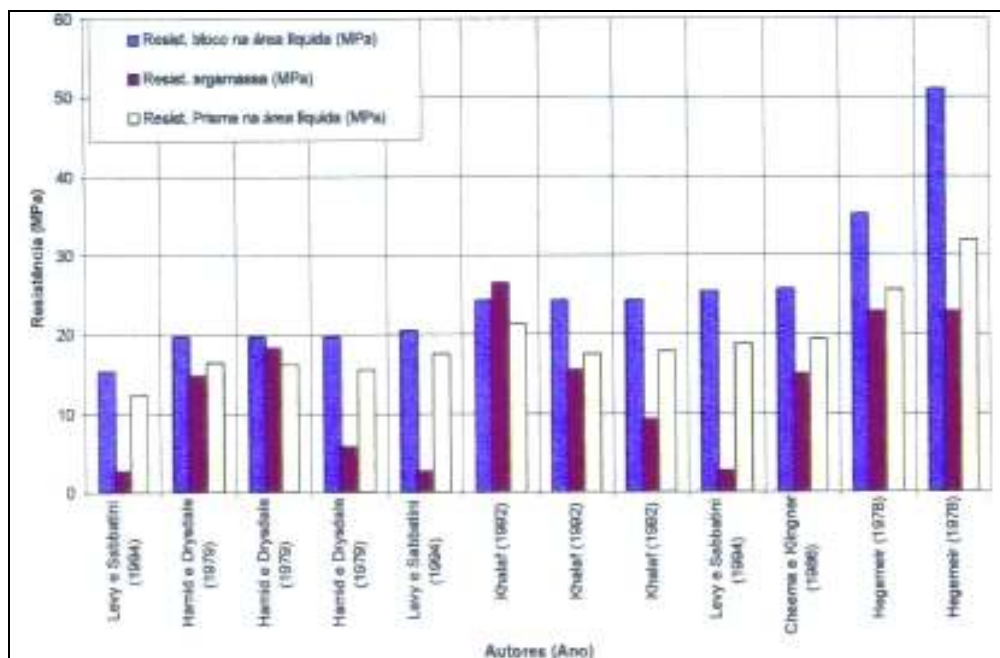


Figura 5 – Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas. Fonte: Mohamad (1998).

Santos (2008) concluiu, através dos resultados obtidos em sua pesquisa, que a utilização de argamassas de maiores resistências, potencializa a alvenaria de blocos cerâmicos, dependendo das formas e dimensões dos blocos empregados. A tabela abaixo apresenta os resultados obtidos por Santos, em ensaios de pequenas paredes com dois blocos e meio e quatro fiadas de altura, utilizando blocos cerâmicos com paredes maciças (BPM) e com paredes vazadas (BPV). Foram utilizados quatro traços de argamassa.

Tabela 4 – Resistência à compressão em relação à área bruta (Santos, 2008)

	<i>Resistência à compressão (MPa)</i>			
	T1 (4,4 MPa)	T2 (8,7 MPa)	T3 (13,9 MPa)	T4 (16,8 MPa)
BPV	2,54	2,77	3,59	4,19
BPM	3,22	4,86	6,34	7,35

2.3.6 Espessura da junta de argamassa

A espessura da junta de argamassa influencia na capacidade de carregamento da alvenaria. A junta tem a função de acomodar tensões e eventuais irregularidades dos blocos e proporciona união entre as unidades, criando uma monolitividade à alvenaria. Pesquisas apontam que a espessura ideal para a junta horizontal é de 1 cm. Valores menores podem ocasionar alvenarias de maior resistência, mas não são recomendados, pois a junta de menor espessura não consegue absorver as imperfeições dos blocos, e espessuras maiores que 1 cm ocasionam diminuição da resistência da alvenaria, devido ao aparecimento de tensões maiores de tração lateral nas unidades.

A norma NBR 8215/83 regulamenta que a espessura da junta deve ser de 10 mm, com tolerância de mais ou menos 3 mm e que valores de espessura fora desse intervalo prejudicam o desempenho da alvenaria.

Mohamad (1998) realizou ensaios em prismas com juntas horizontais de 7 e 10 mm, utilizando blocos de concreto e pôde observar um aumento da resistência da alvenaria de 32,3% com a utilização da junta horizontal com espessura de 7mm, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Influência da espessura da junta na resistência do prisma

Resistência das Argamassas (MPa)	Resistência dos Blocos (MPa)	Espessura das Juntas (mm)	Resistência dos Prismas (MPa)	Eficiência da Alvenaria
4,90	15,67	7	11,70	0,75
5,41	15,67	10	8,84	0,56

Fonte: Mohamad (1998)

Sahlin apud Roman (1991) observou que a resistência da alvenaria diminui 15% a cada aumento da espessura da junta em 3 mm.

2.3.7 Tipo de assentamento da argamassa

O tipo de assentamento utilizado é um dos fatores que pode alterar a resistência da alvenaria. Existem dois tipos de assentamento, o que a argamassa preenche apenas as paredes longitudinais dos blocos e outro, onde todas as paredes dos blocos recebem argamassa.

O uso do assentamento com argamassa apenas nas paredes longitudinais dos blocos pode ocasionar uma maior racionalização do sistema, mas causa uma redução na resistência da alvenaria, na medida em que gera uma concentração de tensões nessas paredes laterais, que recebem a argamassa.

Ganesan e Ramamurthy (1992), através do método de elementos finitos, estudaram o comportamento de prismas com diferentes tipos de assentamento, e chegaram à conclusão de que a colocação da argamassa apenas nas paredes laterais dos blocos, ocasiona o surgimento de grandes concentrações de tensões nas suas paredes transversais. No entanto, se a colocação da argamassa é realizada no bloco todo, essa concentração de tensão não existe.

2.3.8 Tipo de capeamento

O capeamento de prismas e pequenas paredes é importante porque possibilita uma melhor distribuição de tensões, na medida em que torna suas superfícies regulares. A NBR 15270 (2005) estabelece que as faces devem ser devidamente regularizadas, o capeamento deve ser feito com pasta de cimento ou argamassa com resistência superior à do bloco na área bruta, com espessura igual ou inferior a 3 mm.

Mohamad (1998) avaliou a influência dos tipos de capeamento na resistência à compressão, utilizando blocos de concreto e quatro tipos diferentes de capeamento. Os tipos de capeamento utilizados e os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultado médio da resistência dos blocos à compressão (Mohamad, 1998)

Tipos de Capeamento	Resistência à compressão (MPa) – Área Bruta	
	Bloco A	Bloco B
Sem capeamento	10,70	15,67
Base de cimento	11,58	14,48
Com molicote	9,46	11,62
Com grafite	10,55	12,90

São observados valores próximos, comparando os blocos sem capeamento e os com capeamento à base de cimento. Nos outros dois tipos de capeamento, com molicote à base de cimento e com uma camada de grafite, foi observado que o capeamento prejudica a resistência do bloco, pois minimizam os efeitos do confinamento dos pratos da prensa.

2.4 Características dos materiais componentes e elementos da alvenaria

Neste item, serão abordados os principais materiais componentes da alvenaria estrutural, bloco estrutural, argamassa de assentamento, suas características mecânicas e especificações nacionais e internacionais. Também serão abordados alguns elementos importantes para essa pesquisa, como prismas e pequenas paredes.

2.4.1 Bloco cerâmico estrutural

O material básico para a produção de blocos cerâmicos é a argila. Todas as propriedades físicas dos blocos são afetadas pela composição da matéria prima usada e pelo processo de fabricação dos blocos.

Rizzatti (2003) salienta que a argila apropriada para a fabricação de blocos deve ter plasticidade quando misturada com água, necessária para que possa ser moldada no formato dos blocos, deve ter suficiente resistência à tração, para manter o formato após a moldagem e, também, deve ser capaz de fundir as partículas quando queimada a altas temperaturas.

Os blocos devem possuir um formato de paralelepípedo-retângulo, podendo apresentar paredes vazadas ou maciças, ou podendo, ainda, ser perfurados. A sua geometria pode variar de acordo com o que é estabelecido pela norma NBR 15270 (2005), podendo a sua largura variar entre 115, 140 e 190 milímetros.

2.4.2 Argamassa de assentamento

A argamassa é composta por cimento, cal, areia e água, podendo ter aditivos ou não. O cimento é o principal elemento responsável pela sua resistência. A argamassa de assentamento é definida como o componente utilizado na ligação entre os blocos, garantindo a distribuição uniforme dos esforços atuantes na alvenaria, e a monoliticidade do conjunto.

A norma britânica BS 5628 (1978) descreve as funções da argamassa de assentamento: unir solidariamente os blocos e ajudá-los a resistir aos esforços laterais, distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos, absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita e selar as juntas contra a penetração de água das chuvas.

Sabbatini (1984) e Gallegos (1989) afirmam que as principais características necessárias à argamassa de assentamento para alvenaria estrutural são a sua trabalhabilidade, consistência, aderência e deformabilidade. A resistência à compressão é um aspecto secundário, exigindo que a argamassa resista aos esforços a que for submetida, sem que o seu desempenho fique prejudicado.

Sabbatini (1984) salienta que outras características de uma parede resistente são prejudicadas pela aderência insuficiente entre argamassa e bloco, como resistência ao cisalhamento, resistência à compressão e à flexão, estabilidade dimensional, propriedades térmicas, resistência à transmissão sonora, ao fogo e à penetração de água e resistência a agentes agressivos.

Rizzatti (2003) observou que a influência da resistência à compressão da argamassa cresce com o aumento da qualidade da unidade e, conseqüentemente, elevação das tensões admissíveis. Entretanto, o aumento da resistência da argamassa ocasiona um aumento menos significativo do que aquele resultado do aumento da resistência das unidades.

Santos (2008) verificou que deve haver uma compatibilização entre as características mecânicas (geometria, módulo de elasticidade e resistência) do tipo de bloco cerâmico utilizado com o tipo de argamassa de assentamento, para que a alvenaria seja utilizada de forma eficiente e adequada.

2.4.3 Prisma

O prisma é a justaposição de dois ou mais blocos estruturais, unidos através de juntas de argamassa de 1 cm de espessura, estes corpos-de-prova são destinados ao ensaio de resistência à compressão axial.

A base para o projeto estrutural são os ensaios realizados com prismas, uma vez que eles apresentam uma boa correlação com aqueles sob condições de utilização das estruturas. A melhor maneira de estimar valores para as alvenarias ainda seriam ensaios em escalas reais, entretanto, esses testes são de difícil preparação, onerosos, além de exigirem uma estrutura laboratorial sofisticada.

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas sobre o comportamento da alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, através de ensaios com prismas, mas no Brasil ainda não existe uma definição para prismas de blocos cerâmicos. Pesquisadores como Sabbatini (1984), Franco (1987), Oliveira (1987) e Rizzatti (2003) recomendam que as pesquisas em alvenaria sejam realizadas empregando-se prismas com, no mínimo, três blocos de altura.

Ensaio com prismas apresentam vantagens de serem mais rápidos e econômicos do que os ensaios realizados com paredes, além de não exigirem estrutura laboratorial muito sofisticada. No entanto, não é possível obter o real comportamento da alvenaria com esses ensaios.

2.4.4 Pequenas paredes

A parede é o elemento resultante da união dos blocos com a argamassa de assentamento. É o elemento que melhor representa a alvenaria estrutural, no entanto, devido a fatores citados anteriormente, os ensaios com paredes de alvenaria são de difícil aplicação. Devido a fatores como custo e equipamentos necessários, aliados à dificuldade de se controlar a excentricidade, os ensaios com paredes são de difícil execução.

As pequenas paredes representam as condições mais próximas dos ensaios com paredes, pois apresentam contrafiamento dos blocos. Embora não exista uma norma brasileira para ensaios com pequenas paredes, esse ensaio é usual, pois apresenta melhor resposta que os ensaios com prismas. É de fácil manuseio e exige aparelhagem menos sofisticada, se comparado aos ensaios com paredes.

2.5 Resistência à compressão na alvenaria

Este item apresenta equações propostas para determinar a resistência à compressão da alvenaria, modelos de ruptura propostos por autores e a determinação do módulo de elasticidade na alvenaria.

2.5.1 Equações propostas

Com o objetivo de determinar a capacidade de resistência da alvenaria e explicar seu comportamento, vários modelos matemáticos são desenvolvidos, alguns estão apresentados neste item.

É importante salientar que o desenvolvimento desses modelos matemáticos é dificultado pelas características dos elementos de alvenaria, por ser composta por materiais de propriedades elásticas diferentes, tornando-se heterogênea e anisotrópica.

a) La Rovere e Soliz (1995)

Os autores uniformizam e apresentam as equações adotadas por Priestley e Yuk, e também por Hamid e Drysdale para o cálculo da resistência da alvenaria. Pelo critério de Hilsdorf, a resistência à compressão da alvenaria é dada pela expressão:

$$f'_m = \frac{\sigma_y}{K_1}$$

Onde :

K_1 = é um coeficiente para considerar a não-uniformidade de distribuição de tensões laterais, variando entre 1,1 e 2,5.

σ_y = resistência à compressão do bloco

b) Priestley e Yuk

Adotaram a mesma equação de Hilsdorf, sugerindo como coeficiente K_1 , o valor 1,5.

$$f'_m = 5,91(0,1f'_{cb} + 0,01284f'_a)$$

c) Hamid e Drysdale

Também partiram da equação de Hilsdorf, adotando K_1 igual a 1,08, e chegando à seguinte equação para a resistência à compressão da alvenaria.

$$f'_m = 8,08(0,1f'_{cb} + 0,01460f'_a)$$

Onde:

f'_{cb} = resistência à compressão do bloco

f'_a = resistência à compressão da argamassa

d) Khalaf et al. (1994)

Baseados em resultados experimentais, os autores propõem o modelo matemático para prismas de blocos de concreto, grauteados ou não, em relação à área bruta.

$$f_m = 0,3 \cdot f_b + 0,2 \cdot f_a + 0,25 \cdot f_g$$

Onde:

f_m = resistência à compressão da alvenaria (área bruta)

f_b = resistência à compressão do bloco (área bruta)

f_a = resistência à compressão da argamassa

f_g = resistência à compressão do graute

e) Mohamad (1998)

Estabeleceu um modelo matemático para indicar a resistência da alvenaria de blocos de concreto não-grauteados, em função da rigidez entre os materiais. A resistência à compressão dos prismas em função da resistência da argamassa é dada pela primeira equação, e a resistência do prisma em função da resistência à tração do bloco é apresentada na segunda equação.

De acordo com esse modelo, a ruptura ocorrerá para o valor mais baixo encontrado nas duas equações.

$$F_m = f_a \cdot 0,5794 \cdot (E_a / E_b)^{-1,1093}$$

$$F_m = f_{bt} \cdot [5,4491 \cdot (E_a / E_b)^2 + 3,6377 \cdot (E_a / E_b) + 10,219]$$

Onde:

F_m = resistência à compressão da alvenaria

f_a = resistência à compressão da argamassa

f_{bt} = resistência à tração do bloco

E_a = módulo de elasticidade da argamassa

E_b = módulo de elasticidade do bloco

f) Norma Britânica BS 5628 (1978)

A norma britânica não diferencia alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e blocos de concreto. Para essa norma, a resistência característica à compressão da alvenaria f_k , pode ser obtida de duas maneiras:

- Teste de resistência final de painéis de tijolos ou blocos cujas dimensões devem ser de 1,20m a 1,80m de comprimento por 2,40m de altura, com uma área mínima da secção transversal de 0,125 m², onde a execução e a argamassa empregadas nos painéis-testes devem ser as mesmas utilizadas na prática.

- Através de correlações empíricas, levando em consideração a resistência do bloco e o traço de argamassa empregado.

A resistência característica à compressão, f_k , é calculada pela seguinte equação:

$$f_k = \frac{F_m}{A} \times \frac{\Psi_u \cdot \Psi_m}{1,2}$$

Onde:

F_m = média da carga máxima de dois painéis-teste

A = área da secção transversal de qualquer painel

Ψ_u = fator de redução das unidades

Ψ_m = fator de redução da resistência da argamassa, valor tabelado (Tabela 2.1 da BS 5628)

g) Eurocode 6

O código europeu estabelece a equação a seguir, para a determinação da resistência característica à compressão da alvenaria:

$$f_k = k \cdot f_b^{0,75} \cdot f_a^{0,25}$$

Onde:

K = é um coeficiente

f_a = resistência à compressão média da argamassa

f_b = resistência à compressão média do bloco

$k = 0,4 \cdot \varphi$

Para $f_b > 15 N / mm^2$, $\varphi = (15 / f_b)^{0,33} \leq 1,5$

Para $f_b \leq 15 N / mm^2$, $\varphi = 1$

h) NBR 10837 (ABNT, 1989)

A norma brasileira prevê o cálculo para alvenaria estrutural de blocos de concreto. A tensão admissível, para alvenaria não-armada utilizando blocos de concreto, é dada pela seguinte equação:

$$P_{adm} = 0,20 \cdot f_p \cdot [1 - (h / 40 \cdot t)^3] \cdot A$$

Onde:

f_p = resistência média à compressão dos prismas

h = altura efetiva

t = espessura efetiva

A = área líquida da parede

2.5.2 Modelos de ruptura na alvenaria

Vários pesquisadores têm elaborado modelos de ruptura na alvenaria a fim de compreender melhor o comportamento das estruturas. Para que os modelos sejam realistas, é necessário considerar os possíveis modos de ruptura devido à tração, ao cisalhamento, à flexão e aos esforços combinados.

A seguir, serão apresentados alguns dos principais trabalhos que tentam explicar o comportamento da alvenaria.

a) Modelo de Hilsdorf

O autor baseou-se nas seguintes hipóteses:

- Os blocos são maciços e todas as áreas das faces maiores encontram-se assentadas em argamassa, com perfeita aderência entre os componentes.
- A distribuição de tensões de tração é uniforme ao longo da altura da unidade.
- Esforços de tração laterais iguais nas direções x e z.
- Relação linear de Coulomb entre o valor da resistência à tração uniaxial e da resistência à compressão uniaxial, definindo a envoltória de ruptura biaxial do bloco submetido ao carregamento triaxial.

A Figura 6 ilustra o estado de tensões de um prisma de alvenaria, segundo o modelo estabelecido por Hilsdorf.

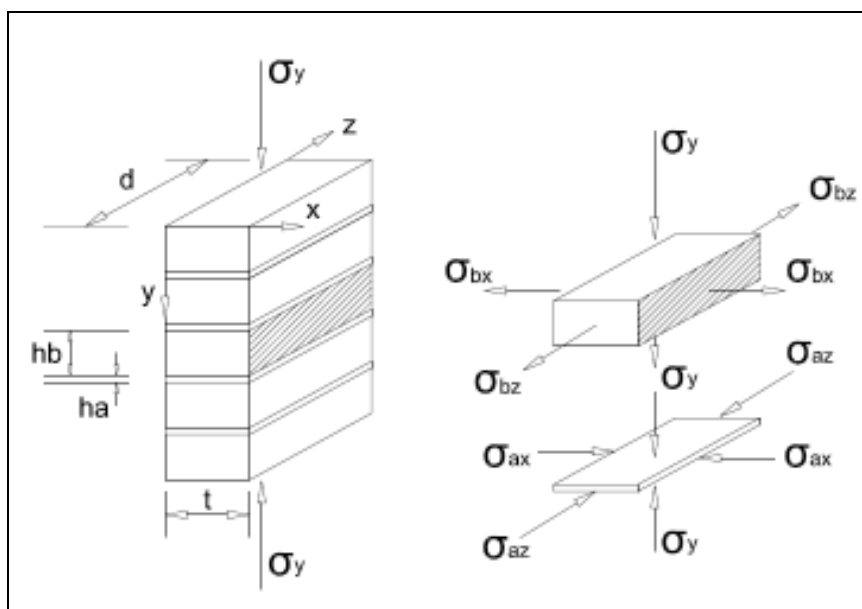


Figura 6 – Distribuição de tensões conforme o modelo de Hilsdorf

Nesse critério de ruptura proposto por Hilsdorf, admite-se que, ao mesmo tempo, o bloco se rompe sob estado biaxial (tração – compressão) e a argamassa sob estado triaxial de compressão. Com a aplicação de cargas de compressão à argamassa, que possui um módulo de deformação menor que o do bloco, ela tem a tendência de se expandir lateralmente. Partindo do princípio de que há perfeita aderência entre os componentes, surgem tensões de compressão triaxiais na argamassa, o que ocasiona tensões de tração no bloco. Quando essas tensões de tração no bloco, ultrapassarem sua resistência à tração, ocorrerá a fissuração deste componente.

b) Modelo de Lenczner

Este modelo de ruptura, apresentado em Gomes (1983), leva em consideração a contribuição da argamassa de assentamento na resistência da alvenaria, baseando-se na compatibilidade de deformações entre os componentes alvenaria, bloco e argamassa.

A Figura 7 ilustra o critério de Lenczner, baseado na compatibilidade de deformações entre os componentes.

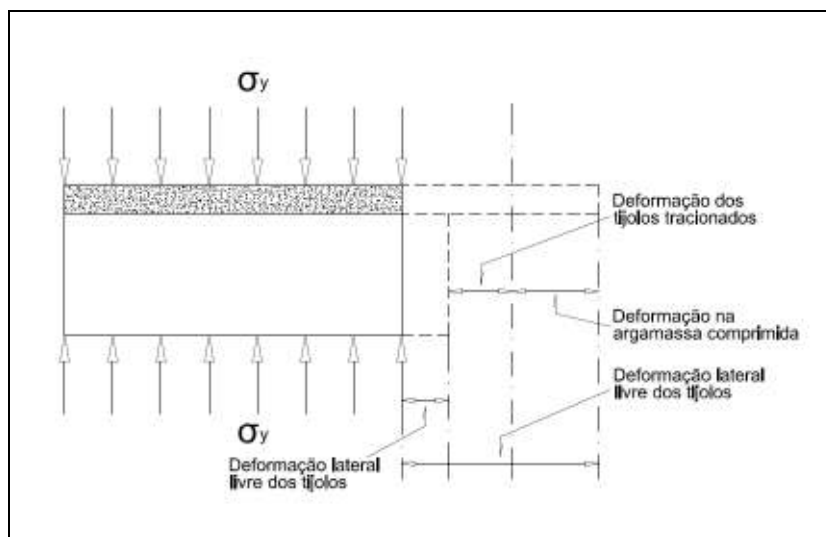


Figura 7 – Deformação lateral dos blocos e da argamassa de assentamento submetidos à compressão simples

Esse critério de ruptura se explica a partir do menor módulo de elasticidade da argamassa, em relação ao bloco, que fica submetida a esforços de compressão e os blocos a esforços de tração. Ocorrendo a ruptura por tração no bloco, devido à sua baixa resistência a tensões de tração.

c) Modelo de Atkinson e Noland

Este modelo, proposto pelos autores Atkinson e Noland (1985), foi desenvolvido relacionando as propriedades de resistência e deformação de prismas submetidos a carregamentos de compressão e é baseado no critério de Hilsdorf (1967).

Os critérios que afetam a resistência à compressão uniaxial da alvenaria, segundo os autores, são: a resistência à tração biaxial e uniaxial do bloco, a resistência à tração uniaxial e triaxial da argamassa e padrões de forma do prisma. Segundo o modelo, quanto maiores os blocos, menores são as tensões de tração induzidas nos mesmos.

A figura 8 apresenta o estado de tensões considerado por Atkinson e Nolan, que consideram o prisma como o conjunto bloco/argamassa sujeito a uma tensão de compressão vertical uniforme, gerando tensões laterais de compressão e tração, também uniformes, em ambos os componentes.

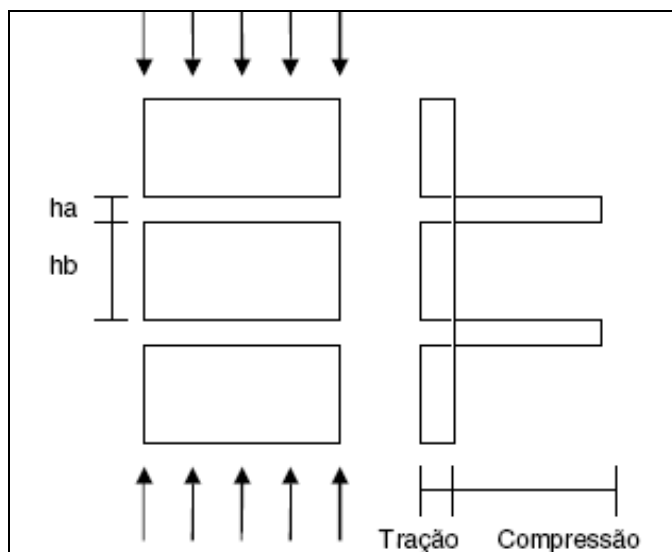


Figura 8 – Distribuição de tensões, segundo o modelo de Atkinson e Nolan.

2.5.3 Ruptura na alvenaria

É importante conhecer o tipo de ruptura ocorrido na alvenaria, a fim de melhorar seu desempenho, é importante conhecer os tipos de tensão que levam à ruptura e verificar seu comportamento sob ação de compressão axial.

Em sua pesquisa, Gomes (1974), concluiu que a ruptura usual em paredes de blocos cerâmicos submetidas à compressão, caracteriza-se pela ruptura dos blocos. No entanto, também foi observado que quando empregada argamassa de baixa resistência à compressão nas paredes, a ruptura pode ocorrer por esmagamento de uma de suas fiadas.

Segundo Cheema e Klingner (1986), os modos de ruptura dos prismas não-grauteados são:

- Tração do bloco, onde a tensão de tração exercida no bloco é maior que a resistência à tração do mesmo;
- Esmagamento do bloco, onde a tensão de compressão exercida no bloco é maior que a resistência à compressão do mesmo;
- Esmagamento da argamassa, onde a tensão de compressão exercida na argamassa é maior que a resistência à compressão da mesma.

Monk (1967) concluiu em seus ensaios de laboratório de alvenaria não armada que, em praticamente todos os casos, a ruptura ocorre no bloco cerâmico pelo fendilhamento vertical, ocasionado quando as tensões de tração ultrapassam a resistência à tração do bloco. Quando unidades cerâmicas são ensaiadas à compressão, o prato de aço, sendo muito mais rígido que elas, produz nessas, deformações laterais de compressão, ocasionando ruptura por cisalhamento.

Mohamad (1998) verificou que a ruptura em blocos de concreto é devida a um dos seguintes fatores: esmagamento da argamassa, tração na argamassa e tração no bloco. O autor também pôde observar que, quando foi utilizada argamassa com resistência à compressão inferior à do bloco, a ruptura foi dúctil, ocorrendo um esfacelamento da parte externa das paredes dos blocos. Quando foi utilizada argamassa com resistência à compressão do mesmo nível da resistência da do bloco na área líquida, o tipo de ruptura foi frágil, no sentido da secção transversal do prisma.

2.5.4 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade pode ser conhecido através do traçado do gráfico tensão-deformação específica, obtido na compressão, a fim de avaliar e quantificar a deformação ocorrida durante o ensaio.

Várias maneiras podem ser utilizadas para se obter o módulo de elasticidade dos elementos de alvenaria. Normalmente o módulo é determinado através do gráfico tensão-deformação para uma carga correspondente de 40% a 60% da carga de ruptura para o módulo secante, e à carga correspondente a 30% para o módulo tangente inicial.

Segundo Mohamad (2007), isso acontece por ocorrer neste trecho um comportamento linear dos elementos (prismas e paredes).

A Figura 9 mostra uma curva típica de um gráfico tensão-deformação de concreto, submetido a esforços de compressão ou tração, com carregamentos e descarregamentos sucessivos, e permite visualizar o método de obtenção dos módulos de elasticidade através do gráfico.

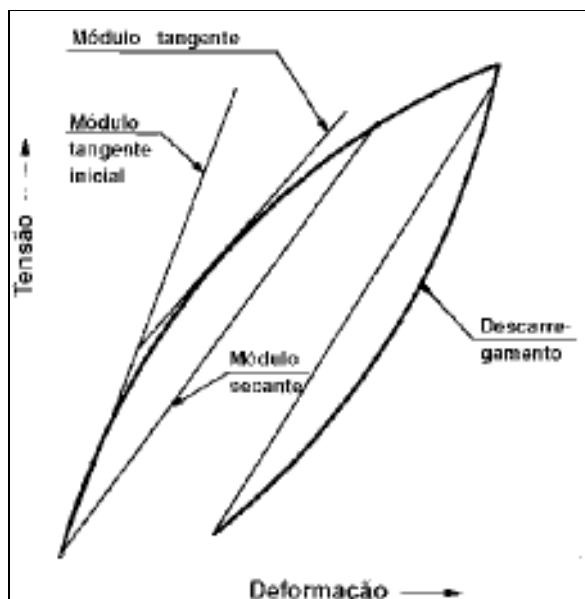


Figura 9 – Curva tensão-deformação típica de concreto.

Ainda não existem ensaios brasileiros normalizados para a determinação do módulo de elasticidade de blocos cerâmicos ou de concreto.

O ACI – Building Code 318 determina para concretos de massa específica entre 1442 e 2483 Kg/m³, a seguinte expressão para a obtenção do módulo de elasticidade secante:

$$E_b = 0,0428 \cdot f_b^{1/2} \cdot W_b^{1,5}$$

Onde:

E_b = Módulo de elasticidade do bloco em MPa;

f_b = Resistência à compressão do bloco em MPa;

W_b = Peso unitário do bloco em Kg/m³.

O CEB – FIB Mode Code (1990) determina que o módulo de elasticidade do bloco de concreto seja obtido pela equação:

$$E_b = 2,5 \times 10^4 \cdot (f_b / 10)^{1/3}$$

Onde:

E_b = Módulo de elasticidade do bloco em MPa;

f_b = Resistência à compressão do bloco aos 28 dias, em MPa;

A NBR 8522 (2008) determina o módulo de deformação de argamassas através do gráfico tensão-deformação, obtendo-se através dos pontos 0,5 MPa e a 30% da carga de ruptura.

Os autores Cheema e Klingner (1986) determinaram o módulo de elasticidade tangente e secante das argamassas em função da resistência à compressão, utilizando as seguintes equações:

$$E_{at} = 1000.f_a$$

$$E_{as} = 500.f_a$$

Onde:

E_{at} = Módulo de elasticidade tangente da argamassa;

f_a = Resistência à compressão da argamassa, em MPa;

E_{as} = Módulo de elasticidade secante da argamassa.

Garcia (2000) considerou em sua pesquisa o módulo de elasticidade em torno de 30% a 40% da carga de ruptura, de blocos, argamassas, prismas e painéis de paredes, isso por que nesse trecho, o comportamento do gráfico tende a se manter linear. Também foi considerado o terço médio do corpo-de-prova para a obtenção do módulo, por esse possuir menor influência dos pratos da prensa.

A Tabela 7 apresenta os valores encontrados pela autora. Em que a relação área líquida/área bruta é de 0,51.

Tabela 7 – Módulos de Elasticidade e resistências à compressão

	Resistência Média (MPa)	Módulo de Elast. (MPa)
Bloco (Área Líquida)	16,30	8182
Argamassa	13,24	10900
Painel de alvenaria (Área Bruta - oco)	4,02	4829

Mohamad (2007), em sua tese, concluiu que o módulo de elasticidade deve ser obtido no terço médio, pois os resultados são afetados pelos pratos da prensa quando se considera o deslocamento total do corpo-de-prova.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos adotados nos ensaios, realizados para caracterizar os componentes e elementos de alvenaria estrutural e uma comparação entre blocos de alvenaria estrutural cerâmica de duas larguras diferentes.

Foram realizados ensaios para caracterização dos componentes blocos e argamassas, ensaios de resistência à compressão axial de blocos, prismas de três fiadas sobrepostas e pequenas paredes de dois blocos por quatro fiadas de altura, utilizando dois tipos de argamassa produzida em laboratório, com traços extraídos da norma inglesa.

Para realização dos ensaios, foram confeccionados 5 prismas e 4 pequenas paredes para cada tipo de bloco, combinados com 2 tipos de argamassa.

Nos ensaios de resistência à compressão dos prismas e pequenas paredes, foram fixados extensômetros de medição digital, para a obtenção das deformações. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria.

No decorrer do capítulo, serão descritos os métodos de moldagem de prismas e pequenas paredes, os procedimentos realizados para a caracterização desses elementos e dos componentes blocos e argamassas. Também serão descritos os métodos de ensaio utilizados, necessários para a caracterização e para que fosse estabelecido um estudo comparativo entre os dois tipos de blocos.

3.2 Ensaio dos componentes

3.2.1 Blocos Estruturais

Os blocos cerâmicos estruturais utilizados foram provenientes da empresa Pauluzzi Produtos Cerâmicos Ltda, localizada no município de Sapucaia do Sul (RS). Foram utilizadas duas geometrias de blocos, um bloco mais esbelto de 115 x 190 x 290 mm e o bloco mais comumente usado na construção civil, com geometria de 140 x 190 x 290 mm. Eles foram armazenados no momento de seu recebimento, em local adequado no LMCC, onde fosse garantida a integridade das amostras.

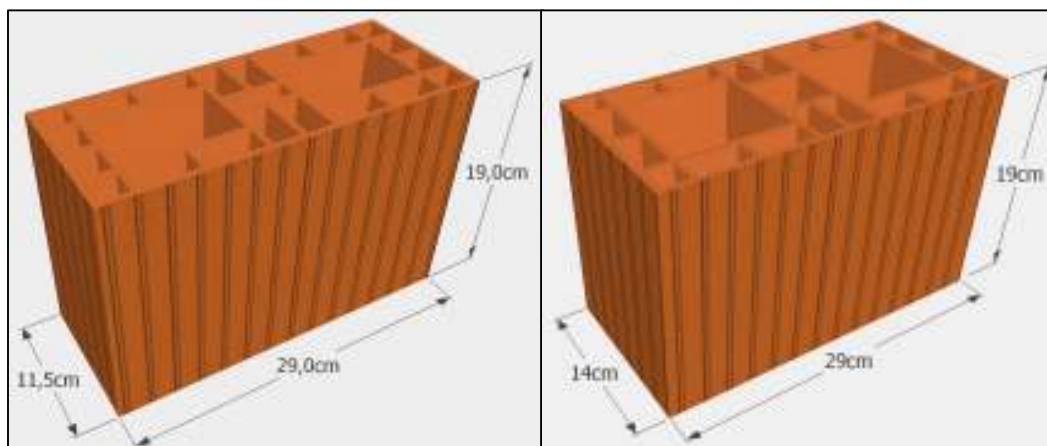


Figura 10 – Geometria dos blocos utilizados na pesquisa

Os blocos foram ensaiados de acordo com as normas brasileiras vigentes, para obtenção de suas características físicas e mecânicas. O ensaio de resistência à tração foi realizado segundo a norma americana ASTM C 1006 (1984).

Foram realizados os seguintes ensaios:

- Características geométricas
- Índice de absorção de água
- Área bruta e área líquida
- Resistência à compressão
- Resistência à tração

Para os ensaios de determinação das características dimensionais e da resistência à compressão foram utilizados 12 blocos de cada. No restante dos ensaios, foram utilizados 6 blocos de cada geometria.

3.2.1.1 Determinação das geometrias, área líquida, área bruta, índice de absorção de água e índice de absorção de água inicial

Os ensaios foram realizados de acordo com a norma NBR 15270-3 (2005), seguindo os métodos de ensaio para blocos cerâmicos estruturais.



Figura 11 – Blocos utilizados na pesquisa

3.2.1.2 Determinação da resistência à compressão

A resistência à compressão dos blocos foi obtida segundo a NBR 15270-3 (2005), anexo C. O ensaio foi realizado em uma prensa de marca WPM, calibrada, escala 1.500 KN.

Foram utilizados 12 blocos de cada geometria, primeiramente capeados com argamassa de cimento e areia (1:1). Para o capeamento, foi observada a espessura máxima de 3 mm em ambas as faces dos blocos.

Posteriormente foi respeitado o período de 48 horas para a cura do capeamento, após a cura, os blocos foram imersos em água por um período de 24 horas.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado, respeitando o limite de velocidade de carga de 0,5 MPa/s.

3.2.1.3 Determinação da resistência à tração

O ensaio de resistência à tração foi realizado de acordo com a norma americana ASTM C 1006 (1984). Foram utilizados seis blocos de cada geometria, utilizando barras cilíndricas de aço com diâmetro de 20 mm, com comprimento maior do que a largura dos blocos.

A resistência à tração é determinada pela equação:

$$T = \frac{2.P}{\pi.L.H}$$

Onde:

T = Resistência à tração por compressão

P = Carga aplicada (KN)

L = Largura do bloco (mm)

H = Altura da amostra (mm)

A Figura 12 ilustra o ensaio de resistência à tração indireta, por compressão.



Figura 12 – Ensaio de resistência à tração

3.2.2 Argamassa de assentamento

A argamassa utilizada na pesquisa é mista de cimento, cal e areia. Foram utilizados dois traços usuais, estabelecidos pela norma britânica BS 5628/78, *Code of practice for structural use of masonry*. Para a argamassa mais forte, foi considerado o traço ii), em volume 1:0,5:4 (cimento:cal:areia), e para a argamassa mais fraca, foi considerado o traço iii), em volume 1:1:6.

Tabela 8 – Traços das argamassas utilizadas

Argamassa	Traço (cimento:cal:areia)
A	1:0,5:4
B	1:1:6

3.2.2.1 Materiais utilizados

A seguir, são caracterizados os materiais utilizados na confecção da argamassa de assentamento, utilizada na moldagem dos prismas e pequenas paredes.

a) Areia

A areia utilizada nesta pesquisa é de origem natural, extraída do rio Vacacaí-Mirim, na região central do Rio Grande do Sul. O material foi recebido ensacado. Para a utilização nos ensaios, a areia foi toda seca em estufa e devidamente armazenada em sacos plásticos.

Posteriormente o material foi caracterizado, de acordo com as normas brasileiras para agregados. Foram realizados ensaios de determinação da composição granulométrica, de acordo com a NBR 7217/82, determinação da massa específica, segundo a NBR 9776/87 e de massa solta, segundo a NBR 7251/82. Foram também calculados o diâmetro máximo e o módulo de finura, de acordo com a NBR 7211/83.

Tabela 9 – Composição granulométrica do agregado miúdo

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR 7217							
PENEIRAS		1 DETERMINAÇÃO		2 DETERMINAÇÃO		% RETID. MÉDIA	% RETID. ACUM.
n	mm	P. RETIDO	% RETIDA	P. RETIDO	% RETIDA		
3/8"	9,5	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,3	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,8	0,6	0,04	2,90	0,27	0,16	0,16
8	2,4	13,5	0,97	10,30	0,95	0,96	1,11
16	1,2	37,2	2,66	30,80	2,85	2,76	3,87
30	0,6	191,4	13,69	159,40	14,75	14,22	18,09
50	0,3	746,9	53,41	502,70	46,52	49,96	68,05
100	0,15	287,7	20,57	291,50	26,98	23,77	91,83
Fundo	< 0,15	121,2	8,67	83,00	7,68	8,17	100,00
TOTAL		1398,5	100,00	1080,60	100,00	100,00	

Tabela 10 – Características físicas da areia

<i>Módulo de Finura</i>	1,83
<i>Diâmetro Máximo</i>	1,20 mm
<i>Massa Unitária</i>	1,501 g/cm ³
<i>Massa Específica</i>	2,645 g/cm ³

b) Cal Hidratada

A cal utilizada nessa pesquisa para a composição das argamassas, foi a Cal Hidratada Primor Extra, da classe CH II, recebida em sacos de 25 Kg e armazenada em local adequado.

Foram realizados ensaios de massa unitária segundo a NBR 7251/82 e de massa específica, de acordo com a Norma Mercosul 23:2000. Os resultados obtidos estão na Tabela 11.

Tabela 11 – Características da cal hidratada

<i>Massa Unitária</i>	0,637 g/cm ³
<i>Massa específica</i>	2,319 g/cm ³

c) Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o CPV – ARI (Alta Resistência Inicial), do fabricante Votoran. Esse cimento foi utilizado por ser facilmente encontrado na região e também por apresentar sua composição mais próxima do Cimento Portland Comum.

Esse material foi recebido em sacos de 50 Kg, que foram envoltos em sacos de plástico e armazenados em local adequado, onde fossem conservadas suas propriedades.

Foram realizados ensaios de massa específica segundo a Norma Mercosul 23:2000 e de massa unitária, de acordo com a NBR 7251/82, para a caracterização do cimento.

Tabela 12 – Características do cimento

Massa Unitária	0,967 g/cm ³
Massa Específica	2,941 g/cm ³

3.2.2.2 Execução da argamassa de assentamento

Para a confecção da argamassa, anteriormente, toda a areia utilizada foi seca em estufa. A mistura foi realizada com betoneira, primeiramente foi adicionada água à areia, e posteriormente, os aglomerantes. O índice de consistência adotado para a argamassa foi de 260 mm, com tolerância de mais ou menos 5 mm (255 até 265 mm), o índice foi determinado de acordo com a norma NBR 13276/2005.

Seguem na Tabela 13, os traços adotados em volume e massa, seus respectivos índices de consistência adotados e fatores água/cimento adotados.

Tabela 13 – Argamassas de assentamento utilizadas na pesquisa

Argamassas	Traço volume (cim:cal:areia)	Traço massa (cim:cal:areia)	Fator água/cimento	Índice de consistência
A	1:0,5:4	1:0,33:6,21	1,25	259 mm
B	1:1:6	1:0,66:9,31	1,80	255 mm

3.2.2.3 Ensaios de resistência à tração na flexão e compressão axial

Para a realização dos ensaios de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão axial, foram moldados corpos-de-prova prismáticos com

dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm, os corpos-de-prova foram ensaiados aos 28 dias. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma NBR 13279/2005.



Figura 13 – Corpos-de-prova moldados



Figura 14 – Corpos-de-prova das argamassas utilizadas

a) Resistência à tração na flexão

A Figura 15 ilustra o ensaio de resistência à tração na flexão.



Figura 15 – Ensaio de resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão é calculada pela equação:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_t \cdot L}{b \cdot d^2}$$

Onde:

R_f = Resistência à tração na flexão (MPa)

F_t = Carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N)

L = Distância entre os suportes (mm)

b = Largura do corpo de prova (mm)

d = Altura do corpo de prova (mm)

b) Resistência à compressão axial

Para o ensaio de compressão, são utilizadas as duas metades dos corpos-de-prova resultantes do ensaio de tração na flexão. Nesse ensaio, foi utilizada a prensa da marca AMSLER, calibrada na escala de 100 KN.



Figura 16 – Ensaio de resistência à compressão das argamassas

A resistência à compressão é calculada pela equação:

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

Onde:

R_c = Resistência à compressão (MPa)

F_c = Carga aplicada (N)

1600 = área considerada em mm² (40 mm x 40 mm)

3.3 Ensaio dos elementos

3.3.1 Prismas

Serão descritos a seguir os métodos de execução de prismas utilizados nesta pesquisa e os procedimentos laboratoriais realizados de compressão axial e medição das deformações sofridas pelos mesmos.

3.3.1.1 Execução dos prismas

Foram confeccionados prismas de três fiadas, conforme orientação da norma NBR 8215/83. Os prismas foram executados com dois tipos de blocos de larguras diferentes (11,5 e 14 cm), e dois traços de argamassa. Foram executados 5 prismas para cada tipo de bloco, variando a argamassa, totalizando 20 prismas.

Todos os prismas e pequenas paredes foram executados por um mesmo profissional, com experiência em alvenaria estrutural, de modo a minimizar essa variável no desempenho dos ensaios. Durante a moldagem dos prismas, foi observado que as juntas de argamassa mantivessem a espessura de 10 mm, com variação de mais ou menos 3 mm.

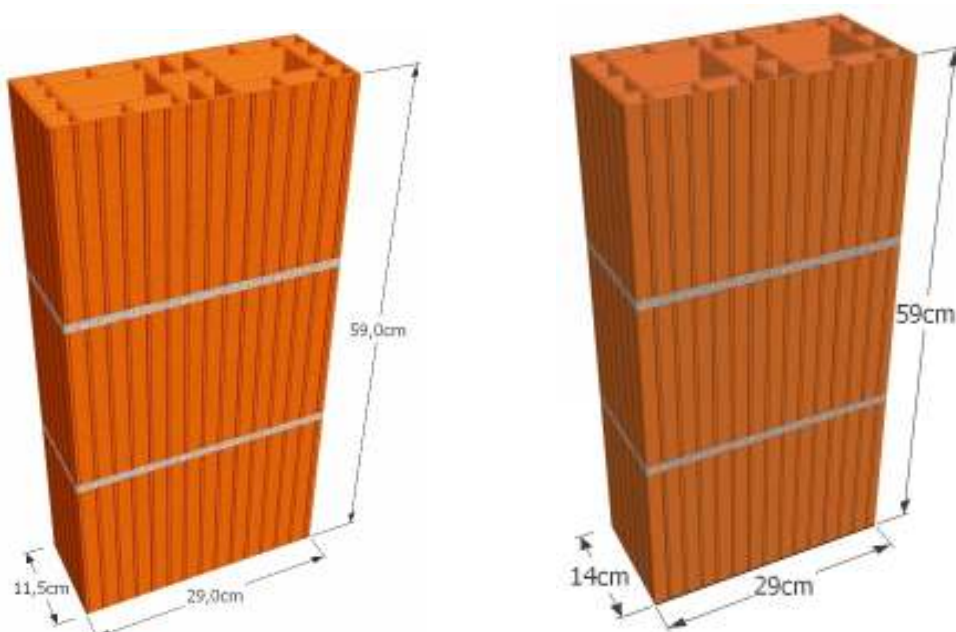


Figura 17 – Prismas utilizados na pesquisa

O capeamento dos prismas foi realizado pelo mesmo método utilizado nos blocos, executado três semanas após a moldagem.



Figura 18 – Capeamento de prismas e pequenas paredes

3.3.2.2 Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas

Os ensaios de resistência à compressão dos prismas foram realizados aos 28 dias, seguindo a norma NBR 8215/83. Para a realização dos ensaios, foi utilizada uma prensa hidráulica de marca WPM, calibrada na escala de 1.500 KN.



Figura 19 – Ensaio de resistência à compressão de prisma.

Nos mesmos prismas ensaiados à compressão, foram fixados equipamentos para que fosse presa uma haste, que por sua vez seria fixada a um relógio digital medidor de deslocamentos, com resolução de 0,001 mm, da marca Mitutoyo. Essa deformação foi medida em cada um dos prismas ensaiados. O equipamento foi fixado de modo a medir a deformação dos prismas, contemplando também as duas juntas de argamassa, sendo fixado nos pontos acima da junta de argamassa superior e abaixo de junta de argamassa inferior.



Figura 20 – Posição dos relógios medidores de deslocamentos nos prismas

3.3.2 Pequenas paredes

A seguir, serão apresentados os métodos de execução de pequenas paredes ensaiadas neste trabalho e os procedimentos laboratoriais realizados de compressão axial e medição das deformações sofridas pelas mesmas.

3.3.2.1 Execução das pequenas paredes

As pequenas paredes adotadas na pesquisa foram constituídas de quatro fiadas de altura, por dois blocos de comprimento. Foram utilizados dois blocos de espessuras diferentes nos ensaios, logo as dimensões das pequenas paredes foram

em média de 79 cm de altura, 59 cm de comprimento e largura de 14 cm ou 11,5 cm, conforme o bloco utilizado. Para cada tipo de argamassa e bloco, foram moldadas 4 pequenas paredes, totalizando 16 pequenas paredes executadas.

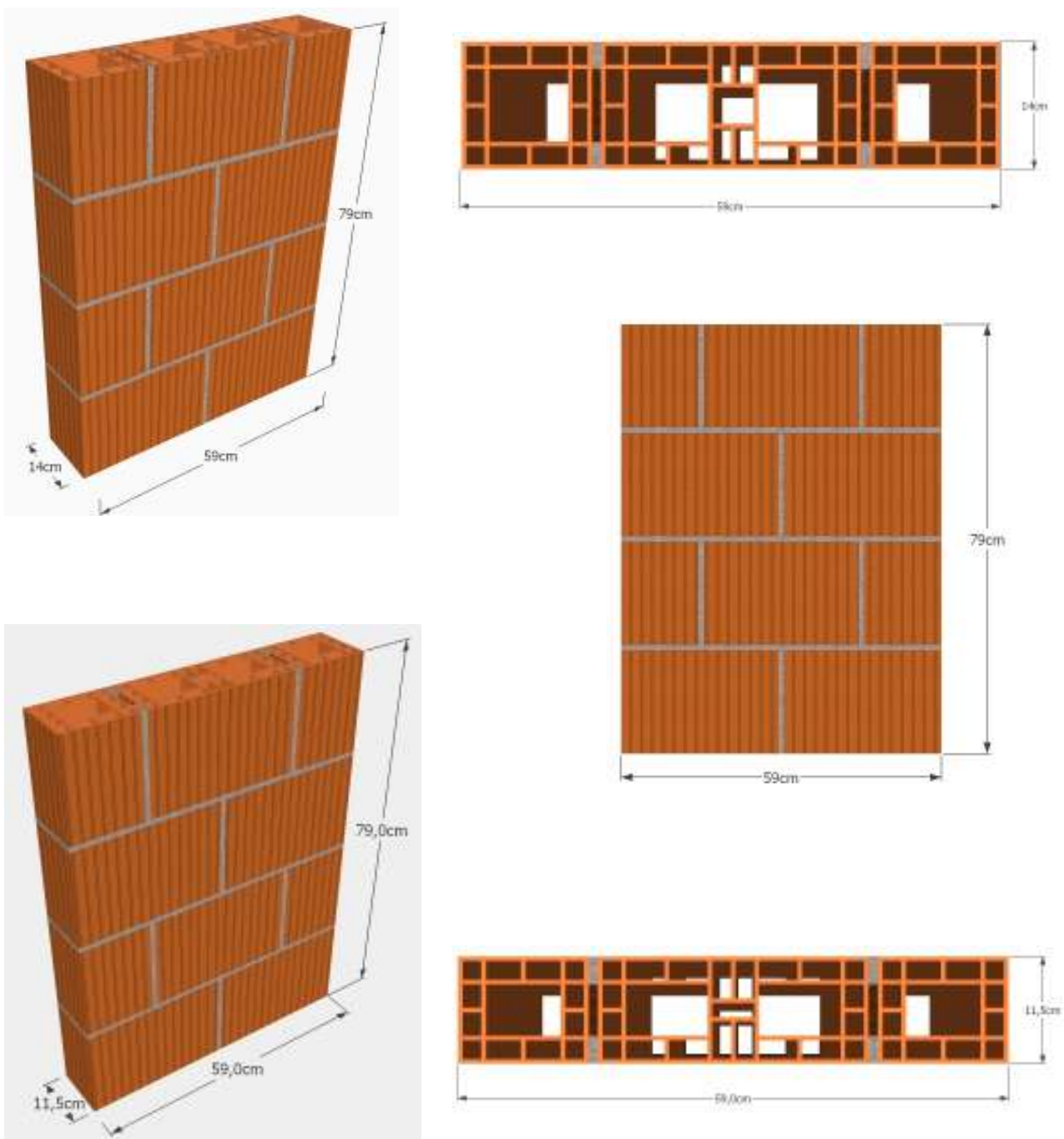


Figura 21 – Ilustrações das pequenas paredes ensaiadas



Figura 22 – Execução de pequenas paredes

O pedreiro que executou as pequenas paredes, foi o mesmo que moldou os prismas. Foi adotado argamassamento total nos assentamentos dos blocos, e dois filetes nas juntas verticais, executados com o auxílio da canaleta de assentamento.

O capeamento foi executado 3 semanas após a moldagem das pequenas paredes.



Figura 23 – Pequenas paredes e prismas

3.3.2.2 Resistência à compressão e módulo de elasticidade das pequenas paredes

Os ensaios de resistência à compressão das pequenas paredes foram realizados aos 28 dias, seguindo a norma NBR 8215/83. Foi utilizada a prensa de marca WPM, calibrada na escala 1.500 KN.



Figura 24 – Ensaio de compressão de pequenas paredes

Seguindo o mesmo método de medição de deformações utilizado nos prismas, foram fixados nas mesmas pequenas paredes ensaiadas à compressão, relógios digitais medidores de deformação no terço médio dos corpos-de-prova. Diferentemente dos prismas, a medição de deformação das pequenas paredes, contempla uma junta de argamassa.



Figura 25 – Pequena parede com o relógio medidor de deformação fixado.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios referentes à pesquisa. Primeiramente os resultados dos ensaios com blocos, e na seqüência, os valores encontrados nos ensaios com argamassas, prismas de três blocos e pequenas paredes.

4.2 Ensaio com blocos estruturais

4.2.1 Caracterização geométrica, índice de absorção de água, área bruta e área líquida e índice de absorção de água inicial

Os ensaios de caracterização geométrica, seguindo a norma NBR 15270 (2005), estão com seus resultados apresentados nas tabelas a seguir. Para facilitar a compreensão dos resultados, os blocos serão denominados blocos A e B, respectivamente os blocos com 115 mm de largura e o bloco de 140 mm de largura.

Na Tabela 14, são apresentadas as médias das dimensões de uma amostra de 12 blocos para cada geometria. Os demais resultados de caracterização geométrica estão apresentados no apêndice.

Tabela 14 – Características geométricas

Bloco		Média (mm)	Desvio Padrão(mm)	Coef. de Variação(%)
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Largura	112,0	1,14	1,02
	Altura	190,6	1,57	0,82
	Comprimento	288,7	1,54	0,53
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Largura	138,5	0,54	0,39
	Altura	188,7	0,86	0,46
	Comprimento	289,0	1,13	0,39

De acordo com a NBR 15270 (2005), a tolerância para a diferença das dimensões normativas dos blocos é de ± 3 mm para as médias e ± 5 mm para as amostras. Pelos resultados obtidos apresentados na Tabela 14 e nas tabelas em anexo, os blocos estão de acordo com a norma.

Tabela 15 – Área líquida e área bruta dos blocos

Bloco		Média (cm²)	Desvio Padrão(cm²)	Coef. de Variação(%)
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Área Bruta	328,73	2,21	0,67
	Área Líquida	153,34	1,39	0,90
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Área Bruta	398,50	4,28	1,07
	Área Líquida	170,83	2,52	1,48

Observa-se, pelos resultados obtidos, que a relação Área Líquida / Área Bruta (AL/AB) é de 0,47 para o bloco A e de 0,43 para o bloco B.

Os resultados dos ensaios de determinação do índice de absorção de água e índice de absorção de água inicial (AAI) estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Índices de absorção de água e índice de absorção de água inicial

<i>Bloco</i>		<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coef. de Variação(%)</i>
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Índice de absorção de água (%)	10,93	0,68	6,22
	Índice de absorção de água inicial (g/193,55 cm ² /min)	12,36	1,61	12,99
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Índice de absorção de água (%)	9,02	0,82	9,09
	Índice de absorção de água inicial (g/193,55 cm ² /min)	12,14	1,55	12,73

4.2.2 Resistência à compressão

Na Tabela 17, estão os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos blocos, segundo a NBR 15270-3 (2005). Os resultados dos ensaios estão relacionados às áreas bruta e líquida dos blocos, para os blocos A e B.

Tabela 17 – Resistência à compressão dos blocos

<i>Bloco</i>		<i>Resist. Média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão (MPa)</i>	<i>Coef. de Variação(%)</i>
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Área Bruta	13,73	5,70	41,47
	Área Líquida	29,44	12,21	
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Área Bruta	13,92	4,31	30,94
	Área Líquida	32,48	10,05	

É possível observar que a resistência à compressão dos dois blocos apresenta valores próximos, tanto para a área bruta, como para a área líquida.

Também se observou coeficientes de variação muito elevados nos ensaios, ocasionando resultados de Fbk, em relação à área bruta, segundo a NBR 15270 (2005), de 5,95 MPa para o bloco A e 4,88 MPa para o bloco B.

4.2.3 Resistência à tração

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração, realizados de acordo com a norma americana ASTM C 1006 (1984), são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 18 – Resistência à tração dos blocos

<i>Bloco</i>	<i>Resist. Média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão(MPa)</i>	<i>Coef. de Variação(%)</i>
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	0,29	0,11	39,05
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	0,33	0,08	23,05

Os resultados encontrados representam 2,1 % da resistência à compressão para o bloco A e aproximadamente 2,3 % da resistência à compressão encontrada nos ensaios com o bloco B.

4.3 Ensaio com argamassas

4.3.1 Resistência à tração na flexão

A Tabela 19 apresenta os resultados encontrados nos ensaios de resistência à tração na flexão das argamassas utilizadas.

Tabela 19 – Resistência à tração na flexão das argamassas utilizadas

Argamassa	Resist. Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação
Argamassa A 1 : 0,5 : 4	1,84	0,20	10,82
Argamassa B 1 : 1 : 6	1,05	0,16	14,85

4.3.2 Resistência à compressão axial

Os resultados encontrados nos ensaios de compressão axial das argamassas utilizadas estão na tabela a seguir.

Tabela 20 – Resistência à compressão axial das argamassas utilizadas

Argamassa	Resist. Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação
Argamassa A 1 : 0,5 : 4	5,88	1,09	18,61
Argamassa B 1 : 1 : 6	3,23	0,34	10,64

4.4 Ensaio com prismas

4.4.1 – Resistência à compressão

A Tabela 21 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão realizados com os prismas. Primeiramente será apresentada uma tabela com os valores de resistência à compressão em relação à área bruta dos blocos e, em seguida, serão apresentados os valores em relação à área líquida.

Tabela 21 – Resistência à compressão dos prismas em relação à área bruta

<i>Prismas</i>		<i>Resist. Média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coef. de Variação</i>
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	7,16	0,48	6,70
	Arg. B	5,53	1,14	20,60
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	6,19	0,83	13,46
	Arg. B	4,71	0,86	18,19

Verificou-se um crescimento da resistência dos prismas, com o aumento da resistência da argamassa para os dois tipos de blocos.

Tabela 22 – Resistência à compressão dos prismas em relação à área líquida

<i>Prismas</i>		<i>Resist. Média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coef. de Variação</i>
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	15,57	1,04	6,70
	Arg. B	12,02	2,48	20,60
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	14,71	1,98	13,46
	Arg. B	11,20	2,04	18,19

4.4.2 – Módulo de elasticidade

Os valores encontrados para os módulos de elasticidade dos prismas estão na Tabela 23. O módulo é correspondente a 30% da carga de ruptura dos prismas

Tabela 23 – Módulos de elasticidade dos prismas

<i>Prismas</i>		<i>Módulo</i>		<i>Módulo</i>		<i>Coef. de Var.</i>
		<i>Área Bruta (GPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Área Líquida (GPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>	
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	1,54	0,03	3,35	0,07	2,25
	Arg. B	2,15	0,25	4,66	0,56	11,62
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	3,22	0,61	7,66	1,44	18,89
	Arg. B	2,10	0,28	4,99	0,66	13,13

As Figuras 26 e 27 mostram os gráficos dos ensaios com prismas, usados para obter o módulo de elasticidade.

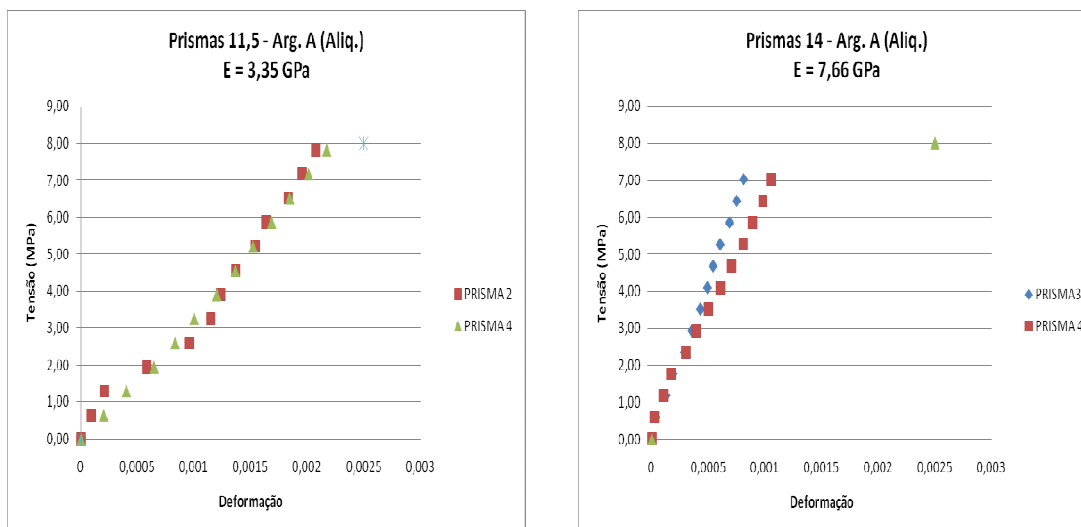


Figura 26 – Gráficos tensão x deformação, em relação à área líquida, dos prismas com blocos A e B, respectivamente, com argamassa de traço A.

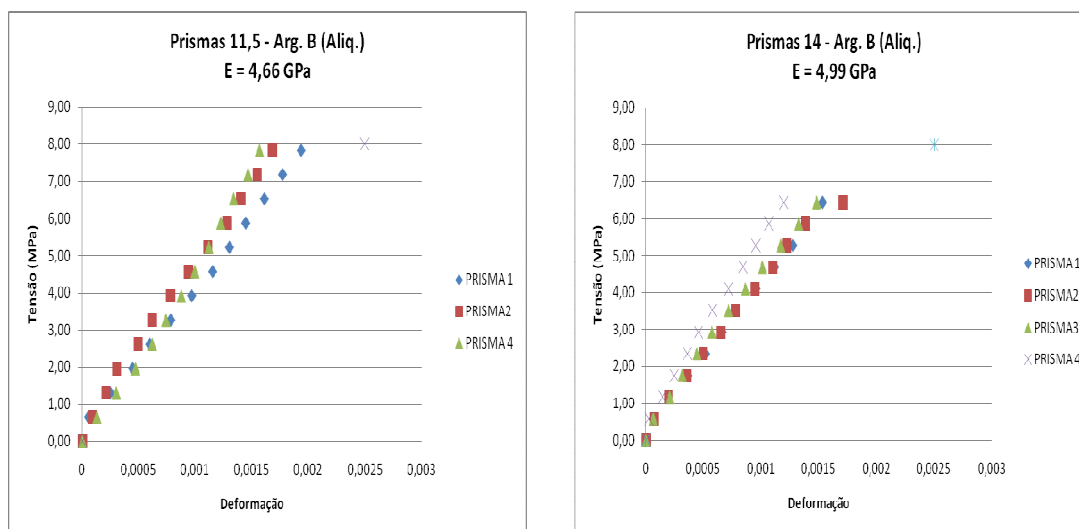


Figura 27 – Gráficos tensão x deformação, em relação à área líquida, dos prismas com blocos A e B, respectivamente, com argamassa de traço B.

4.5 Ensaios com pequenas paredes

4.5.1 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão de pequenas paredes foram realizados conforme o roteiro descrito anteriormente. Os resultados obtidos são apresentados em relação às áreas bruta e líquida, assim como nos prismas, em virtude da diferença da geométrica dos blocos, para se estabelecer posteriormente comparações.

Nas Tabelas 24 e 25, estão os resultados do ensaio, em relação às áreas bruta e líquida, respectivamente, para os dois traços de argamassa utilizados na confecção das pequenas paredes.

Tabela 24 – Resistência à compressão das pequenas paredes em relação à área Bruta

Pequenas Paredes		Resist. Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	6,39	0,34	5,46
	Arg. B	5,45	0,39	7,21
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	5,19	0,16	3,02
	Arg. B	3,92	0,57	14,62

Tabela 25 – Resistência à compressão das pequenas paredes em relação à área Líquida

Pequenas Paredes		Resist. Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	14,14	0,77	5,46
	Arg. B	12,06	0,87	7,21
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	12,54	0,38	3,02
	Arg. B	9,48	1,39	14,62

4.5.2 Módulo de Elasticidade

Os resultados de módulo de elasticidade mostrados na Tabela 26 foram obtidos através da média das leituras dos relógios digitais medidores de deformação. Os valores de módulo estão demonstrados em relação às áreas bruta e líquida dos blocos.

Tabela 26 – Módulos de elasticidade das pequenas paredes

Pequenas Paredes		Módulo		Módulo		Coef. de Var.
		Área Bruta (GPa)	Desvio Padrão	Área Líquida (GPa)	Desvio Padrão	
BLOCO A 115 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	6,56	0,59	14,52	1,30	8,93
	Arg. B	5,82	0,23	12,88	0,49	3,98
BLOCO B 140 x 190 x 290 L x H x C (mm)	Arg. A	7,15	0,65	17,26	1,56	9,09
	Arg. B	4,73	0,92	11,43	2,20	19,32

As Figuras 28, 29, 30 e 31 mostram os gráficos obtidos a partir da medição realizada nas pequenas paredes. Os módulos de elasticidade foram obtidos através da secante de retas traçadas ligando o ponto inicial até um ponto da curva correspondente a 30% da carga de ruptura de cada pequena parede ensaiada.

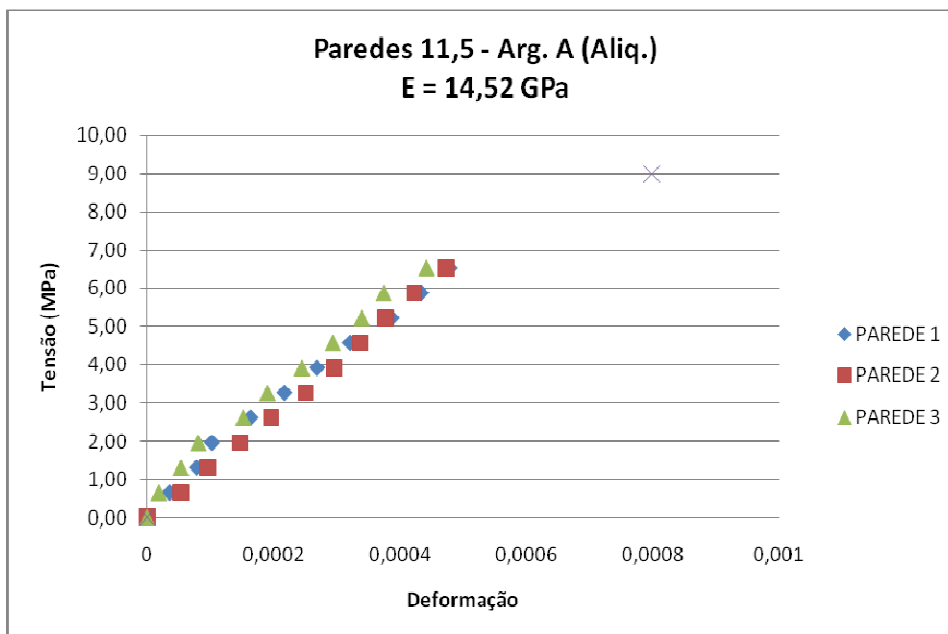


Figura 28 - Gráfico tensão x deformação, em relação à área líquida, das pequenas paredes com bloco A, com argamassa de traço A.

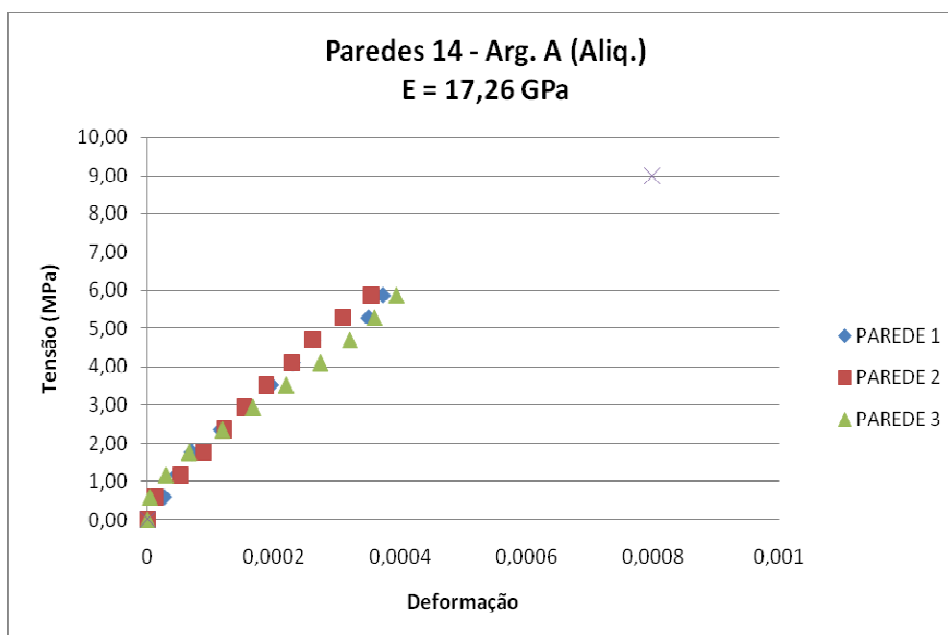


Figura 29 - Gráfico tensão x deformação, em relação à área líquida, das pequenas paredes com bloco B, com argamassa de traço A.

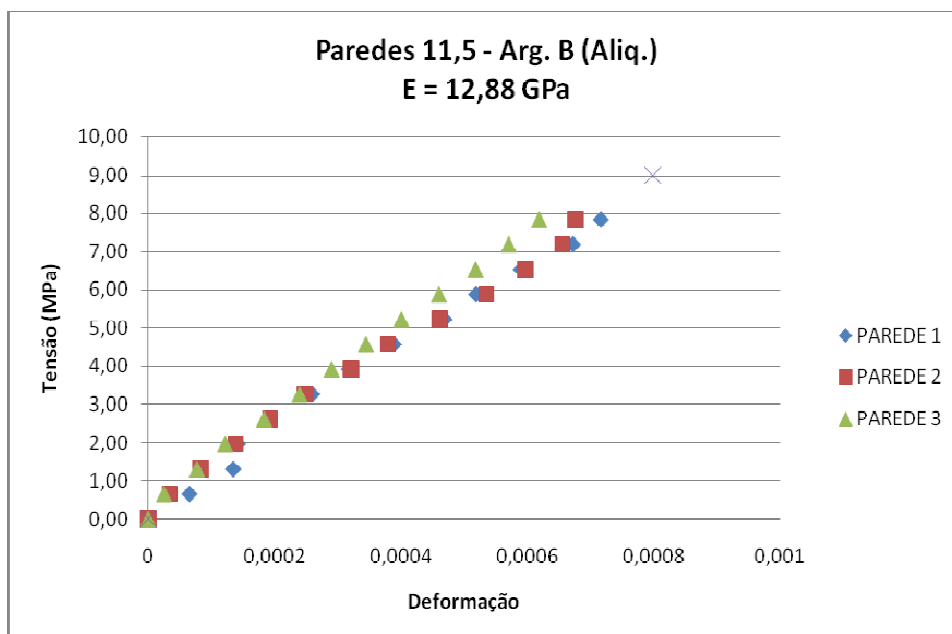


Figura 30 - Gráfico tensão x deformação, em relação à área líquida, das pequenas paredes com bloco A, com argamassa de traço B.

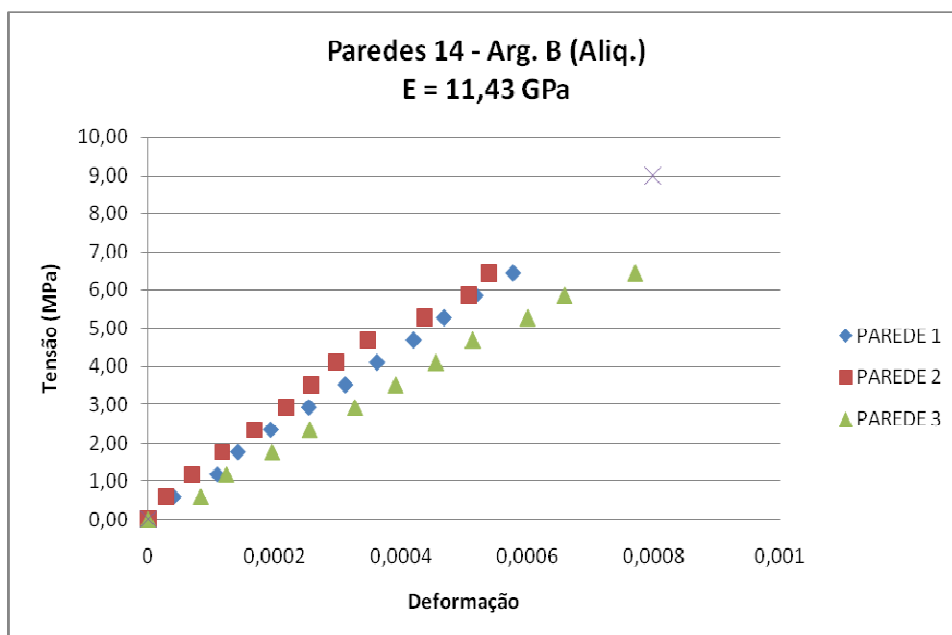


Figura 31 - Gráfico tensão x deformação, em relação à área líquida, das pequenas paredes com bloco B, com argamassa de traço B.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISES E COMPARAÇÕES

Neste capítulo, serão comentados e analisados os resultados obtidos nos ensaios de blocos, prismas e pequenas paredes. Serão analisados e comparados os resultados, estabelecendo uma comparação entre os dois tipos de blocos, a fim de caracterizar e compreender seus comportamentos, levando em consideração os resultados obtidos nesta pesquisa.

5.1 Blocos Estruturais

5.1.1 Análise geométrica

Em relação às análises dimensionais, os blocos atenderam às especificações da norma (NBR 15270/2005), como foi comentado anteriormente. Os valores obtidos no ensaio de caracterização geométrica ficaram dentro do intervalo de tolerância de ± 5 mm para amostras individuais e ± 3 mm para as médias encontradas.

Observaram-se as diferenças entre as áreas brutas e líquidas dos blocos, em relação à área bruta, estabelecendo-se uma comparação entre os blocos, foi determinado que a diferença corresponde, a aproximadamente, 21% de acréscimo de área bruta para o bloco B em relação ao bloco A. Já, em relação a área líquida dos blocos, também estabelecendo uma comparação entre as duas geometrias, é encontrado um acréscimo de, aproximadamente, 11% de área para o bloco B em relação ao bloco A.

Tabela 27 – Relação entre as áreas dos blocos

<i>Relação</i>	<i>Área Bruta</i>	<i>Área Líquida</i>
Bloco B / Bloco A	1,21	1,11

5.1.2 Resistência à compressão e tração

Os valores médios encontrados nos ensaios de resistência à compressão dos blocos foram próximos para os dois tipos de blocos. Em relação à área líquida, o bloco B apresentou aproximadamente 10% a mais, em relação ao bloco A. Posteriormente será apresentada a análise estatística do experimento, onde foi verificado que as médias estatisticamente são iguais.

Também se pôde observar uma grande variação nos resultados encontrados neste ensaio de resistência à compressão, ocasionando valores de F_{bk} , calculados segundo a NBR 15270 (2005) de 5,95 MPa para o bloco A e de 4,88 MPa para o bloco B.

Nos ensaios de resistência à tração realizados nos blocos, foram encontrados resultados 2,1% e 2,3% da resistência à compressão dos blocos A e B, respectivamente. O bloco B apresentou resistência à tração média 14% maior que o bloco A.

5.2 Prismas

5.2.1 Resistência à compressão

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos prismas apresentaram aumento, com o acréscimo de resistência da argamassa para os dois blocos. Houve um acréscimo de 30% de resistência para o bloco A e 31% para o bloco B, comparando as médias dos dados obtidos com os dois traços de argamassa utilizados.

As Tabelas 28 e 29 apresentam valores relacionando a resistência à compressão obtidas nos ensaios com prismas, com os dois tipos de blocos e traços de argamassa utilizados. Em relação à área bruta e à área líquida, respectivamente.

Tabela 28 – Relação entre resistência à compressão na área bruta

Coluna / Linha	P_{AA}	P_{AB}	P_{BA}	P_{BB}
P_{AA}	1,00	0,77	0,86	0,66
P_{AB}	1,29	1,00	1,12	0,85
P_{BA}	1,16	0,89	1,00	0,76
P_{BB}	1,52	1,17	1,31	1,00

Tabela 29 – Relação entre resistência à compressão na área líquida

Coluna / Linha	P_{AA}	P_{AB}	P_{BA}	P_{BB}
P_{AA}	1,00	0,77	0,94	0,72
P_{AB}	1,30	1,00	1,22	0,93
P_{BA}	1,06	0,82	1,00	0,76
P_{BB}	1,39	1,07	1,31	1,00

Onde: **P_{AA}** - Prisma com bloco A e argamassa A
 P_{AB} - Prisma com bloco A e argamassa B
 P_{BA} - Prisma com bloco B e argamassa A
 P_{BB} - Prisma com bloco B e argamassa B

As resistências à compressão média, em relação à área líquida, encontradas nos ensaios de prisma, para os dois tipos de blocos, apresentaram valores muito próximos, comparando os ensaios realizados com o mesmo traço de argamassa.

Para os dois traços, foram encontrados valores com pequeno acréscimo de resistência no uso do bloco A. Estabelecendo-se uma comparação entre os prismas confeccionados com os dois tipos de blocos, para um mesmo traço de argamassa, a média dos resultados de ensaios de prismas com uso do traço A (5,88) apresentou um acréscimo de 5,8% para o bloco A em relação ao bloco B. Para os prismas confeccionados com o traço B (3,23), a média apresentou um valor 7,3% superior para os prismas com bloco A. Posteriormente será apresentada a análise estatística do experimento.

A Figura 32 apresenta um gráfico com os valores encontrados nos ensaios de resistência à compressão dos prismas, em relação à área líquida.

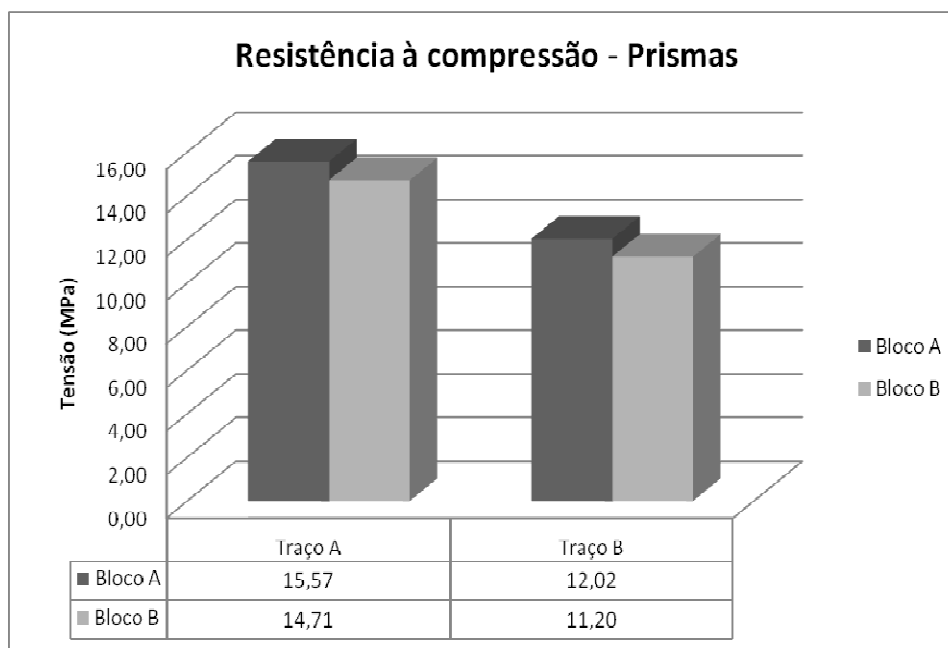


Figura 32 – Gráfico da resistência à compressão dos prismas em relação à área Líquida.

5.2.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade não apresentou o mesmo comportamento para os dois tipos de blocos empregados. Nos prismas com bloco A, houve uma diminuição do valor encontrado para o módulo de elasticidade com o aumento da resistência da

argamassa. Nos prismas com bloco B, foi observado o aumento do módulo de elasticidade, com o aumento da resistência da argamassa.

Os valores encontrados correspondentes aos módulos de elasticidade dos prismas apresentam maiores módulos para prismas confeccionados com o bloco B, com os dois tipos de argamassa. No entanto, foram verificados valores próximos para prismas confeccionados com os dois tipos de blocos e traço B (3,23), e nos prismas com argamassa A (5,88), foram verificados valores muito superiores para os corpos-de-prova feitos com o uso dos blocos B.

5.3 Pequenas Paredes

5.3.1 Resistência à compressão

Foi observado acréscimo da resistência à compressão das pequenas paredes, para os dois tipos de blocos, com o aumento da resistência da argamassa. Os valores de tensão encontrados nos ensaios das pequenas paredes foram menores ou iguais aos valores encontrados nos ensaios de prisma, talvez por serem contra fiada e por apresentarem mais fiadas, o que aumenta a esbeltez.

O crescimento de resistência das paredes, com o aumento de resistência da argamassa, foi acompanhado pelas pequenas paredes confeccionadas com o bloco B, que apresentou um acréscimo de 32,2% com o aumento de resistência do traço utilizado. As pequenas paredes confeccionadas com o bloco A apresentaram um acréscimo de resistência, na ordem de 17,2%.

As tabelas 30 e 31 apresentam valores, relacionando a resistência à compressão obtidas nos ensaios com pequenas paredes, com os dois tipos de blocos e traços de argamassa utilizados. Em relação à área bruta e à área líquida, respectivamente.

Tabela 30 – Relação entre resistência à compressão na área bruta

Coluna / Linha	PP_{AA}	PP_{AB}	PP_{BA}	PP_{BB}
PP_{AA}	1,00	0,85	0,81	0,61
PP_{AB}	1,17	1,00	0,95	0,72
PP_{BA}	1,23	1,05	1,00	0,76
PP_{BB}	1,63	1,39	1,32	1,00

Tabela 31 – Relação entre resistência à compressão na área líquida

Coluna / Linha	PP_{AA}	PP_{AB}	PP_{BA}	PP_{BB}
PP_{AA}	1,00	0,85	0,89	0,67
PP_{AB}	1,17	1,00	1,04	0,79
PP_{BA}	1,13	0,96	1,00	0,76
PP_{BB}	1,49	1,27	1,32	1,00

Onde: **PP_{AA}** – Pequena parede com bloco A e argamassa A
 PP_{AB} – Pequena parede com bloco A e argamassa B
 PP_{BA} – Pequena parede com bloco B e argamassa A
 PP_{BB} – Pequena parede com bloco B e argamassa B

Estabelecendo uma comparação entre os resultados dos ensaios de resistência à compressão de pequenas paredes dos dois tipos de blocos, com mesmo traço de argamassa utilizado, foram observados resultados superiores nas paredes com bloco A. A resistência à compressão média, em relação à área líquida, apresentou valores com acréscimo de resistência de 12,7% para o bloco A, com o uso do traço A (5,88) e um acréscimo de 27,2% com o uso do traço B (3,23).

A Figura 33 apresenta um gráfico com os valores encontrados nos ensaios de resistência à compressão de pequenas paredes, em relação à área líquida.

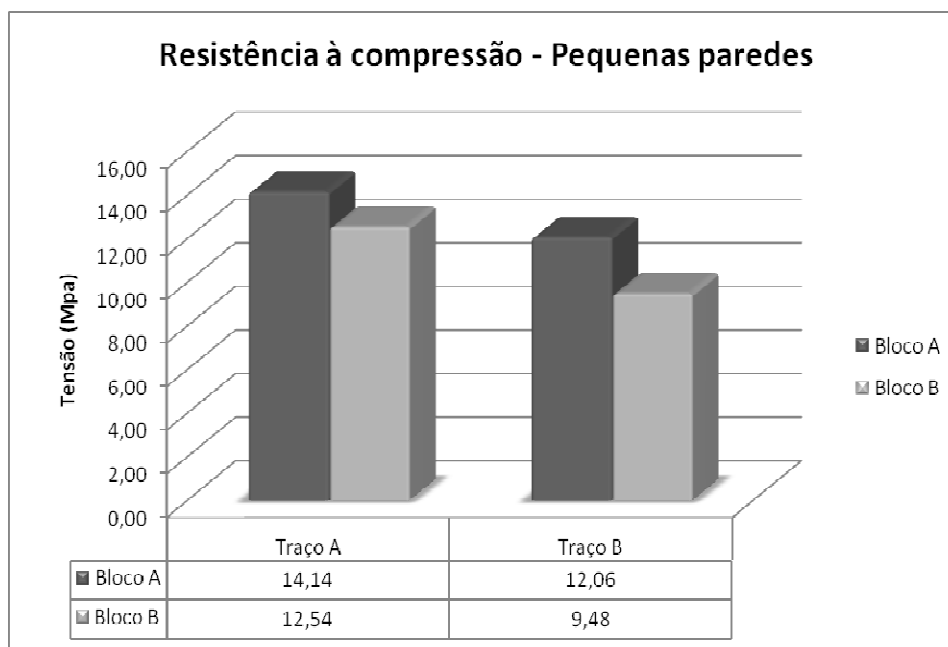


Figura 33 – Gráfico da resistência à compressão das pequenas paredes em relação à área líquida.

5.3.2 Módulo de elasticidade

Os resultados obtidos na médias dos módulos de elasticidade das pequenas paredes, diferentemente dos prismas, apresentaram aumento de valor para os dois tipos de blocos, com o aumento da resistência da argamassa utilizada.

Comparando os resultados das médias dos dois blocos, para um mesmo traço de argamassa, verificou-se no uso da argamassa A (5,88), maior valor de módulo encontrado nas pequenas paredes confeccionadas com o bloco B. Tal relação não foi observada nos corpos-de-prova que receberam argamassa do traço B (3,23), onde foi observado um pequeno acréscimo no módulo de elasticidade das pequenas paredes feitas com o bloco A.

Relacionando os resultados de módulo de elasticidade apresentados nos ensaios de prisma e de pequenas paredes, comparando os resultados obtidos com

os dois tipos de blocos, foram verificadas algumas diferenças, nos corpos de prova com argamassa do tipo B (3,23) nos ensaios de prismas foram encontrados valores maiores para prismas utilizando o bloco B. No entanto, nos ensaios de pequenas paredes, os valores maiores foram verificados com o uso do bloco A. Nos ensaios, onde os corpos-de-prova foram confeccionados com argamassa do tipo A (5,88), foram verificados valores maiores com o uso do bloco B, tanto em prismas, como em pequenas paredes.

A Figura 34 apresenta o gráfico com os resultados de módulos de elasticidade, encontrados nos ensaios de prismas e pequenas paredes, em relação à área líquida.

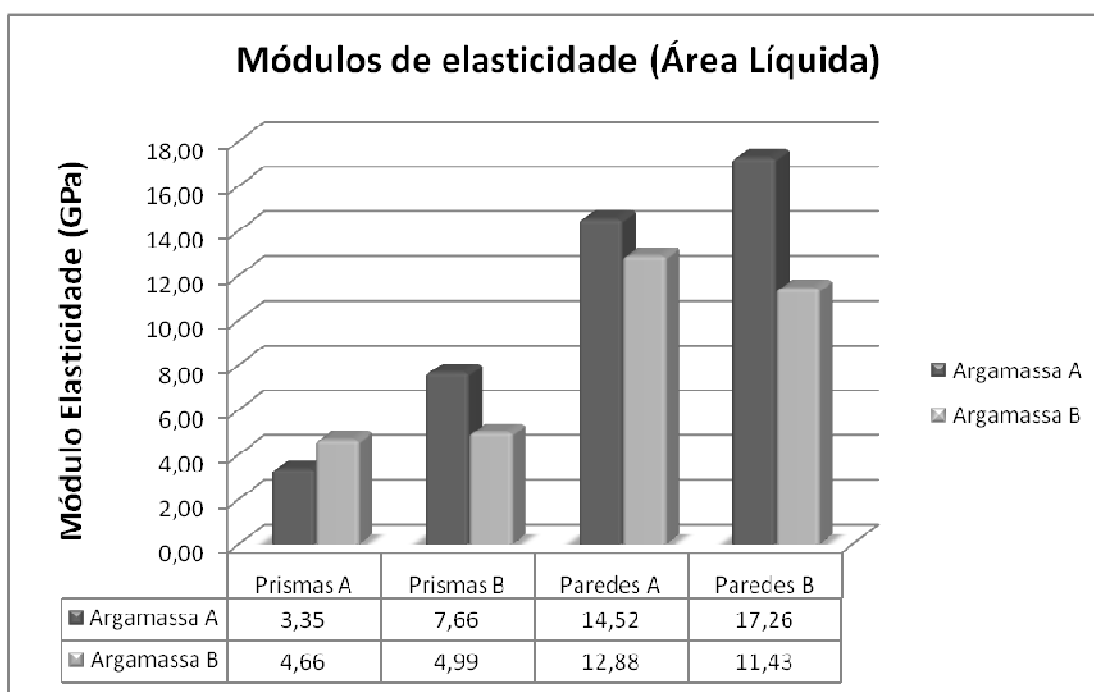


Figura 34 – Gráfico dos módulos de elasticidade encontrados na pesquisa.

Na Tabela 32, é exposta uma síntese dos resultados de módulos de elasticidade obtidos por alguns pesquisadores, incluindo os resultados encontrados nesta pesquisa. Observa-se, nessa tabela, uma grande variação entre os resultados encontrados, devido às variações nos materiais empregados, às diferentes condições de ensaio, e também, nem sempre é utilizada a mesma metodologia para a obtenção de módulo pelos autores.

Tabela 32 – Módulos de elasticidade obtidos por outros autores

<i>Fonte</i>	<i>Tipo do bloco cerâmico</i>	<i>Ep (MPa)</i>	<i>Observações</i>
FRANCO (1987)	Perfurado	3661	Ensaio de prisma (σ) e paredes (ξ)
		2900	
		2816	
		2204	
MENDES (1998)	Vazado	4508	Ensaio de prismas sem graute (σ e ξ)
		5249	
PASQUALI (2006)	Vazados de paredes maciças	5185	Ensaio de pequenas paredes (σ e ξ) - argamassa 2, 4 e 10 MPa, respectivamente
		5200	
		5604	
	Vazados de paredes vazadas	4196	Ensaio de pequenas paredes (σ e ξ) - argamassa 2, 4 e 10 MPa, respectivamente
		3665	
		3355	
SANTOS (2008)	Vazados de paredes vazadas	4730	Ensaio de prismas de 3 blocos - argamassas (4,4), (8,7), (13,9) e (16,8) MPa, respectivamente
		5220	
		4460	
		4840	
	Vazados de paredes vazadas	3540	Ensaio de pequenas paredes - argamassas (4,4), (8,7), (13,9) e (16,8) MPa, respectivamente
		2730	
		2850	
		2760	
ESTE TRABALHO	Vazados de paredes vazadas (11,5 cm de largura)	2150	Ensaio de prismas – argamassa 3,23 e 5,88 MPa respectivamente
		1540	
		5820	Ensaio de paredinhas – argamassa 3,23 e 5,88 MPa respectivamente
		6560	
	Vazados de paredes vazadas (14 cm de largura)	2100	Ensaio de prismas – argamassa 3,23 e 5,88 MPa respectivamente
		3220	
		4730	Ensaio de paredinhas – argamassa 3,23 e 5,88 MPa respectivamente
		7150	

Na Figura 35 pode-se visualizar todos os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão da pesquisa, as resistências verificadas nos ensaios de bloco, em relação à área bruta, e ensaios de prismas e pequenas paredes.

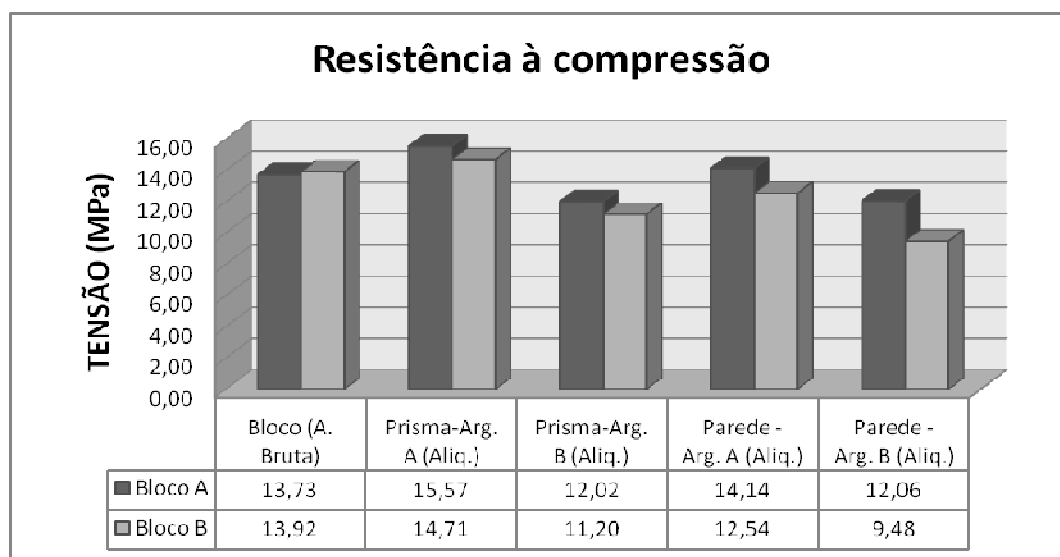


Figura 35 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão, obtidos na pesquisa.

5.4 Formas de ruptura

Neste item, serão analisadas as formas de rupturas sofridas pelos prismas e pequenas paredes, seus comportamentos e causas de ruptura sob a ação das cargas de compressão.

Prismas com argamassas mais fracas tendem a apresentar ruptura com deformação lenta, sendo essa argamassa mais dúctil, por ter maior capacidade de absorver deformações. Já, com argamassas mais rígidas, há ruptura explosiva, fissurando e rompendo subitamente.

Sobre a ação das cargas de compressão, a argamassa tem a tendência de expandir lateralmente, e sendo ela ligada mecanicamente ao bloco, essa expansão é restringida lateralmente, surgindo tensões laterais de tração no bloco e de

compressão na argamassa. A argamassa pode causar o efeito de fendilhamento no bloco, como pode ser esmagada pelas tensões de compressão geradas.

Nos ensaios de prismas, foram verificados modos semelhantes de ruptura para os dois tipos de argamassa e blocos, onde ocorreu deformação da argamassa e fendilhamento vertical.

As figuras a seguir ilustram os principais tipos de ruptura encontrados nos ensaios de prismas.



Figura 36 – Forma de ruptura dos prismas ensaiados.

O ganho de resistência dos prismas e pequenas paredes com a argamassa mais forte pode ser explicado pela maior rigidez da mesma, que diminui as deformações da interface bloco/argamassa, retardando a ruptura dos corpos-de-prova.

Nas pequenas paredes ensaiadas, também foram observados modos de ruptura semelhantes para os dois tipos de blocos e traços de argamassa utilizados. O modo de ruptura foi semelhante aos prismas, apresentando fissuração vertical.

As figuras a seguir apresentam os principais tipos de ruptura encontrados nos ensaios de pequenas paredes. No apêndice F estão incluídas outras figuras, que representam os modos de ruptura encontrados nos ensaios de prismas e pequenas paredes.



Figura 37 – Forma de ruptura das pequenas paredes ensaiadas.

5.5 Fator de Eficiência

O fator de eficiência dos prismas e pequenas paredes foi calculado dividindo o valor encontrado nos ensaios de resistência à compressão dos corpos-de-prova (prismas e pequenas paredes), pela resistência à compressão do bloco utilizado na construção do elemento.

A Figura 38 ilustra os fatores de eficiência encontrados para os prismas e pequenas paredes, confeccionados com os dois tipos de blocos, com os dois traços de argamassa utilizados.

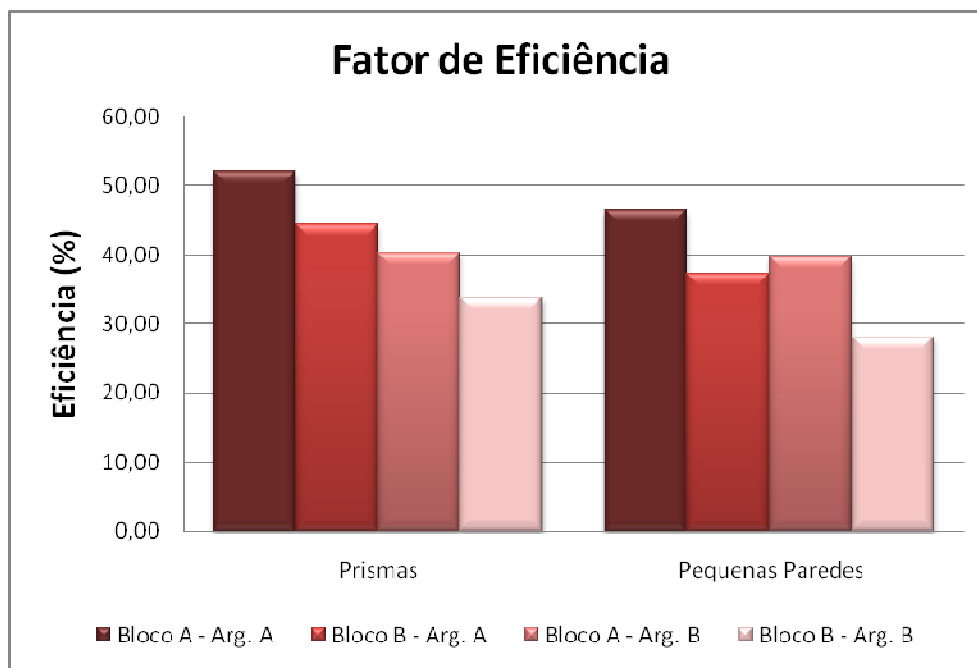


Figura 38 – Fator de eficiência em relação aos prismas e pequenas paredes ensaiadas.

Verificou-se o aumento da eficiência, com o aumento da resistência de argamassa utilizada, para os dois elementos estudados (prismas e pequenas paredes), com os dois tipos de blocos utilizados.

Comparando os dois tipos de blocos, o bloco A apresentou maior eficiência que o bloco B.

5.6 Análise Estatística

Para avaliar a existência ou não de uma diferença significativa entre as resistências à compressão e módulos de elasticidade obtidos nos ensaios realizados, entre blocos, prismas e pequenas paredes, construídos com os dois tipos de blocos de largura diferentes, será realizada uma análise estatística de variância.

Será utilizado um método estatístico desenvolvido por Fischer, por meio de testes de igualdade das médias, o qual verifica, com o uso de um coeficiente F, se os fatores produzem mudanças sistemáticas em alguma variável de interesse. Quando o coeficiente F calculado é maior que o valor F crítico (tabelado), haverá diferença entre os valores analisados. Foi adotado um nível de confiança de 95% para este teste, sendo, portanto, utilizado um nível de significância de 5%.

Primeiramente, serão apresentadas as análises de variância referentes aos ensaios realizados com os blocos, estabelecendo uma comparação direta entre eles. Verifica-se na Tabela 33 que a resistência à compressão dos dois tipos de blocos não apresenta diferença significativa, tanto em relação à área bruta, como para a área líquida.

Tabela 33 – Comparação entre as resistências à compressão dos blocos

<i>Resistência à Compressão</i>	<i>F calculado</i>	<i>F tabelado</i>	<i>Conclusão</i>
Bloco A / Bloco B (Área Bruta)	0,003	4,30	Não há diferença
Bloco A / Bloco B (Área Líquida)	0,44	4,30	Não há diferença

Na Tabela 34, é verificado que não existe diferença significativa entre as resistências médias à tração dos blocos.

Tabela 34 – Comparação entre as resistências à tração dos blocos

<i>Resistência à Tração</i>	<i>F calculado</i>	<i>F tabelado</i>	<i>Conclusão</i>
Bloco A / Bloco B	0,56	4,96	Não há diferença

Foi realizada a análise de variância em relação aos dois traços de argamassa utilizados, para verificar se existe diferença significativa entre a resistência à

compressão apresentada por eles. É observado na Tabela 35, que existe diferença entre as resistências dos traços de argamassa utilizados.

Tabela 35 – Comparação entre as resistências à compressão axial das argamassas

<i>Resistência à Compressão (Arg.)</i>	<i>F calculado</i>	<i>F tabelado</i>	<i>Conclusão</i>
Traço A / Traço B	63,98	4,30	Há diferença

As Tabelas 36 e 37 apresentam as análises realizadas em relação aos ensaios com prismas, comparando corpos-de-prova construídos com os dois tipos de bloco utilizados na pesquisa, para um mesmo traço de argamassa. Foram analisadas as resistências à compressão em relação à área bruta e à área líquida dos prismas, respectivamente.

Como pode ser observado na Tabela 36, as resistências à compressão obtidas nos ensaios de prismas, em relação à área bruta, para os dois traços de argamassa utilizados, não apresenta diferença significativa entre os dois blocos.

Tabela 36 – Comparação entre as resistências à compressão de prismas com os dois tipos de blocos , em relação à área bruta.

<i>Resistência à Compressão (Área Bruta)</i>	<i>F calculado</i>	<i>F tabelado</i>	<i>Conclusão</i>
Bloco A / Bloco B (Traço A)	4,08	5,99	Não há diferença
Bloco A / Bloco B (Traço B)	1,32	5,99	Não há diferença

A resistência à compressão dos prismas, em relação à área líquida, também não apresenta diferença significativa, como pode ser observado na tabela a seguir.

Tabela 37 – Comparação entre as resistências à compressão de prismas com os dois tipos de blocos, em relação à área líquida

Resistência à Compressão (Área Líquida)	F calculado	F tabelado	Conclusão
Bloco A / Bloco B (Traço A)	0,59	5,99	Não há diferença
Bloco A / Bloco B (Traço B)	0,27	5,99	Não há diferença

A seguir, são apresentados os resultados das análises de variância em relação aos resultados encontrados nos ensaios de pequenas paredes, comparando os dois tipos de blocos, para um mesmo traço de argamassa, utilizado na confecção das pequenas paredes. Semelhante aos prismas, as pequenas paredes também foram analisadas em relação à área bruta e à área líquida.

Diferentemente dos ensaios com prismas, nos resultados obtidos com ensaios de pequenas paredes, as médias para os dois tipos de blocos apresentaram diferenças significativas em relação à área bruta, como pode ser observado na Tabela 38.

Tabela 38 – Comparação entre as resistências à compressão de pequenas paredes com os dois tipos de blocos, em relação à área bruta

Resistência à Compressão (Área Bruta)	F calculado	F tabelado	Conclusão
Bloco A / Bloco B (Traço A)	39,82	5,99	Há diferença
Bloco A / Bloco B (Traço B)	19,38	5,99	Há diferença

A resistência à compressão das pequenas paredes em relação à área líquida, também apresentou diferença significativa, estabelecendo uma comparação entre os dois blocos utilizados.

Tabela 39 – Comparação entre as resistências à compressão de pequenas paredes com os dois tipos de blocos, em relação à área líquida

<i>Resistência à Compressão (Área Líquida)</i>	<i>F calculado</i>	<i>F tabelado</i>	<i>Conclusão</i>
Bloco A / Bloco B (Traço A)	13,96	5,99	Há diferença
Bloco A / Bloco B (Traço B)	9,95	5,99	Há diferença

Em relação à resistência à compressão pode-se observar igualdade entre os valores obtidos nos ensaios com os dois tipos de blocos, nos ensaios de blocos e prismas. No entanto, nos ensaios com pequenas paredes foram encontradas diferenças significativas, mesmo em relação à área líquida das paredes, o que indicou um acréscimo de resistência das pequenas paredes, construídas com o bloco A.

Os módulos de elasticidade obtidos nos ensaios também foram analisados, para estabelecer uma comparação entre os valores encontrados na utilização dos dois tipos de blocos, em ensaios de prismas e pequenas paredes, a fim de verificar se existe diferença significativa entre a deformação dos corpos-de-prova produzidos com os dois tipos de bloco.

São comparados os resultados dos ensaios de prismas e pequenas paredes, respectivamente, para o mesmo traço de argamassa utilizado na confecção do corpo-de-prova.

Nos ensaios de prismas, foi observado que, estatisticamente, não existe diferença significativa entre os módulos de elasticidade dos prismas ensaiados com os dois tipos de blocos.

Tabela 40 – Comparação entre os módulos de elasticidade dos prismas com os dois tipos de blocos, em relação à área líquida

<i>Módulo de Elasticidade</i>	<i>F calculado</i>	<i>F tabelado</i>	<i>Conclusão</i>
Bloco A / Bloco B (Traço A)	18,13	18,51	Não há diferença
Bloco A / Bloco B (Traço B)	1,04	7,71	Não há diferença

Nas pequenas paredes ensaiadas, também não foi observada diferença significativa entre os resultados obtidos para os dois tipos de blocos, semelhante à análise realizada com os prismas, estabelecendo a comparação para o mesmo traço de argamassa empregado.

Tabela 41 – Comparação entre os módulos de elasticidade das pequenas paredes com os dois tipos de blocos, em relação à área líquida

<i>Módulo de Elasticidade</i>	<i>F calculado</i>	<i>F tabelado</i>	<i>Conclusão</i>
Bloco A / Bloco B (Traço A)	5,41	7,71	Não há diferença
Bloco A / Bloco B (Traço B)	1,20	7,71	Não há diferença

CAPÍTULO VI

6 Conclusão

Neste capítulo estão apresentadas as principais conclusões obtidas nesta pesquisa e também as sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões sobre o programa experimental

Nos ensaios de resistência à compressão com prismas, os dois blocos apresentaram valores de resistência próximos, sem diferença significativa, comparando os resultados obtidos entre eles com os dois traços de argamassa. Também se podem observar aumentos semelhantes de resistência dos prismas. Com o aumento da resistência da argamassa utilizada, o bloco A apresentou um aumento de 30% e o bloco B apresentou acréscimo de 31% na resistência.

Em relação aos ensaios de resistência à compressão das pequenas paredes, foi encontrada diferença significativa na comparação dos resultados dos dois blocos, com acréscimo de resistência nos ensaios com bloco A, para os dois traços de argamassa. O aumento de resistência à compressão com a variação do traço de argamassa utilizado também mostrou diferença entre os dois blocos. O bloco A apresentou um aumento de 17%, enquanto o bloco B obteve um acréscimo de 32%. Seriam necessários mais experimentos para verificar essa diferença encontrada entre os blocos.

Os módulos de elasticidade obtidos apresentaram maior valor para os corpos-de-prova confeccionados com bloco B, com exceção das pequenas paredes com argamassa B, que apresentaram maior valor de módulo nos ensaios com bloco A. Também foi verificada nos ensaios de prismas e pequenas paredes, na comparação

entre os resultados obtidos com os dois blocos, maior diferença entre módulos com o uso da argamassa mais forte. Pequenas paredes com argamassa A apresentaram valores de módulos de 14,52 GPa e 17,26 GPa, nos ensaios com prismas, os valores encontrados são 3,35 GPa e 7,66 GPa, respectivamente para blocos A e B.

Nos ensaios utilizando a argamassa mais fraca, a diferença entre os módulos é menor. Para pequenas paredes, os valores são 12,88 GPa e 11,43 GPa e, para prismas, são 4,66 GPa e 4,99 GPa, respectivamente para blocos A e B. Estatisticamente, foi constatado que não há diferença entre os módulos de elasticidade obtidos nos ensaios.

Os corpos-de-prova ensaiados apresentaram formas de ruptura semelhantes, para os dois tipos de blocos e argamassas utilizados, caracterizados por ruptura com fendilhamento vertical.

6.2 Conclusões gerais

Através dos resultados observados na pesquisa, pode se concluir que os blocos cerâmicos estruturais com 11,5 centímetros de largura analisados apresentam capacidade de absorver esforços satisfatória, necessária para exercer a função estrutural em edificações.

6.3 Sugestões para trabalhos futuros

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar estudos com escala reduzida ou real de paredes, realizando ensaios de compressão com medição de deformações, a fim de verificar o comportamento das paredes mais próximo da realidade.

- Realizar simulações em elementos finitos dos elementos estudados nesta pesquisa, para que se tenha uma melhor visualização das tensões que surgem nos elementos estudados e se possa identificar as regiões críticas de rompimento.

- Realizar uma análise financeira, confrontando os dois tipos de blocos para um mesmo projeto.

- Realizar o mesmo estudo, utilizando blocos estruturais de concreto.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1006-84**: Standard test method for splitting tensile strength of masonry units. Philadelphia. Philadelphia. 1984.

ANDRADE, A. A. **Estabilidade das paredes de alvenaria estrutural (novo modelo de verificação da segurança)**. 2000. 133f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ARANTES, C. A. **Influência do graute na alvenaria estrutural cerâmica**. 2003. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

ARAÚJO, F. E. **Técnicas construtivas de edifícios residenciais em alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto**. 2001. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR8215**: Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Preparo e ensaio à compressão: Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1983. 4p.

_____. **NBR8798**: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural em blocos de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro. 1985a. 29p.

_____. **NBR8949**: Paredes de alvenarias estrutural – ensaios à compressão simples: Procedimentos. Rio de Janeiro. 1985b. 7p.

_____. **NBR 8522**: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro. 2008. 16p.

_____. **NBR10837**: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro. 1989. 22p.

_____. **NBR13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro. 2005a. 3p.

_____. **NBR13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro. 2005b. 3p. 116

_____. **NBR13279**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro. 2005c. 9p.

_____. **NBR 13281**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro. 2005. 9p

_____. **NBR15270**: Componentes Cerâmicos - Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro. 2005d. 11p.

_____. **NBR15270**: Componentes Cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro. 2005e. 11p.

_____. **NBR15270**: Componentes Cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2005f. 27p.

ATKINSON, R. H.; NOLAND, J. L. Investigation into the failure theory for brick masonry in compression. Canadian Masonry Symposium, 3.,1985, Edmonton, Canada. **Proceedings**. 1985. p. 5.1-5.17.

BARBOSA, A. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte**. 2004. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BOULT, B. F. Concrete Masonry Prism Testing. **ACI Journal**, 1979.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 5628**: Code of practice for structural use of masonry – Part 1. Unreinforced masonry. London. 1978. 43p.

CAMACHO, J.S. **Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica**. 1995. 157f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BURIOL, E. A. **Integração entre projetos na Alvenaria Estrutural**. 2003. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

CAVALHEIRO, O. P. Argamassas de assentamento: receita, dosagem ou adequação de traço?. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1., 1995, Goiânia-GO. **Anais...** Goiânia, 1995. p.134-142 117

CAVALHEIRO, O. P.; POZZOBON, M. A.; SANTOS, M. D. F. Considerações sobre o uso de juntas verticais não preenchidas na alvenaria. In: Jornada Sudamericana de Ingenieria Estructural, 24., 2000, Punta Del Este - Uruguay. **Anais...** Punta Del Este, 2000. 13p.

CHEEMA, T.S.; KLINGNER, R. E. Compressive strength of a concrete masonry prism. **American Concrete Institute Journal**. January-February, 1986. p. 88-97.

COLVILLE, J.; WOLDE-TINSAE, A. M. Compressive strenght of a grouted concrete masonry. In: International Brick/Block Masonry Conference, 9., 1991 b. Berlin, Germany. **Proceedings...** Berlin 1991. v. 1, p. 149-156.

DRYSDALE,G.R.,AHMAD,A.H DRYSDALE,G.R.,AHMAD,A.H., Behavior of Concrete Block Masonry Under Axial Compression, **ACI Journal**, Jun-1979.

FRANCO, L.S. **Desempenho estrutural do elemento parede de alvenaria empregado na alvenaria estrutural não armada, quando submetido à esforços de compressão**. 1987. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

FRANCO, L.S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. São Paulo. 1992. 319 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

_____. Parâmetros Utilizados nos Projetos de Alvenaria Estrutural, **Texto Técnico**, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1993.

GALLEGOS, H. **Albanileria Estructural**. Pontificia Universidad Catolica Del Peru, 1989.

GANESAN T. P. et al. Structurally efficient hollow concrete blocks in load bearing masonry. In: IBMAC, 8., 1988, London. **Proceedings...** Elsevier, London, 1988. p. 1427-1436.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos.** 2000. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos-SP, São Carlos, 2000. 118

GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria.** 1974. 190f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 1974.

GROHMANN, L. Z. **Análise do comportamento de Prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica.** 2006. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

HOLM. T. A. Structural Properties of Block Concrete. In: North América Masonry Conference, 1978, Boulder. **Proceedings...** Boulder, CO, August 1978.

JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforço de compressão.** 2001. 235 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2001.

KNUTSSON, H. H. The Stress-Strain Relationship for Masonry, 1993. **Masonry International**, v. 7, n. 1.

LA ROVERE, H. L., SOLIZ, V. H. V. Efeito da Altura na Resistência de Prismas de Alvenaria de Blocos Cerâmicos Vazados. In: Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, 1995, Argentina. **Anais...** 1995.

MAAS, C. R. **Resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural, com blocos assentados com argamassa plena e Longitudinal.** 2004. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2004.

MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais**. 1998. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998. 119

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas blocos de concreto**. 1998. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOHAMAD, G. **Mecanismos de ruptura da alvenaria de blocos à compressão**. 2007. 290f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2007.

MONK.C.B.Jr. **A Historical Survey and Analysis of the Compressive Strength of Brick Masonry**. Structural Clay Products Research Foundation, 1967.

MOREIRA, E. M. S. **Análise experimental em escala reduzida de ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos submetidas a ações verticais**. 2007. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Campinas-SP, 2007

MULLER, M. S. K. **Estudo das correlações entre resistências a compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos a esforços de compressão axial**. 1989. 269f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

PARSEKIAN, G. A. **Tecnologia de produção de Alvenaria Estrutural Protendida**. São Paulo. 2002. 263f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica**. 2007. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PEDROSO, G. M. **Estudo da resistência de aderência ao cisalhamento na alvenaria estrutural**. 2001. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001. 120

POZZOBON, M. A. **O processo de monitoramento e controle tecnológico em obras de alvenaria estrutural**. 2003. 305f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

PRADO, S.H. **Resistência à compressão de tijolos e blocos cerâmicos de diferentes formas e dimensões**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

RAMAMURTHY, K., GANESAN, T. P. Efficient Hollow Block Geometries for Masonry Under Eccentric Compression. In: International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 4. Madras, India. **Proceedings**. Madras, 1992, p.108-115.

RIZZATTI, E. **Influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural sob compressão**. 2003. 170f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984, 298f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

SANTOS, M. D. F. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuição ao uso**. 1998. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, 1998.

SANTOS, F. A. **Efeito do não preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria Estrutural**. 2001. 154f. Tese (Doutorado de Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SANTOS, M. J. F. **Análise da resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassa**. 2008. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, 2008.

SOLÓRZANO, M. G. P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Características geométricas dos blocos

Tabela A1 – Características geométricas individuais dos blocos A

Corpo	Dimensões efetivas médias(mm)			Espessuras mínimas (mm)		Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Compr.	Septo	Parede	Esquadro	Flecha
1	112,0	189,5	288,5	9	11	0	1
2	111,0	189,0	288,5	6	8	0	0
3	111,0	190,5	286,5	8	10	0	0
4	112,0	193,5	291,5	7	10	0	1
5	112,0	190,0	288,5	7	10	0	0
6	110,5	189,0	289,0	8	9	0	0
7	112,0	189,5	287,5	7	10	0	0
8	112,0	190,0	288,0	8	10	1	0
9	112,5	191,5	286,5	7	9	0,5	0
10	113,0	190,0	290,5	6	10	0	0
11	112,0	193,5	289,0	7	11	3	0,5
12	114,0	191,5	290,5	6	11	0,5	0,5
Média	112,0	190,6	288,7	7.2	10	0,4	0,25

Tabela A2 – Características geométricas individuais dos blocos B

Corpo	Dimensões efetivas médias(mm)			Espessuras mínimas (mm)		Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Compr.	Septo	Parede	Esquadro	Flecha
1	138,5	189,0	291,5	8	9	0	0
2	139,0	188,0	289,0	7	7	0	1
3	138,0	188,5	289,0	7	8	0	0
4	138,5	190,0	287,5	8	9	0	0,5
5	139,0	188,0	289,0	8	9	5	0
6	138,0	188,0	287,5	8	10	0,5	0
7	138,0	188,5	288,0	7	8	0	0
8	138,0	189,0	289,0	8	8	0,5	5
9	139,0	189,0	290,0	8	11	0,5	0
10	138,0	187,5	288,5	8	9	0	0
11	138,0	188,5	289,0	8	9	3	1,5
12	139,5	190,5	290,0	9	9	0,5	0
Média	138,5	188,7	289,0	7,8	8,8	0,8	0,66

APÊNDICE B – Resistência à compressão dos blocos

Tabela B1 – Resistência à compressão dos blocos A

Corpo	Área bruta média (mm ²)	Carga de ruptura (KN)	Resistência à compressão (MPa)		
			Individual	Média	Líquida
1	32.312	222,50	6,89	6,77	14,51
2	32.023	750,00	23,42	22,81	48,91
3	31.801	220,00	6,92	6,69	14,35
4	32.648	520,00	15,93	15,82	33,91
5	32.312	420,00	13,00	12,78	27,39
6	31.934	670,00	20,98	20,38	43,69
7	32.200	480,00	14,91	14,60	31,30
8	32.256	500,00	15,50	15,21	32,61
9	32.231	450,00	13,96	13,69	29,35
10	32.826	625,00	19,04	19,01	40,76
11	32.368	130,00	4,02	3,95	8,48
12	33.117	430,00	12,98	13,08	28,04
Média			13,96	13,73	29,44

Tabela B2 – Resistência à compressão dos blocos B

Corpo	Área bruta média (mm ²)	Carga de ruptura (KN)	Resistência à compressão (MPa)		
			Individual	Média	Líquida
1	40.372	542,50	13,44	13,61	31,76
2	40.171	635,00	15,81	15,93	37,17
3	39.882	620,00	15,55	15,56	36,29
4	39.818	770,00	19,34	19,32	45,07
5	40.171	380,00	9,46	9,54	22,24
6	39.675	720,00	18,15	18,07	42,15
7	39.744	625,00	15,73	15,68	36,59
8	39.882	270,00	6,77	6,78	15,81
9	40.310	275,00	6,82	6,90	16,10
10	39.813	685,00	17,21	17,19	40,10
11	39.882	685,00	17,18	17,19	40,10
12	40.455	450,00	11,12	11,29	26,34
Média			13,88	13,92	32,48

APÊNDICE C – Resistência à compressão dos prismas

Tabela C1 – Resistência à compressão dos prismas construídos com bloco A e argamassa A.

Prismas Bloco A / Argamassa A	Carga de ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)	
		Área bruta	Área líquida
1	22,50	6,75	14,67
2	22,50	6,75	14,67
3	25,50	7,65	16,63
4	25,00	7,50	16,30
Média	23,88	7,16	15,57

Tabela C2 – Resistência à compressão dos prismas construídos com bloco A e argamassa B.

Prismas Bloco A / Argamassa B	Carga de ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)	
		Área bruta	Área líquida
1	15,50	4,65	10,11
2	15,00	4,50	9,78
3	20,50	6,15	13,37
4	22,75	6,82	14,84
Média	18,44	5,53	12,02

Tabela C3 – Resistência à compressão dos prismas construídos com bloco B e argamassa A.

Prismas Bloco B / Argamassa A	Carga de ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)	
		Área bruta	Área líquida
1	20,50	5,05	12,00
2	28,00	6,90	16,39
3	27,25	6,71	15,95
4	24,75	6,10	14,49
Média	25,13	6,19	14,71

Tabela C4 – Resistência à compressão dos prismas construídos com bloco B e argamassa B.

Prismas Bloco B / Argamassa B	Carga de ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)	
		Área bruta	Área líquida
1	21,25	5,23	12,44
2	14,75	3,63	8,63
3	22,50	5,54	13,17
4	18,00	4,43	10,54
Média	19,13	4,71	11,20

APÊNDICE D – Resistência à compressão das pequenas paredes

Tabela D1 – Resistência à compressão das pequenas paredes construídas com bloco A e argamassa A.

Paredes Bloco A / Argamassa A	Carga de ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)	
		Área bruta	Área líquida
1	43,75	6,45	14,27
2	42,25	6,23	13,78
3	41,00	6,04	13,37
4	46,50	6,85	15,16
Média	43,38	6,39	14,14

Tabela D2 – Resistência à compressão das pequenas paredes construídas com bloco A e argamassa B.

Paredes Bloco A / Argamassa B	Carga de ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)	
		Área bruta	Área líquida
1	35,75	5,27	11,66
2	35,50	5,23	11,58
3	41,00	6,04	13,37
4	35,75	5,27	11,66
Média	37,00	5,45	12,06

Tabela D3 – Resistência à compressão das pequenas paredes construídas com bloco B e argamassa A.

Paredes Bloco B / Argamassa A	Carga de ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)	
		Área bruta	Área líquida
1	42,10	5,10	12,32
2	42,00	5,08	12,29
3	42,50	5,15	12,44
4	44,75	5,42	13,10
Média	42,84	5,19	12,54

Tabela D4 – Resistência à compressão das pequenas paredes construídas com bloco B e argamassa B.

Paredes Bloco B / Argamassa B	Carga de ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)	
		Área bruta	Área líquida
1	31,75	3,84	9,29
2	31,10	3,77	9,10
3	27,75	3,36	8,12
4	39,00	4,72	11,41
Média	32,40	3,92	9,48

APÊNDICE E – Módulos de elasticidade de prismas e pequenas paredes.

Tabela E1 – Módulos de elasticidade dos prismas com bloco A.

Módulo de elasticidade – Área Bruta (GPa)		
Prismas bloco A	Argamassa A	Argamassa B
1	-	1,95
2	1,51	2,43
3	-	-
4	1,56	2,07
Média	1,54	2,15

Tabela E2 – Módulos de elasticidade dos prismas com bloco B.

Módulo de elasticidade – Área Bruta (GPa)		
Prismas bloco B	Argamassa A	Argamassa B
1	-	1,86
2	-	1,89
3	3,65	2,20
4	2,79	2,44
Média	3,22	2,10

Tabela E3 – Módulos de elasticidade das pequenas paredes com bloco A.

Módulo de elasticidade – Área Bruta (GPa)		
Paredes bloco A	Argamassa A	Argamassa B
1	6,47	5,63
2	6,03	5,77
3	7,19	6,08
Média	6,56	5,82

Tabela E4 – Módulos de elasticidade das pequenas paredes com bloco B.

Módulo de elasticidade – Área Bruta (GPa)		
Paredes bloco B	Argamassa A	Argamassa B
1	7,43	4,82
2	7,62	5,60
3	6,41	3,78
Média	7,15	4,73

APÊNDICE F – Modo de ruptura de prismas e pequenas paredes.



Figura F1: Prisma com Bloco B / Arg. A



Figura F2: Prisma com Bloco B / Arg. B

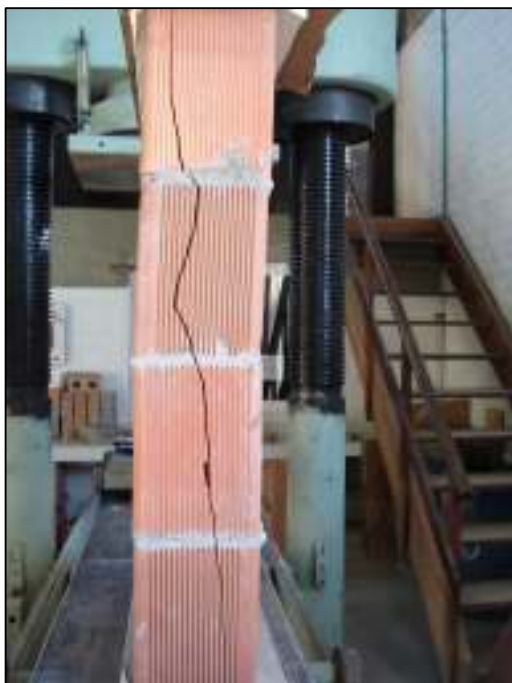


Figura F3: Pequena parede com Bloco A / Arg. A



Figura F4: Pequenas paredes com Bloco B / Arg. A



Figura F5: Pequenas paredes com Bloco A / Arg. B



Figura F6: Pequenas paredes com Bloco B / Arg. B