

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

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PRISMAS E PEQUENAS
PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA
PARA DIFERENTES TIPOS DE ARGAMASSAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mauro Joel Friederich dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PRISMAS E PEQUENAS
PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA
PARA DIFERENTES TIPOS DE ARGAMASSAS**

por

Mauro Joel Friederich dos Santos

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

2008

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

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PRISMAS E PEQUENAS
PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA
PARA DIFERENTES TIPOS DE ARGAMASSAS**

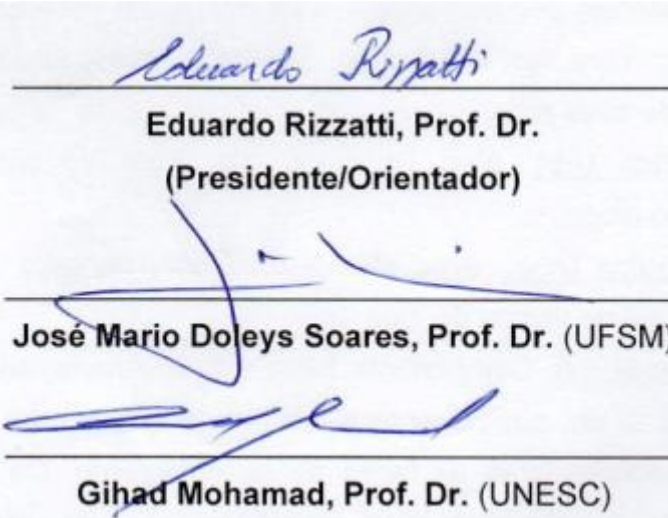
elaborada por

Mauro Joel Friederich dos Santos

como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Engenharia Civil

Comissão Examinadora



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

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

Gihad Mohamad
Gihad Mohamad, Prof. Dr. (UNESC)

Santa Maria, 17 de outubro de 2008.

DEDICO

A Deus,
pela plenitude da vida.
Aos meus Pais Honorino e Maria Reni e meus irmãos
pelo contínuo apoio, fé e esperança.
À minha noiva Vanessa,
pelo apoio, compreensão, paciência e carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Eduardo Rizzatti, pela amizade, orientação, dedicação e incentivo na realização deste trabalho.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural (GPDAE): Eng. Elton Luiz Pedroso, Eng. Fabiana Rezende, Gabriela Martins, Tatiane Scaramussa, Vincenzo Freeze Agustini, e demais integrantes do grupo, pelo permanente incentivo e dedicação.

Ao grande amigo Eng. Marco Antonio Pozzobon, que com dedicação e empenho pessoal possibilitou a elaboração deste trabalho.

Ao meu irmão, amigo e colega, Eng. Marcus Daniel F. dos Santos, pelo seu auxílio que indiretamente influenciou no bom desenvolvimento deste trabalho.

Ao Diretor do Laboratório de Materiais de Construção Civil Mauro Just e aos funcionários: Marialva Cezar, Vitor Cezar e João Francisco Nunes Maciel, aos bolsistas: Ricardo Juliano Rippel e Eduardo de Sá e a toda a equipe do LMCC, pela infra-estrutura, apoio e incentivo fornecidos.

Aos fabricantes de blocos estruturais: Sociedade Vicente Pallotti e Pauluzzi Blocos Cerâmicos, juntamente com fabricante de argamassa industrializada: Irmãos Cioccarì & Cia Ltda (FIDA) que me auxiliaram, fornecendo os materiais e, desta forma, possibilitaram a realização deste trabalho.

A todas as outras pessoas, que contribuíram de alguma forma, sou imensamente grato por terem participado desta importante etapa de minha vida.

RESUMO

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

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PRISMAS E PEQUENAS PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA PARA DIFERENTES TIPOS DE ARGAMASSAS

AUTOR: MAURO JOEL FRIEDERICH DOS SANTOS

ORIENTADOR: EDUARDO RIZZATTI

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 17 de outubro de 2008.

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural, sob compressão centrada, quando utilizadas argamassas com resistências variadas. Estudam-se dois tipos de geometrias de blocos cerâmicos: uma de paredes vazadas (BPV) e outra com paredes maciças (BPM), possuindo resistências aproximadas de 30MPa em relação a área líquida dos mesmos; também foram utilizados quatro traços de argamassa com resistências entre 4MPa e 17MPa. O programa experimental abrange os seguintes ensaios de compressão: unidades, prismas e pequenas paredes. Foram confeccionados cinco prismas de duas e três fiadas sobrepostas e quatro pequenas paredes de dois blocos e meio por quatro fiadas de altura. Também foi obtido o módulo de elasticidade, tanto para as argamassas, blocos e prismas, quanto para as pequenas paredes. Entre as várias combinações ensaiadas, foi feita a análise de variância das amostras submetida à compressão. Com base na análise dos resultados, pode-se concluir que o bloco BPM é mais eficiente para o uso em alvenaria estrutural do que o BPV, quando se necessita um acréscimo na resistência da alvenaria, aumenta-se a resistência da argamassa, essa eficiência pode ser definida na relação da resistência dos prismas (dois e três blocos) e das pequenas paredes pela do bloco. As pequenas paredes construídas com blocos BPM apresentam uma significativa capacidade de absorver esforços, quando utilizada argamassa com resistência elevada (adotada nesse trabalho); quanto ao bloco BPV, essa diferença não foi tão expressiva. Sendo assim, a utilização de argamassa de assentamento com essas resistências pode potencializar a alvenaria de blocos cerâmicos, dependendo da geometria e das propriedades mecânicas dos blocos adotados.

Palavras chave: alvenaria estrutural, bloco cerâmico, geometria, pequenas paredes, módulo de elasticidade.

ABSTRACT

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

ANALYSIS OF THE RESISTANCE OF PRISMS AND CERAMIC STRUCTURAL MASONRY SMALL WALLS FOR DIFFERENT TYPES OF MORTARS

AUTHOR: MAURO JOEL FRIEDERICH FROM SANTOS

ADVISOR: EDUARDO RIZZATTI

Date and Place of the Thesis Defense: Santa Maria, October 17th, 2008.

This work has as main objective to analyze the influence of the ceramic block geometry in the mechanical performance of the structural masonry, under centered compression, when mortars with resistance varied are used. Two types of ceramic blocks geometries are studied: one with drained walls (BPV) and the other with solid walls (BPM), possessing approximate resistances of 30MPa, in relation to their liquid area; also four mortar lines with resistances between 4MPa and 17Mpa were used. The experimental program includes the following compression essays: units, prisms and small walls, in which five prisms of two and three overlapping rows and four small walls of two and half blocks were made by 4 height rows. Also, the module of elasticity, so much for the mortars, blocks and prisms, as for the small walls was obtained. Among the several essayed combinations, the variance analysis of the samples submitted to the compression was made. Based on the analysis of the results, it may be concluded that the BPM block, is more efficient for the use in structural masonry than the BPV one, when an increment in the resistance of the masonry is needed, increasing the mortar resistance; that efficiency may be defined in the relation of the prisms resistance (two and three blocks) and of the small walls by the block. The small walls built with BPM blocks present a significant capacity to absorb strains, when high resistance mortar is used (the one used in this work); as for the BPV block, that difference was not so expressive. Therefore, the use of placement mortar with those resistances may potentiate the ceramic blocks masonry, depending on the geometry and the mechanical properties of the adopted blocks.

Keywords: structural masonry, ceramic block, geometry, small walls, module of elasticity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Pirâmide de Kheops (4000 a. C)	19
FIGURA 2 – Coliseo (82 d.C)	19
FIGURA 3 – Modelos de prismas que podem ser utilizados experimentalmente	29
FIGURA 4 – Distribuições de tensões no prisma, conforme Hilsdorf	31
FIGURA 5 – Relação entre as tensões de compressão e tração em um bloco ou tijolo, na ruptura	32
FIGURA 6 – Distribuições de tensões segundo Atkinson e Noland	32
FIGURA 7 – Deformação lateral dos blocos e argamassa de assentamento submetidos à compressão simples	34
FIGURA 8 – Argamassamento apenas longitudinal e total	41
FIGURA 9 – Formas e dimensões dos blocos estudados	43
FIGURA 10 – Comparativo da resistência de prismas e blocos	40
FIGURA 11 – Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas	50
FIGURA 12 – Diagrama tensão-deformação de alvenaria à compressão	59
FIGURA 13 – Geometria dos blocos cerâmicos estruturais utilizados	63
QUADRO 1 – Número de blocos utilizados por ensaio	64
FIGURA 14 – Ensaio dimensional dos blocos	64
FIGURA 15 – Ensaio de resistência à tração indireta de blocos cerâmicos	66
FIGURA 16 – Ensaio de compressão dos blocos	67
FIGURA 17 – Fixação dos extensômetros elétricos nos blocos	68

FIGURA 18 – Posicionamento dos extensômetros elétricos nos blocos	68
QUADRO 2 – Número de corpos-de-prova de argamassas por ensaio	69
QUADRO 3 – Traços das argamassas utilizadas	70
QUADRO 4 – Porcentagem do tipo de areia para cada traço utilizado	70
FIGURA 19 – Equipamento de expansão ou retração linear	71
FIGURA 20 – Equipamentos: ar incorporado e retenção de água	72
FIGURA 21 – Corpos de prova de argamassa	72
FIGURA 22 – Corpos-de-prova 10x20 cm (moldagem, determinação do módulo)	73
FIGURA 23 – Moldagem dos prismas	74
FIGURA 24 – Prismas preparados para o ensaio	74
FIGURA 25 – Ensaio à compressão dos prismas	75
FIGURA 26 – Posicionamento dos relógios comparadores digitais nos prismas ...	76
FIGURA 27 – Moldagem das pequenas paredes	77
FIGURA 28 – Ensaio das pequenas paredes	78
FIGURA 29 – Posicionamento dos relógios comparadores digitais nas pequenas paredes	79
FIGURA 30 – Diagrama tensão-deformação longitudinal dos blocos BPV e BPM (em relação à área líquida)	85
FIGURA 31 – Gráfico da retração das argamassas em função dos dias	86
FIGURA 32 – Gráfico da porcentagem de aglomerante para cada resistência de argamassa	88
FIGURA 33 – Comparação entre as resistência dos corpos-de-prova 4X4X16cm com os 10x20cm	89
FIGURA 34 – Diagrama tensão-deformação das argamassas	89
FIGURA 35 – Módulo de elasticidade comparando com a resistência da argamassas 4x4x16	87
FIGURA 36 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 2 blocos dos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2	89
FIGURA 37 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 2 blocos dos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4	90
FIGURA 38 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 2 blocos dos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2	90

FIGURA 39 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 2 blocos dos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4	90
FIGURA 40 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 3 blocos dos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2	92
FIGURA 41 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 3 blocos dos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4	93
FIGURA 42 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 3 blocos dos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2	93
FIGURA 43 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 3 blocos dos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4	93
FIGURA 44 – Diagrama tensão-deformação das pequenas paredes com blocos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2	96
FIGURA 45 – Diagrama tensão-deformação das pequenas paredes com blocos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4	96
FIGURA 46 – Diagrama tensão-deformação das pequenas paredes com blocos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2	96
FIGURA 47 – Diagrama tensão-deformação das pequenas paredes com os blocos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4	97
FIGURA 48 – Prisma de 2 blocos T1 BPM e prisma de 3 blocos T3 BPV	98
FIGURA 49 – Pequena parede T3 BPV	99
FIGURA 50 – Comparação entre o módulo de elasticidade entre os blocos e as argamassas (em relação aos blocos, foi considerada a área líquida dos mesmos)	99
FIGURA 51 – Módulos de elasticidade dos prismas e das paredes em relação à área líquida dos blocos	100
FIGURA 52 – Módulos de elasticidade dos prismas de 3 blocos para argamassas T1 e T4 (em relação a área líquida dos blocos)	103
FIGURA 53 – Acréscimo de resistência da argamassa frente à resistência do corpo-de-prova, para os prismas de 2 blocos	105
FIGURA 54 – Acréscimo de resistência da argamassa frente à resistência do corpo-de-prova, para os prismas de 3 blocos	105
FIGURA 55 – Acréscimo de resistência da argamassa frente à resistência do corpo-de-prova para as pequenas paredes	105

FIGURA 56 – Resistência dos prismas de 2 e 3 blocos (em relação a área bruta)	106
FIGURA 57 – Fator de eficiência em relação aos prismas de 2 e 3 blocos e às pequenas paredes	107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Resultados médios de resistências	39
TABELA 2 – Influência da espessura da junta na resistência do prisma	40
TABELA 3 – Resistência das pequenas paredes em função do tipo de assentamento	42
TABELA 4 – Resistência à compressão das argamassas da Norma Britânica (BS 5628)	47
TABELA 5 – Especificações dos traços das argamassas (ASTM C 270-86b)	47
TABELA 6 – Especificações das propriedades das argamassas de cimento e cal (ASTM C 270-86b, 1987)	47
TABELA 7 – Limites granulométricos do agregado (ASTM C 144-84, 1987)	48
TABELA 8 – Resultados de resistência à compressão	49
TABELA 9 – Resultados de resistência à compressão	51
TABELA 10 – Resultados de resistência à compressão	51
TABELA 11 – Resultados de fatores de eficiência	52
TABELA 12 – Fator de eficiência para diversos tipos de unidades	53
TABELA 13 – Resultados médios de resistência	53
TABELA 14 – Fatores de eficiência encontrados em outras pesquisas	54
TABELA 15 – Resultados médios dos blocos e prismas	55
TABELA 16 – Resultados obtidos por Levy e Sabbatini (1994) de eficiência com relação aos prismas, paredinhas e paredes	55
TABELA 17– Módulo de deformação das argamassas utilizadas por Gomes (1983)	58

TABELA 18 – Relação área líquida / área bruta para blocos e paredes sem graute	59
TABELA 19 – Normas e autores internacionais pesquisados, referentes a blocos cerâmicos	60
TABELA 20 – Valores de módulo de elasticidade de autores brasileiros para blocos cerâmicos	61
TABELA 21 – Características geométricas	81
TABELA 22 – Determinação da área bruta, área líquida, índice de absorção de água e índice de absorção de água inicial	82
TABELA 23 – Tensão de tração dos blocos	82
TABELA 24 – Área líquida e bruta dos blocos	83
TABELA 25 – Resistência à compressão dos blocos	83
TABELA 26 – Módulo secante a 30% da carga de ruptura, em relação à área líquida para os blocos	84
TABELA 27 – Módulo secante a 30% da carga de ruptura, em relação à área bruta	84
TABELA 28 – Índice de consistência, teor de umidade, retenção de água, ar incorporado e densidade de massa das argamassas	86
TABELA 29 – Resistência à tração na flexão	87
TABELA 30 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova 4x4x16cm	87
TABELA 31 – Resistência à compressão axial das argamassas com corpos-de-prova 10x20cm	88
TABELA 32 – Resistência à compressão em relação à área bruta dos prismas de 2 blocos	91
TABELA 33 – Módulos de elasticidade dos prismas de 2 blocos em relação à área bruta e à área líquida dos blocos	91
TABELA 34 – Resistência à compressão em relação à área bruta dos prismas de 3 blocos	94
TABELA 35 – Módulo de elasticidade dos prismas de 3 blocos em relação à área bruta e à área líquida dos blocos	95
TABELA 36 – Resistência à compressão em relação à área bruta das pequenas paredes	97
TABELA 37 – Módulo de elasticidade das pequenas paredes em relação à área bruta e à área líquida dos blocos	98

TABELA 38 – Comparação entre resistências para os blocos BPV _s	104
TABELA 39 – Comparação entre resistências para os blocos BPMs	104
TABELA 40 – Comparações entre as resistências dos blocos	108
TABELA 41 – Comparações entre as resistências das argamassas à compressão axial	108
TABELA 42 – Comparações entre as resistências entre blocos de geometria e argamassas diferentes em prismas de 2 blocos	109
TABELA 43 – Comparação de resistências entre blocos de geometria e argamassas diferentes em prismas de 3 blocos	109
TABELA 44 – Comparações entre as resistências utilizando blocos de geometria e argamassa diferentes, em pequenas paredes	110
TABELA 45 – Comparações entre os módulos de elasticidade	111

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Características geométricas de cada bloco	122
APÊNDICE B – Resistências à compressão de cada CP para cada traço	126
APÊNDICE C – Resistências dos Prismas e das Pequenas Paredes (área bruta)	127
APÊNDICE D – Módulo de elasticidade dos blocos, argamassas, prismas e das pequenas paredes (área bruta)	128
APÊNDICE E – Modo de ruptura dos prismas e das pequenas paredes ensaiadas para cada tipo de argamassa.....	130

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE APÊNDICES	14
CAPÍTULO I	
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Considerações Iniciais	18
1.2 Objetivo geral	21
1.3 Objetivos específicos	21
1.4 Justificativa	22
1.5 Estrutura do trabalho	22
CAPÍTULO II	
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 Conceituações preliminares	24
2.1.1 Bloco estrutural	25
2.1.2 Argamassa de assentamento	26
2.1.3 Prisma	28
2.1.4 Paredes	29
2.2 Resistência à compressão na alvenaria	30
2.2.1 Modelos de ruptura	30
2.2.2 Equações propostas para determinar a resistência da alvenaria	34
2.3 Fatores que influenciam a resistência da alvenaria	38
2.3.1 Espessura da junta da argamassa	38

2.3.2	Tipo de assentamento da argamassa	40
2.3.3	Tipo de capeamento	42
2.3.4	Geometria do bloco	43
2.3.5	Resistência à tração do bloco	44
2.3.6	Índice de absorção inicial	45
2.3.7	Resistência à compressão do bloco	45
2.3.8	Resistência à compressão da argamassa	46
2.3.9	Fator de eficiência	52
2.3.10	Módulo de elasticidade	56
CAPÍTULO III		
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	62
3.1	Considerações iniciais	62
3.2	Bloco estrutural	63
3.2.1	Características dimensionais	64
3.2.2	Determinação do índice de absorção de água, área bruta, área líquida e índice de absorção de água inicial	65
3.2.3	Resistência à tração	65
3.2.4	Resistência à compressão	66
3.2.5	Módulo de elasticidade	67
3.3	Argamassa de assentamento	69
3.3.1	Traços utilizados	69
3.3.2	Preparo da argamassa	70
3.3.3	Expansão ou retração linear	71
3.3.4	Incorporação de ar e retenção de água	71
3.3.5	Resistência à tração na flexão e compressão axial	72
3.3.6	Módulo de elasticidade	73
3.4	Prismas	73
3.4.1	Resistência à compressão	75
3.4.2	Módulo de elasticidade	75
3.5	Pequenas paredes	77
3.5.1	Resistência à compressão	78
3.5.2	Módulo de elasticidade	78
CAPÍTULO IV		
4	RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE	80

4.1 Considerações iniciais	80
4.2 Bloco estrutural	80
4.2.1 Características dimensionais	80
4.2.2 Determinação do índice de absorção de água, área bruta e área líquida e índice de absorção de água inicial	81
4.2.3 Resistência à tração	82
4.2.4 Resistência à compressão	82
4.2.5 Módulo de elasticidade	84
4.3 Argamassas	85
4.3.1 Expansão ou retração linear	85
4.3.2 Incorporação de ar e retenção de água	86
4.3.3 Resistência à tração na flexão e compressão axial	87
4.4 Prismas de dois blocos	90
4.4.1 Resistência à compressão	90
4.4.2 Módulo de elasticidade	91
4.5 Prismas de três blocos	93
4.5.1 Resistência à compressão	93
4.5.2 Módulo de elasticidade	94
4.6 Pequenas paredes	97
4.6.1 Resistência à compressão	97
4.6.2 Módulo de elasticidade	97
4.7 Formas de ruptura	100
4.8 Comparações entre módulos	101
4.9 Comparações entre resistências	103
4.10 Fator de eficiência	107
4.11 Análise estatística	107
CAPÍTULO V	
5 CONCLUSÃO	112
5.1 Considerações iniciais	112
5.2 Conclusões sobre o programa experimental	112
5.3 Conclusões gerais	113
5.4 Sugestões para trabalhos futuros	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
APÊNDICES	121

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A alvenaria é um sistema construtivo que se encontra entre as formas mais antigas de construção empregadas pelo homem. Ao longo do tempo, as edificações passaram por diversas formas de produção, partindo das antigas construções de pedras ou tijolos cerâmicos auto-sustentáveis, assentados com barro, betume e, mais tarde, passando a argamassas de cal e posteriormente à utilização de aço e concreto armado (CAVALHEIRO et al., 2000).

Baseado em padrões de construção da época, sabe-se que, no passado, a capacidade de resistência da estrutura e dos seus materiais, era empírica, a partir de experiências passadas de geração a geração. Isto resultou em projetos com paredes espessas, com perda de espaço interior, aumento de tempo, mão-de-obra e custos. Uma obra que, apesar dessas características, deu certo, podendo ser um incentivo ao aprimoramento e refinamento dos cálculos de alvenaria estrutural, é o prédio “Monadnock”, construído em Chicago de 1889 a 1891, com 16 pavimentos, sendo 65 metros de altura, possuindo uma metade construída em estrutura de aço e a outra metade em alvenaria resistente, esta com paredes de 1,8 m de largura no térreo, reduzidas para 30 cm nos últimos pavimentos do edifício. Acredita-se que por meio dos métodos racionais de dimensionamento, esse edifício poderia ser construído com paredes de 30 cm de largura na base, utilizando os mesmos materiais da época.

Pode-se mencionar obras que foram destaques, como o farol de Alexandria (280 a. C.), as pirâmides do Egito (de pedra, 4000 a. C.), Figura 1, e o Coliseo (82 d.C.), Figura 2. Essas obras são de grande valor histórico, que, frente às dificuldades da época, tornaram-se admiráveis, sendo que as duas últimas permanecem edificadas até os dias de hoje, e são obras em alvenaria muito visitadas no mundo.



Figura 1 – Pirâmide de Kheops (4000 a. C)



Figura 2 – Coliseo (82 d.C)

No início do século passado, a alvenaria perdeu espaço com o advento do aço e do concreto, que tornaram-se construções mais viáveis, possibilitando a execução de grandes vãos e arquitetura mais esbelta. Porém, com a Segunda Guerra Mundial, houve uma escassez desses materiais, o que incentivou novos estudos sobre alvenaria. Na Suíça tais estudos, realizados por Paul Haller, marcaram o início da chamada “Moderna Alvenaria Estrutural”.

Segundo Gomes (1983), na década de 1940 surgem as primeiras especificações e métodos de ensaio racionais para tijolos de barro cozido para alvenaria, a partir de estudos realizados no Instituto de Engenharia de São Paulo.

Na mesma época, era elaborada, na Inglaterra, a primeira norma para cálculo de alvenaria de tijolos.

A alvenaria vem se destacando, no Brasil, como uma das formas mais viáveis de empreendimento estrutural. Sendo assim, cresceu significativamente, nos últimos anos, a partir da consolidação de suas técnicas construtivas e da necessidade de racionalização, frente à concorrência no campo da construção civil. Este sistema também se mostra apropriado a suprir o déficit habitacional dos países em desenvolvimento, por adequar-se às tecnologias e necessidades locais e desenvolver um processo racional, desde o projeto à execução da obra.

Nos últimos anos, frente à situação econômica do País, os mecanismos de financiamento tornaram-se mais acessíveis. A população, melhor esclarecida sobre seus direitos, procura imóveis mais atraentes economicamente, porém de qualidade, o que torna imprescindível, nas construções, a adequação dos recursos materiais, energéticos e de mão-de-obra.

No Brasil, a alvenaria estrutural foi subutilizada por muito tempo, devido ao domínio do concreto armado e da pouca divulgação deste sistema construtivo. Porém, a partir dos anos sessenta, começaram a ser utilizados na construção dos edifícios os blocos estruturais de concreto. O marco inicial, segundo Franco (1987), foi o Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa (São Paulo, 1966) com quatro pavimentos, baseado nos padrões estrangeiros, por não existirem ainda, pesquisas e normatizações brasileiras, que só começaram a surgir, segundo Camacho (1995), no final da década de 70 em São Paulo e em 1983, em Porto Alegre. Já os blocos cerâmicos, começaram a ser utilizados somente na década de oitenta, com a instalação das primeiras indústrias de blocos cerâmicos no Brasil.

Com a evolução da tecnologia e o aprimoramento dos estudos sobre o comportamento da alvenaria estrutural, ela vem conquistando cada vez mais espaço na engenharia das construções. Uma vez que a alvenaria estrutural é um sistema construtivo racionalizado, no qual os elementos que desempenham essa função estrutural são projetados, segundo modelos matemáticos pré-estabelecidos. Para Santos (1998), as obras estão explorando apenas parte do potencial construtivo do sistema.

Dentro desse contexto, frente à necessidade de manter a qualidade e a racionalidade dos projetos executados em alvenaria estrutural, realizou-se esta pesquisa, apresentando contribuições para o estudo da caracterização e

comportamento dos materiais, buscando uma real potencialidade desse sistema, utilizando blocos cerâmicos e argamassa industrializada à base de cal da Região Sul do Brasil.

Neste trabalho são verificados, a resistência à compressão, o módulo de elasticidade, a retração ou expansão da argamassa e outros.

1.2 Objetivo geral

O presente trabalho propõe-se a analisar a influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural, sob compressão, quando utilizadas argamassas com resistências variadas, utilizando blocos cerâmicos e argamassas à base de cal, a partir da confecção de prismas e pequenas paredes.

1.3 Objetivos específicos

Através das combinações comentadas anteriormente, pretende-se:

- Permitir aumento na capacidade de suporte, podendo gerar um ganho de altura nos prédios de alvenaria estrutural cerâmica;
- Verificar os ganhos de resistência à compressão nos prismas usando argamassas com resistências próximas à metade da resistência do bloco utilizado, adotadas com base na resistência à compressão do bloco, considerando a sua área líquida;
- Verificar o modo de ruptura dos prismas e das pequenas paredes.
- Obter o módulo de elasticidade das argamassas e pequenas paredes a fim de caracterizar seu comportamento sob carga.

1.4 Justificativa

A resistência dos blocos e argamassas tem caráter predominante dentre os fatores que exercem influência na resistência à compressão e fator de eficiência dos painéis de alvenaria. Portanto, a compatibilização adequada destes elementos é extremamente necessária quando se deseja aperfeiçoar o desempenho da estrutura. Neste sentido o presente trabalho indica, a partir da caracterização e qualificação dos blocos com diferentes geometrias e argamassas do Rio Grande do Sul, que pode ser possível estimar a melhor combinação destes elementos a partir do fator de eficiência obtido.

Ensaio preliminares realizados utilizando tais blocos e argamassas com resistência aproximada de 15MPa à base de cal e areia calcária industrializada obtiveram bons resultados para o fator de eficiência, demonstrando uma boa relação entre a resistência da argamassa com a resistência à compressão dos prismas. Portanto, acredita-se que prismas moldados com argamassas a base de cal, com resistência aproximadamente a metade da dos blocos calculada a partir da sua área líquida, atinjam elevados valores de eficiência.

Também a realização deste estudo viabilizará a confirmação das conclusões obtidas por Gomes (1983) para os blocos característicos da região, além de que completará a lacuna da realização deste estudo utilizando traços de argamassa mais fortes do que os usuais, o que permitirá a determinação da máxima resistência alcançada pela argamassa de forma que a ruptura do prisma ocorra na argamassa, evitando assim rupturas sem aviso prévio.

1.5 Estrutura do trabalho

Para atender aos objetivos propostos, o trabalho foi organizado em cinco capítulos, sendo completado pelos apêndices.

No Capítulo I, além da exposição dos objetivos, estruturação do trabalho e abrangência, compreende também inclusão da pesquisa no contexto da construção civil no Brasil.

Já no Capítulo II, são comentados conceitos básicos da alvenaria estrutural. Nesse capítulo realiza-se, também, uma breve revisão bibliográfica sobre a alvenaria estrutural.

A metodologia utilizada para a aquisição das informações sobre as técnicas construtivas adotadas é descrita no Capítulo III, no qual é feita uma explanação sobre a forma de como foi desenvolvido os ensaios e especificações importantes e comentários sobre o levantamento dos dados obtidos.

No Capítulo IV encontram-se os resultados obtidos bem como a análise crítica dos mesmos observados nos ensaios.

No Capítulo V apresentam-se as conclusões e os comentários dos ensaios, ainda, recomendações gerais para alvenaria estrutural e para trabalhos futuros de pesquisa.

CAPÍTULO II

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceituações preliminares

Na tentativa de padronizar a linguagem utilizada, a seguir, estão alguns conceitos:

Alvenaria: conjunto 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); pode ainda conter aditivos ou não, possui características plásticas, de aderência a materiais porosos e endurecimento, após certo tempo.

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

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

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

Bloco Cerâmico: Componente básico da alvenaria, segundo a NBR 15270-2 (ABNT, 2005e), é um componente de alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos, perpendiculares às faces de assentamento. Os blocos cerâmicos são classificados de acordo com suas resistências 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 e as pequenas paredes e paredes.

Fator de eficiência: definido como a relação entre a resistência à compressão axial da parede (fp) pela resistência do bloco (fb).

Graute: componente utilizado para preenchimento de espaços vazios de blocos com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente.

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

Módulo de elasticidade: definido como o coeficiente de proporcionalidade entre tensão e deformação, sob um carregamento.

Módulo de elasticidade secante: será considerado o valor obtido pela declividade de uma reta traçada da origem a um ponto da curva tensão-deformação, podendo ser 30 % da carga de ruptura ou outro valor pré-definido.

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

Pequenas paredes: corpo-de-prova de alvenaria moldado com a metade do pé-direito de uma parede ou com o máximo da altura que o equipamento utilizado é capaz de suportar, sendo necessariamente contra-fiado.

Coeficiente de Poisson: o valor absoluto da relação entre a deformação específica transversal e a deformação específica longitudinal.

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 do seu plano axial longitudinal.

2.1.1 Bloco estrutural

Estão disponíveis, no mercado, vários tipos de blocos estruturais para cumprir as mais diversas funções; para isso variam a forma e os materiais utilizados na sua

produção. Em relação aos materiais, os blocos podem ser de diversos tipos, como: concreto, cerâmico, sílico-calcário e concreto celular auto-clavado. Atualmente, no Rio Grande do Sul é predominante a utilização de blocos cerâmicos e de concreto.

Segundo Rizzatti (2003) o material constituinte dos blocos cerâmicos é principalmente a argila, composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos, podendo ser calcária ou não. A calcária, quando cozida, produz um bloco de cor amarelada. A não calcária contém de 2% a 10 % de óxido de ferro e feldspato e produz uma unidade de variados tons vermelhos, dependendo da quantidade do óxido de ferro utilizado.

A forma que os blocos devem possuir, de um paralelepípedo-retângulo, pode apresentar, ou não, vazados em suas paredes. São classificados em blocos de paredes vazadas, blocos com paredes maciças e blocos perfurados. As suas dimensões podem variar de acordo com o que está definido na norma NBR 15270-2 (ABNT, 2005b).

Para Gomes (1983), a produção de blocos cerâmicos deve reunir a experiência estrutural e a tecnologia das argilas, de forma que estes componentes tenham resistência e durabilidade necessária e proporcionem o conforto ambiental desejado.

As propriedades físicas dos blocos são afetadas pela composição da matéria-prima usada e pelo seu método de fabricação (RIZZATTI, 2003).

2.1.2 Argamassa de assentamento

A argamassa de assentamento, conforme a norma NBR 13281 (ABNT, 2005) é uma mistura homogênea de agregados miúdo(s), aglomerante(s), inorgânico(s) e água contendo ou não aditivos com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

A argamassa é composta por cimento, cal, areia e água, podendo ter, ou não, aditivo. O cimento é o principal elemento responsável pela sua resistência, podendo ser empregados vários tipos de cimento Portland. Geralmente, as argamassas são mais deformáveis e menos resistentes do que os blocos; portanto, seu coeficiente de Poisson tende em ser maior.

Na BS 5628-1 (1978) são descritas como sendo funções prioritárias da argamassa de assentamento: unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-las 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 de chuva, quando não revestidas.

Na alvenaria estrutural, a argamassa de assentamento é muito importante, no que se refere a sua trabalhabilidade, consistência, aderência e capacidade de absorver as deformações. Quanto à resistência à compressão, sua influência na resistência da parede é pequena. O que se espera é que essa argamassa resista aos esforços a que é submetida sem prejudicar sua função (SABBATINI, 1984 e GALLEGOS, 1989). Isto ocorre por não terem obtido um aumento significativo na resistência da alvenaria quando aumentaram a resistência da argamassa, mas quando se obtém um aumento significativo, devemos analisar mais a fundo as implicações que a alvenaria pode sofrer, ou seja verificar qual o real grau de deformidade podemos diminuir, sem que venha a gerar prejuízo a ela.

Na alvenaria estrutural a argamassa tem por finalidade unir os blocos, dar monoliticidade ao conjunto e permitir, se presentes, pequenas deformações.

É possível encontrar na argamassa em estado plástico as seguintes propriedades: trabalhabilidade, retenção de água e condição de assentamento (aderência inicial). No estado endurecido predominam a resiliência, aderência e resistência à compressão. Cabe ressaltar, que, conforme Pozzobon (2003) não é correto fazer comparações entre concreto e argamassa, porque possuem funções e empregos distintos.

Quanto ao preenchimento das juntas sabe-se, que afeta a resistência final da parede. No entanto, paredes com juntas verticais e horizontais transversais pouco influenciam a resistência à compressão, mas têm grande influência na resistência ao cisalhamento e à flexão. Cabe ressaltar que as juntas verticais também são fundamentais para a estanqueidade, o conforto térmico e a acústica das paredes.

Segundo Sabbatini (1984), as características de uma parede resistente, entre elas, 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, são prejudicados, quando a aderência entre a argamassa e o bloco é insuficiente.

Cavalheiro (1995) refere que a argamassa de assentamento, a ser utilizada na alvenaria, pode ser definida pelos traços recomendados nas normas, se forem realizados ensaios básicos, comprovando sua adequação.

Sabe-se que o mecanismo de ruptura da alvenaria, tem relação direta com a interação entre a unidade e a junta. Portanto, o conhecimento do comportamento mecânico das argamassas é essencial, mesmo que nem todos os pesquisadores concordem com isso (RAMAMURTHY E GANESAN, 1988).

Para Rizzati (2003), “a influência da resistência à compressão da argamassa cresce com o aumento da qualidade da unidade e conseqüente elevação das tensões admissíveis. Entretanto, este aumento de resistência da argamassa gera um aumento menos significativo do que aquele ocasionado pela maior resistência das unidades”.

2.1.3 Prisma

Define-se prisma como a justaposição de dois ou mais blocos, unidos por juntas totais de argamassa com $10\pm 3\text{mm}$ de espessura, destinado a ensaios de resistência à compressão. Conforme a NBR 8215 (ABNT, 1983), o resultado dessa resistência deve ser a média do ensaio de no mínimo dois prismas. Para Rizzati (2003), esta especificação vai contra a segurança da alvenaria, pois fornece valores maiores do que os reais, para o autor seria ideal no mínimo três blocos sobrepostos.

No Brasil, não há uma definição de prisma para bloco cerâmico. As normas vigentes, apenas discorrem sobre preparo e ensaios à compressão de blocos vazados de concreto. Entretanto, outros pesquisadores tais como Sabbatini (1984), Franco (1987), e Müller (1989) orientam a execução de prisma com três blocos assentados a prumo e com duas juntas de argamassa.

A base de um projeto estrutural são os ensaios com prismas, cujos resultados são utilizados em cálculos estruturais, e são mais fidedignos que os ensaios realizados apenas com blocos, porque estes não relacionam adequadamente uma condição de estrutura.

De acordo com a norma NBR 8215 (ABNT, 1983), existem duas maneiras diferentes de se preparar prismas. Eles podem conter vários tipos de argamassa,

graute e blocos, e serem moldados em laboratório, ou, podem ser moldados na própria obra, utilizando os mesmos materiais, assim como a mão-de-obra da execução.

No que se refere ao tamanho dos prismas, a norma brasileira em vigor não possibilita outro tipo de prisma a não ser com dois blocos apenas e seu argamassamento total na face de assentamento, mas já existem vários pesquisadores afirmando que esses podem conter de um a um bloco e meio de largura, sendo o segundo, necessariamente, contra-fiado. Quanto aos modos de assentamento, os prismas podem ter a argamassa em toda sua superfície de assentamento, ou somente nas faces. E podem, também, serem grauteados ou não.

A Figura 3 mostra os diferentes tipos de prismas que podem ser utilizados experimentalmente.

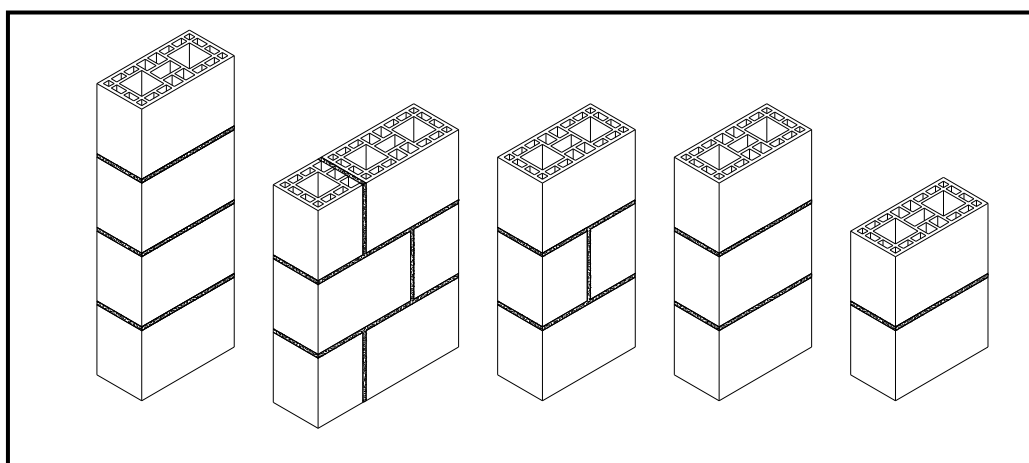


Figura 3 – Modelos de prismas que podem ser utilizados experimentalmente

2.1.4 Paredes

Na alvenaria estrutural, o elemento que melhor a representa, nos ensaios de resistência, são as paredes. Uma parede é o resultado da união de blocos e argamassas.

A correlação prisma/parede é mais próxima do real do que a relação bloco/parede. Tendo em vista que estes ensaios são mais rápidos e econômicos, e não exigem sofisticação laboratorial, portanto são preferíveis. Mesmo sabendo que a melhor maneira de enumerar valores estruturais, seria por meio de ensaios em paredes com escala real.

Na NBR 8949 (ABNT, 1985a) está especificado o ensaio de parede com a dimensão mínima de 1,20m de largura por 2,60m de altura. Não existe norma brasileira que contemple o ensaio das pequenas paredes, mas é um ensaio usual, pois fornece uma melhor resposta que os prismas e são mais fáceis a aparelhagem e o manuseio que as paredes inteiras.

2.2 Resistência à compressão na alvenaria

2.2.1 Modelos de ruptura

A resistência à compressão da alvenaria é um fator importante, pois no dimensionamento, o carregamento vertical com a combinação do esforço horizontal é suportado pela mesma, embora alguns autores a coloquem em 3º ou 4º grau de importância.

Para Monk (1967), em seus resultados obtidos em testes de laboratório ficou evidente que em praticamente todos os casos em que a ruptura ocorre no bloco cerâmico pelo fendilhamento vertical, as tensões de tração ultrapassam a resistência à tração da unidade. Quando unidades cerâmicas são ensaiadas à compressão, o prato de aço da prensa sendo muito mais rígido do que o bloco, produz nestas deformações laterais de compressão, ocasionando a ruptura por cisalhamento.

Segundo Mohamad (1998) a ruptura em blocos de concreto ocorre mediante alguns fatores como: esmagamento e tração na argamassa e tração no bloco.

Vários pesquisadores estudaram os modelos matemáticos, a fim de explicar o comportamento da alvenaria; salientam-se, entre os trabalhos em alvenaria cerâmica, os seguintes autores: Hilsdorf (1967); Atkinson e Noland (1985); Lenczner. Estes estudos são sintetizados a seguir:

a) Modelo de Hilsdorf

Hilsdorf (1967) apud GOMES (1983) foi o primeiro pesquisador a chegar a conclusões satisfatórias sobre a forma de ruptura na alvenaria, elaborando um modelo matemático considerando o comportamento elástico e baseando-se nos esforços resistidos pelos componentes da alvenaria.

As hipóteses do autor são as seguintes: comportamento de ruptura semelhante ao critério de Mohr (de acordo com este critério haverá ruptura quando a tensão de cisalhamento se igualar à resistência de cisalhamento); perfeita aderência entre bloco (tijolo maciço) e argamassa; distribuição uniforme de tensões laterais e verticais.

A Figura 4 apresenta o estado de tensões em prismas de alvenaria, segundo o modelo estabelecido por Hilsdorf.

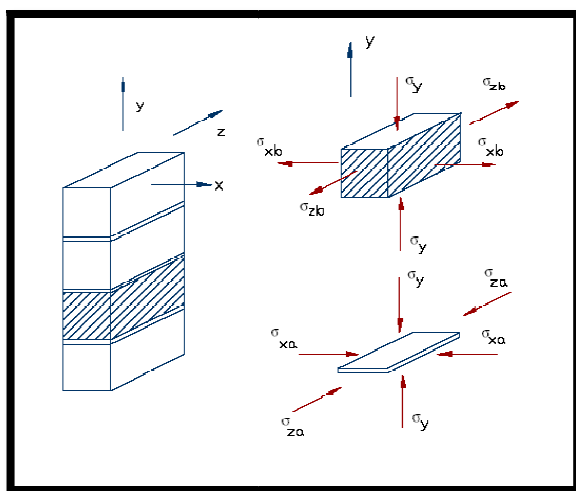


Figura 4 – Distribuições de tensões no prisma, conforme Hilsdorf

Admite-se, neste modelo, que ao mesmo tempo o bloco rompe sob estado biaxial (tração-compressão) e a argamassa, sob estado triaxial de compressão. Na Figura 5 a linha CD, representa o esforço de compressão na argamassa, sendo que sua resistência aumenta com o nível de compressão lateral. A interseção desta reta com a reta de Coulomb AB, que define a envoltória de ruptura, causará a ruptura do prisma. Este critério permite chegar a valores quantitativos.

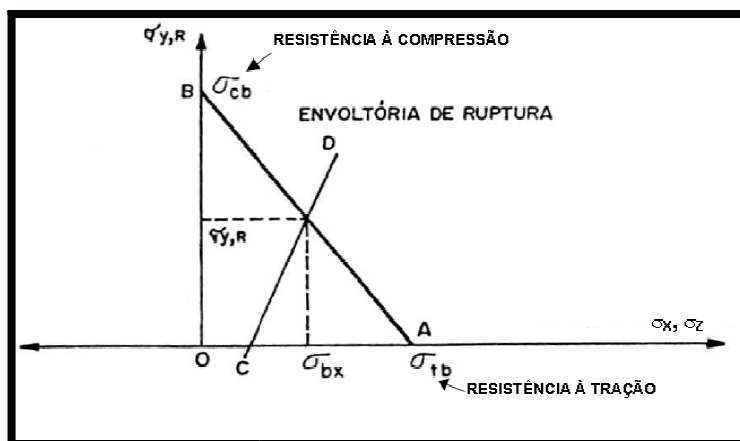


Figura 5 – Relação entre as tensões de compressão e tração em um bloco ou tijolo, na ruptura

Fonte: GOMES (1983, p. 68)

Segundo este autor, a aplicação de cargas de compressão à argamassa, com um módulo de deformação menor que o do bloco, tem a tendência de se expandir lateralmente. Quando as tensões de tração no bloco ultrapassarem a sua resistência à tração ocorre fissuração na unidade, porque há aderência entre bloco e argamassa que surgem tensões de compressão triaxiais na argamassa, o que gera tensões de tração no bloco.

b) Modelo de Atkinson e Noland

A teoria de Atkinson e Noland (1985) foi desenvolvida, relacionando propriedades de resistência e deformação de prismas submetidos a esforços de compressão, sendo baseada no critério de Hilsdorf (1969). Esta refere que o comportamento da alvenaria é baseado na compatibilidade de deformação dos blocos e argamassas.

As hipóteses dos autores são as seguintes: considera a relação linear entre a tensão de compressão local e a resistência à tração lateral biaxial; consideram o prisma com o conjunto bloco/argamassa, sujeito a uma tensão de compressão vertical uniforme; este estado de tensões é mostrado na Figura 6.

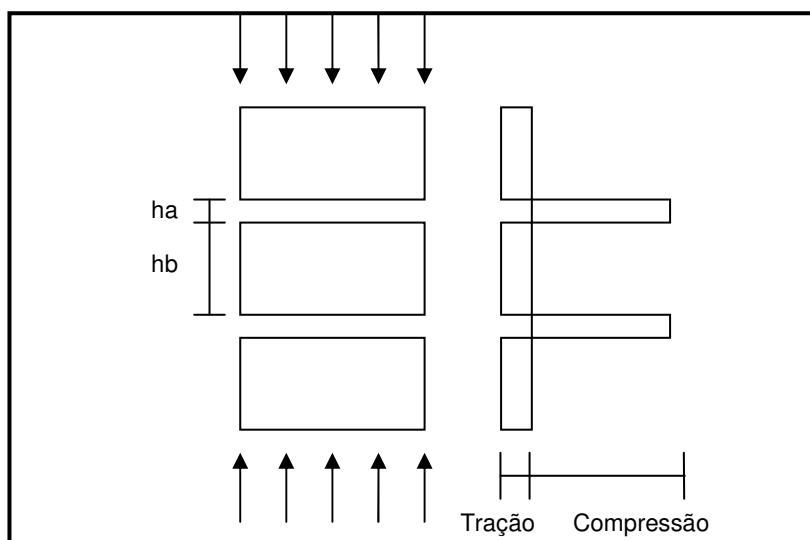


Figura 6 – Distribuições de tensões segundo Atkinson e Noland

De acordo com os autores, os critérios que afetam a resistência à compressão uniaxial da alvenaria são: a resistência à tração uniaxial e biaxial do bloco e da argamassa, assim como os padrões de forma do prisma. O modelo sugere que quanto maiores os blocos, menores são as tensões de tração induzidas à alvenaria.

A partir do modelo proposto por Atkinson e Noland (1985), McNary e Abramns (1985) realizaram ensaios de prismas com blocos cerâmicos, tijolos maciços e diferentes tipos de argamassas, para confrontar os dados experimentais com os valores teóricos. Na realização dos procedimentos experimentais foram feitos os seguintes ensaios: compressão triaxial da argamassa, compressão uniaxial dos blocos e compressão uniaxial dos prismas.

Os autores concluíram que tendo a argamassa a tendência de se expandir lateralmente, quando ligada mecanicamente ao bloco, esta característica é restringida, surgindo, assim, tensões laterais de tração no bloco e de compressão na argamassa, e que a resistência dos prismas é governada pela resistência à tração dos blocos e pelas propriedades de deformação da argamassa.

Argamassas mais fortes possuem um comportamento na curva tensão x deformação essencialmente linear, porque seus prismas fissuraram subitamente e romperam explosivamente no carregamento último. Já as argamassas mais fracas apresentam um comportamento mais dúctil, ocorrendo fissuração lenta nos prismas.

Portanto, de acordo com esta teoria, considerando a não linearidade da argamassa, pode ocorrer o fendilhamento do bloco, ao invés do esmagamento da argamassa.

c) critério de Lenczner

O critério de Lenczner considera a contribuição da argamassa de assentamento na resistência da alvenaria, baseando-se na compatibilidade de deformações entre os elementos da alvenaria, bloco e argamassa. Este critério é apresentado em Gomes (1983).

A argamassa, por possuir um módulo de elasticidade menor que o bloco, fica submetida a esforços de compressão e os blocos, a esforços de tração, ocorrendo a ruptura por tração no bloco, devido a sua baixa resistência à tração. A Figura 7 explica este critério de compatibilidade de deformações.

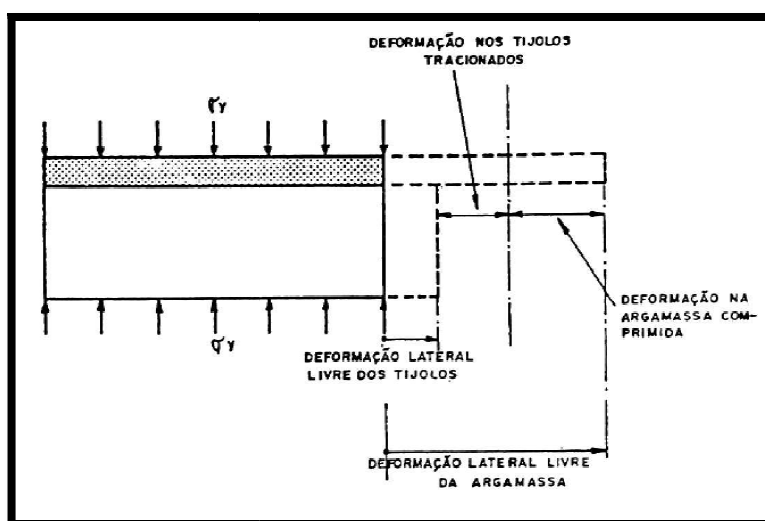


Figura 7 – Deformação lateral dos blocos e argamassa de assentamento submetidos à compressão simples

Fonte: GOMES (1983, p. 75)

2.2.2 Equações propostas para determinar a resistência da alvenaria

Vários autores tentam desenvolver equações para calcular a resistência da alvenaria, a fim de explicar matematicamente quanto ela suporta, sem que ocorra sua ruptura. Abaixo estão citados alguns deles, e suas equações.

a) La Rovere e Soliz (1995)

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:

$$f'_m = \frac{\sigma_y}{K_1} \quad (1)$$

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 a utilização de 1,5 como valor para o coeficiente K_1 :

$$f'_m = 5,91(0,1f'_{cb} + 0,01284f'_a) \quad (2)$$

c) Hamid e Drysdale

Também adotaram a equação de Hilsdorf, tomando K_1 igual a 1,08 e chegando à seguinte equação para a resistência à compressão da alvenaria:

$$f'_m = 8,08(0,1f'_{cb} + 0,01460 f'_a) \quad (3)$$

onde:

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

f'_a = resistência à compressão da argamassa

d) Mohamad (1998)

Estabelece equações para indicar a resistência da alvenaria com 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 a seguir; já a resistência do prisma, em função da resistência à tração do bloco, é dada pela segunda equação. Segundo o autor a ruptura ocorrerá para o valor mais baixo das duas equações.

$$F_m = f_a \cdot 0,5794 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right)^{-1,1093} \quad (4)$$

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

onde:

F_m = resistência à compressão da alvenaria

f_a = resistência à compressão da argamassa

f_{bt} = resistência do bloco à tração

E_a = módulo de elasticidade da argamassa

E_b = módulo de elasticidade do bloco

e) NBR 10837 (ABNT, 1989)

Na norma brasileira está previsto o cálculo em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, não existindo uma específica para bloco cerâmico. As cargas admissíveis, para compressão de paredes de alvenaria não armada, são calculadas por meio do critério das tensões admissíveis, usando a resistência à compressão média de prismas contra-fiados.

$$P_{adm} = 0,20 \cdot f_p \cdot \left[1 - \left(\frac{h}{40 \cdot t}\right)^3\right] \cdot A \quad (6)$$

onde:

f_p = resistência média do prisma

t = espessura efetiva

h = altura efetiva

A = área líquida da parede

f) BS 5628 part 1 (1978)

Já na Norma Britânica não são estabelecidas diferenças entre alvenarias de blocos cerâmicos ou de concreto, sendo que a resistência característica à compressão da alvenaria f_k pode ser obtida por 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 0,125m² em que a execução e a argamassa empregadas nos painéis testes devem ser as mesmas utilizadas na prática;
- * por meio de correlações empíricas, tendo por base a resistência da unidade e o tipo de argamassa a ser empregado.

A resistência característica à compressão, f_k , pode ser calculada como segue:

$$f_k = \frac{F_m}{A} \chi \frac{\Psi_v \Psi_m}{1,2} \quad (7)$$

onde:

F_m = média da carga máxima de dois painéis teste

A = área da seção transversal de qualquer painel

Ψ_m = fator de redução da resistência da argamassa, dado Tabela 2.1 da BS 5628 part 1

Ψ_v = fator de redução para amostras de elementos estruturais

Ainda, de acordo com a BS 5628 part 1, a resistência característica à compressão depende principalmente da resistência da unidade. Para valores mais baixos de resistência à compressão dos blocos, a argamassa não tem influência significativa na resistência da alvenaria. Entretanto, à medida que se aumenta a resistência do bloco a ser usado, essa influência passa a ser significativa.

g) EUROCODE 6

A equação abaixo é estabelecida pelo código europeu, para determinação da resistência característica da alvenaria à compressão:

$$Fk = k \cdot f_b^{0,75} \cdot f_a^{0,25} \quad (8)$$

onde:

k = é um coeficiente

f_a = resistência à compressão média da unidade

f_b = resistência à compressão média da unidade

Sendo, $k = 0,4 \cdot \varphi$

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

Para $f_b \leq \frac{15N}{mm^2}$, $\varphi = 1$

Pode-se observar que, pelo EUROCODE 6, a argamassa tem uma influência bem pequena, comparada com a do bloco.

2.3 Fatores que influenciam a resistência da alvenaria

Na alvenaria existem vários fatores que influenciam; entre os principais a serem analisados neste estudo podem ser citados:

- espessura da junta de argamassa;
- tipo de assentamento;
- tipo de capeamento;
- geometria dos blocos;
- resistência à tração ;
- índice de absorção dos blocos;
- resistência à compressão da alvenaria;
- resistência à compressão da argamassa;
- fator de eficiência;
- módulo de elasticidade;

2.3.1 Espessura da junta da argamassa

A junta de argamassa é essencial para nivelar e suprir as irregularidades dos blocos e é ela que proporciona união das unidades, criando uma monoliticidade à alvenaria. Diversas pesquisas indicam que a espessura ideal da junta horizontal é de

10mm; valores menores, que teoricamente levariam a alvenarias mais resistentes, não são recomendáveis, pois a junta não consegue absorver essas imperfeições das unidades.

Segundo Francis (1967) apud GOMES (1983) a resistência da parede decresce com o aumento da espessura da junta horizontal.

Na norma NBR 8215 (ABNT, 1983) está especificado que a espessura da junta deve ser de 10 ± 3 mm; valores fora deste padrão prejudicam o desempenho das paredes.

Cheema e Klingner (1986) pesquisaram prismas de blocos de concreto com resistência de 25,8 MPa e argamassa com resistência de 14,9MPa, utilizando duas espessuras de junta de argamassa, uma com 10,0mm e outra com 12,7mm, obtendo uma redução da resistência nos prismas de 39%, quando utilizada a junta mais espessa, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados médios de resistências

Espessura da junta (mm)	Resistência do prisma (MPa)
10,0	19,23
12,7	13,80

Fonte: CHEEMA e KLINGNER (1986)

Mohamad (1998) realizou testes em prismas com juntas horizontais de espessura de 7mm e 10 mm, em blocos de concreto, e concluíram, conforme a Tabela 2, que os prismas construídos com junta de 7mm apresentaram um acréscimo no fator de eficiência de 34 (prisma/bloco).

Tabela 2 – 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
4,89	15,67	7	11,7	0,75
5,41	15,67	10	8,84	0,56

Fonte: MOHAMAD (1998, p. 86)

Salienta-se que mesmo com o aumento de resistência do prisma com juntas de menores espessuras, a capacidade da argamassa de acomodar tensões pode ficar comprometida. Por outro lado, espessuras maiores que 10mm causam diminuição da resistência das alvenarias, devido ao aparecimento de tensões maiores de tração lateral nas unidades.

Sahlin apud ROMAN (1991) concluiu que a resistência da alvenaria diminui em 15% para cada aumento de 3mm na espessura da junta e o inverso é verdadeiro.

2.3.2 Tipo de assentamento da argamassa

Os blocos estruturais possuem dois tipos de possibilidades de assentamento. Um com apenas argamassa nas suas paredes longitudinais e outra com todas as paredes argamassadas. É importante ressaltar que se for utilizada argamassa apenas nas paredes longitudinais e verticais, gerará uma racionalização ainda maior no processo; no entanto, isso pode causar um aumento de tensões localizadas na alvenaria, influenciando o modo de ruptura dos mesmos. A Figura 8 mostra os dois tipos de assentamento citados.

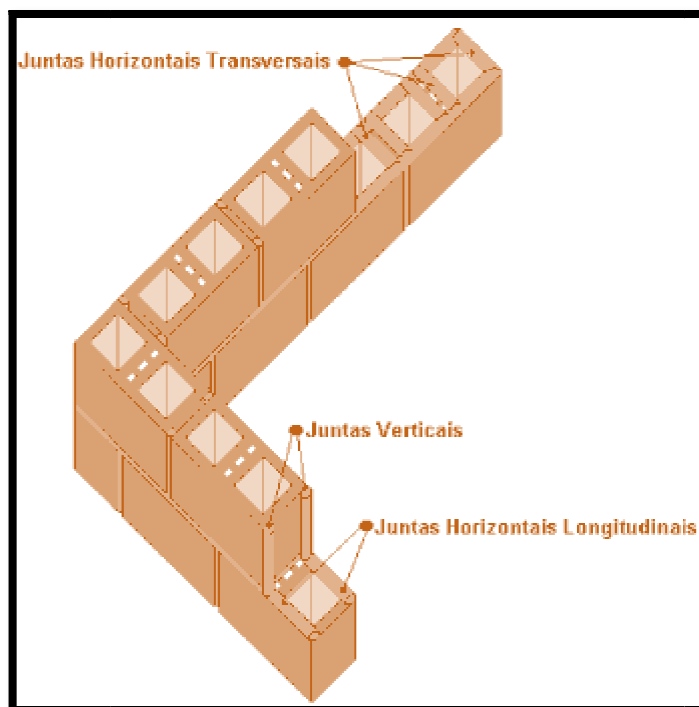


Figura 8 – Argamassamento apenas longitudinal e total

Fonte: SANTOS (1998, p. 58)

Por meio de simulação computacional, utilizando-se o método dos elementos finitos para estudar o comportamento de prismas com diferentes tipos de assentamento, concluiu-se que a colocação de argamassa somente nas paredes laterais dos blocos, implica no surgimento de grandes concentrações de tensões nas paredes transversais, o que não acontece quando a colocação da argamassa é realizada em todo o bloco, sendo que no primeiro caso a fissuração inicia na parede transversal central (GANESAN e RAMAMURTHY, 1992).

Colville e Woldetinsae (1990) estudaram a influência do tipo de assentamento na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto. Com base em seus resultados concluíram que a resistência à compressão dos prismas vazados é aproximadamente 8% menor para prismas com assentamento total do que para prismas com assentamento lateral. É importante ressaltar que os autores chegaram a esses resultados, considerando a resistência à compressão calculada em relação à área de assentamento da argamassa.

Pasquali (2006) estudou o comportamento de pequenas paredes com dois tipos de geometria de blocos vazados de cerâmica, um com paredes vazadas (12,3MPa) e outro com paredes maciças (18,0MPa), utilizou 3 tipos de argamassas

industrializadas à base de cal e areia calcária e dois tipos de argamassamento (pleno e longitudinal); seus resultados constam na Tabela 3.

Tabela 3 – Resistência das pequenas paredes em função do tipo de assentamento

Tipo do bloco	Resistência Média da Argamassa (MPa)	Tipo de assentamento	Resistência pequenas Paredes área bruta (MPa)	Redução (%)
Parede vazada (12,3MPa)	2,51	Pleno	4,32	18,3
		Longitudinal	3,53	
	4,25	Pleno	4,34	16,1
		Longitudinal	3,64	
12,56	Pleno	5,71	25,9	
	Longitudinal	4,23		
Parede Maciça (18,0MPa)	2,51	Pleno	4,68	38,0
		Longitudinal	2,90	
	4,25	Pleno	5,60	43,0
		Longitudinal	3,19	
	12,56	Pleno	6,57	49,3
		Longitudinal	3,33	

Analisando os dados, conclui-se que as duas geometrias de blocos vazados apresentam uma variação significativa no que se refere à resistência das pequenas paredes ensaiadas, que varia de 16,1% a 25,9% para os blocos de paredes vazadas e de 38% a 49% para blocos de paredes maciças.

2.3.3 Tipo de capeamento

O capeamento de blocos, prismas e paredes é essencial porque melhora a distribuição de tensões, tornando suas superfícies regulares. Segundo a norma NBR 15270-3 (ABNT, 2005f) as faces devem estar devidamente regularizadas e, tanto quanto possível, paralelas. O capeamento deve ser feito com pasta de cimento ou argamassa com resistência superior à do bloco, na área bruta, e com espessura

igual ou inferior a 3 mm, ou então os corpos-de-prova devem ser regularizados por meio de uma retifica, dispensando assim o capeamento.

O confinamento dos pratos da prensa, que pode ser minimizado de acordo com o tipo de capeamento.

2.3.4 Geometria do bloco

Rizzatti (2003) salienta que em blocos vazados a disposição e tipos de furos podem acarretar grandes concentrações de tensões, reduzindo a resistência e conduzindo a rupturas frágeis; a Figura 9 demonstra os tipos de geometria dos blocos cerâmicos em escala reduzida, que o autor utilizou em sua tese.

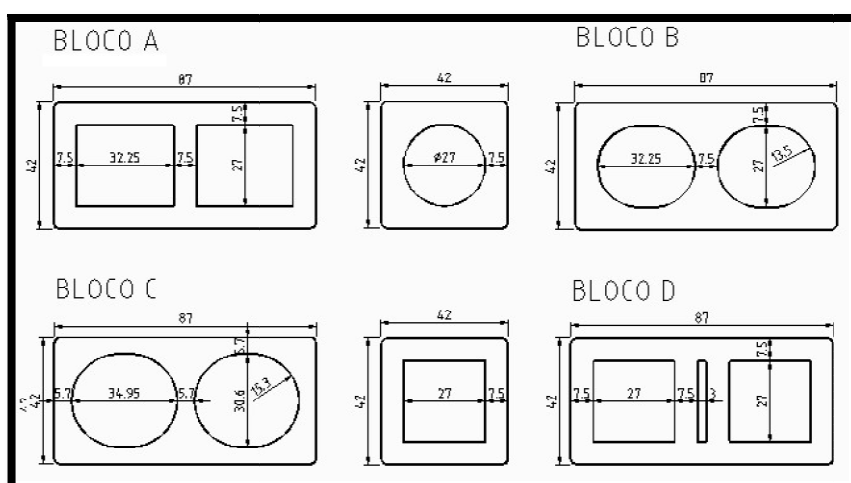


Figura 9 – Formas e dimensões dos blocos estudados

Fonte: RIZZATTI (2003, p. 54)

Gomes (1983) salienta a importância da geometria dos blocos para a resistência das paredes, observando que a ruptura começa pelas nervuras em contato com as faces externas do bloco; tal fato exemplifica uma das influências da geometria dos blocos no comportamento das paredes. Blocos com paredes mais

robustas têm melhores condições de absorver as tensões de tração geradas nas mesmas.

Boult (1979), utilizando prismas de concreto, observou que furos mais paralelos produzem melhor resistência que os afunilados e que a espessura do septo parece não influenciar a resistência do prisma; sendo assim, a geometria do furo é uma variável importante na resistência da alvenaria.

Abiko (1994) ao estudar a relação da resistência durante à compressão, de acordo com o formato dos blocos cerâmicos, concluiu que a da face lateral dos blocos de furos quadrados é maior que a dos blocos de furos redondos.

Partindo de cinco tipos diferentes de blocos Prado (1995) testou prismas variados, a fim de investigar a resistência à compressão e concluiu que a geometria e a altura das unidades não interferem, de maneira significativa, na resistência. Porém observou que, conforme aumentam as dimensões dos blocos, a resistência se aproxima à do prisma. Portanto é necessário atentar para o risco de se generalizar resultados de algumas unidades à diversidade e ao desconhecimento de inúmeros tipos de blocos.

2.3.5 Resistência à tração do bloco

Nas alvenarias, o esforço predominante é o de compressão, mas dependendo da rigidez dos seus materiais constituintes, surgem sempre tensões de tração nos blocos. Portanto é importante a determinação da resistência do bloco à tração, pois na grande maioria dos casos eles rompem por tração, sendo uns dos motivos a deformação da argamassa que leva as paredes dos blocos a uma tração superior à suportada por eles e pode ser determinada por ensaios diretos e indiretos. Com isso, pode-se dizer que, quanto maior for à resistência do bloco à tração, maior será a capacidade de resistir a esforços de compressão da alvenaria.

Cheema e Klingner (1986) desenvolveram a seguinte equação para determinar a resistência à tração dos blocos:

$$F_{bt} = 0,41 \sqrt{f_b} \quad (9)$$

onde:

f_{bt} = resistência à compressão do bloco em MPa

f_b = resistência à compressão do bloco (área bruta)

O ensaio indireto mais empregado, onde o corpo-de-prova é submetido à compressão diametral, foi desenvolvido por Lobo Carneiro, sendo conhecido como “Teste Brasileiro” e tem sido um dos mais utilizados, devido às incertezas obtidas nos ensaios diretos.

2.3.6 Índice de absorção inicial

Os blocos possuem taxas de sucção que dependem do tipo de argila utilizada e do seu grau de queima. O eventual aumento dessas taxas ocasiona uma acentuada redução na resistência da alvenaria de maneira exponencial. As unidades com alta taxa de sucção interferem na resistência à compressão e aderência da argamassa, pois retiram rapidamente água desta.

Conforme Franco (1993) as altas taxas de absorção dos blocos provoca uma menor plasticidade da argamassa, durante o assentamento, fazendo com que não absorvam pequenas deformações de assentamento da alvenaria.

Na NBR 15270-3 (ABNT, 2005f) é recomendado que se o valor encontrado do índice de absorção inicial AAI for superior a 30 g/193,55 cm² os blocos devem ser previamente umedecidos, antes de assentados, para o seu melhor desempenho; se for menor, os blocos podem ser assentados sem o prévio umedecimento.

2.3.7 Resistência à compressão do bloco

Blocos com maior resistência tendem a aumentar a capacidade de tensão da alvenaria à compressão. Entretanto, esse aumento nas alvenarias não é linearmente proporcional ao dos blocos. Assim, Roman (1983), refere que quanto maior a resistência do bloco menor o fator de eficiência.

Na norma britânica BS 5628/78 estão estabelecidos parâmetros de resistência da alvenaria para o uso de diferentes tipos de blocos, como pode ser visto na Figura 10, onde são apresentados os valores dessa resistência à compressão dos prismas, de acordo com os blocos (com relação largura/espessura entre dois e quatro) de diferentes resistências.

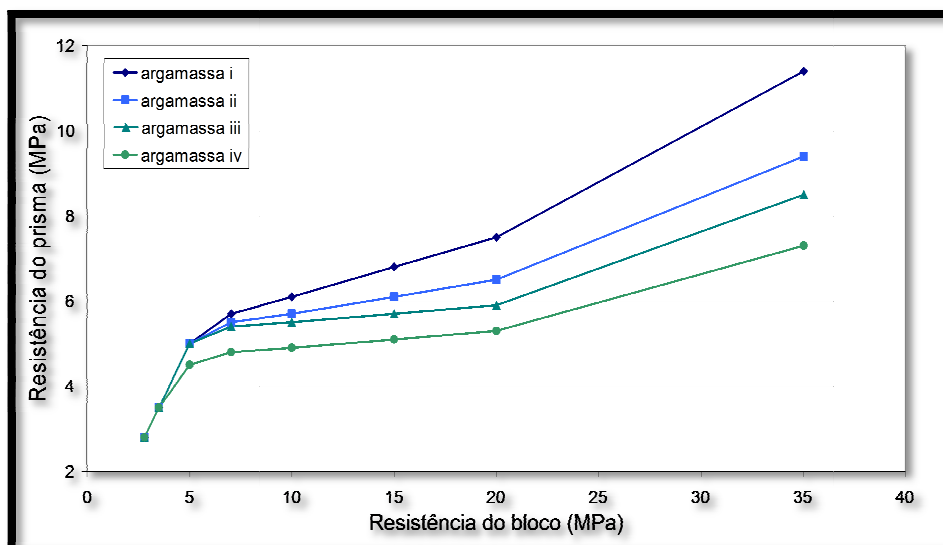


Figura 10 – Comparativo da resistência de prismas e blocos

Fonte: (BS 5682:1978, adaptada)

Na Figura 10 observa-se o desempenho dos quatro tipos de argamassas padronizadas pela norma britânica BS 5682/78, onde ocorre um aumento de resistência do bloco em 12,5 vezes, gerando um ganho médio de resistência, no prisma, de 3,25 vezes, e a variação da resistência da alvenaria em função do traço da argamassa, conclui-se que em blocos, a partir de 15 MPa, a variação começa a ser significativa, o que não ocorre nas de baixa resistência.

2.3.8 Resistência à compressão da argamassa

A argamassa de assentamento tem importante função estrutural; sua maior resistência possibilitará a construção de paredes mais resistentes; no entanto, essas paredes apresentarão uma ruptura excessivamente frágil e não acompanharão os eventuais movimentos da estrutura. Um dos grandes problemas identificados é saber qual o nível de resistência é o ideal.

Conforme a BS 5628 part 1 (1978) a argamassa deve conter água potável, sendo necessário controlar o tempo de mistura, e o uso de aditivos é permitido. A resistência à compressão da argamassa é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Resistência à compressão das argamassas da Norma Britânica (BS 5628)

Designação	Tipos de argamassa (em volume)			Resistência média à compressão, aos 28 dias (MPa)	
	ci:cal:ar	ci(alv):ar	ci:cal:plast	Laboratório	Obra
i	1 : 0 a ¼ : 3	-	-	16	11
ii	1 : ¼ : 4 a 4½	1 : 2½ a 3½	1 : 3 a 4	6,5	4,5
iii	1 : 2 : 5 a 6	1 : 4 a 5	1 : 5 a 6	3,6	2,5
iv	1 : 2 : 8 a 9	1 : 5½ a 6½	1 : 7 a 8	1,5	1,0

Segundo a norma americana ASTM C 270-86b (1987) o traço e as propriedades da argamassa de assentamento na alvenaria estrutural, devem seguir as especificações apresentadas nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Especificações dos traços das argamassas (ASTM C 270-86b)

Tipo de argamassa	Traço em volume		Areia de 2,25 a 3 vezes a soma dos volumes de aglomerantes
	Cimento	Cal	
M	1	0,25	
S	1	0,25 a 0,50	
N	1	0,50 a 1,25	
O	1	1,25 a 2,25	

Tabela 6 – Especificações das propriedades das argamassas de cimento e cal (ASTM C 270-86b, 1987)

Tipo de argamassa	Resistência média à compressão 28 dias (MPa)	Retenção de água (%)	Ar incorporado (%)
M	17,2	75	12
S	12,4	75	12
N	5,2	75	14
O	2,4	75	14

Ainda segundo a norma ASTM C 270-86b (1987), os agregados devem atender às especificações da norma ASTM C 144-84 (1987), mostradas na Tabela 7.

Tabela 7 – Limites granulométricos do agregado (ASTM C 144-84, 1987)

Peneiras (mm)	Porcentagem que passa (em peso)	
	Areia natural	Areia produzida
4,75	100	100
2,36	90 a 100	95 a 100
1,18	70 a 100	70 a 100
0,60	40 a 75	40 a 75
0,30	10 a 35	20 a 40
0,15	2 a 15	10 a 25
0,075	-	0 a 10

Uma opção de traços para argamassa está especificada na norma britânica BS 56281/1978, de acordo com a sua resistência, como pode ser visualizado na tabela 4.

Müller (1999) afirma que a função do cimento Portland é essencial, porque proporciona resistência à argamassa e acelera seu endurecimento, ao contrário da cal hidratada, que atua principalmente como plastificante da mistura. Assim, pode-se ter argamassas muito diferentes, variando apenas as quantidades de cimento e de cal adicionados à mistura.

Para Gomes (1983) as argamassas de baixa resistência não distribuem as tensões corretamente, apresentam menor resistência à tração, menor aderência, e sofrem desgaste, se as paredes externas não são revestidas. Também concluiu que a resistência à compressão da argamassa de assentamento deve ser superior a 70% da resistência à compressão dos blocos, mas não deve ultrapassar a resistência à compressão dos mesmos. Isto porque, ao utilizar argamassas mais rígidas a alvenaria passará a ter uma ruptura excessivamente frágil e também não acompanhará eventuais movimentos da estrutura sob cargas em serviço. O mesmo autor realizou ensaios com paredes de alvenaria, analisando a influência do aumento da resistência da argamassa no comportamento das mesmas. A Tabela 8

mostra os resultados obtidos pelo pesquisador para paredes executadas com um mesmo bloco e dois diferentes tipos de argamassas.

Tabela 8 – Resultados de resistência à compressão

Resistência à compressão (MPa)		
Argamassa	Bloco	Parede
5,10	7,50	2,56
11,97	7,50	2,93

Conforme a Tabela 9, os resultados obtidos pelo pesquisador mostram um aumento de 14% na resistência das paredes, ao se aumentar a resistência da argamassa em 132%.

É importante salientar que um dos maiores motivos de o autor indicar o uso de argamassas nessa faixa de resistência é por não ter obtido um ganho significativo na resistência da alvenaria, ao utilizar argamassas mais resistentes

Mohamad (1998), analisando prismas de bloco de concreto, não grauteados, verificou que, utilizando argamassas menos resistentes à compressão do que os blocos, a ruptura foi dúctil, ocorrendo um esfacelamento da parte externa das paredes dos blocos, já ao utilizar argamassas com o mesmo nível de resistência à compressão que os blocos na área líquida, a ruptura ocorrida era essencialmente frágil, no sentido da seção transversal do prisma. A Figura 11 representa a comparação entre conclusões de diversos autores, no que se refere ao comportamento mecânico de vários tipos de blocos de concreto, argamassa e prisma.

Entre os resultados obtidos por esses pesquisadores, observa-se uma grande variação na relação da resistência da argamassa e do bloco utilizado. Enquanto alguns usam essa relação na ordem de 10% a 20 % (LEVY e SABBATINI,1994), outros a empregam em torno de 60 % ou mais. Salienta-se, portanto, que a relação não é estabelecida pelo mesmo critério.

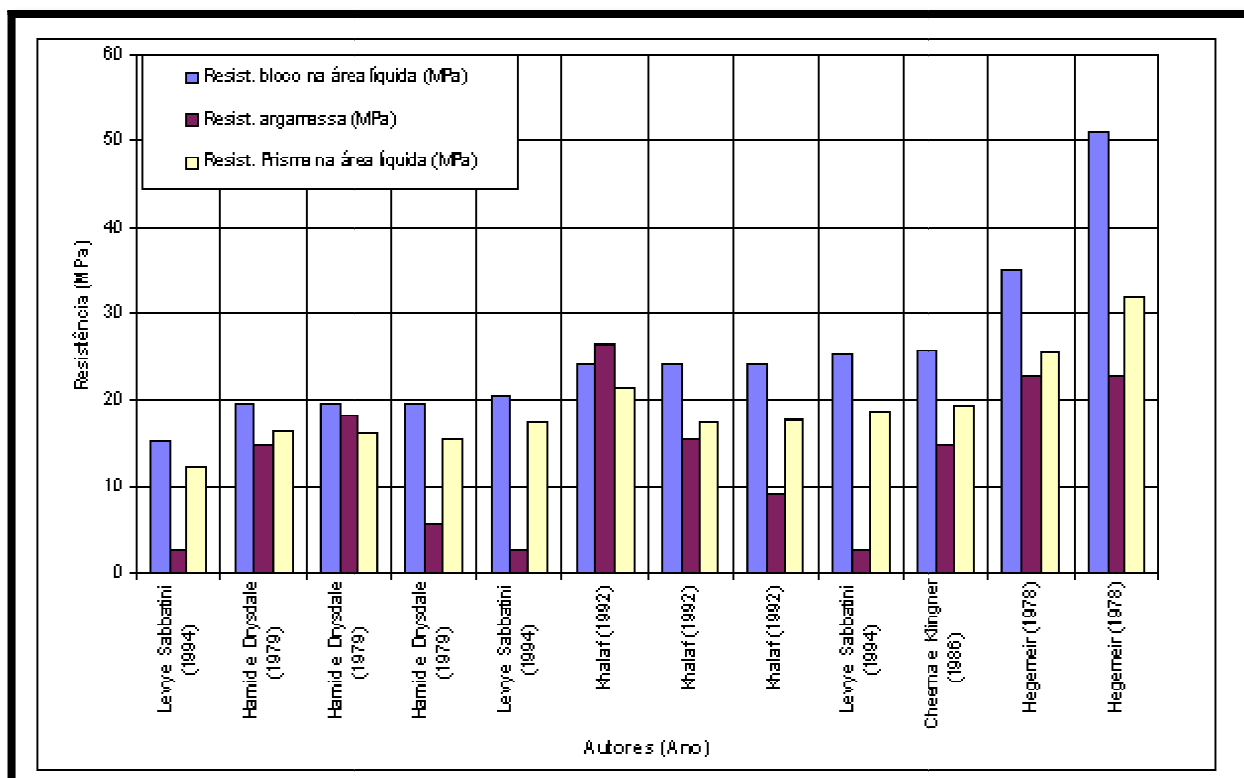


Figura 11 – Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas

Fonte: MOHAMAD (1998, p. 18)

Mendes (1998), trabalhando com resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos, concluiu que, para blocos de alta resistência, a utilização de argamassas mais resistentes resulta em alvenarias também mais resistentes. O tipo de ruptura constatado foi o mesmo observado por Mohamad (1998): para prismas assentados com argamassa iii (1:1:6) houve ruptura dúctil e para prismas assentados com argamassa i (1:1/4:3), ruptura frágil.

A ruptura da alvenaria com cargas menores ocorre porque há um aumento das tensões de tração nos blocos, devido à maior deformação entre os materiais. Isto ocorre quando há uma grande diferença na deformação específica entre o bloco e a argamassa.

Vários pesquisadores brasileiros também estudaram a influência da argamassa na resistência à compressão de prismas. Mohamad (1998) realizou ensaios com prismas de blocos de concreto com três unidades de altura, utilizando blocos com duas diferentes resistências e três tipos de argamassas, com

resistências à compressão de 4,20 MPa, 8,63 MPa e 19,90 MPa. Os resultados obtidos pelo autor encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados de resistência à compressão

	Resistência à compressão (MPa)			
	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

Fonte: MOHAMAD (1998, p. 87, adaptada)

A partir dos resultados obtidos por Mohamad (1998) pode-se perceber um ganho médio na resistência dos prismas de 14% para um aumento de 105% na resistência da argamassa enquanto a resistência da argamassa é aumentada em 160%, os prismas têm um ganho de resistência de 31%.

Mendes (1998) ensaiou prismas de blocos cerâmicos, grauteados e não grauteados, com três blocos de altura sobrepostos, utilizando blocos de 22,89 MPa e argamassas de 6,64 MPa e 20,18 MPa. Entre as suas constatações está a influência do aumento da resistência da argamassa no comportamento dos prismas ocios. Conforme a Tabela 10 houve aumento na resistência do prisma de 55%, quando a da argamassa é aumentada em 211%.

Tabela 10 – Resultados de resistência à compressão

Prisma oco	Resistência à compressão (MPa)	
	A1 (6,64MPa)	A2 (20,18MPa)
	8,11	12,56

Fonte: MENDES (1998, p. 149, adptada).

2.3.9 Fator de eficiência

O fator de eficiência é a relação entre a resistência do bloco e do componente em questão, sendo calculado dividindo-se o valor da resistência à compressão do prisma, ou da parede, pela resistência do bloco.

Sahlin (1971) apud GOMES (1983) concluiu por meio de ensaios, que a resistência da alvenaria em relação ao tijolo é de cerca de 25%, quando utilizada argamassa de baixa resistência e de 50%, com argamassa de alta resistência.

Já para Gomes (1983), um fator de eficiência de 0,30 é desejável para paredes de alvenaria cerâmica, isto com base nos resultados encontrados, especificados na Tabela 11.

Com relação ao fator de eficiência, Roman (1999) concluiu que este diminui com o aumento da resistência da unidade, sendo maior para blocos do que para tijolos.

Tabela 11 – Resultados de fatores de eficiência

Resistência à compressão (MPa)			Fator de eficiência
Argamassa	Bloco	Parede	
10,20	9,60	3,15	0,32
5,10	7,50	2,56	0,34
11,97	7,50	2,93	0,39

Fonte: GOMES (1983, p. 50, adaptada)

Na Tabela 12 são indicados resultados obtidos por vários pesquisadores no que se refere a fatores de eficiência para a alvenaria.

Tabela 12 – Fator de eficiência para diversos tipos de unidades

UNIDADES	FATOR DE EFICIÊNCIA (Autor)
Tijolo cerâmico	60 a 90% (Monk)
Blocos de concreto	65 a 90% (Sutherland)
Tijolo cerâmico	25 a 50% (Sahlin)
Tijolo cerâmico	10 a 40% (Monk)
Tijolo cerâmico	18 a 30% (Prudêncio)
Bloco cerâmico	16 a 39% (Gomes)
Sílico-calcáreo	46% (Franco)
Sílico-calcáreo maciço	33% (Franco)

Garcia (2000), a partir de ensaios realizados em alvenaria cerâmica, onde foram testados blocos, prismas de dois e três blocos e paredes de 1,20 x 2,40m (largura x altura), utilizando um tipo de bloco e dois de argamassa, apresenta os valores de resistência à compressão e fatores de eficiência para as paredes sem graute, conforme a Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados médios de resistência

Resistência à compressão (MPa) – área bruta			
Argamassa	Bloco	Paredes	Eficiência
13,24	12,15	4,02	0,33

Fonte: GARCIA (2000, p. 70, adaptada)

Outros autores como Arantes (2003), Mendes (1998), Calçada (1998) e Mohamad (1998) também estudaram as relações de fatores de eficiência para prismas com blocos cerâmicos e de concreto. Na Tabela 14 encontra-se um resumo dos resultados constatados por esses pesquisadores.

Tabela 14 – Fatores de eficiência encontrados em outras pesquisas

Autores	Resistência à compressão (MPa)			Fator de eficiência
	Argamassa	Bloco	Prisma	
Arantes (2003)**	6,08	13,08	7,35	0,56
Arantes (2003)**	18,80	13,08	7,66	0,59
Mendes (1998)**	6,64	22,89	8,11	0,35
Mendes (1998)**	20,18	22,89	12,56	0,55
Calçada (1998)*	5,22	17,11	11,05	0,65
Calçada (1998)*	5,22	24,61	13,81	0,56
Calçada (1998)*	5,22	29,66	18,71	0,63
Mohamad (1998)*	4,20	15,70	8,84	0,56
Mohamad (1998)*	8,63	15,70	10,80	0,69
Mohamad (1998)*	19,90	15,70	11,70	0,75

Observação: * pesquisas com blocos de concreto, ** pesquisas com blocos cerâmicos.

Analisando prismas com três blocos de altura, observa-se que enquanto em prismas de blocos cerâmicos os valores giram em torno de 0,35 e 0,59, nos blocos de concreto ficam entre 0,56 e 0,75, o que caracteriza sua maior eficiência.

Para Mendes (1998), o aumento da resistência da argamassa aumenta consideravelmente o fator de eficiência por o bloco possui uma resistência elevada (43MPa) na área líquida.

Ao se compararem os resultados dos autores, notam-se valores diferenciados para os fatores de eficiência de prismas com blocos cerâmicos e de concreto. Acredita-se que os motivos pelos quais estes valores de eficiência foram baixos tenha sido a não compatibilização das deformações entre o bloco e argamassa, bem como o fato de a geometria das unidades não estar adequada à distribuição das tensões, pois um é de paredes vazadas e outro com paredes maciças.

De forma geral, quando a resistência dos prismas com blocos de concreto assemelha-se aos de cerâmica, o fator de eficiência para o primeiro é aproximadamente 45% superior.

Rizzatti (2003) analisou quatro tipos distintos de blocos e, utilizando escala reduzida, verificou a resistência à compressão do bloco e do prisma, chegando aos fatores de eficiência, indicados na Tabela 15, sendo as geometrias analisadas, A, B, C e D, especificadas na página 42, Figura 09.

Tabela 15 – Resultados médios dos blocos e prismas

Tipos de blocos	A	B	C	D
Área líquida (cm ²)	18,70	20,92	17,50	20,87
Resistência à compressão (MPa)	29,43	32,95	30,31	33,57
Resistência à tração (MPa)	1,81	1,57	1,67	1,80
Resistência dos prismas (MPa)	10,56	13,61	11,18	11,67
Fator de eficiência	0,36	0,41	0,37	0,35

Os resultados do autor comprovam que não só a distribuição geométrica dos blocos, e a sua área líquida influenciam a resistência dos prismas, pois se nota que a maior relação de área líquida/área bruta não apresenta, necessariamente, um maior fator de eficiência.

Segundo Ganesan et al. (1988), o fator de eficiência varia com a forma do bloco e o tipo de assentamento, e em algumas tipos aparecem concentrações de tensões que reduzem a resistência à compressão da alvenaria.

Levy e Sabbatini (1994) testaram três tipos de bloco de concreto e um tipo de argamassa e chegaram aos resultados de fatores de eficiência, constantes na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultados obtidos por Levy e Sabbatini (1994) de eficiência com relação aos prismas, paredinhas e paredes

Resistência Bloco (MPa)	Bloco	Prisma	Paredinha	Parede
7,9	1	0,81	0,67	0,65
10,6	1	0,88	0,71	0,60
13,2	1	0,74	0,49	0,62

Observa-se na Tabela 16 como é com blocos de concreto o fator de eficiência é consideravelmente alto.

2.3.10 Módulo de elasticidade

O conhecimento da tensão e da deformação específica na compressão permite a obtenção do módulo de elasticidade, com o objetivo de se avaliar, quantificar e compreender os fenômenos ocorridos nos ensaios realizados.

No que se refere ao módulo de elasticidade, Mendes (1998), não teve como objetivo principal encontrar números absolutos e, sim, obter uma indicação de caminhos a trilhar e possíveis explicações do comportamento da alvenaria de blocos cerâmicos ocos e grauteados, pois ao se falar de módulo de elasticidade, precisa-se ter cuidado em não apenas obter seu valor, mas sim como o gráfico tensão deformação se comportou.

Drysdale et al. (1994) citam que a forma de capeamento interfere na deformação, particularmente para níveis mais altos de tensão, sendo que a não linearidade começa a ser mais perceptível entre 35% e 50% da resistência da unidade.

Existem várias maneiras de determinar o módulo de deformação específica dos componentes da alvenaria. Normalmente se utiliza o gráfico tensão-deformação para uma carga de 40% a 60% da carga última para o módulo secante e de 30% para o tangente inicial; para Mohamad (2007) isto se dá por ocorrer neste trecho um comportamento linear dos componentes (prisma e parede). Para blocos cerâmicos, ou mesmo de concreto, não existem ensaios brasileiros normalizados para a determinação do módulo de elasticidade na alvenaria.

Na NBR 15270-3 (ABNT, 2005f) é recomendada para blocos de cerâmica e argamassa a utilização da NBR 8522 (ABNT, 2008) para a determinação do módulo de deformação longitudinal desses componentes.

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

$$E_b = 0,0428 \cdot f_b^{1/2} \cdot w_b^{1,5} \quad (10)$$

onde:

E_b = módulo de elasticidade do bloco em MPa

w_b = peso unitário do bloco em kg/m³

f_b = resistência à compressão do bloco em MPa

O CEB - FIB Mode Code (1990) especifica que o módulo de elasticidade do bloco de concreto pode ser obtido pela equação:

$$E_b = 2,5 \times 10^4 \cdot \left(\frac{f_b}{10}\right)^{1/3} \quad (11)$$

onde:

E_b = módulo de elasticidade do bloco em MPa

f_b = resistência à compressão do bloco aos 28 dias em MPa

Holm (1978) sugeriu a fórmula seguinte para a determinação do módulo de elasticidade secante para blocos de concreto:

$$E_b = 0,0428 f_b^{1/2} w_b^{1.5} \quad (12)$$

onde:

w_b = peso unitário do bloco em kg/m^3

f_b = resistência à compressão do bloco em MPa

Para as argamassas, na NBR 8522 (ABNT, 2008) está especificada a determinação do módulo de deformação, por meio do diagrama tensão x deformação, obtendo-se pelos pontos 0,5 MPa e 30 % da carga de ruptura.

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

$$Ea_t = 1000 \cdot f_a \quad (13)$$

$$Ea_s = 500 \cdot f_a \quad (14)$$

onde:

Ea_t = módulo de elasticidade tangente da argamassa

Ea_s = módulo de elasticidade secante da argamassa

f_a = resistência à compressão da argamassa (MPa)

Gomes(1983) determinou pelo projeto de norma 18:04.02-0001/1982 - ABNT que se transformou na NBR 8522 (ABNT, 2003), plano III, o módulo de deformação secante da argamassa, pela origem e a 40 % da carga de ruptura. Os resultados obtidos para os traços 1:0,62:4 e 1:0,62:6 (massa) são mostrados na Tabela 17.

Tabela 17 – Módulo de deformação das argamassas utilizadas por Gomes (1983)

Tipo de parede	Traço (em massa)	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de deformação (MPa)
C	1:0,62:6	5,8	7000
D	1:0,62:6	4,8	5000
E	1:0,62:4	10,2	9600
F	1:0,62:6	5,11	7100
H	1:0,62:6	5,4	6800

Fonte: GOMES (1984, p. 45, adaptada).

Dhanasekar (1985) apud MOHAMAD (2007) sugere uma relação não linear para estabelecer o módulo de elasticidade da alvenaria em função da resistência à compressão, apresentada na equação:

$$E_{alv.} = 1180 \cdot (f_c)^{0,83} \quad (15)$$

A norma EN 1996 1-1 (2005) fornece uma aproximação simples para determinar o módulo de elasticidade da alvenaria como $K \cdot f_k$, onde f_k é a resistência à compressão característica da alvenaria, sendo que o valor recomendado para K é 1000.

Knutson (1993) analisou o diagrama de tensões-deformações da alvenaria para diferentes combinações de argamassa e tijolos (três sólidos e um vazado), como mostra a Figura 12. Os estudos desenvolvidos mostraram que os diagramas tensão-deformação foram diferentes em função do tipo de unidade e argamassa utilizados. A figura a seguir apresenta o ensaio do módulo tangente inicial de três unidades maciças (representado pelas linhas sólidas) e uma vazada, (representada pela linha tracejada). O número indica à resistência do tijolo e o asterisco (*) a argamassa forte. Observa-se que utilizando unidades vazadas o comportamento da curva tensão deformação assume um comportamento muito diferente quando se altera a resistência da argamassa influenciando no modo de ruptura da alvenaria, o que nas unidades maciças não é tão significativo.

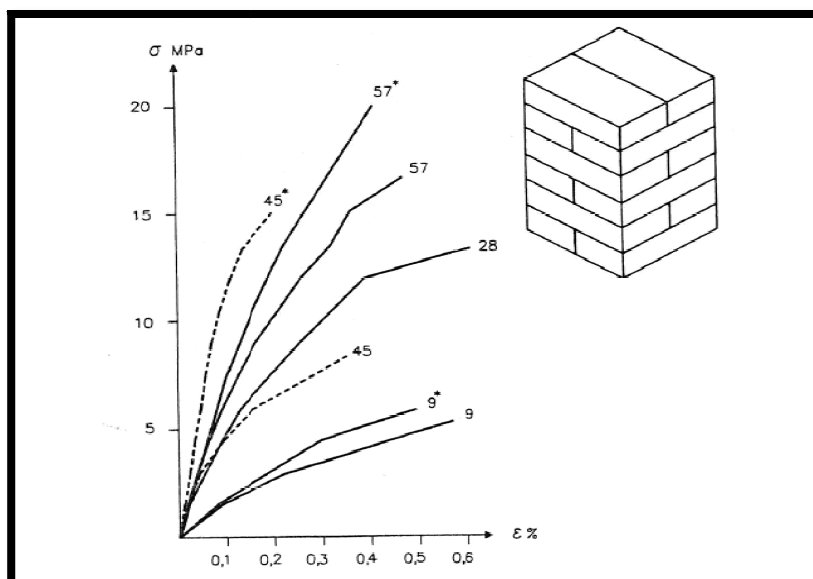


Figura 12 – Diagrama tensão-deformação de alvenaria à compressão

Garcia (2000) pesquisou o módulo de elasticidade em torno de 30% a 40% da carga de ruptura de blocos, argamassa, prismas e painéis de paredes, utilizando a planilha eletrônica Office Excel para linearizar o gráfico e gerar módulo de elasticidade a partir do coeficiente angular da reta isto porque, nesse trecho, o gráfico tende a se comportar como linear. A autora considerou o terço médio para a obtenção do módulo, por esse possuir menor influência dos pratos da prensa.

Os valores encontrados pela autora estão na Tabela 18, ressaltando que a relação área líquida / área bruta é de 0,51 e os valores são de blocos e paredes sem graute.

Tabela 18 – Relação área líquida / área bruta para blocos e paredes sem graute

	Resistência média (MPa)	Área considerada	Modulo* (MPa)
Bloco	16,30	Área líquida	8182
Argamassa	13,24	-	10900
Painel de alvenaria	4,02	Área Bruta	4829

Seguindo o raciocínio de Garcia (2000), 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

Parsekian (2002) reuniu várias normas e autores nacionais e internacionais, relacionando, em sua maioria, o módulo de elasticidade com a tensão de ruptura do elemento ou um coeficiente multiplicador da resistência da alvenaria ou do próprio bloco. Na Tabela 19 podem-se sintetizar as normas e os autores internacionais pesquisados pelo autor, referentes a blocos cerâmicos.

Tabela 19 – Normas e autores internacionais pesquisados, referentes a blocos cerâmicos

Fonte	Tipo do bloco cerâmico	Argamassa	Ep (MPa)	Observações
AS 3700 (1998)	Resistência entre 5 a 30MPa	M2, M3	700f _p	Carga de curta duração
	Resistência superior a 30MPa	M3; M4	1000f _p	
BS 5628 - (1995)	Qualquer	Qualquer	900f _p	
Norte Americana	-	-	700f _p	Especifica o módulo de elasticidade de acordo com a corda dos pontos 5% e 33% de f _p do diagrama tensão/deformação
LENCZNER (1986)	Padrão Britânico	(i) e (ii)	3750raiz (f _{bk}) - 1000	
WOLDE-TINSAE et al (1993)	Vazados	-	550 f _p	Grauteados ou não

Pasquali (2007) demonstra na Tabela 20 os valores obtidos em sua pesquisa e adicionados outros autores brasileiros para blocos cerâmicos. É importante salientar que para os módulos obtidos nem sempre foi utilizado a mesma metodologia pelos diferentes autores.

Tabela 20 – Valores de módulo de elasticidade de autores brasileiros para blocos cerâmicos

Fonte	Tipo do bloco cerâmico	Σ (MPa)	E_p (MPa)	E/σ	Média E/σ	Observações
GOMES (1983)	Vazado	2,4	3593	1497	1152	Ensaio de paredes (σ e ϵ)
		3,1	2775	895		
		2,6	2448	942		
		2,9	3692	1273		
FRANCO (1987)	Perfurado	5,85	3661	626	529	Ensaio de prisma (σ) e paredes (ϵ)
		5,52	2900	525		
		5,57	2816	506		
		4,82	2204	457		
MULLER (1989)	Vazado	5,95	3326	559	478	Ensaio de prisma (σ) e parede (ϵ)
		5,7	2523	443		
		5,37	2326	433		
MENDES (1998)	Vazado	8,11	4508	556	487	Ensaio de prismas sem graute (σ e ϵ)
		12,56	5249	418		
PASQUALI (2006)	Vazados de paredes maciças	4,68	5185	1108	1122	Ensaio de pequenas Paredes (σ e ϵ) (argamassa 2, 4 e 10 MPa respectivamente)
		5,16	5200	1008		
		4,48	5604	1251		
	Vazados de paredes vazadas	4,56	4196	920	803	Ensaio de pequenas Paredes (σ e ϵ) (argamassa 2, 4 e 10 MPa respectivamente)
		4,34	3665	844		
		5,21	3355	644		

Fonte: PASQUALI (2007, p. 107, adaptada).

Juste (2001) ressalta a necessidade de uma norma específica para a obtenção do módulo de elasticidade das unidades e componentes da alvenaria. Comenta, ainda, que os valores obtidos sejam afetados por diversos fatores, tais como velocidade de carregamento, dimensões dos corpos de prova, inviabilizando, assim, a comparação direta dos seus resultados com os de outros pesquisadores.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Considerações iniciais

O presente trabalho aborda os ensaios de resistência à compressão axial simples em blocos, argamassas, prismas e pequenas paredes e de módulo de elasticidade em blocos, argamassas, prismas de duas e três fiadas, sobrepostos, e pequenas paredes contra-fiadas, além de ensaios de caracterização dos componentes, bloco e argamassa, todos realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFSM.

Foram confeccionados cinco prismas de duas e três fiadas sobrepostas e quatro pequenas paredes de dois blocos e meio por 4 fiadas de altura. Juntamente com a combinação dos quatro tipos de argamassa e das duas geometrias de bloco totalizaram 80 prismas e 32 pequenas paredes.

Para obter o módulo de elasticidade admitiram-se, como trecho linear, valores do gráfico de tensão por deformação de 0,5MPa à 30% da tensão de ruptura, e com a ajuda da planilha eletrônica Microsoft Excel® foi linearizada a média das leituras. Para os demais procedimentos foi utilizada a NBR 8522 (ABNT 2003), no que se refere a procedimento de carga e descarga e a parâmetros de aceitação dos dados, por ser esta, a norma em vigor no período dos ensaios.

Nesta pesquisa foram caracterizados os componentes (bloco e argamassa) e os elementos (prismas e pequenas paredes) empregados. Também foram descritos os procedimentos adotados para moldagem dos elementos e os ensaios para caracterização dos mesmos.

3.2 Bloco estrutural

Foram utilizados blocos cerâmicos estruturais, provenientes de duas empresas diferentes: os de paredes vazadas, da Sociedade Vicente Pallotti – Cerâmica Pallotti, localizada no município de Santa Maria (RS) e os com paredes maciças, da Pauluzzi Produtos Cerâmicos Ltda, do município de Sapucaia do Sul (RS). As duas geometrias têm relação, entre a área líquida e a área bruta, de aproximadamente 0,40 e 0,50 respectivamente. A Figura 13 resume as geometrias em questão e a simbologia utilizada para cada uma. Os blocos, apesar de serem provenientes de empresas diferentes e possuírem geometrias também diferentes, têm muito próxima a sua resistência à compressão referente à área líquida.

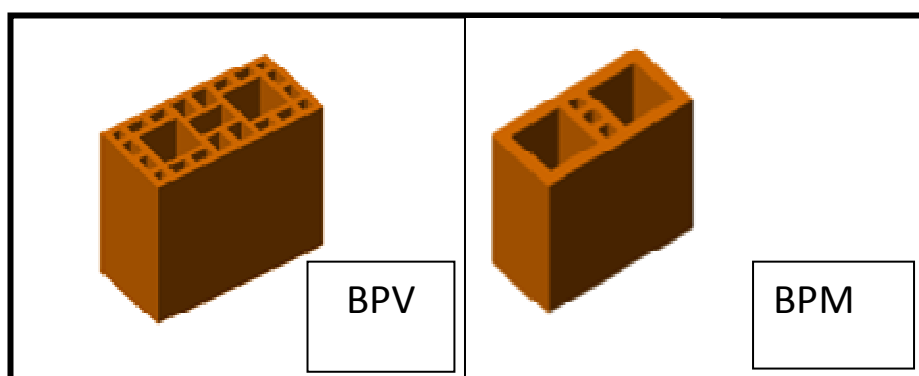


Figura 13 – Geometria dos blocos cerâmicos estruturais utilizados

Os blocos foram ensaiados para a obtenção de suas características físicas e mecânicas, de acordo as normas brasileiras pertinentes. As propriedades estudadas foram: as características dimensionais, a resistência à compressão, determinação do índice de absorção d'água, área bruta, área líquida, índice de absorção de água inicial e módulo de elasticidade.

O total de blocos utilizados para cada ensaio está descrito no Quadro 1.

Ensaio	Bloco BPV	Bloco BPM
Dimensional	13	13
Absorção	6	6
Área Líquida	6	6
AAI	6	6
Compressão	13	13
Módulo	3	3

Quadro 1 – Número de blocos utilizados por ensaio

3.2.1 Características dimensionais

Os blocos foram previamente identificados e armazenados em um local adequado, garantindo a integridade da amostra. Para a caracterização dimensional foi utilizada a NBR 15270, parte 3 – Anexo A (ABNT, 2005c).

No primeiro momento, realizaram-se as medidas geométricas de todos os blocos, conforme se vê na Figura 14.

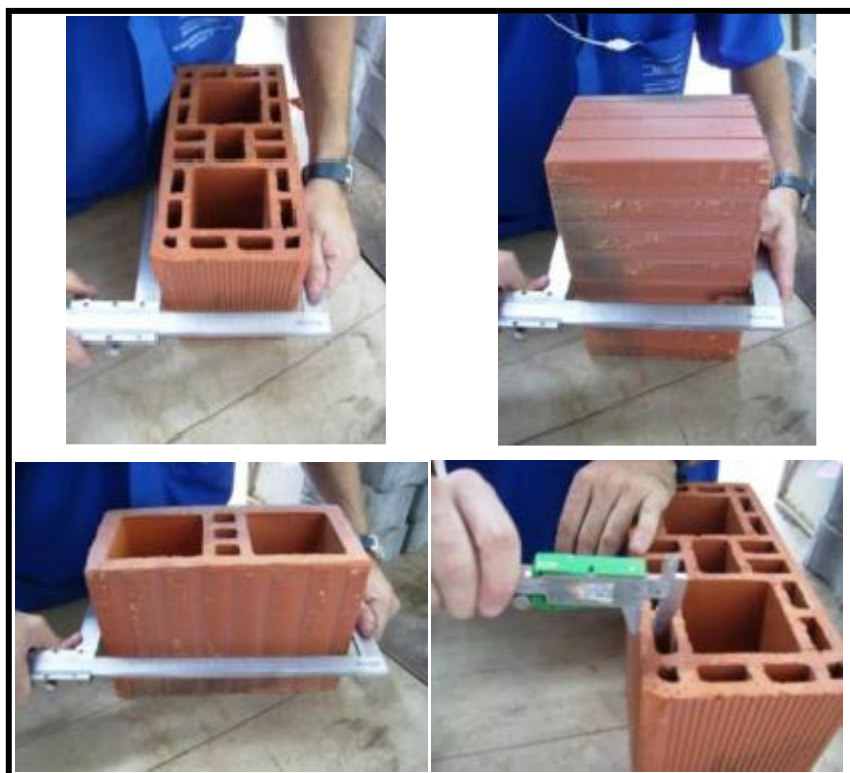


Figura 14 – Ensaio dimensional dos blocos

3.2.2 Determinação do índice de absorção de água, área bruta, área líquida e índice de absorção de água inicial

A norma seguida para esses ensaios foi a NBR 15270-3 (ABNT, 2005f, Anexos A e B, D e E), salientando que a determinação da área líquida realizou-se seguindo os itens do Anexo B, na qual é considerado o volume de água deslocada, não sendo usado apenas medidas diretas o que, para o BPV, se torna impreciso.

3.2.3 Resistência à tração

Para a obtenção da resistência à tração do bloco cerâmico foi utilizado o ensaio indireto de tração por compressão, constante na norma americana ASTM C 1006 (1984). As barras cilíndricas de aço, previstas para o ensaio, devem ter o diâmetro 1/8 a 1/12 da altura da amostra, e com comprimento maior que a largura do mesmo. O diâmetro da barra adotada foi de 20mm.

A resistência à tração foi determinada a partir da equação:

$$T = \frac{2.P}{\pi.L.H} \quad (16)$$

onde:

T = resistência à tração por compressão (MPa)

P = carga aplicada (kN)

H = altura da amostra (mm)

L = comprimento da amostra (mm)

Na Figura 15 apresenta-se o esquema utilizado para a realização do ensaio da resistência à tração indireta.

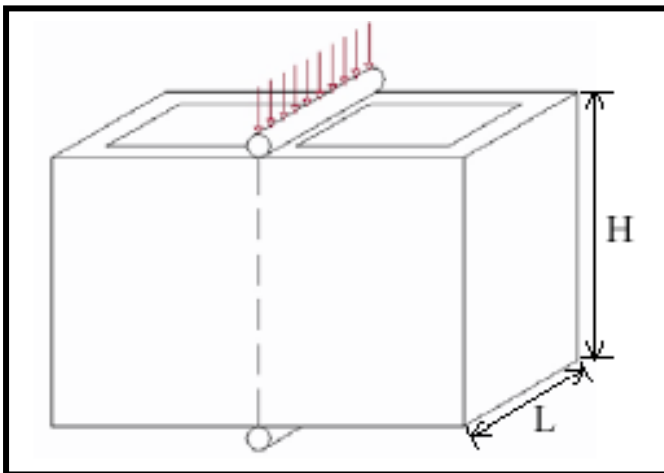


Figura 15 – Ensaio de resistência à tração indireta de blocos cerâmicos

3.2.4 Resistência à compressão

A compressão dos blocos foi obtida de acordo com a NBR 15270-3 (ABNT, 2005f, Anexo C), sendo submetidos ao preparo e ensaio da prensa de marca WPM calibrada, escala de 1.500kN. Primeiramente os blocos foram capeados com argamassa de cimento e areia (1:1) de, no máximo, 3 mm de espessura, em ambas as faces, sendo respeitado um período de 48 horas para cura do capeamento. Posteriormente, os corpos-de-prova foram imersos em água, por 24 horas, antes da realização do ensaio, respeitando-se os valores da velocidade de carga, nunca superior a 0,05 MPa/s (em relação à área bruta), aproximadamente 2 kN/s, a Figura 16 ilustra o ensaio de compressão dos blocos.



Figura 16 – Ensaio de compressão dos blocos

3.2.5 Módulo de elasticidade

A determinação do módulo de elasticidade dos blocos foi obtida por meio do uso de extensômetros elétricos do tipo Strain Gages PA-06-201BA-120L, um receptor de dados do tipo Spider 600, o Programa Catman e a prensa de marca WPM, calibrada na escala de 1.500kN.

Os blocos foram capeados da mesma forma que os submetidos à compressão, porém não foram molhados porque inviabilizaria o ensaio, danificando os extensômetros.

Para a fixação dos extensômetros no bloco, primeiramente foi passada a serra mármore no local onde seriam fixados, a fim de regularizar a superfície. Posteriormente, foi aplicada uma massa epóxi, que, após secagem, foi lixada até regularizar completamente a base, a qual foi limpa com algodão umedecido com álcool e colada com epóxi de ação rápida. Sendo cuidado para que a massa de epóxi não ficasse espessa e com isso mascarasse os resultados. Esses passos podem ser observados na Figura 17.



Figura 17 – Fixação dos extensômetros elétricos nos blocos

O posicionamento dos extensômetros elétricos também pode ser observado na Figura 18, sendo três deles colocados na posição vertical e um na horizontal, para obter-se o coeficiente de Poisson.

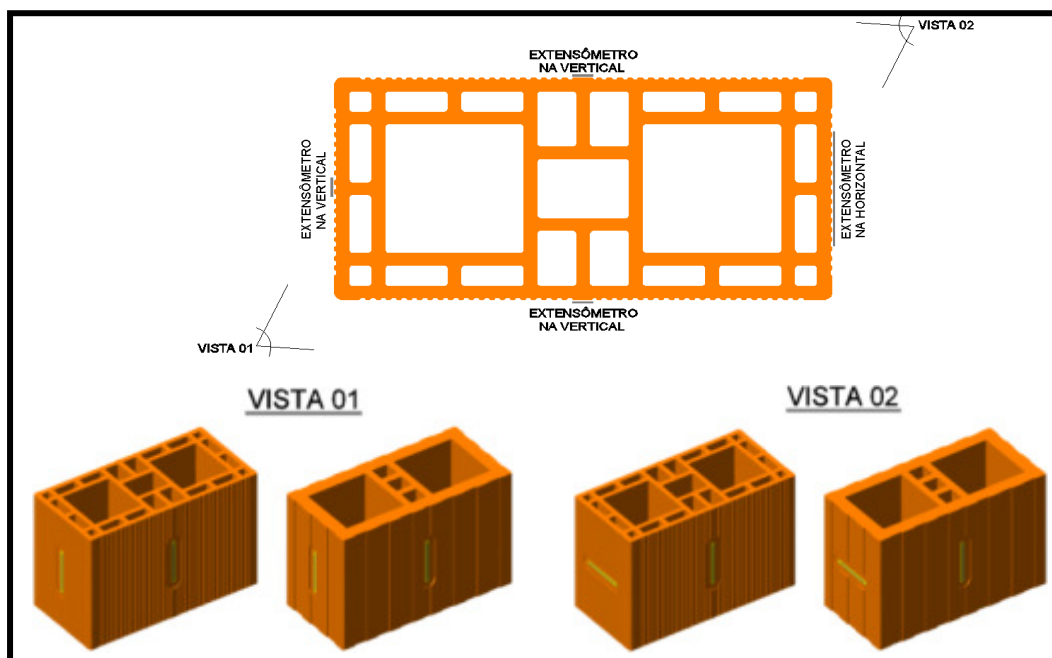


Figura 18 – Posicionamento dos extensômetros elétricos nos blocos

3.3 Argamassa de assentamento

As argamassas à base de cal e areia calcária artificial foram obtidas na empresa Irmãos Ciocari & Cia Ltda e servem como elemento de ligação dos blocos na confecção dos prismas e pequenas paredes. Nos ensaios foram utilizados quatro traços, com resistências de aproximadamente 5MPa, 10MPa, 14MPa e 18MPa, sendo os dois últimos confeccionados especialmente para a realização da pesquisa. As propriedades estudadas foram:

- Ar incorporado
- Retenção de água
- Densidade de massa
- Retração ou expansão
- Resistência à tração na flexão
- Resistência à compressão
- Módulo de elasticidade

O Quadro 2 mostra o total de corpos-de-prova de argamassa utilizados para cada ensaio.

Ensaio	Número de amostra por traço
Compressão	6
Flexão	3
Ar incorporado	3
Retenção de água	3
Retração ou expansão linear	3
Módulo de Elasticidade	4

Quadro 2 – Número de corpos-de-prova de argamassas por ensaio

3.3.1 Traços utilizados

Os Traços, em volume, foram os mesmos utilizados pela Empresa, como constam no Quadro 3.

	T1	T2	T3	T4
Cimento	1,0	1,0	1,0	1,0
Cal	1,4	1,2	1,1	1,0
Areia	5,1	2,8	2,0	1,0

Quadro 3 – Traços das argamassas utilizadas

Nos traços de argamassa foi utilizado cimento CII Z 32, cal hidratada, classificada como CHII e sendo esse último material com as seguintes porcentagem em peso (Quadro 4).

Tipo	Dimensões (mm)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)
Areia Grossa	1,8 - 1,2	0,0	16,7	18,2	20,0
Areia Média	1,2 - 0,6	21,0	27,8	30,3	40,0
Areia Fina	0,6 - 0,1	58,0	41,6	36,4	20,0
Fíller	0,1 - 0	21,0	13,8	15,1	20,0

Quadro 4 – Porcentagem do tipo de areia para cada traço utilizado

3.3.2 Preparo da argamassa

As amostras da argamassa foram previamente identificadas e separadas em 5 porções de 40kg, de cada classe de resistência. Com o objetivo de garantir a homogeneidade dos traços de argamassa, no dia do ensaio, as porções de cada traço foram misturadas novamente e utilizadas nos diversos ensaios realizados.

Foi obtido o índice de consistência, a partir da norma NBR 13276 (ABNT, 2005a).

3.3.3 Expansão ou retração linear

A determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear) foi realizada de acordo com a NBR 15261 (ABNT, 2005e), onde são moldados corpos-de-prova prismáticos com 2,5x2,5x28,5cm que têm sua variação de comprimento medida por um aparelho comparador, aos 3,7,28 e 56 dias (Figura 19).



Figura 19 – Equipamento de expansão ou retração linear

3.3.4 Incorporação de ar e retenção de água

O ensaio da determinação da retenção de água, de acordo com a NBR 13277 (ABNT, 2005b) e o de teor de ar incorporado na argamassa fresca, foram obtidos de acordo com a NM 47 (ABNT, 2002) utilizando um recipiente de 1 litro, conforme está ilustrada na Figura 20.



Figura 20 – Equipamentos: ar incorporado e retenção de água

3.3.5 Resistência à tração na flexão e compressão axial

Para verificar a resistência à compressão axial e tração na flexão da argamassa, foram moldados corpos-de-prova prismáticos de 4x4x16cm, juntamente com os demais ensaios, seguindo as recomendações contidas na NBR 13279 (ABNT, 2005c) para avaliação da resistência à compressão, aos 28 dias (Figura 21). Para a tração foi utilizado o equipamento próprio Fabricado no Laboratório (LMCC), já para a compressão foi utilizado a prensa da marca AMSLER, calibrada na escala de 100kN.



Figura 21 – Corpos-de-prova de argamassa

3.3.6 Módulo de elasticidade

A determinação do módulo de elasticidade da argamassa foi realizada em 4 corpos-de-prova cilíndricos 10x20 cm, utilizando-se o equipamento com dois relógios comparadores analógicos com resolução de 0,002mm da marca Solotest. Os corpos-de-prova foram capeados com uma mistura de enxofre e filler, conforme a NBR 8522 (ABNT, 2008).

Na Figura 22 encontram-se os locais onde foram fixados os relógios comparadores e a seqüência do ensaio.



Figura 22 – Corpos-de-prova 10x20cm (moldagem, determinação do módulo)

3.4 Prismas

Os prismas foram confeccionados com duas e três fiadas, não contra-fiados, a partir das duas geometrias de blocos cerâmicos e dos quatro tipos de argamassa, conforme orientação da NBR 8215 (ABNT, 1983), totalizando 80 prismas, sendo 5 de cada tipo de bloco e traço de argamassa.

Os corpos-de-prova (prismas e paredes) foram confeccionados por um único profissional, com experiência na realização de trabalhos de pesquisa em laboratório.

Os blocos foram devidamente limpos com um feltro, retiradas as irregularidades com a serra mármore e imersos, por 10s, em água, para equilibrar a sucção inicial dos blocos. Durante a moldagem dos prismas, foi cuidado, para que as juntas ficassem com 10 ± 3 mm, conforme a Figura 23.



Figura 23 – Moldagem dos prismas

O capeamento dos prismas seguiu a mesma técnica aplicada aos blocos. Os prismas e as paredes foram pintados com cal, para uma melhor visualização da ruptura, assim como o local de ocorrência das fissuras, conforme a Figura 24.



Figura 24 – Prismas preparados para o ensaio

3.4.1 Resistência à Compressão

A determinação da resistência à compressão dos prismas foi realizada conforme a NBR 8215 (ABNT, 1983), sendo ensaiada aos 28 dias, na prensa de marca WPM, calibrada na escala de 1.500kN, para os prismas de três blocos, e na prensa WPM, calibrada na escala de 400kN para os prismas de dois blocos, conforme a Figura 25.



Figura 25 – Ensaio à compressão dos prismas

3.4.2 Módulo de elasticidade

A determinação do módulo de elasticidade dos prismas foi realizada nos mesmos corpos-de-prova utilizados para a compressão, com o equipamento montado no LMCC composto, cada um, por três relógios comparadores fixados em uma haste que, por sua vez, é fixada em uma das extremidades do corpo-de-prova e em outra, com uma base móvel para deixar livre a movimentação, na vertical, do corpo-de-prova sobre a carga. Movimentação essa medida em três posições

diferentes no prisma, um em cada lado do corpo-de-prova e o outro no topo do mesmo. Os três relógios digitais, com resolução 0,001mm, da marca Mitutoyo. Na Figura 26 demonstra a disposição que foi fixado o equipamento para a obtenção do módulo, sendo dispostos apenas na vertical.

A posição escolhida para fixar o equipamento foi no terço médio do prisma, sendo que para o prisma de 3 blocos teve que ser alterado para não coincidir com a junta de argamassa, isto para reduzir a influência dos pratos da prensa.

Com o intuito de comparar, tanto os prismas de 2 e 3 blocos quanto as pequenas paredes, os três modelos de corpos-de-prova contemplam uma junta de argamassa apenas.

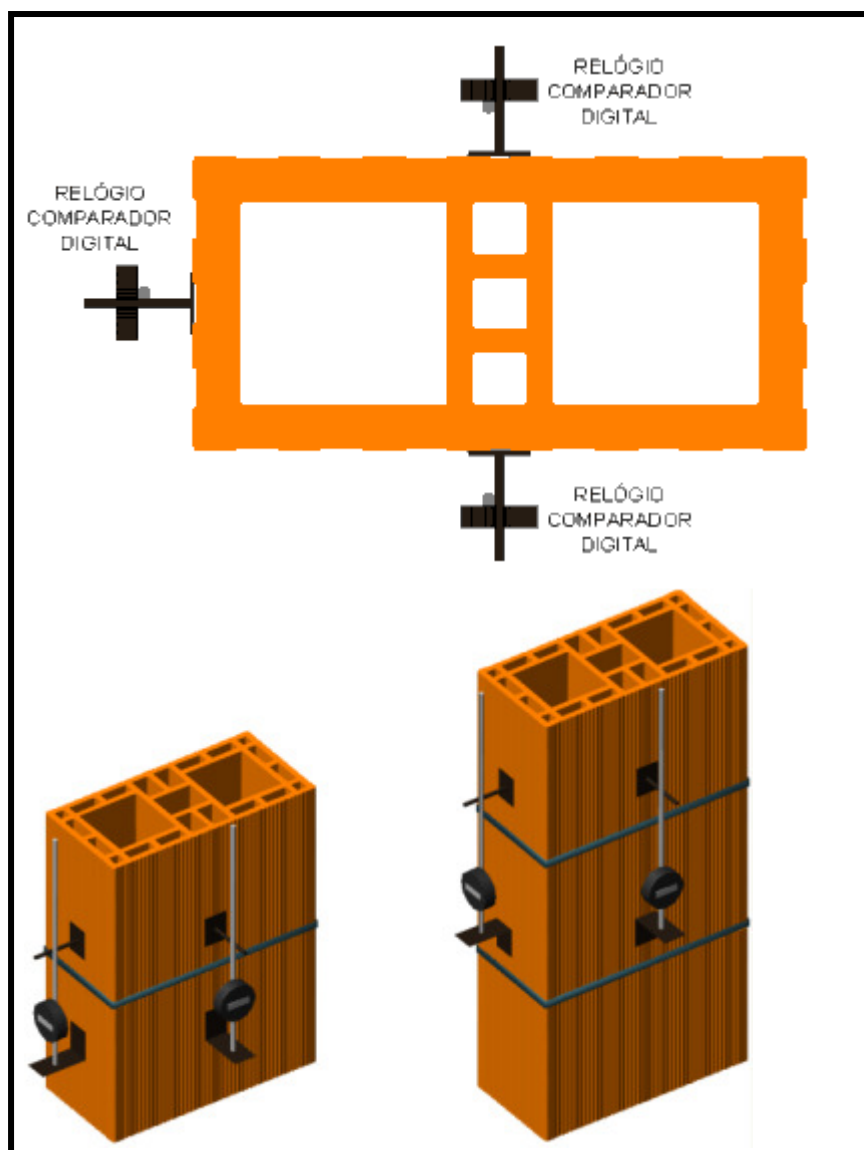


Figura 26 – Posicionamento dos relógios comparadores digitais nos prismas

3.5 Pequenas paredes

O modelo básico de pequenas paredes, adotado para esta pesquisa, foi constituído de quatro fiadas de altura e dois blocos e meio de largura, apresentando dimensões médias de 74 cm de comprimento, 14 cm de largura e 79 cm de altura, conforme a Figura 27. Para cada tipo de bloco e argamassa foram confeccionadas 4 paredes totalizando 32 corpos-de-prova.

O assentamento dos blocos era contra-fiado, portanto, com amarração e com argamassamento total na face de assentamento, e dois filetes nas juntas verticais. As juntas de argamassa foram executadas com uma canaleta de assentamento.

Os corpos-de-prova foram capeados seguindo a mesma técnica utilizada nos blocos cerâmicos.



Figura 27 – Moldagem das pequenas paredes

3.5.1 Resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão dos prismas foi realizada, conforme a norma NBR 8215 (ABNT, 1983), sendo ensaiada aos 28 dias, na prensa de marca WPM calibrada na escala de 1.500kN, conforme ilustra a Figura 28.



Figura 28 – Ensaio das pequenas paredes

3.5.2 Módulo de elasticidade

A determinação do módulo de elasticidade das pequenas paredes foi realizada nos mesmos corpos-de-prova utilizados para a compressão, seguindo os mesmos métodos utilizados para os prismas, descritos anteriormente.

Na Figura 29 é mostrado o esquema da posição dos relógios comparadores digitais, estando todos na posição vertical para as pequenas paredes.

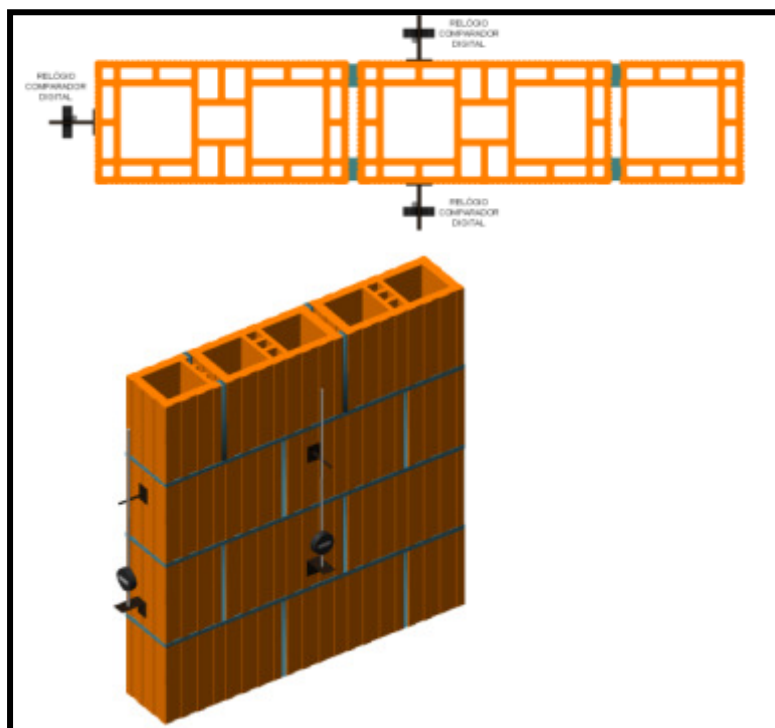


Figura 29 – Posicionamento dos relógios comparadores digitais nas pequenas paredes

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos, as análises, e se faz uma interpretação dos resultados dos valores encontrados nos ensaios. Também são realizadas algumas comparações dos resultados encontrados com aqueles obtidos por outros pesquisadores.

Ao final deste capítulo é feita a análise estatística de variância dos resultados, para verificar a significância de seus valores.

Na análise dos dados experimentais dos prismas é necessário que se faça uma distinção entre suas resistências à compressão na área bruta e na área líquida, adotando este parâmetro para se traçar a curva de tensão x deformação na área líquida. Um fator que complica quando se trata de prismas e paredes é compreender qual a área em questão, pois em alguns casos pode parecer ser a área argamassada, como a líquida, e em outros, pode ser a dos blocos.

Neste trabalho é considerada como área líquida dos prismas e das paredes, a referente aos blocos estruturais, levando-se em conta que eles possuem maior módulo de elasticidade e compõem a maior parte do elemento.

4.2 Bloco estrutural

4.2.1 Características dimensionais

O ensaio dimensional dos dois tipos de blocos foi realizado conforme a NBR 15270-3 (ABNT, 2005f, anexo A), num total de 13 blocos por amostra. Na Tabela 21

é demonstrada a média da largura, altura e comprimento, sendo que as demais características geométricas como espessuras e desvios estão especificados no Apêndice A.

Tabela 21 – Características geométricas

Tipologia			Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação
	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)	Largura	140,9	0,7	0,5
		Altura	192,0	0,8	0,4
		Comprimento	292,4	1,3	0,4
	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)	Largura	140,9	0,3	0,2
		Altura	190,4	0,8	0,4
		Comprimento	291,9	0,5	0,2



4.2.2 Determinação do índice de absorção de água, área bruta e área líquida e índice de absorção de água inicial

Os ensaios foram realizados conforme a NBR 15270-3 (ABNT, 2005f) na qual é recomendado a utilização da Parte 3 – Anexos A e B – Normativos para a determinação do índice de absorção de água, massa seca, área bruta e área líquida dos blocos e para o índice de absorção de água inicial, a parte 3, anexo E. Na Tabela 22, esses valores estão especificados de acordo com duas tipologias de bloco.

Segundo a NBR 15270-1 (ABNT, 2005d) a tolerância no que se referem estas dimensões básicas é $\pm 0,5$ mm, para cada amostra (Anexo A), ± 3 mm para a média. Os blocos desta pesquisa estão de acordo com a mesma.

Observa-se, na Tabela 22, que a área líquida dos blocos BPM é aproximadamente 18 % maior que a dos BPV; no entanto o AA dos BPV é 56% maior que o BPM e o AAI é 172 % maior do que BPM, o que pode ser justificado pela quantidade de furos nas paredes dos blocos.



Tabela 22 – Determinação da área bruta, área líquida, índice de absorção de água e índice de absorção de água inicial

Tipologia		Médias	Desvio Padrão	Coef. de Variação
BPV 	Área bruta – Ab (cm ²)	413,51	2,26	0,5
	Área líquida – Aliq (cm ²)	170,06	1,01	0,6
	Índice de absorção de água – AA (%)	12,5	0,4	3,3
	Índice de absorção de água inicial –AAI (g/193,55cm ² /min)	49	3	6,4
BPM 	Área bruta – Ab (cm ²)	411,12	0,95	0,2
	Área líquida – Aliq (cm ²)	200,78	1,43	0,7
	Índice de absorção de água – AA (%)	8,0	0,1	1,3
	Índice de absorção de água inicial –AAI (g/193,55cm ² /min)	18	2	13,0

4.2.3 Resistência à tração

Na Tabela 23 são apresentados os resultados médios da resistência à tração para os dois tipos de blocos.

Tabela 23 – Tensão de tração dos blocos

Tipologia	Tensão (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação (%)
BPV 	0,31	0,08	27,2
BPM 	0,39	0,04	11,6

Os blocos BPM, apresentaram uma tensão de tração maior, que pode gerar um ganho na resistência de suporte da alvenaria, porque, quando a argamassa

aplicar a tensão de tração no bloco, este a suportará mais que o BPV, assim como se pode observar que o coeficiente de variação foi elevado nos BPV, o que pode ser justificado pela geometria apresentada.

A tração na flexão mostrou valores na ordem de 2,6% da resistência à compressão tanto para os BPV_s como para os BPM_s.

4.2.4 Resistência à compressão

Nas Tabelas 24 e 25, são apresentados os resultados para áreas líquidas, brutas e resistência à compressão, respectivamente para os dois tipos de blocos estruturais.

Tabela 24 – Área líquida e bruta dos blocos

	BPV	BPM
Área bruta (cm ²)	413,51	411,12
Área líquida (cm ²)	170,06	200,78
Coeficiente de Variação	0,8	0,3

Tabela 25 – Resistência à compressão dos blocos

	BPV		BPM	
	Área Bruta	Área Líquida	Área Bruta	Área Líquida
Resistência Média (MPa)	11,70	28,54	15,10	30,82
Desvio Padrão	1,15	2,81	1,82	3,72
Coeficiente de Variação	9,9		12,1	

Salienta-se que a resistência dos blocos são próximas, levando-se em consideração a área líquida, sendo o BPM aproximadamente 8% maior que os BPV_s. No que se refere à relação área líquida / bruta dos blocos, ela é de 0,41 para

os BPV_s e 0,49 para os BPM_s. Na área líquida temos a resistência do material cerâmico propriamente dito e na área bruta o efeito da geometria.

Segundo a NBR 15270-2 (ABNT, 2005e), o $f_{bk,est}$ para o BPV é de 10,6MPa e para o BPM 12,6MPa.

4.2.5 Módulo de elasticidade

Nas Tabelas 26 e 27 apresenta-se o módulo de elasticidade dos blocos ensaiados, em relação à área líquida e à área bruta, respectivamente.

Tabela 26 – Módulo secante a 30% da carga de ruptura, em relação à área líquida para os blocos

Bloco	Posição	Média (GPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação (%)
BPV	Vertical	10,0	1,6	15,7
	Horizontal	32,0	8,1	25,5
BPM	Vertical	12,4	3,1	25,4
	Horizontal	42,5	22,7	53,5

De acordo com os dados apresentados nas Tabelas 27 e 28 o coeficiente de Poisson (ν) é de 0,31 para BPV e 0,29 para o bloco BPM, salientando-se que o coeficiente de variação das amostras foi alto, principalmente para o BPM (53,5%).

Tabela 27 – Módulo secante a 30% da carga de ruptura, em relação à área bruta

Bloco	Posição	Média (GPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação (%)
BPV	Vertical	4,1	0,6	15,7
	Horizontal	13,3	3,5	26,3
BPM	Vertical	6,1	1,6	25,9
	Horizontal	20,8	11,2	53,7

Na Figura 30 apresenta-se o diagrama tensão-deformação longitudinal dos BPV_s e BPM_s (em relação à área líquida).

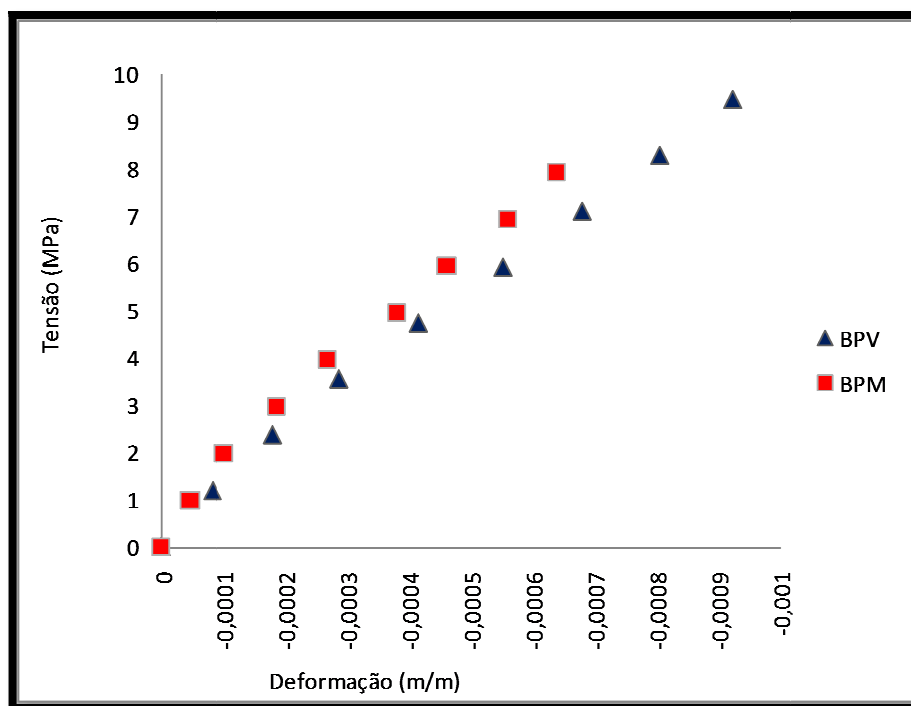


Figura 30 – Diagrama tensão-deformação longitudinal dos blocos BPV e BPM (em relação à área líquida)

Analisando a Figura 30 pode-se observar que os pontos do gráfico tensão x deformação se mostram lineares.

4.3 Argamassas

4.3.1 Expansão ou retração linear

Pode-se observar na Figura 31 que nos ensaios de expansão ou retração linear o comportamento das argamassas não está diretamente relacionado à

resistência; porém, em todos os tipos de argamassa houve uma retração do seu tamanho original, sendo a argamassa T1 um comportamento diferente dos demais.

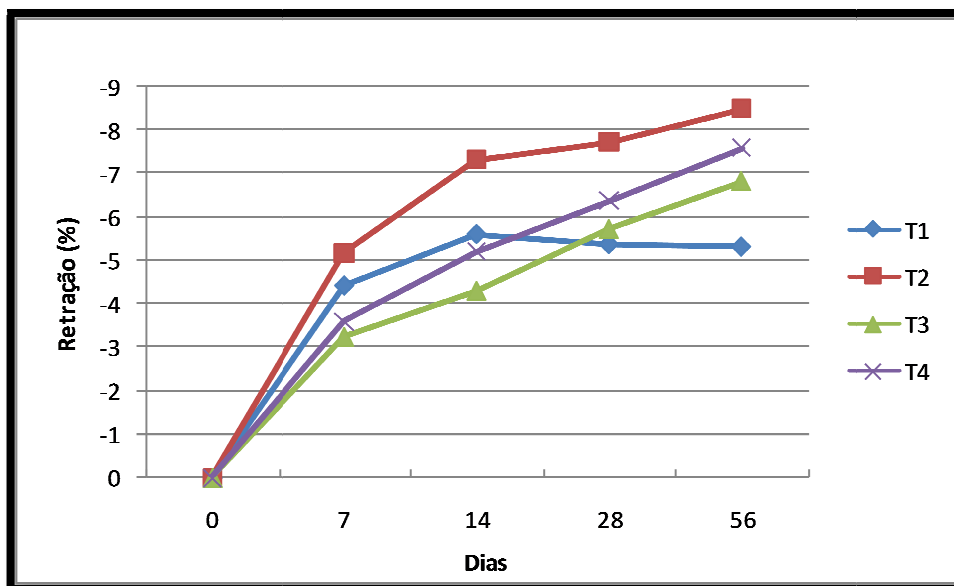


Figura 31 – Gráfico da retração das argamassas em função dos dias

4.3.2 Incorporação de ar e retenção de água

Na Tabela 28 apresentam-se o índice de consistência, teor de umidade, retenção de água, ar incorporado e densidade de massa das argamassas.

Tabela 28 – Índice de consistência, teor de umidade, retenção de água, ar incorporado e densidade de massa das argamassas

Ensaio	Argamassas			
	T1	T2	T3	T4
Índice de consistência (mm)	258	250	251	258
Teor de umidade (%)	19,0	19,4	21,2	22,4
Retenção de água (%)	81,1	85,6	83,1	85,3
Ar incorporado (%)	2,9	3,5	2,5	3,2
Densidade de massa (kg/m ³)	2.166	2.074	1.956	1.958

Observando a Tabela 28, nota-se que os valores são muito próximos uns dos outros, sendo que o baixo valor de ar incorporado se deu por não haver aditivos incorporadores de ar nos traços utilizados.

4.3.3 Resistência à tração na flexão e compressão axial

Na Tabela 29 apresentam-se os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão das argamassas.

Tabela 29 – Resistência à tração na flexão

Argamassas	Flexão		
	Média (MPa)	Desvio padrão	Coef. de Variação
T1	1,9	0,0	2,5
T2	3,5	0,3	8,8
T3	4,3	0,3	6,7
T4	5,1	0,3	6,0

A tração na flexão mostrou valores na ordem de 40% da resistência à compressão para as argamassas T1 e T2 e 30% para as T3 e T4.

Na Tabela 30 encontram-se os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados de 4x4x16cm com argamassas, sendo que as dimensões para o ensaio de compressão efetiva é 4x4cm por 4cm de altura.

Tabela 30 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova 4x4x16cm.

Argamassas	Compressão		
	Média (MPa)	Desvio padrão	Coef. de Variação
T1	4,4	0,2	4,8
T2	8,7	0,9	9,9
T3	13,9	0,9	6,3
T4	16,8	0,5	2,9

A resistência à compressão da argamassa mostrou-se linear frente ao acréscimo de material aglomerante, conforme a Figura 32.

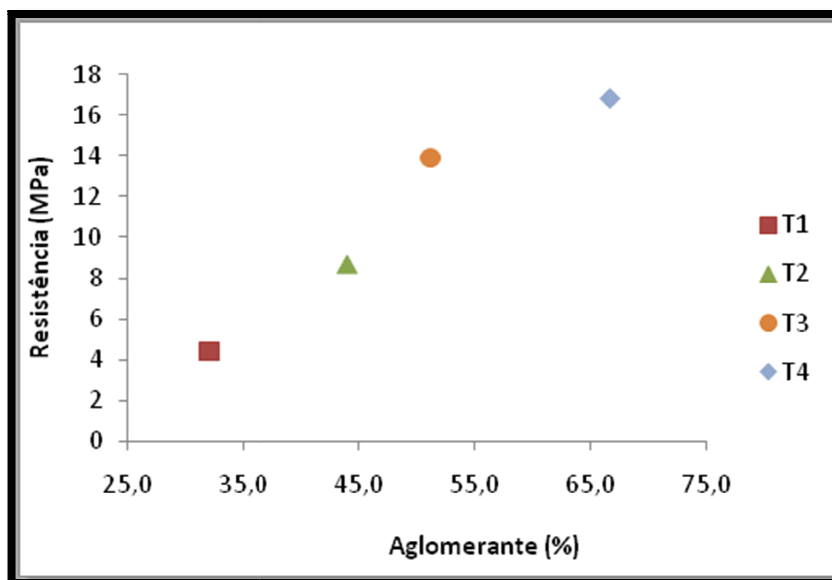


Figura 32 – Gráfico da porcentagem de aglomerante para cada resistência de argamassa

Para mensurar o módulo das argamassas foi preciso moldar corpos-de-prova 10x20cm; sendo assim, foi necessário comparar a resistência à compressão dos mesmos com os corpos-de-prova 4x4x16. Na Tabela 31 constam os valores de resistência dos corpos-de-prova 10x20cm, e no gráfico da Figura 32 constata-se a diferença de resistência entre cada traço, relacionando os dois tipos de corpos-de-prova.

Tabela 31 – Resistência à compressão axial das argamassas com corpos-de-prova 10x20cm

Traço	Resistência (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação (%)
T1	3,9	0,2	4,7
T2	8,9	0,3	2,8
T3	10,7	0,3	2,5
T4	15,8	0,8	4,9

Observa-se nas Tabelas 30 e 31 ou na Figura 33, que os valores de resistência dos dois tipos de corpos-de-prova se mostraram próximos para cada tipo de traço estudado, o que teve maior disparidade foi o T3, mas de um modo geral os corpos-de-prova 4x4x16cm tiveram um acréscimo médio de aproximadamente 12%, quando comparados aos 10x20cm.

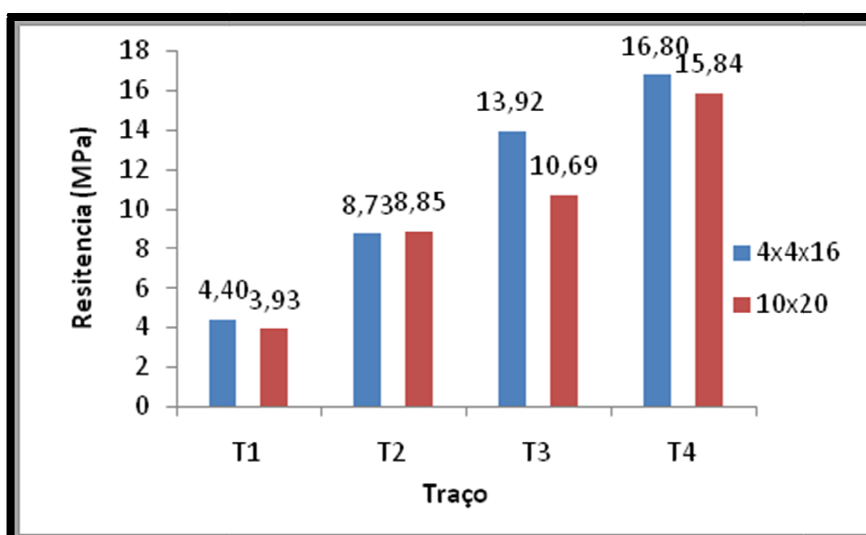


Figura 33 – Comparação entre as resistências dos corpos-de-prova 4X4X16cm com os 10x20cm

A seguir, está demonstrado na Figura 34 o gráfico tensão x deformação para os quatro tipos de argamassa.

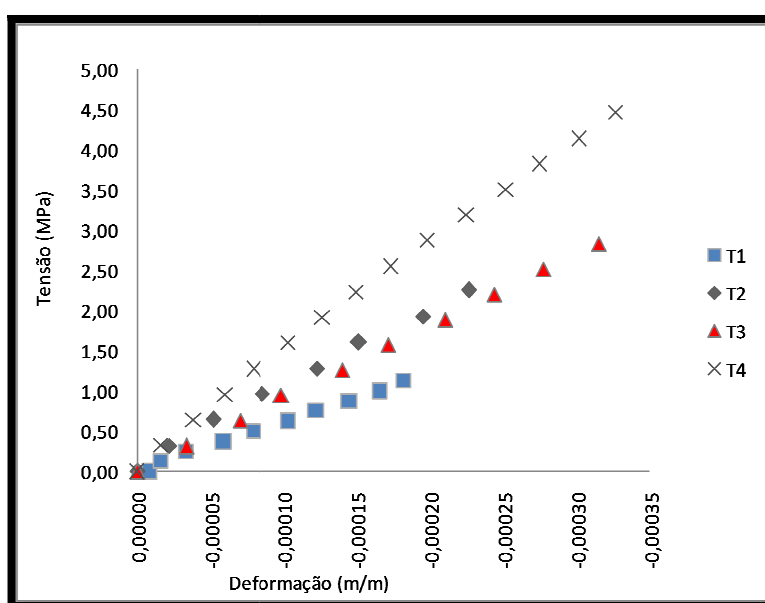


Figura 34 – Diagrama tensão deformação das argamassas

Para as argamassas, o comportamento da média das leituras foi linear, como já se esperava; entretanto os resultados do módulo entre as argamassas T2 e T3, apresentaram valores próximos e inesperados, principalmente para o tipo T3, conforme mostra a Figura 35, isto se deve à resistência que não foi de 13,92MPa e sim de 10,69MPa para os corpos-de-provas 10x20cm, o que indica um possível erro de moldagem do traço T3.

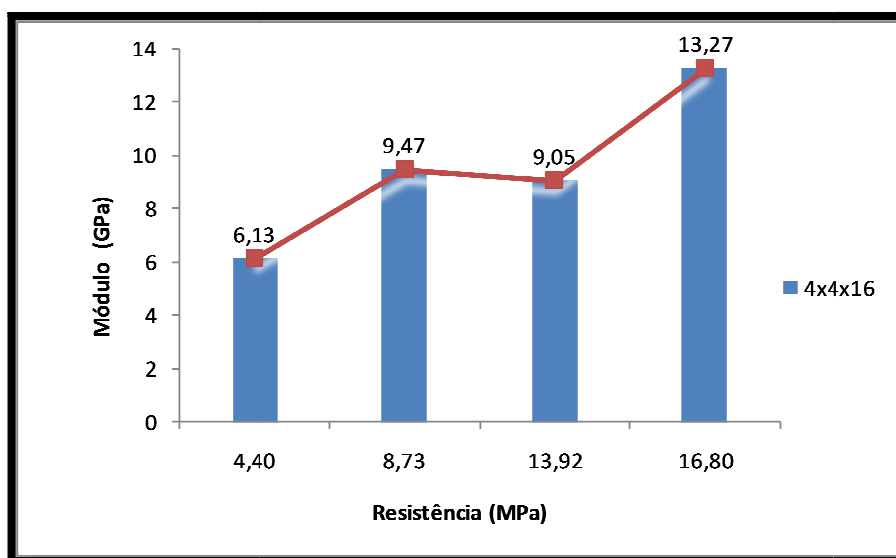




Figura 35 – Módulo de elasticidade comparado com a resistência da argamassas 4x4x16

4.4 Prismas de dois blocos

4.4.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão dos prismas com 2 blocos, mostrou um crescimento acompanhando o aumento da resistência da argamassa, conforme indicado na Tabela 32, e os coeficientes de variação de, no máximo, 11%, o que é um bom valor para amostras de laboratório.



Tabela 32 – Resistência à compressão em relação à área bruta dos prismas de 2 blocos

Tipologia do bloco	Argamassa (MPa)	Prismas de 2 Blocos		
		Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação
 BPV	T1 (4,4)	4,61	0,32	6,9
	T2 (8,7)	5,84	0,48	8,3
	T3 (13,9)	6,48	0,72	11,1
	T4 (16,8)	6,77	0,21	3,1
 BPM	T1 (4,4)	6,32	0,63	10,0
	T2 (8,7)	8,80	0,44	5,0
	T3 (13,9)	9,33	0,11	1,2
	T4 (16,8)	10,11	0,62	6,1

4.4.2 Módulo de elasticidade

Na Tabela 33 estão expostos os valores dos módulos, em relação à área bruta e líquida dos prismas de 2 blocos. Observou-se que seus valores não corresponderam diretamente à resistência da argamassa empregada; entretanto, houve diferença no módulo, em relação à geometria utilizada.

Tabela 33 – Módulos de elasticidade dos prismas de 2 blocos em relação à área bruta e à área líquida dos blocos

Tipologia do bloco	Argamassa	Modulo área bruta (GPa)	Desvio padrão	Módulo área líquida (GPa)	Desvio padrão	Coef. de Var.
 BPV	T1	4,03	0,81	9,68	1,93	20,0
	T2	3,87	0,43	9,31	1,03	11,1
	T3	3,73	0,62	8,95	1,49	16,6
	T4	3,83	0,49	9,20	1,19	12,9
 BPM	T1	5,82	0,57	11,80	1,15	9,8
	T2	6,10	0,34	12,37	0,68	5,5
	T3	6,08	1,04	12,32	2,11	17,1
	T4	6,73	1,12	13,63	2,26	16,6

Nas Figuras 36, 37, 38 e 39 verifica-se o comportamento das médias dos módulos para cada tipo de geometria e argamassa utilizadas.

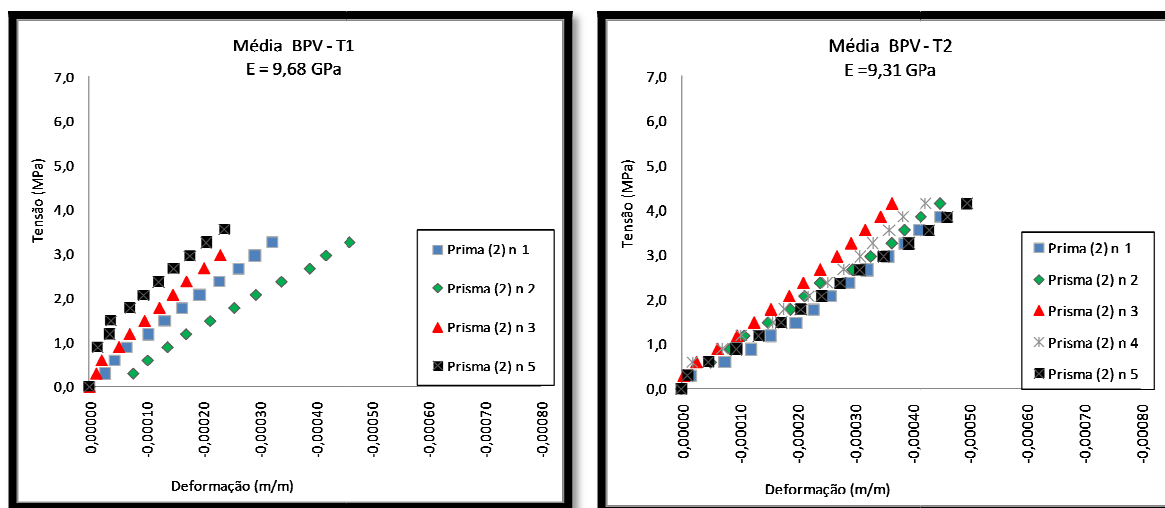


Figura 36 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 2 blocos dos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2

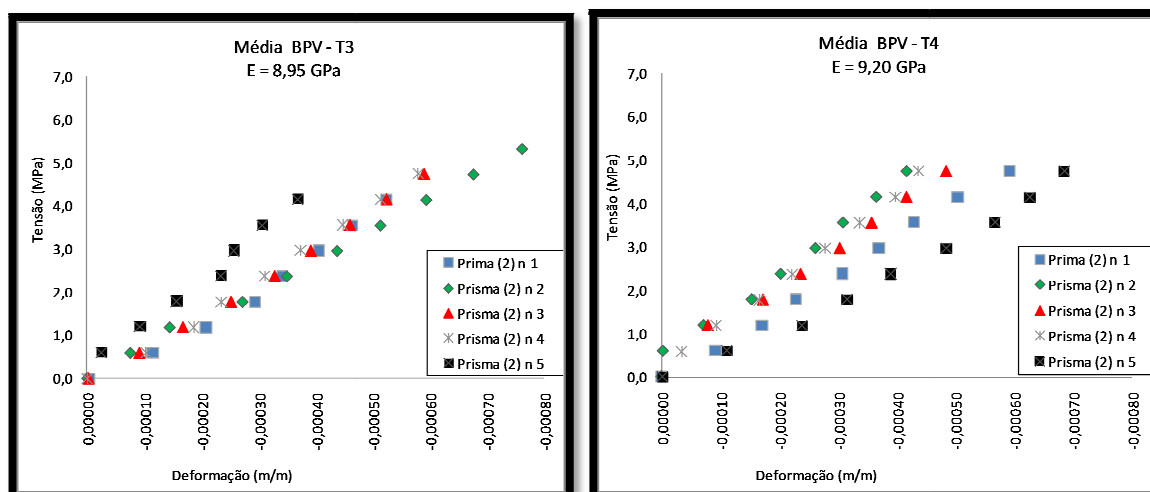


Figura 37 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 2 blocos dos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4

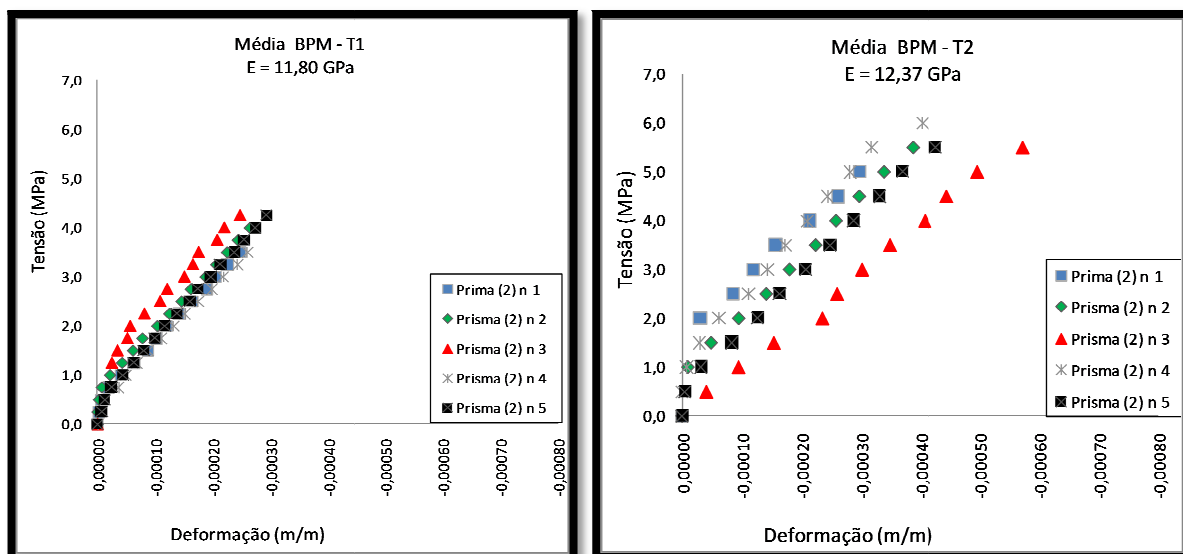


Figura 38 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 2 blocos dos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2

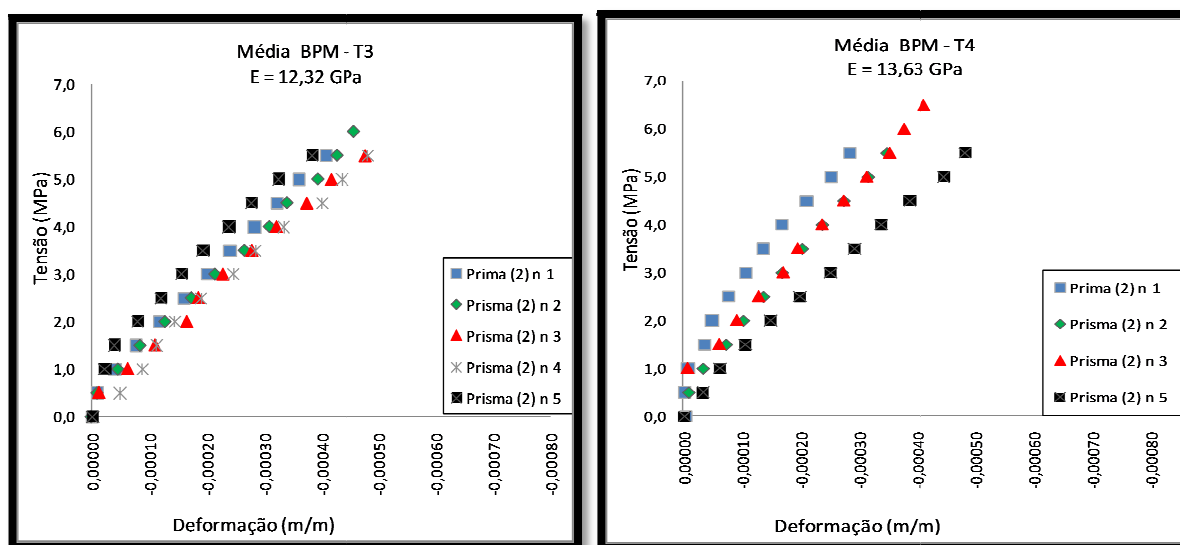




Figura 39 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 2 blocos dos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4

4.5 Prismas de três blocos

4.5.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão dos prismas de 3 blocos, também apresentou um crescimento com o aumento da resistência da argamassa, de acordo com a Tabela 34, e os valores de resistência foram próximo a dos prismas de 2 blocos, o que, segundo a revisão bibliográfica é contraditório, pois Garcia (2000), Sabatini (1984), Franco (1987), Müller (1989) e Rizzatti (2003), afirmam que os de 2 blocos deveriam apresentar valores maiores.



Tabela 34 – Resistência à compressão em relação à área bruta dos prismas de 3 blocos

Tipologia do bloco	Argamassa (MPa)	Resistência - Prismas de 3 blocos		
		Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação
	T1 (4,4)	4,47	0,19	4,3
	T2 (8,7)	5,82	0,92	15,8
	T3 (13,9)	6,43	0,35	5,5
	T4 (16,8)	7,03	0,39	5,6
	T1 (4,4)	5,55	0,99	17,8
	T2 (8,7)	8,70	0,44	5,1
	T3 (13,9)	9,47	0,45	4,8
	T4 (16,8)	10,76	0,78	7,2

4.5.2 Módulo de elasticidade

Na Tabela 35 constata-se os valores dos módulos em relação à área bruta e à área líquida dos prismas, de 3 blocos, valores esses que, também não corresponderam diretamente à resistência da argamassa empregada; o que nota-se é a diferença do módulo, de acordo com a geometria utilizada, assim como demonstrado nos prismas de 2 blocos.

Tabela 35 – Módulo de elasticidade dos prismas de 3 blocos em relação à área bruta e à área líquida dos blocos

Tipologia do bloco	Argamassa	Módulo área bruta (MPa)	Desvio padrão	Módulo área líquida (MPa)	Desvio padrão	Coef. Var
	T1	4,73	0,43	11,37	1,04	9,1
	T2	5,22	1,37	12,53	3,28	26,2
	T3	4,46	0,56	10,71	1,35	12,6
	T4	4,84	0,53	11,61	1,27	10,9
	T1	7,05	1,02	14,30	2,08	14,5
	T2	7,67	0,66	15,55	1,33	8,6
	T3	7,28	0,86	14,75	1,75	11,9
	T4	7,22	1,09	14,63	2,21	15,1

Nas Figuras 40, 41, 42 e 43 está demonstrado o comportamento das médias dos módulos para cada tipo de geometria e argamassa utilizadas.

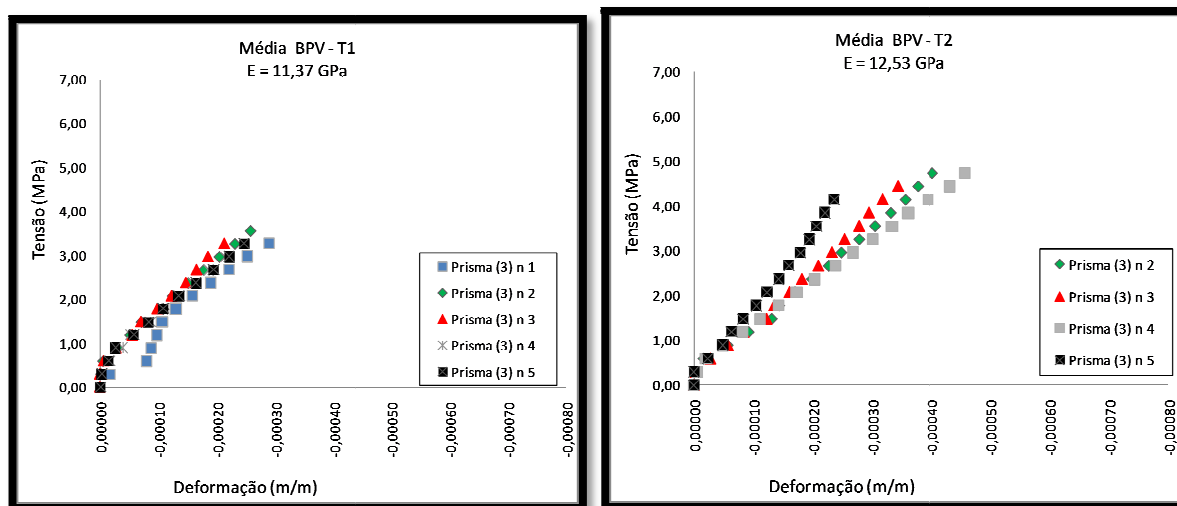


Figura 40 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 3 blocos dos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2

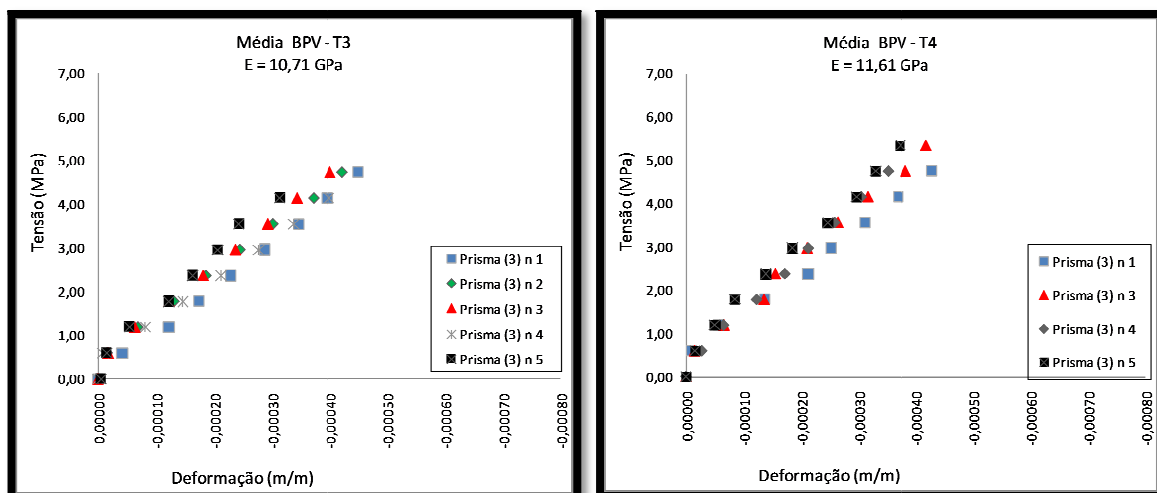


Figura 41 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 3 blocos dos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4

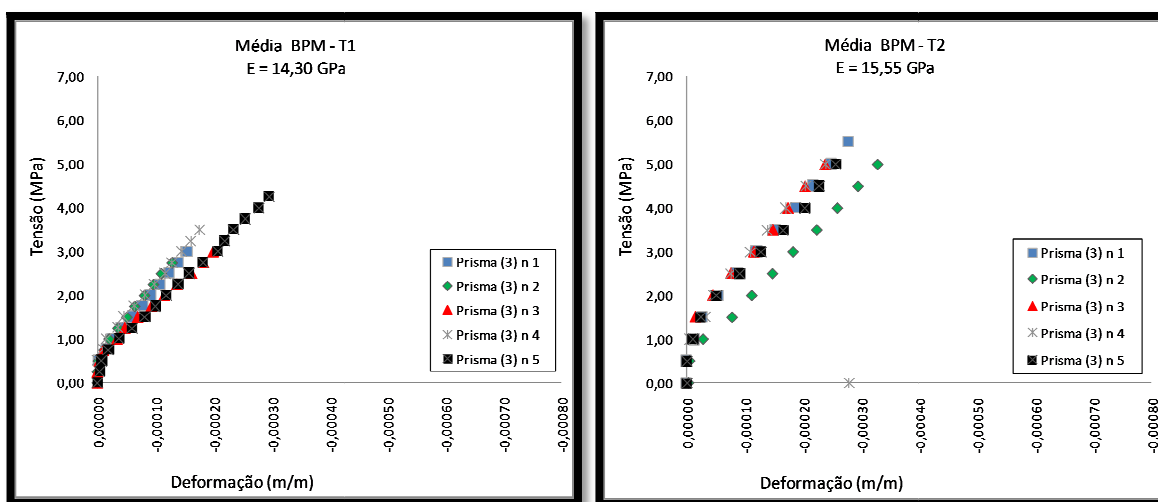


Figura 42 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 3 blocos dos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2

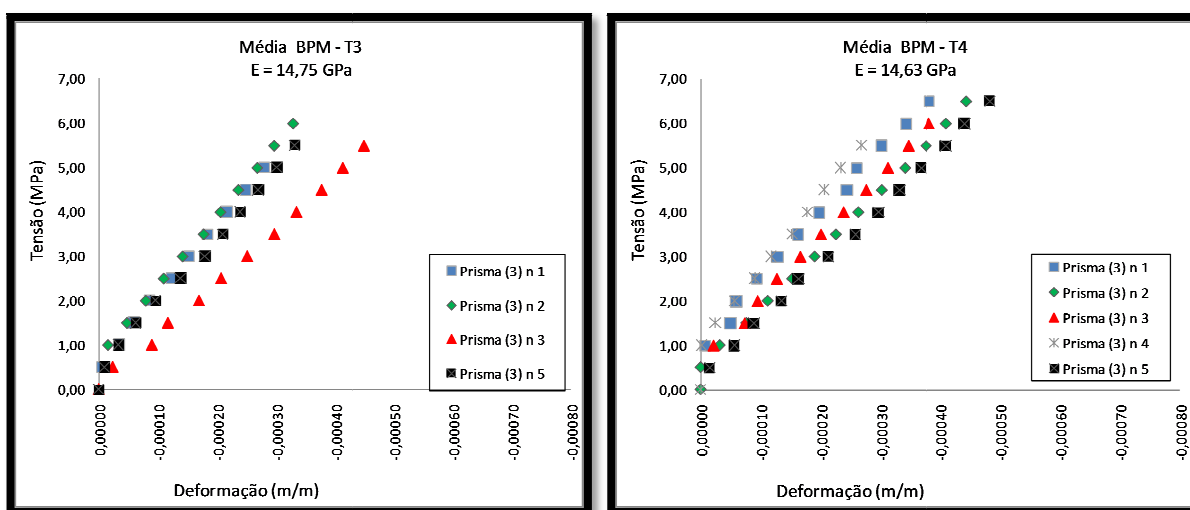




Figura 43 – Diagrama tensão-deformação dos prismas de 3 blocos dos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4

4.6 Pequenas paredes

4.6.1 Resistência à compressão

No que se refere à resistência à compressão das pequenas paredes, ela se mostrou menor que a dos prismas, talvez por serem contra-fiada e com mais fiadas, aumentando sua esbeltez, mas continuaram apresentando, também, um leve crescimento, com o aumento da resistência da argamassa observado nos prismas. Na Tabela 36, está demonstrado esse crescimento.

Tabela 36 – Resistência à compressão em relação à área bruta das pequenas paredes

Tipologia do bloco	Argamassa (MPa)	Resistência - Pequenas paredes		
		Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação
	T1 (4,4)	2,54	0,58	23,0
	T2 (8,7)	2,77	0,47	16,9
	T3 (13,9)	3,59	0,20	5,5
	T4 (16,8)	4,19	0,31	7,3
	T1 (4,4)	3,22	0,45	14,0
	T2 (8,7)	4,86	0,43	8,8
	T3 (13,9)	6,34	0,89	14,0
	T4 (16,8)	7,35	0,16	2,2



4.6.2 Módulo de elasticidade

Os resultados anteriores demonstram que a resistência das pequenas paredes teve um crescimento de acordo com o aumento da resistência da argamassa, mostrando que o ensaio foi adequado, para esse fim. No entanto, durante a execução do ensaio do módulo de elasticidade, percebeu-se que a leitura

do relógio comparador situado no topo das pequenas paredes, manteve sempre valores menores de deformação que os outros dois medidores, sendo assim seus valores foram desprezados, acredita-se que isso se deve ao fato do mesmo estar fora do prato da prensa e a chapa de aço utilizada, para redistribuir os esforços, não tinha rigidez suficiente.

A Tabela 37 mostra os valores dos módulos em relação à área bruta e à área líquida das pequenas paredes. Esses valores, além de não corresponderem diretamente à resistência da argamassa empregada, também não revelaram diferença do módulo em relação à geometria utilizada, diferentemente dos prismas; isso pode estar relacionado à falta de rigidez da chapa de aço utilizada.

Tabela 37 – Módulo de elasticidade das pequenas paredes em relação à área bruta e à área líquida dos blocos

Tipologia do bloco	Argamassa	Módulo área bruta (MPa)	Desvio padrão	Módulo área líquida (MPa)	Desvio padrão	Coef. Var.
	T1	3,54	0,31	8,49	0,74	8,7
	T2	2,73	0,12	6,56	0,29	4,5
	T3	2,85	0,30	6,84	0,73	10,6
	T4	2,76	0,29	6,63	0,69	10,4
	T1	3,56	0,89	7,45	2,27	30,6
	T2	4,82	0,37	9,99	0,47	4,7
	T3	4,30	0,36	8,94	1,13	12,6
	T4	4,10	0,88	8,57	2,31	27,0

Nas Figuras 44, 45, 46 e 47 constata-se o comportamento das médias dos módulos para cada tipo de geometria e argamassa utilizadas.

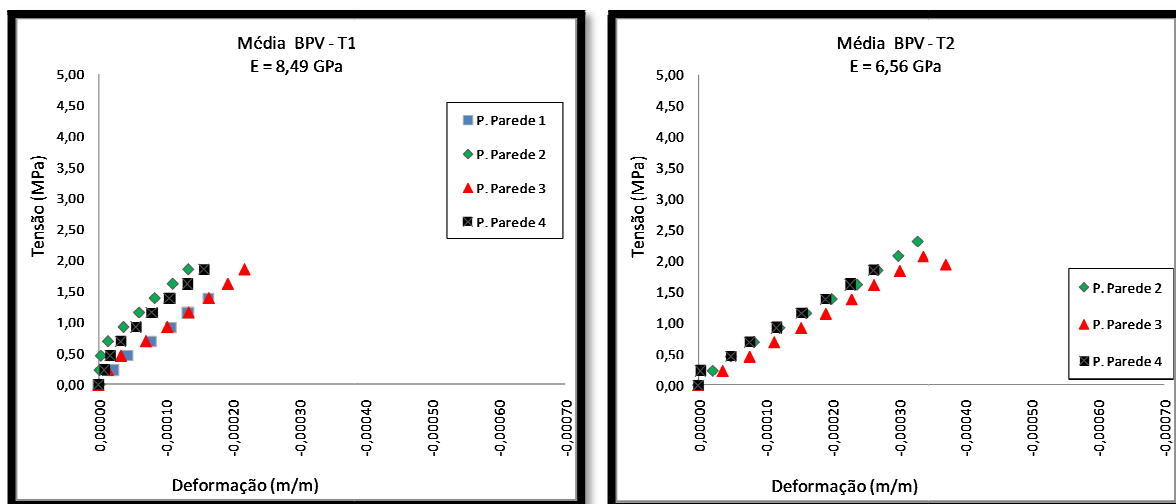


Figura 44 – Diagrama tensão-deformação das pequenas paredes com blocos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2

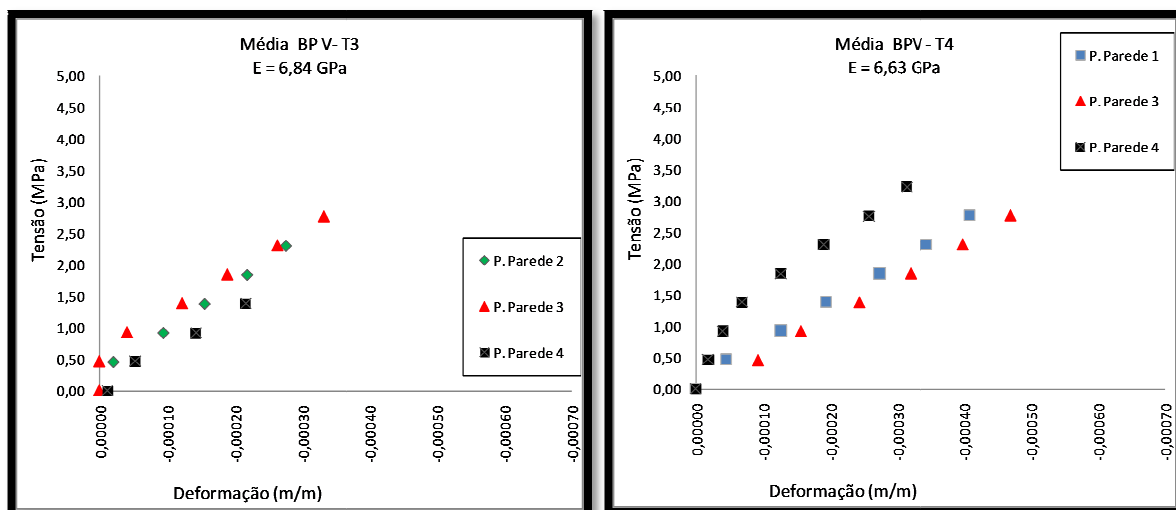


Figura 45 – Diagrama tensão-deformação das pequenas paredes com blocos BPV (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4

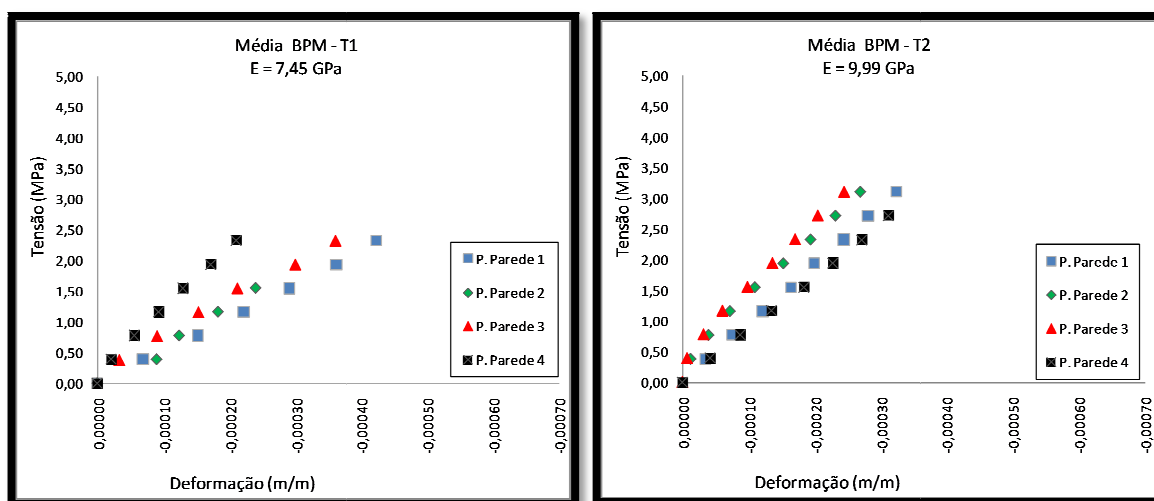


Figura 46 – Diagrama tensão-deformação das pequenas paredes com blocos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T1 e T2

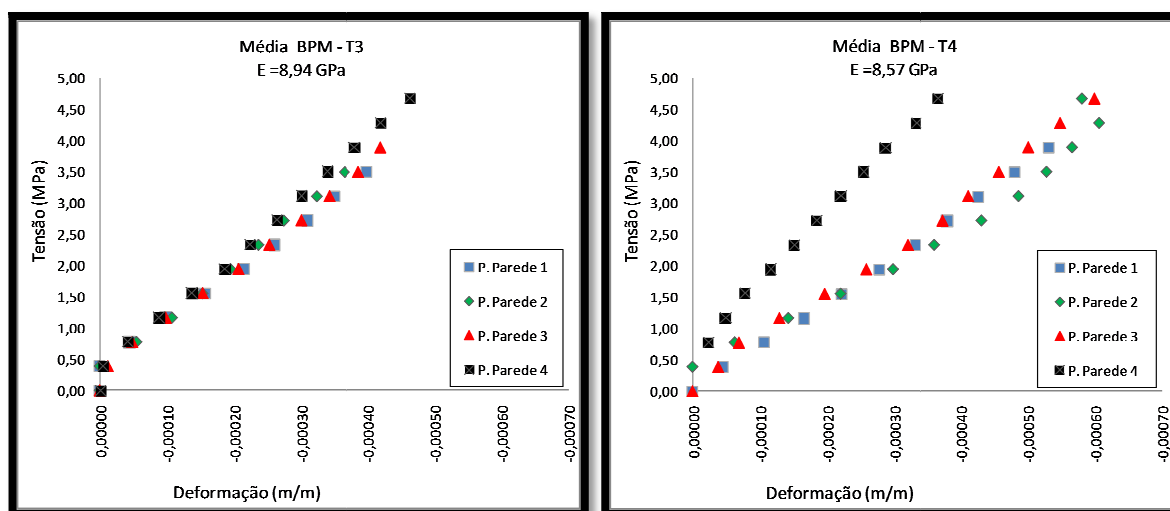


Figura 47 – Diagrama tensão-deformação das pequenas paredes com os blocos BPM (em relação à área líquida), com argamassas T3 e T4

4.7 Formas de ruptura

Neste item procurou-se analisar o comportamento e as causas da ruptura dos prismas sob a ação de cargas de compressão. Assim, são apresentadas figuras e descrição da ruptura dos prismas e das pequenas paredes ensaiadas.

Os prismas com argamassa mais fraca tendem a apresentar a ruptura com fissuração lenta, sendo essa argamassa mais dúctil, por ter maior capacidade de absorver as deformações. Já com argamassa mais rígida há uma ruptura explosiva, fissurando e rompendo subitamente.

A argamassa tem a tendência de expandir-se lateralmente, e sendo ela ligada mecanicamente ao bloco, suas tensões laterais de tração, no bloco e de compressão, na argamassa. A argamassa pode, tanto fendilhar o bloco, como ser esmagada pelas tensões de compressão geradas.

Nos prismas de 2 e 3 blocos e pequenas paredes, a ruptura foi semelhante entre todos os tipos de argamassa e blocos; no entanto, elas se manifestaram de um modo randômico, mas primordialmente com fendilhamento vertical. Nas Figuras 48 e 49 encontram-se os principais tipos de rupturas encontradas. No Apêndice E constam as figuras que representam o modo de ruptura de cada série.



Figura 48 – Prisma de 2 blocos T1 BPM e prisma de 3 blocos T3 BPV



Figura 49 – Pequena parede T3 BPV

4.8 Comparações entre módulos

A Figura 50 mostra valores do módulo de elasticidade das argamassas e dos blocos, em relação à área líquida. É importante salientar que o T4 apresenta um

módulo semelhante ao BPM, o que pode gerar uma alvenaria com ruptura explosiva, porém não foi o que ocorreu nas paredes, mas sim em alguns prismas.

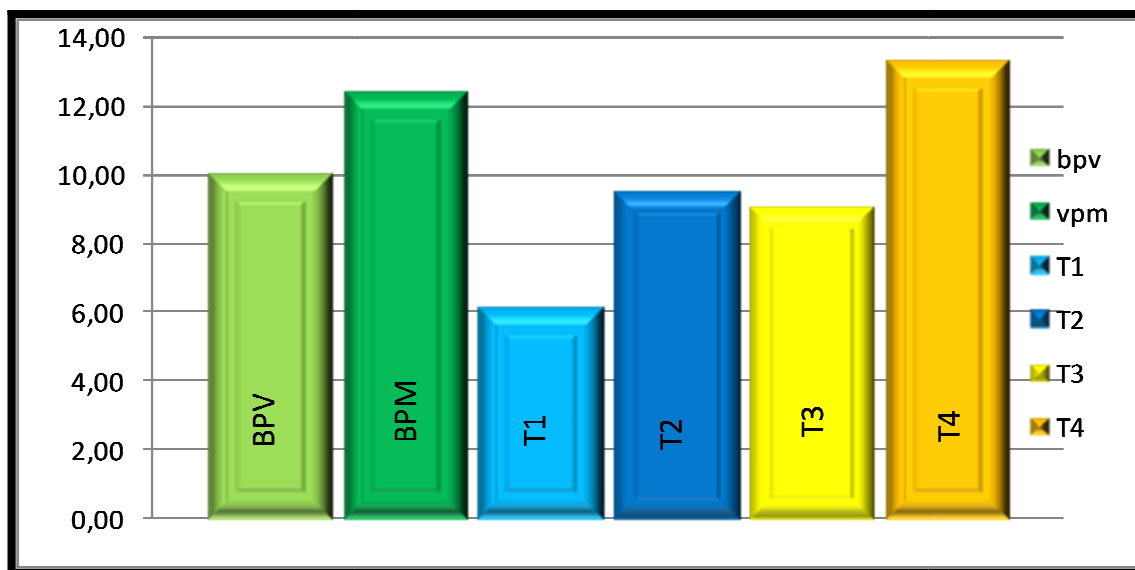


Figura 50 – Comparação entre o módulo de elasticidade entre os blocos e as argamassas (em relação aos blocos, foi considerada a área líquida dos mesmos)

Na Figura 51 está relacionado os valores dos módulos de elasticidade para os prismas e pequenas paredes, e percebe-se que todos os prismas com BPM apresentaram um valor maior do que o BPV. Entretanto nas pequenas paredes isso não ocorreu, talvez pela maior interferência da argamassa, já que nessas o terço médio contempla apenas uma junta de argamassa.

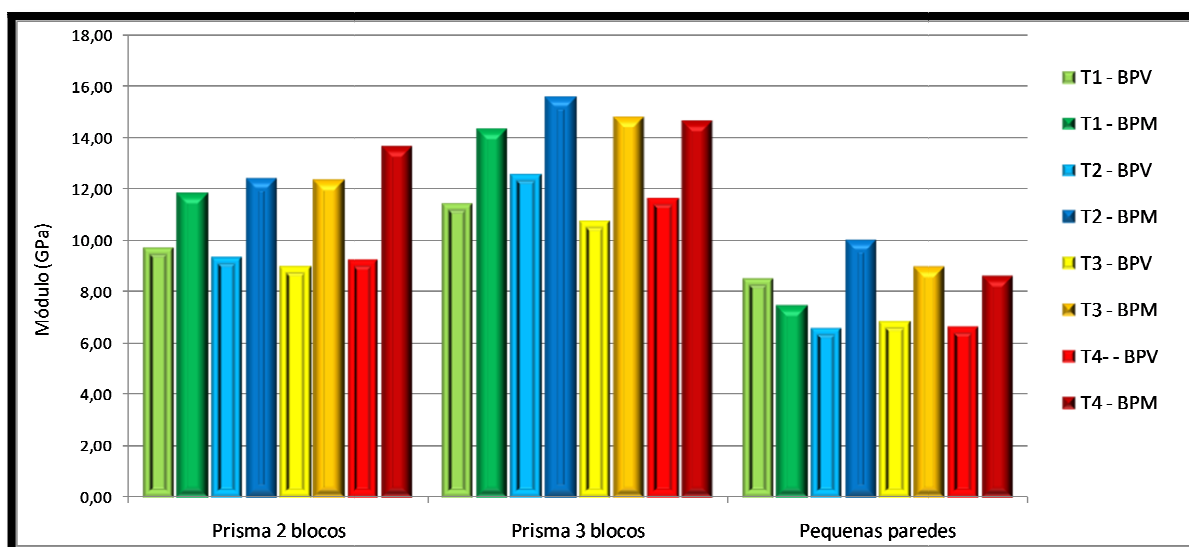


Figura 51 – Módulos de elasticidade dos prismas e das paredes em relação à área líquida dos blocos

A Figura 52 mostra o gráfico tensão x deformação dos prismas de 3 blocos em relação à área líquida, apenas para as duas argamassas, uma com resistência baixa (T1) e outra com resistência alta (T4), para verificar a influência da argamassa no modo de ruptura da alvenaria.

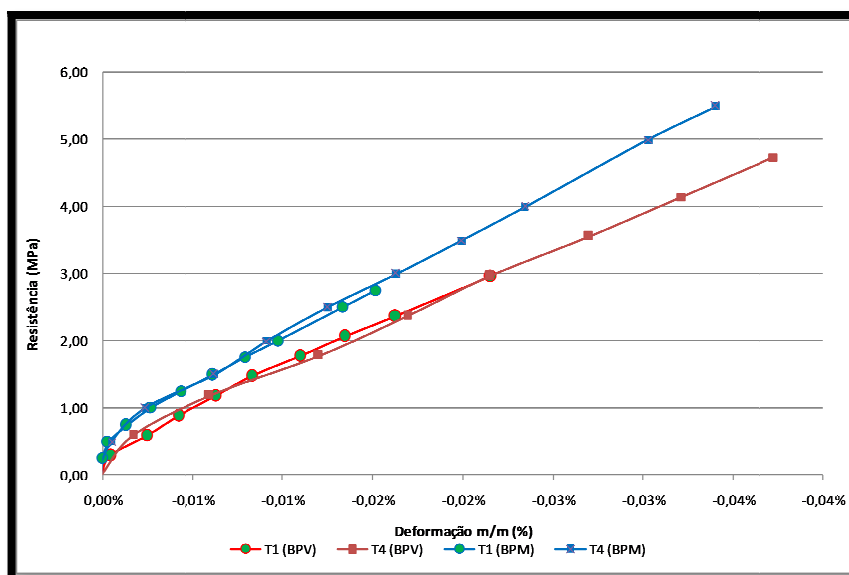


Figura 52 – Módulos de elasticidade dos prismas de 3 blocos para argamassas T1 e T4, em relação à área líquida dos blocos

Na Figura 52 não foi observada a influência da alteração da resistência da argamassa, no entanto os BPV apresentaram resultados superiores de deformação aos BPM. Isto pode ser explicado pela quantidade elevada de vazados das paredes do BPV, que diminui o atrito ou confinamento da argamassa no estágio inicial de carga (até 30%), permitindo uma maior deformação neste tipo de bloco, já o BPM não tem redução da restrição.

4.9 Comparações entre Resistências

Para verificar uma possível correlação entre o acréscimo de resistência da argamassa com o aumento da resistência da alvenaria, foi criada a Tabela 38 para os blocos BPV_s e a Tabela 39 para os BPM_s, nas quais estão consideradas todas as

possíveis combinações entre as razões de resistências dos tipos de argamassa utilizada e a respectiva razão dos corpos-de-prova em questão.

Tabela 38 – Comparação entre resistências para os blocos BPV_s

Argamassa		BPV (%)		
Composição	Valor (%)	Prisma 2	Prisma 3	P Paredes
T2/T1	98,6	26,5	30,1	9,2
T3/T1	216,6	40,5	43,7	41,4
T4/T1	282,2	46,7	57,3	65,3
T3/T2	59,4	11,1	10,5	29,5
T4/T2	92,5	15,9	20,9	51,3
T4/T3	20,7	4,4	9,4	16,9

Tabela 39 – Comparação entre resistências para os blocos BPMs

Argamassa		BPM (%)		
Composição	Valor (%)	Prisma 2	Prisma 3	P Paredes
T2/T1	98,6	39,4	56,8	51,0
T3/T1	216,6	47,7	70,8	97,3
T4/T1	282,2	60,1	94,0	128,7
T3/T2	59,4	6,0	8,9	30,6
T4/T2	92,5	14,8	23,7	51,4
T4/T3	20,7	8,3	13,6	15,9

Com base nas Tabelas 38 e 39 foram criadas as Figuras: 53, para os prismas de dois blocos, 54, para os prismas de 3 blocos e 55 para as pequenas paredes.

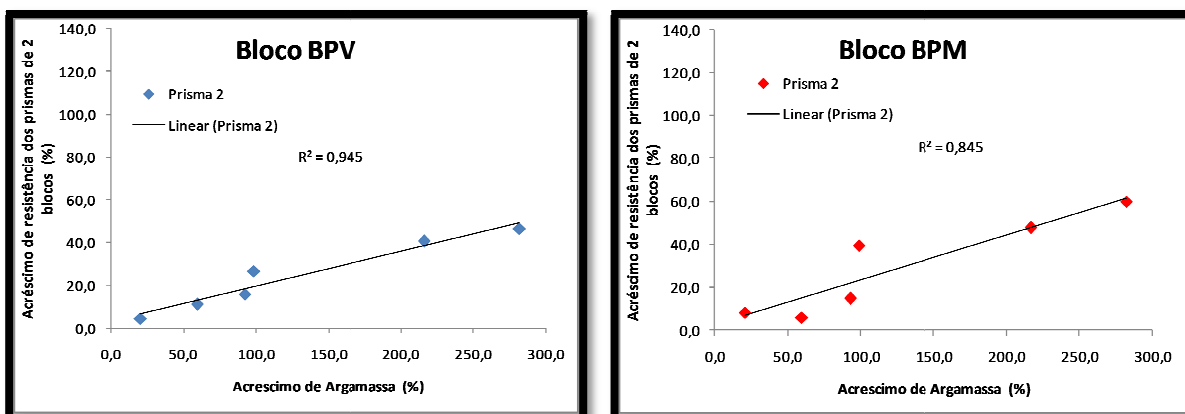


Figura 53 – Acréscimo de resistência da argamassa frente à resistência do corpo-de-prova, para os prismas de 2 blocos

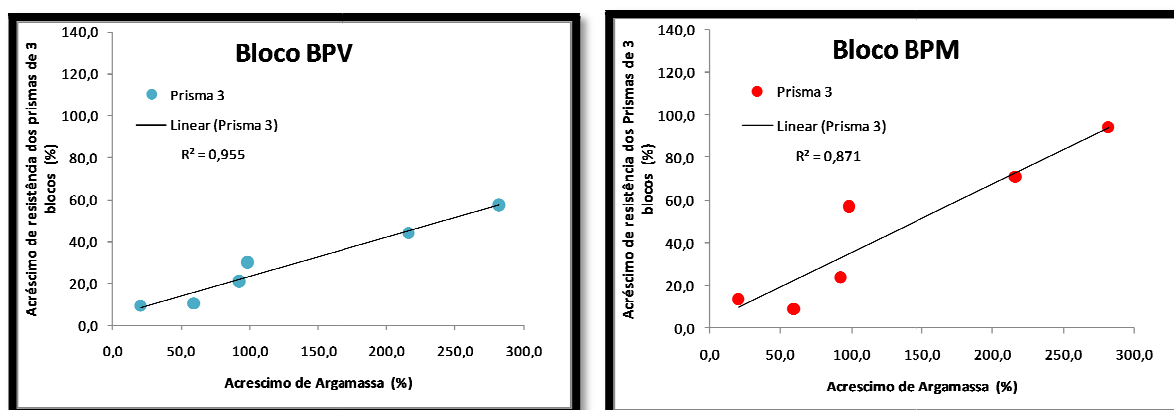


Figura 54 – Acréscimo de resistência da argamassa frente à resistência do corpo-de-prova, para os prismas de 3 blocos

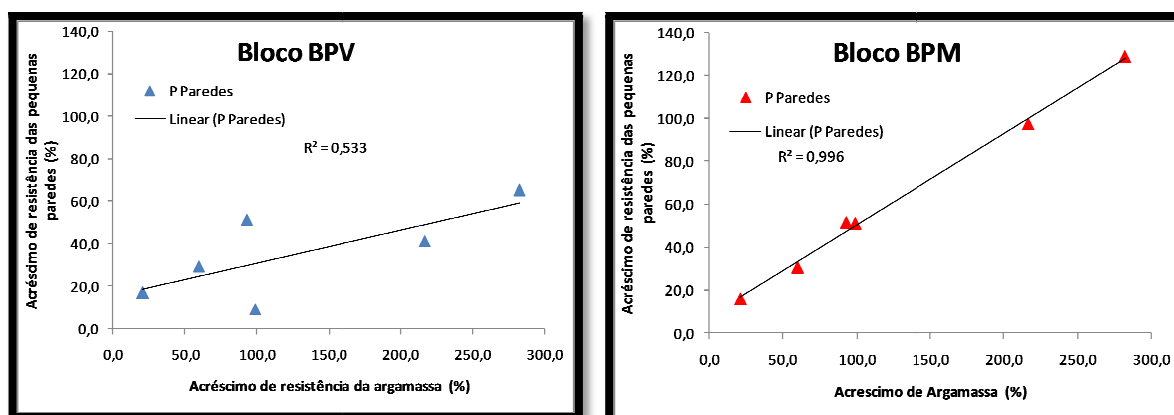


Figura 55 – Acréscimo de resistência da argamassa frente à resistência do corpo-de-prova para as pequenas paredes

No que se refere à resistência dos prismas, observou-se, nas Figuras 53 e 54, um aumento linear, de acordo com o aumento da resistência da argamassa para os dois tipos de prismas analisados, quanto aos prismas de 3 blocos, essa resistência apresentou uma pequena melhora no índice de correlação, do que para os prismas de 2 blocos.

Diferentemente dos prismas, nas pequenas paredes o comportamento não foi o mesmo para os dois tipos de blocos, como se pode observar na Figura 55. Para os BPM_s o acréscimo de resistência da argamassa se mostrou linear, com o aumento de resistência das pequenas paredes; já para os BPV_s isto não ocorreu e também demonstrou uma inclinação inferior aos BPM_s indicando que a resistência da argamassa não age com significância sobre a das pequenas paredes, o que, por consequência, tende a não aumentar a resistência da alvenaria.

A Figura 56 demonstra a influência da argamassa na resistência dos prismas, que pode ser compreendido pelo coeficiente angular da reta formada pelos pontos médios, provenientes do gráfico da resistência: dos prismas em função da argamassa.

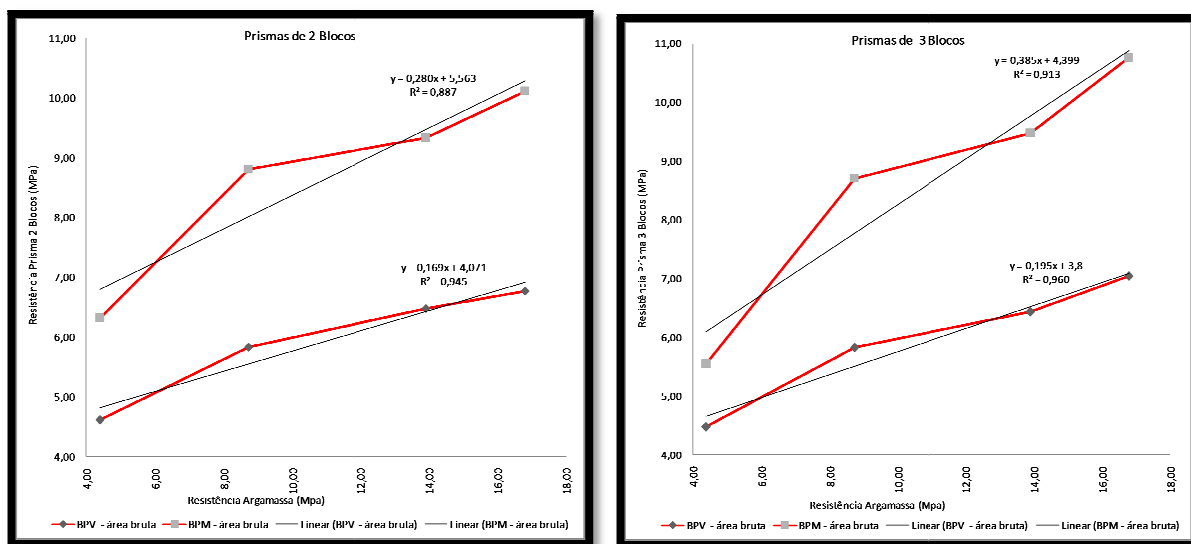


Figura 56 – Resistência dos prismas de 2 e 3 blocos (em relação à área bruta)

Podemos observar na Figura 56 que a argamassa é responsável por aproximadamente 17% a 20% da resistência do prisma para os BPV e entre 28% a 38% para os BPM, respectivamente para os prismas de 2 e 3 blocos.

4.10 Fator de eficiência

O fator de eficiência dos prismas foi calculado dividindo-se o valor da resistência à compressão do elemento em estudo (prismas e pequenas paredes) pela resistência do bloco. Na Figura 57, mostra-se o fator de eficiência em relação aos prismas e às pequenas paredes.

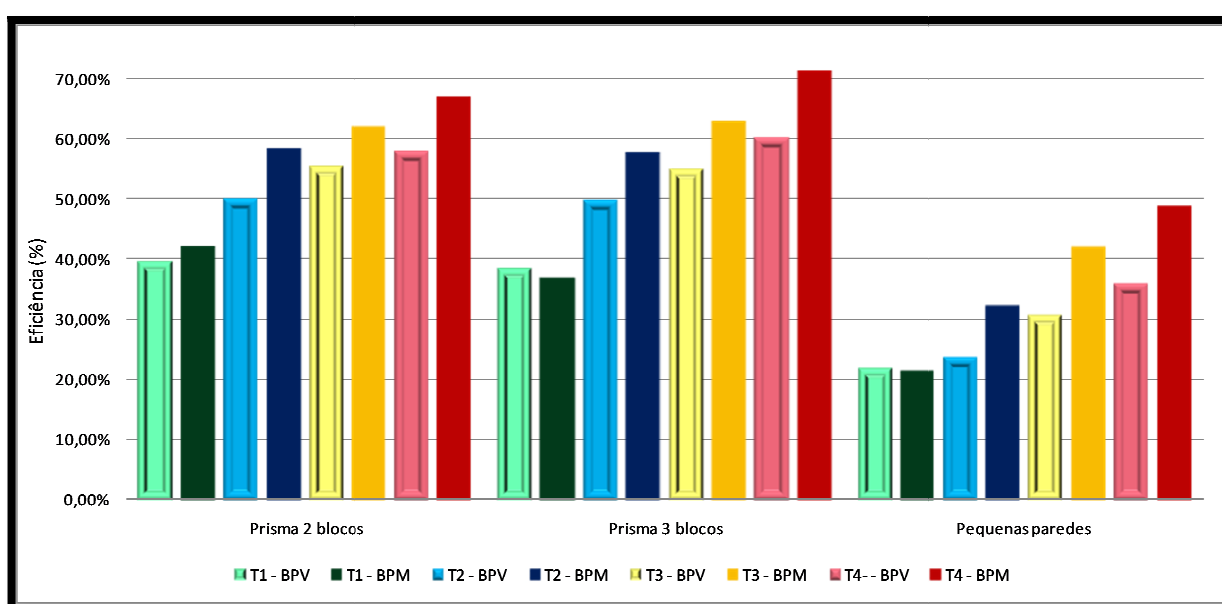


Figura 57 – Fator de eficiência em relação aos prismas de 2 e 3 blocos e às pequenas paredes

É importante ressaltar que, em praticamente todos os elementos ensaiados, ao aumentar a resistência da argamassa, a do elemento também aumentou.

4.11 Análise estatística

Com o objetivo de avaliar a existência de diferenças significativas entre as várias combinações de argamassa, blocos, prismas e pequenas paredes ensaiados, foi realizada a análise de variância. Este método estatístico, desenvolvido por Fischer, por meio de testes de igualdade das médias, verifica, com o uso do

coeficiente F, se os fatores produzem mudanças sistemáticas em alguma variável de interesse. Quando o quociente F calculado é menor que o valor de F crítico, não há diferença entre os valores analisados; porém quando o F calculado for maior que o F crítico, haverá diferença entre os valores analisados. O nível de confiança adotado para este teste foi de 95%, sendo, portanto, utilizado um nível de significância de 5%.

Pode-se observar, na Tabela 40, que a resistência à compressão dos blocos, no que se refere à área bruta, mostrou diferença entre as médias; entretanto em relação à área líquida, não existe diferença significativa, sendo um dos objetivos deste trabalho estudar essa geometria e respectivos tipos de blocos.

Tabela 40 – Comparações entre as resistências dos blocos

Tipo	Combinação		F crítico	F tabelado	Conclusão
Bloco	BPM (área Bruta)	BPV (área bruta)	31,4	4,26	Há Diferença
	BPM (área liq.)	BPV (área liq)	2,8	5,26	Não Há Diferença

Na Tabela 41 nota-se que todas as argamassas apresentam uma diferença significativa, em relação à resistência à compressão.

Tabela 41 – Comparações entre as resistências das argamassas à compressão axial

Tipo	Combinação		F crítico	F tabelado	Conclusão
Argamassas	T1	T2	142,7	4,96	Há Diferença
	T2	T3	107,2	4,96	Há Diferença
	T3	T4	50,0	4,96	Há Diferença

As Tabelas 42, 43 e 44 contêm resultados das médias dos prismas de 2 e 3 blocos e pequenas paredes, respectivamente; estas tabelas comparam um mesmo tipo de geometria frente a diferentes tipos de argamassas, sendo avaliadas as médias em relação à área bruta dos corpos-de-prova.

Na Tabela 42, quando se alteraram as argamassas e fixou-se a geometria do bloco, ocorreu diferença em todos os BPM_s, entretanto nos BPV_s apenas existiu diferença significativa entre a argamassa T1 e T2. Isso ocorreu, talvez, pelo BPV ter chegado em seu limite máximo de tensão frente a argamassas mais resistentes analisadas, ou pela dispersão dos resultados.

Tabela 42 – Comparações entre as resistências entre blocos de geometria e argamassas diferentes em prismas de 2 blocos

Tipo	Combinação		F crítico	F tabelado	Conclusão
Prismas 2 Blocos	T1 BPV	T2 BPV	22,4	5,32	Há Diferença
	T2 BPV	T3 BPV	2,8	5,32	Não Há Diferença
	T3 BPV	T4 BPV	0,7	5,32	Não Há Diferença
	T1 BPM	T2 BPM	52,4	5,32	Há Diferença
	T2 BPM	T3 BPM	6,8	5,32	Há Diferença
	T3 BPM	T4 BPM	7,7	5,32	Há Diferença

Semelhantemente, na Tabela 43 ocorreram diferenças em todos os blocos BPM_s; entretanto, nos BPV_s, não existiu diferença significativa entre nenhuma das comparações realizadas.

Tabela 43 – Comparação de resistências entre blocos de geometria e argamassas diferentes em prismas de 3 blocos

Tipo	Combinação		F crítico	F tabelado	Conclusão
Prismas 3 Blocos	T1 BPV	T2 BPV	0,8	5,32	Não Há Diferença
	T2 BPV	T3 BPV	0,2	5,32	Não Há Diferença
	T3 BPV	T4 BPV	0,2	5,32	Não Há Diferença
	T1 BPM	T2 BPM	42,5	5,32	Há Diferença
	T2 BPM	T3 BPM	7,4	5,32	Há Diferença
	T3 BPM	T4 BPM	10,2	5,32	Há Diferença

Já na Tabela 44 não ocorreu diferença significativa entre a argamassa T1 e T2, utilizando o bloco BPV; porém, nas demais combinações, a diferença foi significativa.

Tabela 44 – Comparações entre as resistências utilizando blocos de geometria e argamassa diferentes, em pequenas paredes

Tipo	Combinação		F crítico	F tabelado	Conclusão
Pequenas Paredes	T1 BPV	T2 BPV	0,4	5,99	Não Há Diferença
	T2 BPV	T3 BPV	7,4	6,61	Há Diferença
	T3 BPV	T4 BPV	7,8	6,61	Há Diferença
	T1 BPM	T2 BPM	27,8	5,99	Há Diferença
	T2 BPM	T3 BPM	7,6	5,99	Há Diferença
	T3 BPM	T4 BPM	6,8	5,99	Há Diferença

No que se refere ao comportamento dos prismas, em relação às pequenas paredes, não ocorreu correlação completa entre as diferenças das médias; porém, pode-se concluir que o BPM sempre demonstrou diferença na resistência à compressão, quando a argamassa era alterada, podendo indicar que para os blocos BPM pode-se usar argamassas mais resistentes que a alvenaria terá uma tendência ao aumento da capacidade de suporte; já nos BPV_s isso pode não ocorrer, o que pode ser comprovado somente fazendo-se ensaios de paredes.

A Tabela 45, expõe a comparação dos módulos de elasticidade para cada tipo de corpo-de-prova, foram geradas três combinações, sendo as duas primeiras a comparação entre todos os traços de argamassa para uma mesma geometria de bloco e a terceira comparando as médias de cada geometria. Os resultados são referentes à área bruta.

Tabela 45 – Comparações entre os módulos de elasticidade

Tipo	Combinação	F crítico	F tabelado	Conclusão
Módulo - prismas de 2 blocos	BPV (T1, T2, T3 e T4)	0,2	3,29	Não Há Diferença
	BPM (T1, T2, T3 e T4)	1,0	3,29	Não Há Diferença
	BPV BPM	94,2	5,99	Há Diferença
Módulo - prismas de 3 blocos	BPV (T1, T2, T3 e T4)	0,7	3,34	Não Há Diferença
	BPM (T1, T2, T3 e T4)	0,4	3,29	Não Há Diferença
	BPV BPM	149,9	5,99	Há Diferença
Módulo - pequenas paredes	BPV (T1, T2, T3 e T4)	7,3	3,86	Há Diferença
	BPM (T1, T2, T3 e T4)	2,4	3,49	Não Há Diferença
	BPV BPM	14,3	5,99	Há Diferença

Percebe-se, que, tanto para os prismas de dois como para o de três blocos, não apresentaram diferença entre os traços de argamassas utilizados, no entanto, para as pequenas paredes isso não ocorreu, para os BPV, isso porque os prismas com a argamassa T1 apresentam um valor de módulo maior que as demais, contrariando os resultados de várias pesquisas, como visto no capítulo II. Este resultado deve-se ao fato da metodologia compreender apenas uma junta de argamassa e a influência da chapa de aço utilizada para redistribuir os esforços. Já, quando comparados às médias das geometrias, os três modelos de corpo-de-prova apresentaram diferença significativa.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSÃO

5.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões retiradas ao analisar os resultados experimentais deste trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros, nesta área de pesquisa.

5.2 Conclusões sobre o programa experimental

O tipo de bloco utilizado na composição das paredes de alvenaria tem fundamental importância para a mesma, pois diferenças nas formas, dimensões e material utilizado podem gerar um diferente comportamento na estrutura, quando sujeita à ação de cargas de compressão.

Para os prismas, as duas geometrias tiveram um aumento na sua resistência, mas apenas os blocos BPM tiveram uma diferença significativa entre cada resistência de argamassa proposta.

Para o BPV notou-se que o aumento da resistência da argamassa, se apresentou linear com o aumento da resistência dos prismas e não-linear nas pequenas paredes. Já no BPM, mostrou-se constante nos três tipos de corpos-de-prova, o que indica que o BPM possui uma geometria e quantidade de massa suficientemente adequadas para suportar o aumento de carga, quando contrafiados.

O fator de eficiência das pequenas paredes, utilizando o BPV, ficou entre 21,7% a 35,9%, quando aumentada à resistência da argamassa de 4,4MPa para

16,8MPa respectivamente. Já para BPM, ficou entre 21,3% a 48,7%, com o mesmo aumento da resistência à compressão da argamassa.

Na compressão dos prismas a argamassa utilizada é responsável por aproximadamente 17% a 20% da resistência do prisma para os BPV e entre 28% a 38% para os BPM, respectivamente para os prismas de 2 e 3 blocos.

O Módulo de elasticidade obtido foi de 10,0GPa para o BPV e 12,4GPa para o BPM; para as argamassas, ficou entre 6,1GPa e 13,3GPa; nos prismas não houve uma correlação direta com a resistência da argamassa, mas, sim, com a geometria, apresentando valores médios entre 9,3GPa e 11,6GPa para o BPV entre 12,5GPa e 14,81GPa para o BPM; já nas pequenas paredes, apresentaram 7,1GPa para o BPV e 8,7GPa para o BPM de valor médio, analisando seu módulo referente à área líquida dos blocos, para blocos, prismas e pequenas paredes.

Os prismas com argamassas mais fracas rompem de forma lenta, pois como foi relatado anteriormente, as argamassas mais fracas são mais dúcteis, com maior capacidade de absorver deformações. Já os prismas, com argamassas mais fortes, têm ruptura explosiva, fissurando subitamente; entretanto isso não ocorreu, pois a ruptura não se mostrou coerente com o tipo de argamassa aplicada, mas teve predominantemente ruptura com fendilhamento vertical.

O BPM sempre demonstrou diferença na resistência à compressão quando a argamassa era alterada, podendo indicar que para o BPM pode-se usar essas argamassas mais resistentes que a alvenaria terá uma tendência ao aumento da capacidade de suporte; já no BPV isso pode não ocorrer sempre, o que se comprovará somente fazendo ensaios de paredes.

5.3 Conclusões gerais

Conforme os resultados encontrados neste trabalho, conclui-se que deve haver uma compatibilização do uso do tipo do bloco cerâmico (geometria, módulo de elasticidade e resistência) para que a alvenaria possa ser eficiente, que seja utilizado de forma adequada, conforme cada tipo de argamassa com suas características mecânicas.

A utilização de argamassa de assentamento com maiores resistências potencializam a alvenaria de blocos cerâmicos, dependendo das formas e dimensões dos blocos adotados; também é importante levar em consideração as dimensões dos prismas e pequenas paredes ensaiadas, entre outros fatores, quando se deseja comparar este estudo com a metodologia aplicada por outros pesquisadores.

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Complementar este estudo, realizando ensaios com medições de deformações em paredes em escala reduzida ou real, adotando um número maior de juntas de argamassa para o ensaio de módulo de elasticidade;
- Realizar simulações em elementos finitos dos modelos estudados nesta pesquisa, para que se tenha uma melhor visualização de todas as tensões que surgem nos prismas e se possa identificar as regiões críticas de rompimento, utilizando os dados obtidos para calibrar o modelo.
- Realizar estudos com diferentes geometrias de blocos;
- Fazer uma análise financeira, confrontando a utilização de diferentes blocos e argamassas com a de diferentes tipos de blocos, para um mesmo F_p de projeto;
- Quantificar os limites que podem obter as propriedades da argamassa, tais como resistência, módulo de elasticidade e variação dimensional, quando comparados com cada tipo de bloco, em ensaios e na estrutura real.

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.

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.

_____. **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

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 strength 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.

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.

ISHIKAWA, P. H. **Propriedades de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural**. 2003. 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas-SP, 2004.

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.

McNARY, W. S.; ABRAMS, D. P. On the modulus of elasticity for masonry. **Structural Engineering Journal**. 1985. n 4, v. 111, p. 857-870.

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.

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.

NETO, V. C. **Estudo teórico e experimental da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais**. 2000. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

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.

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.

SILVA, G. **Sistemas construtivos em concreto armado e em Alvenaria Estrutural: uma análise comparativa de Custos**. 2003. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Características geométricas de cada bloco

Tabela A1 – Características visuais e geométricas individuais – BPV - NBR 15270:2005 (Parte 3 – Anexo A – Normativo)

Exemplar	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)				Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede externa	Septos	Parede vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
1	141,5	192,0	293,5	11,5	9,5	36,5	70,5	3,5	1,0
2	140,0	192,0	292,0	10,0	8,5	34,5	71,5	1,0	3,0
3	142,0	193,0	293,5	10,5	7,5	34,5	71,0	0,5	1,0
4	141,0	191,5	289,0	10,0	7,5	34,5	71,5	0	1,0
5	141,0	193,0	293,5	10,0	8,5	34,5	71,0	0	1,0
6	140,5	190,5	291,5	10,0	9,0	36,5	71,5	2,5	2,0
7	141,0	192,5	293,0	11,0	9,0	34,5	71,0	3,5	2,0
8	140,5	191,0	292,0	10,0	8,5	34,5	71,0	3,0	3,0
9	141,0	191,5	292,0	10,0	9,0	34,5	71,0	2,5	0,5
10	142,0	193,0	293,5	10,5	8,5	35	71,5	3,5	1,0
11	140,0	191,0	291,5	10,0	7,5	34	71,0	1,0	0,5
12	140,0	192,5	293,0	10,0	8,5	34,5	71,0	3,0	3,0
13	141,5	192,0	293,0	10,0	8,5	35	71,0	2,5	2,5
Média	140,9	192	292,4	10,3	8,5	34,8	71,1	2,0	1,7

Tabela A2 – Características visuais e geométricas individuais – BPM - NBR 15270:2005 (Parte 3 – Anexo A – Normativo)

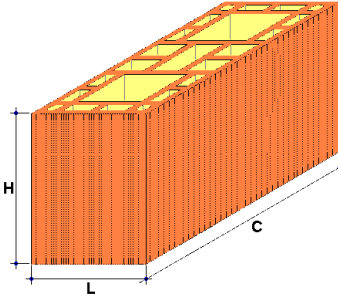
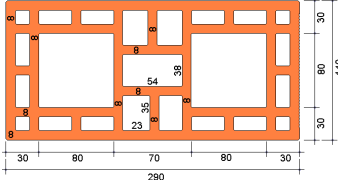
Exemplar	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)				Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede externa	Septos	Parede vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
1	141,0	192,0	292,0	23,0	-	-	93,0	0,5	0,5
2	140,5	190,0	292,0	23,0	-	-	94,5	1,0	0
3	140,5	191,0	291,0	23,0	-	-	93,0	1,5	0
4	141,5	190,5	292,0	22,5	-	-	93,5	2,0	0
5	141,0	191,0	292,5	23,5	-	-	94,5	2,5	0
6	141,5	191,0	291,0	23,5	-	-	93,0	1,5	0
7	141,0	191,0	292,0	23,5	-	-	92,5	1,0	1,0
8	141,0	190,0	291,5	24,0	-	-	93,0	0	0,5
9	140,5	190,0	292,0	23,5	-	-	93,0	2,5	0
10	141,0	189,0	293,0	23,5	-	-	94,0	1,5	0
11	141,0	189,5	292,0	23,5	-	-	92,5	3,0	0
12	140,5	190,0	292,0	23,0	-	-	93,5	1,0	1,5
13	141,0	190,0	292,0	23,0	-	-	93,0	1,5	0
Média	140,9	190,4	291,9	23,3	-	-	93,3	1,5	0,3

Dimensional dos blocos cerâmicos

Tabela A3 – Características geométricas de espessuras e desvios máximos dos blocos

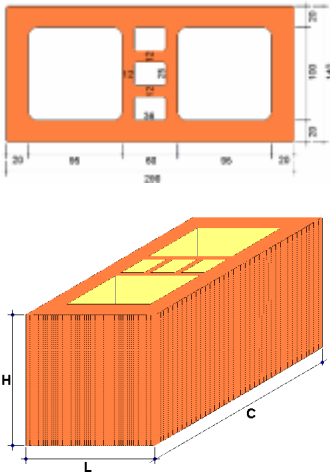
Tipologia do bloco	Medidas	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação	
	Espessuras mínimas (mm)	Parede externa	10,3	0,48	4,70
		Septos	8,5	0,63	7,39
		Parede vazada	34,8	0,77	2,22
		Vazados	71,1	0,30	0,42
	Desvios máximos (mm)	Esquadro	2,0	1,35	67,28
		Flecha	1,7	0,97	56,81
	Espessuras mínimas (mm)	Parede externa	23,3	0,39	1,67
		Vazados	93,3	0,66	0,71
	Desvios máximos (mm)	Esquadro	1,5	0,84	56,11
		Flecha	0,3	0,48	161,24

Tabela A4 – Determinação da resistência à compressão – NBR 15270:2005 (Parte 3 – Anexo C – Normativo)

Exemplar	Tipologia do Bloco (L x C)	Área Bruta Média (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (MPa)			
				Individual	Média (f _{bm})	f _{bk,est} Adotada ¹	
7255		41.530	492.250	11,9	11,7	10,6	
7256		40.880	457.500	11,2			
7257		41.677	445.000	10,7			
7258		40.749	572.500	14,0			
7259		41.384	567.500	13,7			
7260		40.956	522.500	12,8			
7261		41.313	480.000	11,6			
7262		41.026	457.500	11,2			
7263			41.172	452.500			11,0
7264			41.677	422.500			10,1
7265	40.810		475.000	11,6			
7266	41.020		445.000	10,8			
7267	41.460		492.500	11,9			

- Data de realização dos ensaios: **20 / 06 / 2007**
- Desvio padrão obtido no ensaio: **1,2 MPa**
- Coeficiente de variação da amostra: **9,8%**
- A resistência à compressão é determinada em relação à área designada como face de assentamento do bloco, computando-se todos os vazados (área bruta). Este bloco possui relação entre Área Líquida e Área Bruta média é igual a **0,41**.
- Unidades no SI, considerando 1,0 kgf ≅ 10 N.

Tabela A5 – Determinação da resistência à compressão – NBR 15270:2005 (Parte 3 – Anexo C – Normativo)

Exemplar	Tipologia do Bloco (L x C)	Área Bruta Média (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (MPa)		
				Individual	Média (f _{bm})	f _{bk,est} Adotada ²
6089		41.172	560.000	13,6	15,1	12,6
6090		41.026	760.000	18,5		
6091		40.886	525.000	12,8		
6092		41.318	600.000	14,5		
6093		41.243	625.000	15,2		
6094		41.177	705.000	17,1		
6095		41.172	575.000	14,0		
6096		41.102	585.000	14,2		
6097		41.026	525.000	12,8		
6098		41.313	647.500	15,7		
6099		41.172	627.500	15,2		
6100	41.026	595.000	14,5			
6101	41.172	740.000	18,0			

- Data de realização dos ensaios: **20 / 04 / 2007**
- Desvio padrão obtido no ensaio: **1,8 MPa**
- Coeficiente de variação da amostra: **12,1 %**
- A resistência à compressão é determinada em relação à área designada como face de assentamento do bloco, computando-se todos os vazados (área bruta). Este bloco possui relação entre Área Líquida e Área Bruta média é igual a **0,49**.
- Unidades no SI, considerando 1,0 kgf \cong 10 N.

APÊNDICE B – Resistências à compressão de cada CP para cada traço

Tabela B1 – Resistência à compressão de cada corpo-de-prova 4x4x16cm - traço T1

Numero	Carga (N)	Resistência MPa	Média
1	7.000	4,38	4,40
2	7.200	4,50	
3	7.400	4,63	
4	7.300	4,56	
5	6.800	4,25	
6	6.500	4,06	

Tabela B2 – Resistência à compressão de cada corpo-de-prova 4x4x16cm - traço T2

Numero	Carga (N)	Resistência MPa	Média
1	12.600	7,88	8,73
2	13.100	8,19	
3	13.400	8,38	
4	16.400	10,25	
5	13.600	8,50	
6	14.700	9,19	

Tabela B3 – Resistência à compressão de cada corpo-de-prova 4x4x16cm - traço T3

Numero	Carga (N)	Resistência MPa	Média
1	20.400	12,75	13,92
2	20.800	13,00	
3	22.600	14,13	
4	22.500	14,06	
5	23.900	14,94	
6	23.400	14,63	

Tabela B4 – Resistência à compressão de cada corpo-de-prova 4x4x16cm - traço T4

Numero	Carga (N)	Resistência MPa	Média
1	26.900	16,81	16,80
2	27.600	17,25	
3	25.900	16,19	
4	26.000	16,25	
5	27.700	17,31	
6	27.200	17,00	

APÊNDICE C – Resistências dos Prismas e das Pequenas Paredes (área bruta)

Tabela C1 – Resistência dos prismas de 2 blocos (área Bruta)

Resistência dos prismas de 2 blocos (MPa)						
BPV	1	2	3	4	5	Média
T1	4,41	4,58	4,22	4,85	5,00	4,61
T2	5,37	6,65	5,67	5,67	5,84	5,84
T3	5,96	7,44	6,95	6,40	5,67	6,48
T4	6,90	6,82	6,82	6,90	6,40	6,77
BPM	1	2	3	4	5	Média
T1	5,62	6,31	7,01	5,76	6,88	6,32
T2	8,42	8,67	8,74	9,56	8,62	8,80
T3	9,26	9,48	9,24	9,41	9,26	9,33
T4	10,74	10,20	10,54	9,90	9,16	10,11

Tabela C2 – Resistência dos prismas de 3 blocos (área Bruta)

Resistência dos prismas de 3 blocos (MPa)						
BPV	1	2	3	4	5	Média
T1	4,38	4,68	4,56	4,19	4,56	4,47
T2	4,31	6,55	6,26	6,38	5,59	5,82
T3	6,38	6,63	6,92	6,06	6,16	6,43
T4	6,65	6,90	7,39	6,72	7,51	7,03
BPM	1	2	3	4	5	Média
T1	4,70	4,80	5,22	5,91	7,09	5,55
T2	9,31	8,10	8,57	8,89	8,62	8,70
T3	9,90	10,00	9,19	8,97	9,31	9,47
T4	10,47	10,34	10,00	10,99	12,00	10,76

Tabela C3 – Resistência das pequenas paredes (área Bruta)

Resistência das pequenas paredes (MPa)					
BPV	1	2	3	4	Média
T1	1,77	2,74	3,16	2,47	2,54
T2	2,27	3,18	3,16	2,47	2,77
T3	3,74	3,31	3,72	erro	3,59
T4	4,22	4,27	3,78	4,52	4,19
BPM	1	2	3	4	Média (MPa)
T1	3,40	2,54	3,43	3,49	3,22
T2	5,08	5,13	5,00	4,22	4,86
T3	5,75	5,31	6,40	7,33	6,34
T4	7,19	7,33	7,57	7,33	7,35

APÊNDICE D – Módulo de elasticidade dos blocos, argamassas, prismas e das pequenas paredes (área bruta)

Tabela D1 – Módulo de elasticidade dos Blocos Cerâmicos (Área Bruta)

		Módulo de Elasticidade (Gpa)			
Tipologia	Posição	1	2	3	Média
BPV	Vertical	4,9	3,7	3,8	4,1
	Horizontal	14,8	15,8	9,3	13,3
BPM	Vertical	5,2	5,2	7,9	6,1
	Horizontal	0,0	28,7	12,9	20,8

Tabela D2 – Módulo de elasticidade dos corpos de prova cilíndricos 10x20cm (GPa)

Traço	1	2	3	4	Média
T1	5,20	5,40	7,40	6,50	6,13
T2	8,70	10,20	9,50	0,00	9,47
T3	8,40	10,10	8,50	9,20	9,05
T4	13,92	13,00	12,89	0,00	13,27

Tabela D3 – Módulo de elasticidade dos prismas de 2 blocos (área Bruta)



Tipologia do bloco	Argamassa	Modulo - Prismas 2 Blocos (GPa)					Média
		1	2	3	4	5	
 BPV	T1	3,88	2,95	4,67	0,00	4,62	4,03
	T2	3,83	3,66	4,51	4,01	3,36	3,87
	T3	3,98	2,88	3,54	3,66	4,57	3,73
	T4	3,55	4,38	3,76	4,27	3,20	3,83
 BPM	T1	6,01	6,04	4,91	5,72	6,43	5,82
	T2	5,83	5,94	6,47	6,47	5,81	6,10
	T3	6,02	5,83	7,86	5,43	5,26	6,08
	T4	7,86	7,08	6,77	0,00	5,20	6,73

Tabela D4 – Módulo de elasticidade dos prismas de 3 blocos (área Bruta)





Tipologia do bloco	Argamassa	Módulo - Prismas 3 Blocos (GPa)					Média
		1	2	3	4	5	
 BPV	T1	4,32	4,76	5,45	4,64	4,50	4,73
	T2	0,00	4,68	5,19	3,89	7,10	5,22
	T3	4,47	4,16	4,41	3,88	5,37	4,46
	T4	4,09	0,00	4,85	5,28	5,12	4,84
 BPM	T1	7,62	8,05	5,68	7,66	6,26	7,05
	T2	7,97	6,64	7,92	8,36	7,46	7,67
	T3	7,89	7,87	6,05	0,00	7,31	7,28
	T4	7,28	6,58	6,91	9,05	6,28	7,22

Tabela D5 – Módulo de elasticidade das pequenas Paredes (área Bruta)

Tipologia do bloco	Argamassa	Módulo – Pequenas Paredes (GPa)				Média
		1	2	3	4	
 BPV	T1	3,16	3,87	3,43	3,68	3,54
	T2	0,00	2,87	2,65	2,67	2,73
	T3	0,00	3,19	2,73	2,62	2,85
	T4	2,67	0,00	2,53	3,08	2,76
 BPM	T1	2,84	3,37	3,16	4,85	3,56
	T2	4,81	4,84	5,27	4,36	4,82
	T3	3,88	4,45	4,15	4,71	4,30
	T4	3,71	3,51	3,76	5,40	4,10

APÊNDICE E – Modo de ruptura dos prismas e das pequenas paredes ensaiadas para cada tipo de argamassa

Prismas:



Figura E1: Prisma de 2 blocos T1 BPV



Figura E2: Prisma de 2 blocos T1 BPM



Figura E3: Prisma de 2 blocos T2 BPV



Figura E4: Prisma de 2 blocos T2 BPM



Figura E5: Prisma de 2 blocos T3 BPV



Figura E6: Prisma de 2 blocos T3 BPM



Figura E7: Prisma de 2 blocos T4 BPV



Figura E8: Prisma de 2 blocos T4 BPM



Figura E9: Prisma de 3 blocos T1BPV



Figura E10: Prisma de 3 blocos T1 BPM



Figura E11: Prisma de 3 blocos T2 BPM



Figura E12: Prisma de 3 blocos T3 BPV



Figura E13: Prisma de 3 blocos T3 BPM



Figura E14: prisma de 3 blocos T4 BPV



Figura E15: Prisma de 3 blocos T4 BPM

Pequeñas Paredes:

Figura E16: Pequeña Pared T1 BPV



Figura E17: Pequeña Pared T1 BPM



Figura E18: Pequeña Pared T2 BPV



Figura E19: Pequeña Pared T2 BPM



Figura E20: Pequena Parede T3 BPV



Figura E21: Pequena Parede T3 BPM



Figura E22: Pequena Parede T4 BPV



Figura E23: Pequena Parede T4 BPM