

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

INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSAMENTO
NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PEQUENAS
PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ivair Pasquali

Santa Maria, RS, Brasil
2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

2007

Mestre

PASQUALI, Ivair

PGEC/UFSM, RS.

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSAMENTO
NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PEQUENAS
PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA**

por

Ivair Pasquali

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), com requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Mario Doleys Soares

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

**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

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSAMENTO
NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PEQUENAS
PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA**

elaborada por
Ivair Pasquali

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia

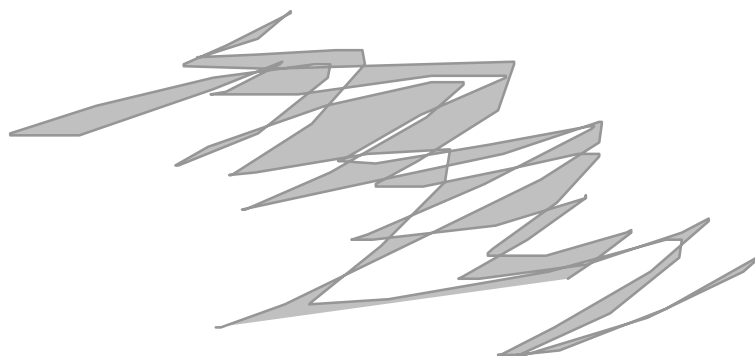
COMISSÃO EXAMINADORA:

José Mário Doleys Soares, Prof. Dr.
(Presidente/Orientador)

Eduardo Rizzatti, Prof. Dr. (UFSM)

Marcus Vinicius Veleda Ramires, Prof. Dr. (UNISINOS)

Santa Maria, 28 de Fevereiro de 2007



Dedico:



Aos meus pais,

Ao meu irmão;

À minha irmã;

Pelo contínuo apoio, fé e esperança;

E a Deus, pela plenitude da vida.

AGRADECIMENTOS

Venho expressar meu agradecimento às seguintes pessoas e instituições:

Ao professor José Mário Doleys Soares, pela amizade, orientação, dedicação e incentivo na realização desta pesquisa;

Aos professores Marcus Vinicius Veleza Ramires, Dr. (UNISINOS) e Eduardo Rizzatti, Dr. (UFSM, pela participação na banca da comissão examinadora;

Aos colegas do Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural: Eng. Gilson Marafiga Pedroso, Eng. Mauro Friederich dos Santos, Eng^a. Fabiane Rezende e à estagiária bolsista Gabriela Martins, pelas sugestões e permanente incentivo;

Aos grandes amigos Eng. Fabiano A. Nienov, Eng. Marco Antonio Pozzobon, Eng. Marcus Daniel Friederich dos Santos, Eng. Ildomar Schneider Tavares, Fernando F. Flain Junior, Darci Roggia e ao professor Eng. Odilon Pâncaro Cavalheiro, os quais , com dedicação, empenho pessoal e amizade, possibilitaram a elaboração desta pesquisa;

Aos Engenheiros Paulo Obregon do Carmo (Diretor do Laboratório de Materiais de Construção Civil) e Rinaldo J.B. Pinheiro (Coordenador do Curso de Pós-Graduação), pelas importantes colaborações;

À Sociedade Vicente Pallotti, fabricante de blocos estruturais, que, na pessoa do seu diretor, Pe. Cláudio, e do amigo João Carlos Pissutti, cooperaram com o fornecimento do material para a pesquisa;

Aos Irmãos Ciocari & Cia. Ltda, fabricantes da argamassa industrializada Fida, que, na pessoa do Eng^o Paulo Anversa e do amigo Gíofredo Barros, colaboraram com a pesquisa por intermédio do fornecimento do material;

Aos Servidores Eliomar Balduino Pappis, por agilizar os trâmites legais junto à instituição; Marialva Cezar, Vitor, João e a toda a equipe do LMCC, aos bolsistas Giancarlo Giacomini, Ricardo Juliano Rippel e Luciano Bolzan e ao pedreiro Giovane Cardoso da Silva, importante no auxílio e na confecção dos ensaios;

A muitas outras pessoas, que contribuíram, de alguma forma, com minha pesquisa, sou imensamente grato. Agradeço a todos por participarem dessa importante etapa de minha vida.

RESUMO

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

INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSAMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PEQUENAS PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA

AUTOR: IVAIR PASQUALI

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ MARIO DOLEYS SOARES

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2007.

O presente trabalho tem com objetivo principal analisar a influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica. Para o estudo, foram utilizados dois tipos de blocos cerâmicos (paredes maciças e paredes vazadas), três tipos de argamassa (2, 4 e 10 MPa) e dois tipos argamassamento: pleno – quando os blocos são assentados com argamassa em todas as suas paredes (superfície de contato) e longitudinal – quando o bloco é assentado com argamassa colocada somente em dois filetes longitudinais (paredinhas externas do bloco). Os tipos de blocos e de argamassas foram caracterizados individualmente através de diversos ensaios específicos de norma e posteriormente foram confeccionadas de 72 pequenas paredes. As pequenas paredes tinham dimensões 140 mm x 450 mm x 900 mm sendo: altura de 4 fiadas + 1 canaleta “u” baixa de 9 cm – comprimento de 1 bloco e meio – largura de um bloco. Os blocos das extremidades das paredes foram montados já capeados com pasta de cimento. A análise dos resultados mostrou que, para a argamassa de 2 MPa, bloco de paredes maciças e argamassamento pleno, a resistência média é de 4,68 MPa e, para a argamassa de 10 MPa, mantendo-se as demais condições, a resistência média aumenta para 6,57 MPa (40,4%). Já para a argamassa de 2 MPa, bloco de paredes maciças e argamassamento longitudinal, a resistência média é de 2,90 MPa e, para a argamassa de 10 MPa, mantendo-se as demais condições, a resistência média aumenta para 3,33 MPa (14,8%).

Palavras-chave: alvenaria estrutural; argamassa; assentamento; bloco cerâmico; pequenas paredes.

ABSTRACT

Masters Dissertation
Post-Graduation Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

INFLUENCE OF THE TYPE OF MORTAR BEDDING TO THE COMPRETION RESISTENCE OF SMALL STRUCTURE MANSONRY WALLS

AUTHOR: IVAIR PASQUALI

ADVISER: PROF. DR. JOSÉ MARIO DOLEYS SOARES

Date and place of presentation, February 28th, 2007; Santa Maria, RS-Brasil

The present work has as its main objective to analyze the influence of the mortar bedding in the resistance to compression of small structure masonry walls. For this study were used two types of ceramic blocks (bulk wall blocks and hollow wall blocks), three types of mortar (2 Mpa, 4 Mpa and 10 Mpa) and two types of mortar bedding: whole bedding – when the blocks are bedded with mortar in all contact surfaces and longitudinal bedding – when the blocks are bedded with only two longitudinal lines (external thickness of the block). Two types dos blocks and mortar were individually characterized through various specific norms tests and afterwards 72 small walls were built. The small walls were built with the pattern dimension of 140 mm x 450 mm x 900 mm being 4 rows in height + “u” low channel – length of one and a half blocks and width of one block. The blocks at the extremities of the walls were already mounted bathed in a cement paste. The analyses of the results show that for the 2 Mpa mortar, bulk wall block and whole bedding the average resistance is 4.68 Mpa and for the 10 Mpa mortar considering the same conditions the average resistance increases to 6.57 Mpa (40.4%). For the 2 Mpa mortar, hollow wall blocks and longitudinal mortar bedding the average resistance is 2.9 Mpa and for the 10 Mpa mortar, considering the same conditions the average resistance increased to 3.33 Mpa (14.8%).

Key-words: Structural masonry; Mortar; Mortar Bedding; Ceramic Block; Small Walls.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Resistência à compressão característica da alvenaria, construída com blocos vazados com relação h/t entre 2 e 4 (BS 5628 part 1)	30
FIGURA 2.2 – Tipo de blocos estudados no Building Technology Laboratory (GANESAN e RAMAMURTHY, 1988)	33
FIGURA 2.3 – Unidades ensaiadas à compressão (PRADO, 1995).....	34
FIGURA 2.4 – Tensões nos blocos ou tijolos e na argamassa na compressão simples	39
FIGURA 2.5 – Relação entre as tensões de compressão e tração em bloco ou tijolo na ruptura	40
FIGURA 2.6 – Deformação lateral dos blocos e argamassa de assentamento submetido à compressão simples	41
FIGURA 2.7 – Strain Gages: a) de colagem superficial; b) de embutir	46
FIGURA 2.8 – Extensômetros mecânicos fixos (maruto): utilizados em corpos-de-prova de 25x50 Cm (montados para ensaios)	47
FIGURA 2.9 – Extensômetro mecânico comparador fixo com medidores digitais: utilizados nos corpos-de-prova desta dissertação	48
FIGURA 2.10 – Representação esquemática dos módulos de elasticidade: Tangente (Eig)' Tangente Inicial (E.) e Secante (Esec.n)	49
FIGURA 2.11 – Curva tensão-deformação típica de concretos	51
FIGURA 3.1 – Demonstrativo da pequena parede de blocos maciços, argamassa na longitudinal, com canaletas “u” e furos da 1ª fiada grauteada	64

FIGURA 3.2 – Demonstrativo da pequena parede de blocos maciços, argamassa plena, com canaletas “u” e furos da 1º fiada grauteada	65
FIGURA 3.3 – Demonstrativo da pequena parede de blocos vazados com argamassa na longitudinal, com canaleta “u” e furos da 1º fiada grauteada	65
FIGURA 3.4 – Demonstrativo da pequena parede de blocos vazados, argamassa plena, com canaletas “u” e furos da 1º fiada grauteada	66 67
FIGURA 3.5 – Argamassa industrializada para ensaios acondicionada sob palete .	
FIGURA 3.6 – Blocos estruturais cerâmicos de parede maciça e com parede vazada	68
FIGURA 3.7 – Corpos-de-prova de argamassa industrializada de 50 mm x 100 mm.....	68
FIGURA 3.8 – Corpos-de-prova de argamassa industrializada 4 cm x 4 cm x 16 cm	69
FIGURA 3.9 – Bloco com parede maciça submetido ao ensaio de resistência à prensa	70
FIGURA 3.10 – Bloco parede vazada submetido ao ensaio de resistência à prensa	70 71
FIGURA 3.11 – Blocos sendo submetidos ao ensaio de dimensões nominais ..	
FIGURA 3.12 – Blocos sendo submetidos ao ensaio de inspeção por medida direta	72 73
FIGURA 3.13 – Corpos-de-prova cilíndricos de diferentes argamassas	73
FIGURA 3.14 – Ruptura de corpo-de-prova	74
FIGURA 3.15 – Seqüência de dosagem da argamassa	74
FIGURA 3.16 – Corpos-de-prova sendo moldados e adensados	75
FIGURA 3.17 – Corpos-de-prova desmoldados	75
FIGURA 3.18 – Seqüência ensaio de ruptura à tração na flexão	76
FIGURA 3.19 – Seqüência ensaio de resistência à compressão axial	77
FIGURA 3.20 – Seqüência da execução das pequenas paredes	
FIGURA 4.1 –Seqüência das pequenas paredes sendo submetidas ao ensaio e resistência à compressão	85 87
FIGURA 4.2 – Módulo de deformação – dispositivo de ensaio	
FIGURA 4.3 – Módulo de deformação – bloco de parede maciça – argamassa 2 MPa	87

FIGURA 4.4 – Módulo de deformação – bloco de parede vazada – argamassa 2 MPa	88
FIGURA 5.1 – Valores das resistências à compressão dos blocos vazados	90
FIGURA 5.2 – Valores das resistências à compressão dos blocos maciços	91
FIGURA 5.3 – Valores das resistências à compressão axial da argamassa de 2 MPa	92
FIGURA 5.4 – Valores das resistências à compressão axial da argamassa de 4 MPa	92
FIGURA 5.5 – Valores das resistências à compressão axial da argamassa de 10 MPa	93
FIGURA 5.6 – Valores das resistências à tração na flexão das argamassas de 2, 4 e 10 MPa	93
FIGURA 5.7 – Relação entre as resistências médias à tração na flexão e na compressão axial das argamassas de 2, 4 e 10 MPa	94
FIGURA 5.8 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 2 MPa	95
FIGURA 5.9 – Resistência à compressão axial - argamassa plena e longitudinal de 2 MPa – bloco vazado	96
FIGURA 5.10 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas - argamassa plena de 2 MPa	97
FIGURA 5.11 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas argamassa longitudinal de 2 MPa	97
FIGURA 5.12 – Pequenas paredes – comparativo de resistências para argamassa de 2,0 MPa	98
FIGURA 5.13 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 2 MPa	98
FIGURA 5.14 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 4 MPa	99
FIGURA 5.15 – Resistência à compressão axial - argamassa plena e longitudinal de 4 MPa – bloco	100
FIGURA 5.16 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas - argamassa plena de 4 MPa	100
FIGURA 5.17 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas - argamassa longitudinal de 4 MPa	101

FIGURA 5.18 – Pequenas paredes - comparativo de resistências para argamassa de 4,0 MPa	102
FIGURA 5.19 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 4MPa	102
FIGURA 5.20 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 10 MPa	103
FIGURA 5.21 – Resistência à compressão axial - argamassa plena e longitudinal de 10 MPa	103
FIGURA 5.22 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas - argamassa plena de 10 MPa	104
FIGURA 5.23 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas - argamassa longitudinal de 10 MPa	105
FIGURA 5.24 – Pequenas paredes - comparativo de resistências para argamassa de 10 MPa	105
FIGURA 5.25 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 10 MPa	106
FIGURA 5.26 – Módulos de deformação – argamassas 2 MPa, 4 MPa e 10 Mpa	106

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – Resistência à compressão das argamassas da Norma Britânica (BS 5628)	30
TABELA 2.2 – Valores de resistência para blocos e paredes	33
TABELA 2.3 – Resistência à compressão de blocos	53
TABELA 2.4 – Tolerâncias de fabricação	54
TABELA 2.5 – Exigências mínimas das argamassas	60
TABELA 2.6 – Traços das argamassas de assentamento	61
TABELA 2.7 – Especificações dos traços das argamassas	61
TABELA 3.1 – Número de pequenas paredes a serem ensaiadas .	64
TABELA 4.1 – Precisão dimensional – blocos vazados	79
TABELA 4.2 – Dimensões nominais – blocos vazados	79
TABELA 4.3 – Resistência à compressão – blocos vazados	80
TABELA 4.4 – Ensaios dimensionais – blocos de paredes maciças	80
TABELA 4.5 – Dimensões nominais blocos cerâmicos de paredes maciças	81
TABELA 4.6 – Resistência à compressão - blocos estruturais de paredes maciças .	81
TABELA 4.7 – Resistência à compressão simples – argamassa industrializada (2 MPa)	82
TABELA 4.8 – Resistência à compressão simples – argamassa industrializada (4 MPa)	83
TABELA 4.9 – Resistência à compressão simples – argamassa industrializada (10 MPa)	83
TABELA 4.10 – Resistência à tração na flexão – argamassa – 2 MPa	83
TABELA 4.11 – Resistência à tração na flexão – argamassa – 4 MPa	84

TABELA 4.12 – Resistência à tração na flexão – argamassa – 10 MPa	84
TABELA 4.13 – Resistência à compressão – pequenas paredes – argamassa de 2 MPa	85
TABELA 4.14 – Resistência à compressão – pequenas paredes – argamassa de 4 MPa	86
TABELA 4.15 – Resistência à compressão – pequenas paredes – argamassa de 10 MPa	86
TABELA 4.16 – Módulo de deformação – Pequenas paredes blocos de parede maciça e vazada	88
TABELA 5.1 – Módulo de deformação segundo algumas pesquisas nacionais, valores em MPa. Modificado de Parsekian (2002)	107
TABELA 5.2 – Fator de eficiência	110
TABELA 5.3 – Valores de eficiência – experiência brasileira	110

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{ak}	resistência característica da argamassa à compressão
f_{bm}	resistência média do bloco à compressão(calculado na área bruta)
f_{bk}	resistência característica do bloco à compressão (calculado na área bruta)
f_b	resistência característica do Prisma (pequenas paredes) (calculado na área bruta)
f_b	resistência à compressão do bloco(calculado na área bruta)
f_a	resistência à compressão da argamassa
f_k	resistência característica da parede
σ_b	tensão no bloco
σ_a	tensão da argamassa
$f_{alv,c}$	tensão máxima admissível de cálculo para a parede
E_b	módulo de elasticidade do bloco

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
ASTM	American Society for Testing and Materials
BIA	Brick Institute of América
BS	British Standard
BSI	British Standard institute
CIENTEC	Fundação de Ciência e Tecnologia
GPDAE	Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LMCC	Laboratório de Materiais e Construção Civil
NBR	Norma Brasileira
NCMA	National Masonry Concrete Association
NEPAE	Núcleo de Estudos e Pesquisas da Alvenaria Estrutural
UFRS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Ensaio das argamassas	124
ANEXO B – Ensaio dos blocos de paredes maciças e vazadas	131

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE SÍMBOLOS	14
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	15
LISTA DE ANEXOS	16
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 Considerações iniciais	20
1.2 Objetivo principal	22
1.3.Objetivos específicos	22
1.4 Hipóteses	23
1.5 Justificativa e relevância do estudo	23
1.6 Estrutura do trabalho	26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 Introdução	27
2.2 Conceituações preliminares	27
2.3Fatores que influenciam na resistência da alvenaria	29
2.3.1 Resistência do bloco	29
2.3.2 Resistência da argamassa	30
2.3.3 Espessura das juntas horizontais	31
2.3.4 Geometria da unidade	31
2.3.5 Tipo de assentamento	35

2.4 Resistência à compressão da alvenaria	35
2.5 Ruptura na alvenaria	38
2.5.1 Critério de Hilsdorf	39
2.5.2 Critério de Lenczner	40
2.5.3 Modos de ruptura em alvenaria estrutural	41
2.6 Deformações e módulo de elasticidade	42
2.6.1 Extensômetros elétricos de resistência tipo Carlson	43
2.6.2 Extensômetros elétricos tipo Strain Gages	45
2.6.3 Extensômetros de medição mecânicas	46
2.7 Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson	48
2.8 Características dos materiais componentes da alvenaria	51
2.8.1 Bloco cerâmico	51
2.8.1.1 Efeitos do processo de fabricação no desempenho mecânico do bloco	53
2.8.2 Prisma	55
2.8.3 Pequenas paredes ,“paredinhas” (prisma contrafiado)	57
2.8.4 Argamassa de assentamento	59
2.8.5 Resistência à tração da alvenaria	61
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	63
3.1 Considerações iniciais	63
3.2 Metodologia empregada	64
3.3 Planejamento dos ensaios	66
3.3.1 Materiais utilizados	66
3.3.1.1 Água	66
3.3.1.2 Argamassa industrializada	66
3.3.1.3 Bloco cerâmico	67
3.3.1.4 Corpos-de-prova de argamassa industrializada	68
3.4 Ensaio de bloco	69
3.4.1 Ensaio de resistência à compressão de blocos cerâmicos	69
3.4.2 Ensaio de dimensões nominais de blocos cerâmicos	71
3.4.3 Ensaio de precisão dimensional de blocos cerâmicos	71
3.5 Ensaio das argamassas industrializadas	72
3.5.1 Ensaio de resistência à compressão axial de argamassa industrializada .	72
3.6 Execução das pequenas paredes	76

4 RESULTADOS DOS ENSAIOS	78
4.1 Considerações iniciais	78
4.2 Resultados dos ensaios dos blocos	78
4.2.1 Resultados dos blocos estruturais cerâmicos vazados	78
4.2.2 Resultados dos blocos estruturais cerâmicos de paredes maciças	80
4.3 Resultados das argamassas industrializadas	82
4.3.1 Ensaio de resistência à compressão axial	82
4.3.2 Ensaio de resistência à tração na flexão de argamassa industrializada	83
4.4 Resultados dos ensaios das pequenas paredes	84
4.5 Módulos de deformação	86
5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	89
5.1 Introdução	89
5.2 Análise dos resultados	89
5.2.1 Análise dimensional e visual	89
5.2.2 Resistência à compressão de blocos cerâmicos vazados, NBR 6461	89
5.2.3 Resistência à compressão de blocos cerâmicos de paredes maciças	90
5.2.4 Análise dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial das argamassas industrializadas	91
5.2.5 Resistência à tração na flexão de argamassa industrializada	93
5.2.6 Resistência à compressão axial de prismas (pequenas paredes) de blocos de paredes maciças e vazadas	95
5.2.7 Módulos de deformação	106
5.2.8 Eficiência	109
6 CONCLUSÕES	111
6.1 Conclusões	111
6.2 Sugestões para outros estudos	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
ANEXOS	123

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A vantagem básica do processo da alvenaria estrutural está no fato de que um mesmo elemento pode responder por diversas funções, atuando com a capacidade de resistir às tensões e como divisor de ambientes. Para Franco (1993), este fato resulta em inúmeras vantagens do ponto de vista construtivo, que possibilitaram a racionalização desse processo, com todos os benefícios que isso acarreta. Outro aspecto significativo é que a alvenaria estrutural permite facilmente a incorporação à construção de conceitos de industrialização e racionalização, com conseqüente melhoria de qualidade.

Apesar de todo o progresso conquistado para propiciar maior conforto ao homem, ainda o problema da habitação é um desafio difícil e permanente. As elevadas taxas de crescimento demográfico, aliadas aos pequenos índices de renda da população, apresentam-se como fatores agravantes deste desafio.

Esse problema social aumenta, principalmente, à medida que nos grandes centros as correntes migratórias se intensificam. O migrante, procurando melhores condições de vida, muda-se para as cidades, onde ter um local para morar é de fundamental importância.

Roman (1983) cita como as maiores vantagens do método construtivo: a economia que resulta quando comparadas com as estruturas de aço ou concreto, a maior rapidez, a facilidade de execução e sua propriedade para usos com grandes variedades funcionais. Além disso, o material cerâmico apresenta alto grau de proteção ao fogo, com bom isolamento térmico e acústico, proporcionando boas condições de habitabilidade, o que começa a ser no Brasil uma preocupação.

Gonçalves (1997) comenta que, mesmo com esta grande influência sobre a economia brasileira, há, atualmente, um déficit habitacional de aproximadamente cinco milhões de moradias. “Ano após ano, ele é agravado pela ausência de políticas habitacionais que venham a implementar uma solução viável para suprir as necessidades do país” (ALY e SABBATINI, 1994, p. 115).

Ainda, outra característica marcante da indústria da construção civil no

Brasil é o desperdício de insumos que, segundo Picchi (1993), está em torno de 30% em relação ao custo total das edificações, considerando o volume de entulho retirado, bem como o entulho que é incorporado no próprio processo construtivo, em função da necessidade de correções de problemas de níveis, prumos, etc.

Esse é um dos fatores que geram a busca de novas tecnologias, pois se acredita que, incorporadas a elas, estarão melhores condições de controle da obra. Outro fator de peso para estas mudanças é a própria demanda de um maior número de habitações. Sendo assim, as novas técnicas apresentam também maiores chances de incrementar a produtividade da mão-de-obra.

A alvenaria estrutural deve ser entendida como um sistema em que paredes atuam simultaneamente como elemento de vedação e estrutural, podendo ser armada ou não, sendo executada com blocos de concreto, cerâmicos ou silico-calcários.

As técnicas construtivas utilizadas atualmente, pelas empresas de construção civil, no que se refere à construção de edifícios, além de apresentarem alto custo, nem sempre determinam desempenho satisfatório das edificações em utilização, não propiciando, muitas vezes, a satisfação do usuário. Diversos fatores contribuem para o crescimento constante desse problema, entre os quais merecem destaque: aplicações inadequadas de materiais de construção, ausência de mão-de-obra qualificada, assim como de diretrizes construtivas, e alto índice de desperdícios.

Na busca de eficiência e produtividade foram tentadas, nos últimos anos, muitas soluções. Dentre as poucas experiências de sucesso destacam-se os processos em alvenaria estrutural, os quais se tornaram predominantes na construção habitacional de interesse social (FRANCO, 1993, p. 10).

O uso da alvenaria estrutural aumentou muito no Brasil nas últimas três décadas. O seu emprego hoje não se restringe somente a “construções populares”. Atualmente, esse uso desponta como uma alternativa técnica e economicamente viável para o grande déficit habitacional existente no Brasil. Isso se deve ao grande número de pesquisas que estão sendo feitas desde a década de 70, refletidas pelo número de eventos e publicações sobre o assunto.

Esse sistema construtivo parece ser ideal para a realidade brasileira, pois necessita de mão-de-obra de fácil aprendizado, possui elevado potencial de racionalização, não exige grandes investimentos e imobilização de capital para a

aquisição de equipamentos.

Todavia, existe a necessidade de realizar pesquisas para caracterização dos materiais, devido à grande variabilidade desses e em função das condições específicas do Brasil. Ressalta-se que o método construtivo está servindo de parâmetro para a elaboração de uma norma específica no caso de alvenaria de blocos estruturais cerâmicos.

O desenvolvimento de pesquisas no campo tecnológico da produção de blocos estruturais, como também o desenvolvimento e acompanhamento de metodologias para a execução de obras são, sem dúvida, o caminho para o avanço tecnológico deste sistema (MEDEIROS e SABBATINI, 1993, p. 10).

A utilização de novas tecnologias, as quais trazem redução no consumo de mão-de-obra, menor desperdício de materiais e melhores condições de trabalho, deve ser convenientemente estudada. Sabe-se que, para o maior aproveitamento de todas as condições que a alvenaria estrutural pode oferecer, deve-se promover uma conscientização do meio técnico. No Brasil, alguns centros de pesquisa vêm trabalhando nessa área, a citar: CIENTEC (UFRGS), GPDAE (UFSC), FEC (UNICAMP), NEPAE (UNESP), UESCAR, UFSC.

1.2 Objetivo principal

O trabalho procura dar a sua contribuição através do estudo da influência da junta plena com a longitudinal de argamassa com três composições, de resistências de 2, 4 e 10 Mpa, na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica não armada, de blocos maciços e vazados, enfatizando os conceitos a partir dos resultados dos ensaios obtidos a esforços verticais axiais.

1.3 Objetivos específicos

- a) determinar e avaliar o comportamento da resistência à compressão de pequenas paredes de blocos estruturais cerâmicos maciços e vazados com argamassa de três resistências, de 2, 4 e 10 Mpa nas juntas plenas e na longitudinal;
- b) verificar a influência das três composições de argamassa, 2, 4 e 10 Mpa, nas juntas plenas e longitudinais, na resistência à compressão de blocos maciços e

- vazados nas pequenas paredes, enfatizando os fatores e as tendências conhecidas no sistema construtivo da alvenaria estrutural;
- c) comparar as cargas de ruptura das pequenas paredes, quando são assentadas com argamassas plenas e quando são assentadas com argamassa longitudinal, com as três composições de argamassas, 2, 4 e 10 Mpa com e os dois tipos de blocos, maciços e vazados, mostrando a diferença da resistência à compressão desses elementos.

1.4 Hipóteses

- a) O argamassamento, nas pequenas paredinhas longitudinais dos blocos maciços e vazados, influi na resistência à compressão em relação ao comportamento do que as todas preenchidas plena;
- b) O comportamento do bloco de parede maciço e parede vazado, como unidade, difere no comportamento de pequenas paredes;
- c) Para se estimar o comportamento real da alvenaria, é necessária a realização de ensaio de pequenas paredes.
- d) As argamassas de composições de três resistências 2, 4 e 10 Mpa e os blocos maciços e vazados de duas geometrias diferentes, os quais apresentam melhor desempenho, podem ser mais viáveis na execução da alvenaria estrutural;
- e) O argamassamento nas paredes assentadas plenas, em relação às assentadas longitudinais, difere no desempenho, na resistência, na economia de material, no tempo e na estanqueidade da parede.

1.5 Justificativa e relevância do estudo

A alvenaria estrutural vem assumindo, nos últimos anos, importante posição no mercado brasileiro da construção habitacional. Quando bem utilizada, minimiza índices de desperdício e, por esse motivo, vêm crescendo o interesse e aplicação desse tipo de alvenaria por parte das construtoras. Mesmo sem o total domínio da tecnologia, as construtoras estão visualizando, nesse sistema, uma alternativa muito competitiva para a construção de habitações.

O setor de cerâmica vermelha tem, aproximadamente, o mesmo perfil em quase todos os estados do Brasil (ANICER-2004). Esse perfil mostra um grande

potencial, aliado às empresas de pequena capacidade tecnológica e de investimentos e, conseqüentemente, com a fabricação de produtos (blocos) de baixa qualidade. Ao mesmo tempo, encontram-se, praticamente em todas as regiões, jazidas de argila em qualidade e quantidade suficientes para justificar investimentos econômicos e científicos na área.

Nesse sentido, o desenvolvimento de materiais adequados para o uso em alvenaria estrutural fará com que a indústria cerâmica aumente a sua competitividade.

A qualidade da alvenaria estrutural depende dos materiais a serem empregados e de suas técnicas. Logo, melhorar a qualidade da alvenaria está intimamente ligado à busca de materiais que permitam ao conjunto um melhor desempenho. Assim, o desenvolvimento de pesquisas que otimizem o uso de produtos cerâmicos para a alvenaria estrutural poderá auxiliar no desenvolvimento deste importante setor industrial.

Para muitos materiais estruturais, pode-se adotar ou adaptar tecnologias desenvolvidas em outros países, podendo-se aplicar os mesmos procedimentos de cálculo e construção e as mesmas especificações dos materiais quando se objetiva produzir estruturas econômicas e seguras. Tem-se como exemplo o concreto armado. Contudo, esse não é o caso da alvenaria estrutural, com blocos cerâmicos, uma vez que as diferenças existentes entre as unidades dos diversos países fazem com que a tecnologia da alvenaria não possa ser simplesmente copiada (ANICER-2004).

No Brasil, por um problema estrutural ou mesmo de cultura, diversos tipos de blocos são fabricados sem ou quase nenhum conhecimento sobre o comportamento estrutural que apresentam. Além do desconhecimento do desempenho mecânico na compressão desses blocos, para uso dos projetistas, não se pode afirmar qual tipo de bloco possui melhor eficiência estrutural nem melhor eficácia.

O desempenho mecânico é avaliado tanto do ponto de vista da segurança, em relação ao estado limite, quanto do ponto de vista de utilização. Com relação à utilização, são consideradas características como a deformação do elemento, fissuras e demais falhas que possam comprometer outras exigências, como a estanqueidade à água e a durabilidade.

As características do bloco, ou da alvenaria, relacionadas ao desempenho térmico, acústico e vedação não serão abordadas neste trabalho.

É praticamente aceito por todo o meio científico que o principal elemento resistente das paredes de alvenaria é o bloco. Ele é, basicamente, o determinante da sua resistência. Dessa forma, a resistência da alvenaria cresce, de forma considerável, com a resistência dos blocos, enquanto que a resistência da argamassa tem influência quando mantida à devida proporção de resistência entre as duas unidades- argamassa/bloco.

Dentro desse contexto, algumas questões devem ser levantadas: por que são usadas as formas de argamassamento atuais? Existem condicionantes técnicos para o argamassamento longitudinal das pequenas paredes de blocos? Quais são? Seriam simetria, espessura de paredes, tipo de septo, espessura dos septos, largura de argamassa utilizada na longitudinal, argamassamento pleno?

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o comportamento à compressão das alvenarias das pequenas paredes de blocos estruturais cerâmicos maciços e vazados, argamassados com três composições de resistência 2, 4 e 10 Mpa, executadas nas juntas plenas e nas juntas longitudinais, procurando empregar, nos dados obtidos, os fatores de eficiência e eficácia, tendências conhecidas no sistema construtivo da alvenaria estrutural.

Para a realização dos ensaios, optou-se por blocos maciços e vazados estruturais da Cerâmica Pallotti, parceira na pesquisa. Esses blocos, com duas diferentes geometrias, estão sendo analisados em uma tese de doutorado, junto com argamassa industrializada Fida.

Vários pesquisadores afirmam que a resistência dos blocos é importante devido ao assentamento na argamassa, sem, contudo, caracterizar seu grau de importância. Espera-se que os resultados obtidos nesse trabalho contribuam de uma forma geral para o setor, na escolha de como proceder no assentamento dos blocos estruturais nas edificações brasileiras.

Esse sistema construtivo parece ser ideal para a realidade brasileira, pois necessita de mão-de-obra de fácil aprendizado, possui elevado potencial de racionalização e não exige grandes investimentos e imobilização de capital para a aquisição de equipamentos.

1.6 Estruturas do trabalho

O trabalho está estruturado em seis capítulos:

- Capítulo 1** – descreve os objetivos a que se propõe a pesquisa, a justificativa, as hipóteses admitidas e a importância do trabalho;
- Capítulo 2** – apresenta uma revisão da literatura, que abrange o comportamento dos componentes da alvenaria estrutural na compressão (bloco e pequenas paredes), os fatores que interferem na sua resistência, o modo e o tipo de ruptura, o módulo de deformação que ocorre na alvenaria, sua eficiência e eficácia. Também estabelece os componentes da alvenaria estrutural - bloco e argamassa;
- Capítulo 3** – define a metodologia e descreve os materiais da pesquisa a ser seguida para a realização do trabalho;
- Capítulo 4** – expõe os resultados da pesquisa feita com os ensaios dos componentes da alvenaria estrutural – blocos e argamassa;
- Capítulo 5** – analisa e interpreta os resultados da pesquisa, considerando as diferentes características dos materiais utilizados. Avalia, igualmente, os métodos descritos no terceiro capítulo com base nos resultados experimentais;
- Capítulo 6** – apresenta as conclusões finais e recomenda pesquisas que poderiam ser feitas em futuros trabalhos;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

A alvenaria é um material que, em sua forma tradicional, é constituído por blocos unidos por argamassa. Por ser um material composto, anisotrópico e heterogêneo, surgem dificuldades de se estabelecer o seu comportamento.

Existem várias maneiras de se determinar a resistência à compressão da alvenaria, podendo ser através de ensaios de blocos, prismas, pequenas paredes e paredes ou através de equações resultantes de teorias, baseadas em dados experimentais.

2.2 Conceituações preliminares

Com o objetivo de estabelecer uma linguagem comum, são apresentadas a seguir algumas definições:

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

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

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

Argamassa Plena: usada para unir as unidades da alvenaria, que, se aplicada em todos os septos do bloco, influi na formação das juntas horizontais longitudinais e em dois cordões verticais nos bordos e nas extremidades do bloco para formação das juntas transversais horizontais.

Argamassa Longitudinal: utilizada para unir as unidades da alvenaria. Deve ser

aplicada somente nas paredes externas do bloco, no sentido longitudinal, para a formação das juntas horizontais longitudinais, e em dois cordões verticais nos bordos.

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

Área Argamassada: área da seção correspondente à área ocupada pela argamassa de assentamento.

Área Bruta (A_b): área da seção de assentamento, delimitada pelas arestas do bloco, sem desconto das áreas dos furos, quando existirem. É resultado da multiplicação das dimensões das dimensões externas de uma face da unidade.

Área Líquida (A_{liq}): área da seção de assentamento, delimitada pelas arestas do bloco, com desconto das áreas dos furos, quando houver. É o valor que se obtém ao subtrair da área bruta a área referente aos vazios contidos na mesma face.

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

Bloco cerâmico: segundo a NBR 15270-2: 2005, é um componente de alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que o contêm. Os blocos cerâmicos são classificados de acordo com suas resistências à compressão, sendo a argila o material básico de sua fabricação.

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

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

Índice de Esbeltez: relação entre a altura e a espessura do corpo-de-prova.

Fator de eficiência: definido como a relação entre a resistência à compressão axial

da parede (f_p) pela resistência do bloco (f_b). $\frac{f_p}{f_b}$

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.

Módulo de elasticidade: definido como o coeficiente de proporcionalidade entre tensão e deformação sob um carregamento. É uma propriedade que define como se dá a transferência de tensões entre os diferentes materiais.

Módulo de elasticidade tangente: dado pela declividade de uma reta tangente à curva tensão-deformação, em relação a qualquer ponto da reta.

Módulo de elasticidade secante: neste trabalho, será considerado como sendo o valor obtido pela declividade de uma reta traçada da origem a um ponto da curva tensão-deformação correspondente a 30 % da carga de ruptura.

Resistência à compressão axial da alvenaria: valor limite da capacidade da alvenaria de suportar cargas verticais aplicadas ao longo do seu plano axial longitudinal, termo, às vezes, abreviado para resistência ou resistência à compressão.

Pequenas paredes, “paredinhas”: corpo-de-prova de alvenaria moldado com pelo menos três fiadas, compostas de três blocos mais três meios blocos estruturais, unidos entre si e sobrepostos no sentido de amarração, (contrafiados) solidarizados com argamassa industrializada ou feita in loco.

2.3 Fatores que influenciam na resistência da alvenaria

Existem vários fatores que influenciam na resistência à compressão da alvenaria. No entanto, nesta pesquisa, abordar-se-ão apenas os fatores principais.

2.3.1 Resistência do bloco

A resistência da alvenaria à compressão cresce consideravelmente com a resistência dos blocos. Entretanto, o aumento de resistência das alvenarias não é linearmente proporcional ao aumento de resistência dos blocos.

Roman (1983), com relação ao fator de eficiência, observou que esse fator diminui com o aumento da resistência da unidade. A BS5628: Part 1 (1992) estabelece as curvas de crescimento da resistência da parede com a resistência do bloco, como mostra a figura 2.1.

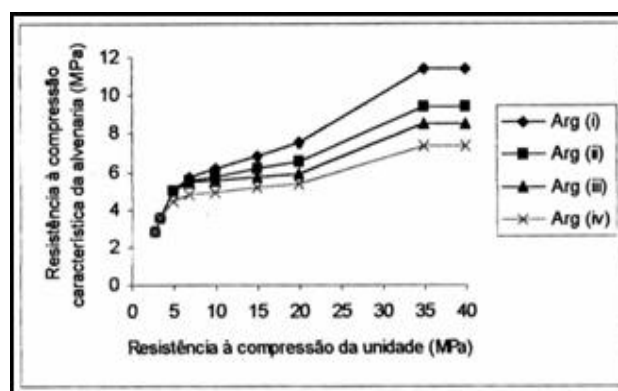


FIGURA 2.1 – Resistência à compressão característica da alvenaria, construída com blocos vazados com relação h/t entre 2 e 4 (BS 5628 part 1).

TABELA 2.1 – Resistência à compressão das argamassas da Norma Britânica (BS 5628).

Tipo	Traço em Volume	Resistência	
		Laboratório	Situ
i	1:0 à ¼:3	16 MPa	11 MPa
ii	1:½ 4 à 4,5	6,5 MPa	4,5 MPa
iii	1:1:5 à 6	3,6 MPa	2,5 MPa
iv	1:2:8 à 9	1,5 MPa	1,0 MPa

FONTE: BS 5628 part 1.

2.3.2 Resistência da argamassa

Estando o mecanismo de ruptura da alvenaria intimamente ligado à interação entre unidade e junta, o comportamento mecânico das argamassas é relevante, embora alguns pesquisadores não defendam isso. (RAMAMURTHY E GANESAN, 1992).

A influência da resistência à compressão da argamassa aumenta com o aumento da qualidade do bloco e conseqüente aumento das tensões admissíveis. Contudo, esse aumento de resistência da argamassa gera um aumento menos significativo que aquele ocasionado pela maior resistência dos blocos.

Gomes (1974) conclui que a resistência da argamassa deve se situar entre 0,7 a 1,0 da resistência do bloco. Ao se 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.

Quanto maior a diferença de deformação específica entre a unidade e a argamassa, maior o diferencial de deformação entre os materiais, ocasionando um aumento das tensões de tração nas unidades e, com isso, uma ruptura da alvenaria com cargas menores.

2.3.3 Espessura das juntas horizontais

Diversas pesquisas indicam que a espessura ideal da junta horizontal é de 1 cm. Valores menores, que teoricamente gerariam alvenarias mais resistentes, não são recomendáveis, pois a junta não consegue absorver as imperfeições das unidades.

Espessuras maiores que 1 cm causam diminuição da resistência das alvenarias devido ao aparecimento de tensões maiores de tração lateral nas unidades.

Sahlin apud Roman (1983) diz que a resistência da alvenaria diminui em 15% para cada aumento de 3 mm na espessura da junta e vice-versa.

Segundo Francis apud Gomes (1974), é comprovado que a resistência da parede decresce com o aumento da espessura da junta horizontal.

2.3.4 Geometria da unidade

Com os blocos vazados, a disposição e o tipo de furos podem acarretar grandes concentrações de tensões, reduzindo a resistência e conduzindo a falhas frágeis.

Com o objetivo de definir o tipo de arranjo experimental que melhor defina o comportamento das paredes de alvenaria, Ramamurthy e Ganesan (1992) realizaram um estudo analítico, através do método dos elementos finitos, sobre o comportamento da alvenaria de blocos de concreto. Nesse estudo, tais autores consideraram a influência de: diferentes geometrias, diferentes arranjos e propriedades das argamassas.

Os resultados e conclusões que eles obtiveram foram os seguintes:

- com relação aos blocos, surge um alívio de tensões verticais num intervalo entre 5 cm acima e 5 cm abaixo do centro do prisma, sendo o ponto mínimo de

- compressão o centro do prisma;
- blocos de três furos produzem níveis de tensão maiores que os de dois furos e distribuição de tensões diferentes;
 - a distribuição de tensões em blocos de dois furos estruturalmente eficientes se assemelha mais à de três furos do que à de dois convencionais. Na região próxima ao centro do prisma, as tensões permanecem constantes, não se observando o alívio citado anteriormente;
 - com relação ao septo, a diferença de comportamento entre os três tipos de blocos analisados é mais evidente quando esses são assentados com junta amarrada.

Tensões de compressão são bem maiores em blocos convencionais de dois furos que nos estruturalmente eficientes, a não ser no meio do prisma, onde ocorre um alívio da tensão vertical.

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

Abiko (1994) estudou a influência do formato dos blocos cerâmicos em sua resistência à compressão. Como resultado de sua pesquisa, concluiu que a resistência à compressão da face lateral dos blocos de furos redondos é menor que a dos blocos de furos quadrados.

Shrive (1983), após pesquisar o mecanismo de ruptura da alvenaria e a distribuição de tensões no bloco e na alvenaria, chegou à seguinte conclusão: a busca de uma geometria adequada para o bloco é importante para que se consiga um melhor desempenho de ambos, bloco e alvenaria. Em seu estudo, propõe três tipos de blocos, testando unidades, prismas de três blocos e paredes de três blocos de largura e seis de altura, utilizando argamassa somente nas paredes laterais, com junta alternada:

- 1) *blocos com furos alinhados* - afunilamento de 0,8 % e septo central com espessura igual a duas vezes as paredes do bloco mais 10 mm, volume de concreto igual ao volume do bloco padrão. Esses blocos apresentaram resistências apenas um pouco superiores (8%) ao padrão. Os prismas executados com blocos propostos foram significativamente mais resistentes (30%) que os tradicionais. A resistência das paredinhas foi superior àquelas construídas com blocos tradicionais. Tal diferença, porém, não se mostrou significativa.

2) *blocos com furos ondulados* - desenvolvidos a partir do anterior, a espessura das paredes laterais e septo foram aumentadas de forma a aumentar a área do centro dos blocos.

Esse tipo de bloco foi 5% menos resistente, não significativamente, enquanto que as capacidades resistentes dos prismas e das paredinhas foram bem mais expressivas, 27,7% e 24,4% respectivamente.

3) *bloco F (Fin Block)* - Esse bloco proposto apresenta reentrâncias, com uma área 14,4% menor, não tendo o autor chegado a uma conclusão quanto a tal geometria.

Shrive (1983) defende que existem vantagens em aumentar a espessura dos septos, reduzir o afunilamento dos furos e alinhar os furos.

Ganesan e Ramamurthy (1992) afirmam que o fator de eficiência varia conforme a forma do bloco e o tipo de assentamento. Em algumas formas de blocos e tipos de arranjo, aparecem concentrações de tensões que reduzem a resistência à compressão da alvenaria.

Os autores anteriores fazem comentários a respeito de estudos realizados na Índia, no Building Technology Laboratory, nos quais foram testadas três formas diferentes de blocos. Os blocos tipo A foram assentados com argamassa apenas nas faces, e os demais foram argamassados nas faces e nos septos.

A figura 2.2 mostra os tipos de blocos estudados. Os valores de resistência para blocos e paredes podem ser vistos na tabela 2.2.

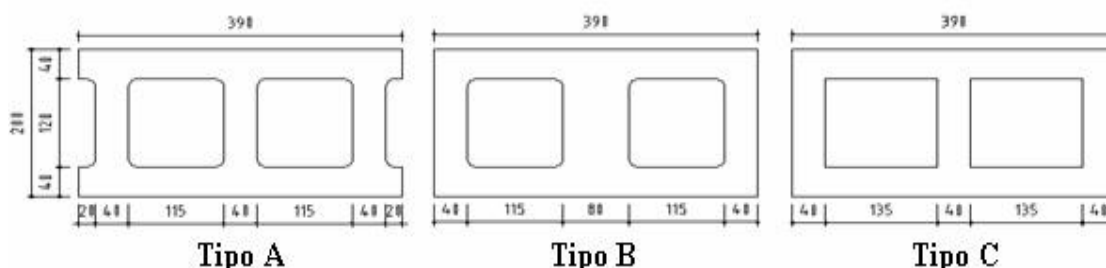


FIGURA 2.2 – Tipo de blocos estudados no Building Technology Laboratory (GANESAN e RAMAMURTHY, 1988).

TABELA 2.2 – Valores de resistência para blocos e paredes.

Bloco	f_{bk} (MPa)	f_{wk} (MPa)	Fator de Eficiência
A	3,30	1,46	44,24 %
B	5,10	3,33	65,29 %
C	4,94	2,91	58,91 %

FONTE: Ganesan e Ramamurthy (1992).

Conforme Ganesan e Ramamurthy (idem) é necessário que a forma do bloco seja repensada a fim de que se aumente a eficiência de blocos estruturais. Esses pesquisadores propõem que sejam utilizados blocos cujo septo central seja igual ao dobro da lateral mais a espessura da junta, conseguindo-se, dessa forma, o alinhamento dos furos. Os referidos estudiosos também realizaram uma análise por elementos finitos em 3D.

As conclusões a que os autores chegaram foram:

- o bloco “racionalizado” tipo B é melhor que os outros;
- a análise de tensões indica concentração de tensões e variações bruscas dessas nos blocos convencionais, enquanto que, nos blocos “racionais”, a variação é suave.

Gomes (1974) constatou que a resistência dos blocos cerâmicos de vedação de furos circulares é apenas 12% da resistência dos mesmos blocos de furos retangulares, quando ambos são ensaiados com as cargas normais aos furos e assentados segundo a menor face. Nos ensaios realizados com paredes, concluiu que a resistência das paredes de blocos cerâmicos com furos circulares é 50% da resistência das paredes construídas com blocos de furos retangulares.

Prado (1995) investigou a resistência à compressão de cinco unidades (blocos) diferentes e também elementos (prismas) confeccionados com essas unidades. As unidades utilizadas são mostradas na figura 2.3.

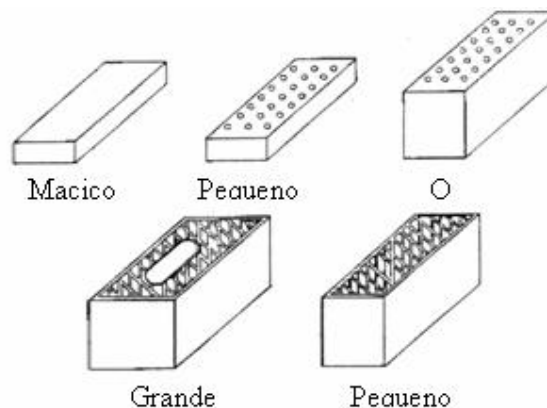


FIGURA 2.3 – Unidades ensaiadas à compressão (PRADO, 1995).

Como conclusões, o autor diz que não foi possível estabelecer com clareza uma tendência de maior rendimento da unidade pela geometria ou pela altura da unidade.

Entretanto, com o aumento das dimensões das unidades, a resistência à compressão do bloco se aproxima da resistência do prisma. (PRADO, idem)

Os resultados obtidos deixam claro o risco da generalização de resultados feitos com determinado tipo de unidade para um universo de tipos mais amplo e de unidades com comportamentos desconhecidos.

2.3.5 Tipo de assentamento

O tipo de assentamento igualmente é um fator que pode alterar a resistência da alvenaria. A ausência de argamassa, nas paredes laterais dos blocos, provoca uma concentração de tensões nessas paredes, causando a redução na resistência do prisma ou das pequenas paredes.

Ganesan e Ramamurthy (1992), utilizando o método dos elementos finitos para estudar o comportamento de prismas com diferentes tipos de assentamento, chegaram à conclusão que a colocação de argamassa somente nas paredes laterais dos blocos, por imposição ou não da geometria do bloco, implica no surgimento de grandes concentrações de tensões nas paredes transversais dos blocos. Nesse caso, a fissuração inicia na parede transversal central. Através da simulação computacional, puderam observar que, se a colocação da argamassa era realizada em todo o bloco, essas concentrações de tensões eram eliminadas.

Colville e Wolde-tinsae (1990) estudaram a influência do tipo de assentamento na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto. Foram analisados 224 prismas, sendo 115 prismas com argamassamento lateral e 109 prismas com argamassamento total. Com base nessa pesquisa, os autores puderam concluir que:

- a resistência à compressão dos prismas vazados deve ser calculada com base na área de assentamento;
- a resistência à compressão dos prismas vazados (calculada em relação à área de assentamento da argamassa) é aproximadamente 8% menor para prismas com assentamento total do que para prismas com assentamento lateral.

2.4 Resistências à compressão da alvenaria

Considerando que o principal esforço atuante nas alvenarias é o de

compressão, embora elas também sejam submetidas a esforços de tração, flexão e cisalhamento, numerosas pesquisas têm sido realizadas tentando estabelecer de maneira analítica a resistência à compressão da alvenaria de blocos.

O desenvolvimento de modelos matemáticos, que expliquem o comportamento da alvenaria, é dificultado por ser essa um material composto por materiais de propriedades elásticas diferentes, tornando-se um material heterogêneo e anisotrópico.

O esforço e a deformação, na ruptura do prisma, correspondem a um valor intermediário entre os valores correspondentes do bloco e da argamassa que compõem o prisma.

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:

$$f_m = \frac{\sigma_y}{K_1} \quad (2.1)$$

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

Priestley e Yuk adotaram a mesma equação de Hilsdorf, sugerindo adotar um valor de 1,5 para o coeficiente K_1 :

$$f_m = 5,91(0,1f_{cb} + 0,01284 f_a) \quad (2.2)$$

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

$$f_m = 8,08(0,1f_{cb} + 0,01460 f_a) \quad (2.3)$$

onde: f_{cb} = resistência à compressão do bloco

f_a = resistência à compressão da argamassa

Khalaf et al. (1994), baseados em resultados experimentais, propõem a equação abaixo para prismas de blocos de concreto, grauteados ou não em relação à área bruta.

$$f_m = 0,3 \cdot f_b + 0,2 \cdot f_a + 0,25 \cdot f_g \quad (2.4)$$

onde: f_m = resistência à compressão da alvenaria (área bruta)

f_b = resistência à compressão do bloco (área bruta)

f_a = resistência à compressão da argamassa

f_g = resistência à compressão do graute

Mohamad (1998) estabelece equações para indicar a resistência da alvenaria de blocos de concreto não grauteados em função da rigidez entre os materiais. A resistência à compressão dos prismas, em função da resistência da argamassa, é dada pela primeira equação a seguir; já a resistência do prisma, em função da resistência à tração do bloco, é dada pela segunda equação.

$$F_m = f_a \cdot 0,5794 \cdot (E_a/E_b)^{-1,1093} \quad (2.5)$$

$$F_m = f_{bt} \cdot [5,4491 \cdot (E_a/E_b)^2 + 3,6377 \cdot (E_a/E_b) + 10,219] \quad (2.6)$$

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

A norma brasileira NBR 10837/89 prevê o cálculo em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, mas não existe norma brasileira específica para bloco cerâmico. As cargas admissíveis, para compressão de paredes de alvenaria não armada, são calculadas através do critério das tensões admissíveis, usando a resistência à compressão média de prismas contrafiados.

A Norma Britânica, BS 5628 part 1, não estabelece diferenças entre alvenarias de blocos cerâmicos ou de concretos. A resistência característica à compressão da alvenaria f_k pode ser obtida através de duas maneiras:

- a) 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;
- b) através de correlações empíricas, tendo por base a resistência da unidade e o tipo de argamassa a serem empregados.

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

$$f_k = \frac{F_m}{A} \times \frac{\Psi_u \Psi_m}{1,2} \quad (2.7)$$

onde: F_m - média da carga máxima de dois painéis teste;

A - área da secção transversal de qualquer painel;

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

Ψ_u - 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. À medida que se aumenta a resistência do bloco a ser usado, essa influência passa a ser significativa.

A equação abaixo é estabelecida pelo código europeu, EUROCODE 6, para determinação da resistência característica da alvenaria à compressão:

$$F_k = k \cdot f_b^{0,75} \cdot f_a^{0,25} \quad (2.8)$$

onde: k = é um coeficiente

f_a = resistência à compressão média da argamassa

f_b = resistência à compressão média da unidade;

$k = 0,4 \cdot \varphi$

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

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

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

2.5 Ruptura na alvenaria

Para a elaboração de modelos de ruptura das paredes que sejam realistas, devem ser considerados os possíveis modos de ruptura devido à tração, ao cisalhamento, à flexão e aos esforços combinados.

A alvenaria é um elemento composto pela união de componentes heterogêneos, o que dificulta o desenvolvimento de modelos matemáticos que

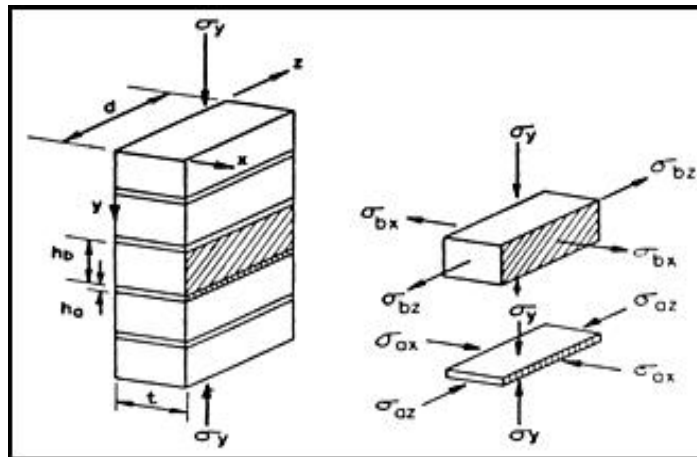
expliquem fielmente o seu comportamento estrutural.

Vários pesquisadores têm aprovado equações na tentativa de estabelecer teoricamente o modo de ruptura que acontece na alvenaria. Os dois principais critérios, os quais descrevem a ruptura na alvenaria submetida à compressão, são os critérios de Hilsdorf e de Lenczner. Tais critérios são semelhantes, assumem as mesmas hipóteses. Entretanto, Hilsdorf se baseia nas tensões, e Lenczner se baseia na compatibilidade de deformações.

2.5.1 Critério de Hilsdorf

Hipóteses consideradas:

- os blocos ou tijolos são maciços, e toda a área das faces maiores encontra-se assentada em argamassa, existindo perfeita aderência entre ambos;
- a distribuição de tensões de tração é uniforme ao longo da altura da unidade;
- os esforços de tração laterais são iguais nas direções x e z;
- a relação linear de Coulomb entre o valor da resistência à tração uniaxial e da resistência à compressão uniaxial, definindo a envoltória de ruptura biaxial do tijolo (bloco) submetido ao carregamento triaxial.

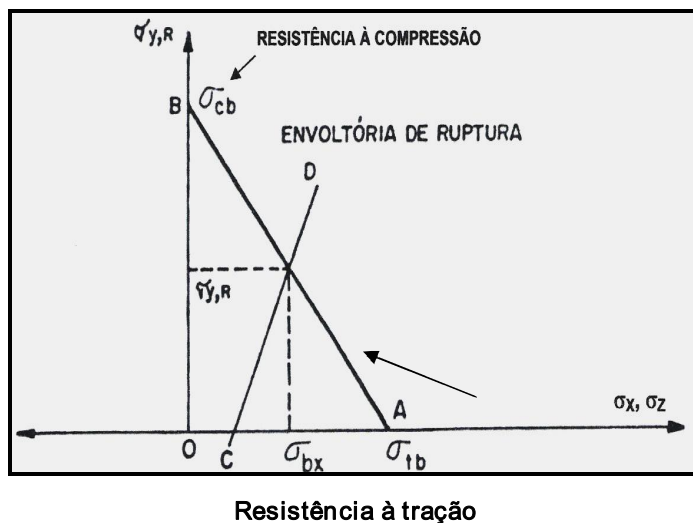


FONTE: Gomes, 1974.

FIGURA 2.4 – Tensões nos blocos ou tijolos e na argamassa na compressão simples.

Esse critério permite chegar a valores quantitativos. Na figura 2.5, a linha CD representa o esforço de compressão na argamassa, sendo que sua resistência

aumenta com o nível de compressão lateral. A interseção dessa reta com a reta de Coulomb, AB, a qual define a envoltória de ruptura, causará a ruptura do prisma. Admite-se, nesse critério, que, ao mesmo tempo, o bloco rompe sob estado biaxial (tração-compressão) e a argamassa sob estado triaxial de compressão.



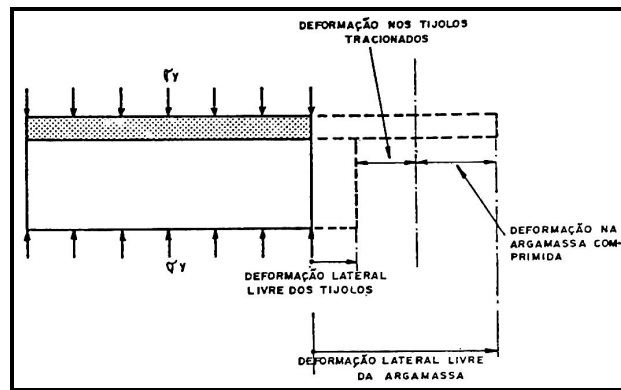
FONTE: Gomes (1974).

FIGURA 2.5 – Relação entre as tensões de compressão e tração em bloco ou tijolo na ruptura.

2.5.2 Critério de Lenczner

O critério de Lenczner, apresentado em Gomes (1974), considera a contribuição da argamassa de assentamento na resistência da alvenaria, baseando-se na compatibilidade de deformações entre os elementos componentes da alvenaria, bloco e argamassa.

A figura 2.6 explica esse critério de compatibilidade de deformações. Nela, é possível notar que 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.



FONTE: Gomes (1974).

FIGURA 2.6 – Deformação lateral dos blocos e argamassa de assentamento submetido à compressão simples.

2.5.3 Modos de ruptura em alvenaria estrutural

Gomes (1974) concluiu que a ruptura usual, em paredes de bloco cerâmico submetido à compressão, caracteriza-se pela ruptura dos blocos. Porém, quando ocorre o emprego de argamassas com baixa resistência, a ruptura pode ocorrer por esmagamento de uma de suas fiadas.

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

- tração no bloco, em que a tensão de tração principal no bloco é maior que a resistência à tração do bloco;
- esmagamento do bloco, no qual a tensão principal de compressão no bloco é maior que a resistência à compressão do bloco;
- esmagamento da argamassa, em que a tensão de compressão axial na argamassa é maior que a resistência à compressão da argamassa.

Conforme Monk (1967), os resultados obtidos, em testes de laboratório de alvenaria não armada, mostraram, em praticamente todos os casos, que a ruptura ocorre no bloco cerâmico pelo fendilhamento vertical, ocasionado quando as tensões de tração ultrapassam a resistência à tração da unidade. Quando unidades cerâmicas são ensaiadas à compressão, o prato de aço, por ser muito mais rígido que o bloco, produz, nessas deformações, laterais de compressão, o que ocasiona a ruptura por cisalhamento.

2.6 Deformações e módulo de elasticidade

De acordo com Andrade (1997), as variações de comprimento que ocorrem no concreto são provocadas por diversos fatores. Elas podem ocorrer devido à expansão ou contração do concreto endurecido, resultante das seguintes causas: embebição, secagem, variações de temperatura ou do fenômeno autógeno resultante de reações químicas no interior do concreto. A deformação autógena não deve ser confundida com a contração plástica, a qual ocorre no concreto fresco antes do início de sua pega.

À temperatura constante, o gel de cimento formado no concreto endurecido, durante a reação de hidratação, aumenta de volume quando absorve umidade e retrai quando libera essa umidade na secagem. Tais expansões e retrações do gel, causadas pela embebição e secagem, respondem pela maioria das variações de comprimento no concreto. Por exemplo, corpos-de-prova curados em ambiente continuamente úmido mantêm seu comprimento original, enquanto corpos-de-prova mantidos em uma atmosfera de umidade relativa de 50% e temperatura constante de 23°C podem retrair-se entre 0,04% e 0,07% em um só ano. Por outro lado, a retração por secagem é afetada por muitos fatores, entre eles temperatura, umidade, dosagem e materiais constituintes, notadamente as variações dos tipos litológicos de rocha.

A variação de comprimento autógena, resultante das reações de hidratação da pasta de cimento, quando medida em corpos-de-prova, requer que esses não tenham nenhum impedimento de se contrair ou se expandir. É necessário que estejam selados e sejam mantidos em salas ou ambientes com temperatura constante.

Outra causa de variação de comprimento de interesse é produzida por esforços aplicados rapidamente (ensaios de módulo de elasticidade e capacidade de deformação com carregamento rápido), ou nos ensaios em que esses esforços são mantidos por longos períodos (ensaios de fluência e capacidade de deformação com carregamento lento).

As expansões devidas às reações alcali-agregado ou aos sulfatos, que afetam a durabilidade do concreto, constituem-se outras causas de variações de comprimento nas estruturas de concreto.

A medição de deformações no concreto, para a realização de determinados

ensaios em laboratório, reveste-se de características específicas, inerentes às medições de variações de comprimento em função dos diversos os tipos de corpos-de-prova utilizados.

Não se pretende, neste capítulo, abordar com muita abrangência os vários métodos empregados para a medição de deformação, mas mostrar apenas os procedimentos adotados, para as medições das variações de comprimento na realização da pesquisa.

Como o assunto "medição de deformação" é rico de informações na literatura especializada, qualquer pormenor, que requeira maior detalhamento, poderá ser encontrado em bibliografia específica.

Os seguintes procedimentos utilizados para medição de deformação serão abordados:

- medição de deformação utilizando extensômetros elétricos de resistência tipo Carlson;
- medição de deformação utilizando extensômetros elétricos de resistência variável tipo Strain Gages, cujo elemento sensível pode ser formado por "fio" ou lâmina de uma liga metálica (metal-filme), conhecido por "foil";
- medição de deformação utilizando-se extensômetros mecânicos.

2.6.1 Extensômetros elétricos de resistência tipo Carlson

Esses extensômetros se baseiam na propriedade que os materiais condutores apresentam de variar de resistência elétrica quando são deformados.

Os medidores tipo Carlson utilizam dois princípios eletromecânicos distintos: o da variação da tensão em um fio, que provoca alteração da resistência elétrica, e o da variação da alteração da temperatura de um fio, o qual causa o mesmo efeito.

Assim, fixando-se intimamente um fio condutor na superfície externa de uma peça ou estrutura, pode-se acompanhar, a partir de então, suas deformações, apenas medindo a variação de resistência elétrica do condutor.

A solicitação mecânica que produz a variação na resistência elétrica do fio condutor deriva da deformação local da estrutura a que o fio está solidário. Isto é, a experiência mostra que a deformação $E = \Delta/L$ corresponde a uma variação unitária de resistência $\Delta R/R$ que, dentro de amplos limites, é sensivelmente proporcional à deformação do fio.

Um problema fundamental, nessa técnica de medição de deformação, é justamente garantir a perfeita transmissão de deformação entre a estrutura e o fio condutor.

O extensômetro elétrico resistivo tipo Carlson é constituído por um tubo de latão (ou outra liga semelhante), com forma de um cilindro alongado, fechado nos dois extremos por dois flanges, que fazem a sua ancoragem no concreto que o envolve. No interior do cilindro, existem duas hastes de aço ligadas diretamente aos flanges, que formam a estrutura do aparelho. Tais hastes são livres para se deslocarem uma em frente a outra, quando se varia o afastamento das extremidades do aparelho. Nessas hastes, são fixados pequenos isoladores de porcelana, nos quais estão enrolados fios de aço, formando duas bobinas. Tais fios possuem diâmetro de 0,06 mm e são mantidos a uma tensão de tração de 700 Mpa.

A deformação da peça é aplicada ao extensômetro, em suas extremidades, e transferida mecanicamente aos elementos sensíveis. Esses elementos sensíveis são dois enrolamentos de fio de aço esticados, de comprimentos e resistências iguais. Esses fios possuem deformações iguais, em valor absoluto, mas de sinais contrários.

As relações entre as resistências não são afetadas por variações simultâneas de temperatura, porque as bobinas sofrem variações em porcentagens iguais.

O extensômetro funciona também como termômetro. A temperatura é medida tomando-se a soma das resistências das bobinas. A referida soma não é afetada materialmente pela variação na resistência, devido a mudanças de comprimento, pois o acréscimo de uma compensa o decréscimo da outra, quando se somam. A resistência dos extensômetros é cerca de 70 ohms a 21,0°C, aumentando cerca de 1ohm para cada 5,0 °C de acréscimo de temperatura.

Os extensômetros tipo Carlson possuem dimensões variáveis, possibilitando, desta forma, que sejam empregados de acordo com a finalidade a que se destinam na medição das deformações nas estruturas, ou conforme a dimensão máxima característica do agregado, em laboratório.

A amplitude, ou seja, o valor máximo da deformação que o extensômetro pode registrar, é ajustada na fábrica para dois terços na compressão, para os extensômetros do grupo A, e para dois terços a três quartos para os do grupo M. Quando houver necessidade, a amplitude pode ser especificada para o fabricante com o intuito de ajustá-la igualmente à compressão e à tração.

2.6.2 Extensômetros elétricos tipo Strain Gages

Os Strain Gages abrangem os extensômetros elétricos de "fio", assim como os denominados "foil" (lâmina), nos quais o material da base é constituído de liga de metal filme estabilizada (constantan). Esses extensômetros podem ser colados às superfícies dos materiais ou também embutidos em corpos-de-prova; nesses casos, obedecendo aos mesmos critérios adotados para os extensômetros tipo Carlson de embutir.

O princípio básico de operação dos extensômetros microrresistivos tipo Strain Gages é similar ao dos extensômetros Carlson. Os materiais dos condutores elétricos possuem uma sensibilidade à deformação, definida como a relação da variação da resistência elétrica relativa do condutor para a variação relativa de seu comprimento, podendo ser considerados como medidores de deformação.

A sensibilidade de deformação é função das variações dimensionais, ocasionadas quando o condutor é esticado elasticamente, gerando alguma variação na resistividade básica do material com a deformação.

A sensibilidade à deformação F pode ser estabelecida em função das variações dimensionais, admitindo que a resistividade permaneça constante. Se o condutor é esticado elasticamente, haverá uma variação de seu comprimento (ΔL), que será associada à redução na seção transversal de sua área, devido ao coeficiente de Poisson. tais efeitos são aditivos no acréscimo da resistência do condutor. Admitindo um coeficiente de Poisson μ de 0,3, o fator de medição será cerca de 1,6 para as ligas comumente utilizadas em extensômetros.

A sensibilidade à deformação, no entanto, é variável para os vários materiais, mostrando valores extremos entre -12 (níquel) a +6 (platina), sendo que, para o constantan, é de +2,1.

O valor do fator de medição, para uma determinada série de Strain Gages (obtido através de testes de calibração), é dado pelo fabricante. A maioria dos Strain Gages modernos é ajustada adequadamente ao fator de medição, possibilitando a medição da deformação diretamente.

A figura 2.7 mostra os tipos de Strain Gages mais comuns utilizados nos ensaios.

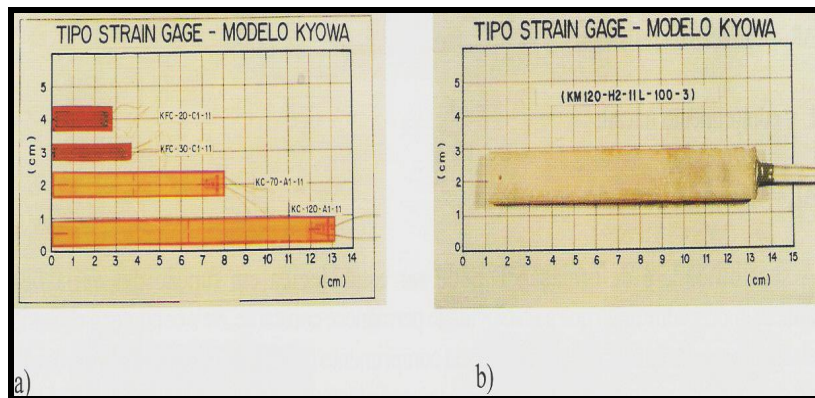


FIGURA 2.7 – Strain Gages: a) de colagem superficial; b) de embutir.

2.6.3 Extensômetros de medição mecânica

A medição de deformações ou deslocamentos é de fundamental importância no campo da engenharia, pois abrange operações básicas, tais como o controle dimensional de peças pela técnica da medição diferencial, as pesquisas experimentais, a transdução de várias grandezas físicas (força, pressão, torque, temperatura etc.), ou ainda a medição de deslocamentos lineares ou angulares.

De modo geral, os medidores mecânicos, juntamente com os medidores elétricos (analógicos ou digitais), os pneumáticos e os eletroóticos, compõem os sistemas de transdução de medidores de deslocamento ou deformação.

Dentre os processos ou sistemas de transdução existentes, os extensômetros mecânicos são os mais tradicionais. São dispositivos que, em princípio, apresentam ponteiros que se fixam em dois pontos do corpo a ser deformado e ampliam o movimento de deslocamento desses pontos, quando ocorre a deformação, através de um sistema de alavancas ou engrenagens, acoplado a um relógio comparador ou a um dispositivo qualquer de registro, no qual é indicado o movimento.

Os referidos extensômetros medem a variação de comprimento DL , cujo valor, dividido por L , dá a deformação específica ou relativa.

Conforme o tipo de extensômetro mecânico, podem-se medir deformações de 10×10^{-6} a 100×10^{-6} , sendo essas deformações causadas somente por tensões estáticas, não sujeitas a variações bruscas. Compõem o grupo de medidores mecânicos, ou genericamente extensômetros mecânicos, em especial, os denominados alongômetros ou também comparadores de comprimento.

Os alongômetros podem ser do tipo fixado aos corpos-de-prova, por meio de

estribos ou de garras; móveis, que são posicionados em pontos de referência preestabelecidos dos corpos - de prova; ou ainda de base fixa ou estrutura rígida, nos quais são posicionados os corpos-de-prova. Nesse último caso, as bases de medida são fixadas nas extremidades dos corpos-de-prova.

A figura 2.8 mostra alguns tipos de medidores mecânicos que são fixados aos corpos-de-prova e mantidos somente durante a realização dos ensaios.

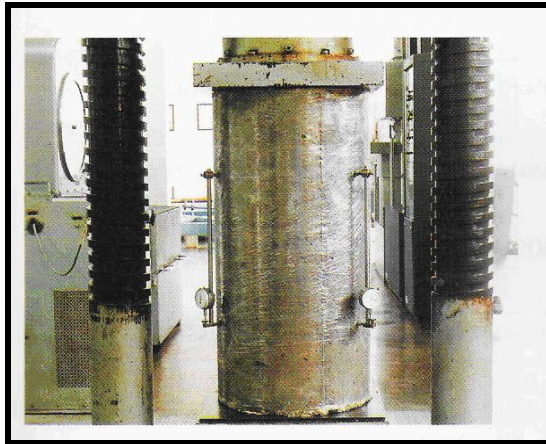


FIGURA 2.8 – Extensômetros mecânicos fixos (maruto): utilizados em corpos-de-prova de 25x50 Cm (montados para ensaios).

Dentre os medidores fixados aos corpos-de-prova, destacam-se os utilizados em ensaios para determinação do módulo de elasticidade ou capacidade de deformação (em corpos-de-prova prismáticos), ambos para carregamentos rápidos.

No caso do ensaio de módulo de elasticidade, em corpos-de-prova cilíndricos de diâmetro igualou maior que 20 cm, em geral, são usados medidores individuais fixados aos corpos-de-prova e dispostos entre si, formando ângulos de 120° ou, mais freqüentemente, para corpos-de-prova de 15 cm x 30 cm, o dispositivo denominado "compressômetro-expansômetro".

Para medições longitudinais, em corpos-de-prova com comprimento igual ou superior a 50 cm, pode ser utilizado um dispositivo fixo ao corpo-de-prova, como mostrado na figura 2.9 abaixo.



FIGURA 2.9 – Extensômetro mecânico comparador fixo com medidores digitais: utilizados nos corpos-de-prova desta dissertação.

Esses medidores são utilizados principalmente nos ensaios para determinação do módulo de elasticidade. Tal dispositivo consiste de dois pinos, rosqueados em bases embutidas nos corpos-de-prova. Essas bases são posicionadas junto à parede interna dos moldes, ficando assim embutidas e faceando as geratrizes do corpo-de-prova quando deformado.

Para o posicionamento do dispositivo de medição, utiliza-se uma barra de invar, fixa em um dos pinos, na qual é acoplado o extensômetro mecânico. O pino inferior serve para manter o alinhamento da barra e possui, em sua extremidade, uma base chata, a qual permite o contato com o cursor do extensômetro.

2.7 Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson

O conhecimento do módulo de elasticidade é fundamental na análise das deformações elásticas ou viscoelásticas das estruturas de concreto.

Quando se aplica uma carga de compressão num determinado corpo-de-prova de concreto, produz-se uma deformação proporcional à tensão aplicada, dentro do limite elástico, conforme a Lei de Hooke. A relação entre o incremento de tensão e o incremento de deformação é chamada de módulo de elasticidade "E". Esse módulo de elasticidade é determinado de acordo com os métodos NBR 8522 da ABNT 111 ou ASTM C 469 121.

Para tensões moderadas, o concreto segue, com boa aproximação, a lei de Hooke, sendo que, nos mais resistentes, a zona aproximadamente elástica é maior

do que nos menos resistentes.

Os concretos muito resistentes têm maior inclinação na origem da curva tensão x deformação. Por outro lado, os concretos menos resistentes rompem com deformações maiores, apresentando, assim, maior capacidade de acomodação plástica. Os concretos muito resistentes são, por conseguinte, relativamente frágeis.

O conhecimento do gráfico tensão-deformação na compressão permite a obtenção do módulo de elasticidade. Várias maneiras têm sido utilizadas para a determinação do módulo de deformação específico dos componentes da alvenaria. No caso dos elementos de alvenaria, sua determinação normalmente é feita através do gráfico tensão-deformação para uma carga equivalente a 50 % da carga última, para se ter o comportamento linear do componente (prismas ou pequenas paredes). Para blocos cerâmicos ou mesmo de concreto, não existem ensaios normalizados, os quais determinem o módulo de elasticidade.

O módulo de elasticidade é uma medida da resistência à deformação elástica do material. Embora o concreto não seja verdadeiramente um material elástico, e o gráfico tensão de formação, para incrementos contínuos de carga em geral, tenha a forma de uma linha com uma suave curvatura, para fins práticos, é considerado linear, dentro do campo das tensões normalmente adotadas.

O módulo de elasticidade estático é obtido carregando-se o corpo-de-prova e observando-se a deformação elástica correspondente a cada incremento de carga.

A figura 2.10 mostra o plano de carga módulo de elasticidade diagrama tensão deformação a efetuar (*).

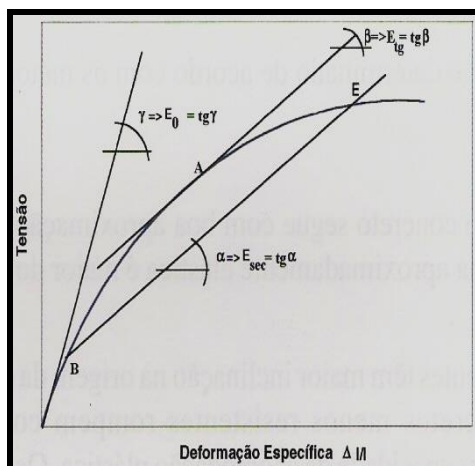


FIGURA 2.10 – Representação esquemática dos módulos de elasticidade: Tangente (E_{ig}) Tangente Inicial (E.) e Secante ($E_{sec.n}$).

Tangente Inicial na Origem (A) Sem tração do diagrama I Tangente inicial em um ponto simulando estrutura previamente submetida a genérico (A) carregamentos e descarregamentos (8) 11 Secante no primeiro carregamento (C) Simulando estrutura em seu primeiro carregamento (C) li.

A NBR 8522 considera que a tensão inicial, ponto B da curva de ensaio, é de 0,5 MPa, e a tensão considerada, para o cálculo dos diferentes módulos, de 30% da resistência à compressão do concreto; já a ASTM C-469 considera uma deformação específica inicial, ponto B da curva de ensaio, de 50×10^{-6} , considerando a tensão, para o cálculo dos diferentes módulos, de 40% da resistência à compressão do concreto (Ponto E). O cálculo de alteração de tensões, em virtude de modificação no carregamento, deve ser feito com o módulo tangente.

O módulo de elasticidade tangente poderá ser obtido determinando-se o coeficiente angular da tangente da curva, a uma dada tensão. Esse tipo de cálculo só ocorre em alguns casos, pois o valor obtido é limitado a certos critérios, como na avaliação da carga crítica de flambagem, em que o módulo de deformação a empregar será o módulo tangente à curva tensão-deformação, obtida no ensaio de compressão, no ponto correspondente a essa carga crítica.

A relação tensão x deformação, em qualquer ponto, é a declividade da secante (corda) entre a origem e o ponto no qual o módulo é determinado, devido à suave curvatura do diagrama tensão x deformação.

Geralmente, o módulo de elasticidade é obtido no trecho do diagrama tensão x deformação até uma fração do valor médio da tensão de ruptura do par de corpos-de-prova moldados para o ensaio de compressão, para a idade na qual se pretende fazer o ensaio.

A figura 2.11 mostra uma curva típica de tensão-deformação de um concreto submetido a esforços de compressão ou tração, com carregamentos e descarregamentos sucessivos.

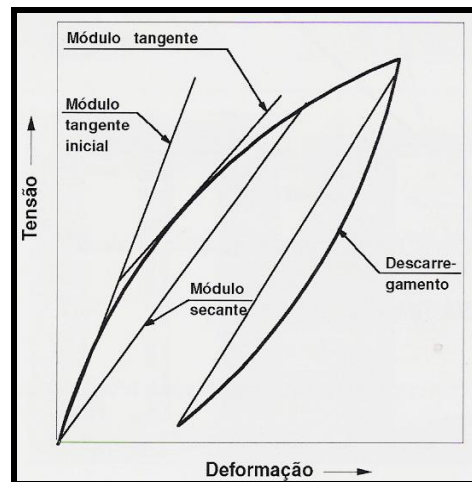


FIGURA 2.11 – Curva tensão-deformação típica de concretos.

É possível determinar o módulo tangente em qualquer ponto da curva tensão-deformação, mas ele é aplicável somente a pequenas variações do valor da tensão em torno do ponto onde se considerou esse módulo.

Um material é denominado perfeitamente elástico se as deformações aparecem ou desaparecem imediatamente com a aplicação e remoção de tensões. Essa definição não implica linearidade da relação entre a tensão e a deformação. O comportamento elástico associado a uma relação não linear entre tensão e deformação é observado, por exemplo, no vidro e em alguns minerais.

2.8 Características dos materiais componentes da alvenaria

Nesta parte do trabalho, será feita a caracterização dos componentes da alvenaria estrutural, de interesse neste estudo, os quais são: bloco cerâmico e argamassa de assentamento. Abordar-se-á também o processo de fabricação, suas características mecânicas e as especificações nacionais e internacionais.

2.8.1 Bloco cerâmico

O material constituinte das unidades cerâmicas é a argila. Ela é composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos. A argila pode ser calcária ou não. No primeiro caso, quando cozida, produz um bloco de cor amarelada. A que não é calcária contém de 2 a 10 % de óxido de ferro e feldspato e

produz uma unidade de variados tons vermelhos, que depende da quantidade do óxido de ferro.

A argila apropriada para a fabricação de blocos deve ter plasticidade quando misturada com água, de maneira que possa ser moldada, deve ter suficiente resistência à tração, para manter o formato depois de moldada, e, ainda, deve ser capaz de fundir as partículas quando queimada a altas temperaturas.

A plasticidade, a água de moldagem e o comportamento, na secagem e na queima, dependem da granulométrica e dos diversos minerais presentes.

Segundo a ABNT (P-EB-179), as argilas são compostas de partículas coloidais de diâmetro inferior a 0,005 mm, com alta plasticidade, quando úmidas, as quais, quando secas, formam torrões, dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos.

Todas as propriedades físicas dos blocos são afetadas pela composição da matéria-prima usada e pelo processo de fabricação.

O processo de preparação da matéria-prima consiste da dosagem (formulação) e mistura das argilas. A dosagem das argilas deve ser feita de forma a promover uma pasta que possua determinadas características para uma boa moldagem, secagem e queima.

Também a formulação da massa pode influenciar nas características finais do produto acabado, como a sua resistência à compressão. Podem ser obtidas unidades de baixa resistência (3 MPa) e de alta resistência (> 100 MPa).

A norma brasileira NBR 15270-2: 2005 define bloco cerâmico como o componente da alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que o contêm.

A área da sua seção transversal pode ser calculada de três maneiras diferentes, definindo-se:

Área bruta: área de qualquer uma das faces.

Área líquida: área bruta de qualquer uma das faces do bloco diminuídas da área dos vazios contidos nessa face.

Área efetiva: área da seção transversal ocupada por argamassa.

A NBR 15270- 2005 define os blocos em dois grandes grupos:

Blocos de vedação: são os blocos que não têm a função de suportar outras cargas verticais além de seu peso próprio e pequenas cargas de ocupação.

Blocos estruturais: são blocos projetados para suportarem outras cargas verticais além de seu peso próprio, compondo a estrutura e a vedação da edificação.

Tanto os blocos de vedação quanto os blocos estruturais são classificados de acordo com sua resistência à compressão definida conforme a tabela 2.3. É de lamentar a falta de uma diferenciação, nessa norma, entre blocos cerâmicos de vedação e blocos cerâmicos estruturais.

TABELA 2.3 – Resistência à compressão de blocos.

Classe	Resistência à compressão na área bruta (Mpa)
10	1,0
15	1,5
25	2,5
45	4,5
60	6,0
70	7,0
100	10,0

FONTE: NBR 7171-1992.

As normas brasileiras fixam valor muito baixo de resistência à compressão. Estudos realizados mostram que mesmo os blocos de baixíssima qualidade possuem resistência à compressão maior que a resistência de 4,0 Mpa, determinada pela NBR 6460.

2.8.1.1 Efeitos do processo de fabricação no desempenho mecânico do bloco

Aspecto

São as características visuais que têm interesse do ponto de vista estrutural e estético. As falhas visualmente perceptíveis, as quais têm reflexos na capacidade resistente das paredes, são as quebras, os trincamentos e as deformações. Do ponto de vista estético, pode-se citar a integridade das arestas e vértices, a textura da superfície, a cor, etc.

Dimensões

Quanto mais uniforme o tamanho do bloco, mais fácil será o trabalho do

pedreiro e melhor a qualidade da parede. A homogeneidade das dimensões torna-se ainda mais importante na medida em que, cada vez mais, utiliza-se a modulação da alvenaria como forma de eliminar o desperdício com quebras.

Esquadro e Planeza

A extrusão, o corte e a queima dos blocos cerâmicos fazem com que ocorram, eventualmente, distorções nesse tipo de bloco, se não houver um controle adequado na produção. Blocos no esquadro e planos facilitam o assentamento e permitem maior produtividade. Na alvenaria estrutural, a geometria tem ainda maior importância, pois o esquadro e a planeza influem na capacidade portante da parede.

Os blocos não devem apresentar defeitos sistemáticos, tais como trincas, quebras, superfícies irregulares ou deformações, que impeçam seu emprego na função especificada. A NBR 15270-2005 recomenda as dimensões nominais dos blocos, estabelecendo ainda as tolerâncias máximas de fabricação para os blocos, conforme tabela 2.4.

TABELA 2.4 – Tolerâncias de fabricação.

Dimensão	Tolerância
Largura (L)	± 5
Altura (H)	± 5
Comprimento (C)	± 5
Desvio em relação	
Ao esquadro (D)	3
Flecha (F)	3

Unid.: mm

Fonte: NBR 15270-2:2005.

Em alguns países, a experiência estrutural, combinada com a tecnologia das argilas, proporcionou a fixação de dimensões mínimas das espessuras das paredes constituintes dos blocos. No Brasil, com a última revisão da norma NBR 15270-2:2005, fixou-se a espessura mínima das paredes externas do bloco em 8mm, abaixo da espessura mínima fixada pelas normas americana e britânica.

Ressalta-se que as dimensões mínimas são importantes, pois, nos ensaios de blocos e paredes, observa-se que a ruptura se inicia pelas nervuras ou flanges em contato com as faces externas do bloco.

2.8.2 Prisma

As normas brasileira e britânica não estabelecem uma definição de prisma para bloco cerâmico. Define-se, de uma maneira geral, prisma como conjunto composto pela justaposição de dois ou mais blocos, unidos através de juntas de argamassas com 1 cm de espessura, destinados ao ensaio de compressão axial.

Os ensaios com prismas são a base para o projeto estrutural, uma vez que ensaios das unidades componentes da alvenaria não apresentam boa correlação com aqueles sob condições de utilização das estruturas. Outro cuidado que se deve tomar, ao analisar os resultados de ensaios de prismas e utilizá-los no cálculo estrutural, está relacionado às características geométricas do prisma com relação à estrutura real.

Considerando todos esses fatores, a melhor maneira de se estimar valores para as alvenarias seriam ensaios em escalas reais. Todavia, esses testes são de difícil preparação, onerosos, além de exigirem uma estrutura laboratorial sofisticada.

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas para avaliar a influência do índice de esbeltez (influência da altura e geometria do prisma) na resistência à compressão. Conforme Monk (1967), os trabalhos mais antigos sobre esse assunto datam do século XIX, *Comprehensive Tests of Brick Piers*. Ainda, segundo ele, “provavelmente o fator geométrico que maior efeito tem sobre a resistência da alvenaria é o índice de esbeltez”.

A esbeltez é obtida em função do vínculo a que a parede está submetida e pela relação h/t , onde h é a altura da parede e t é a espessura dela. A respeito disso, Monk (idem) diz que: “Se a tensão de compressão f_{mt} , for baseada na resistência de espécime com baixos valores da relação h/t (esbeltez), irá resultar em uma estimativa errônea da verdadeira resistência da alvenaria dos prismas que estão sendo testados”.

Sinha (1967) ensaiou prismas aos 28 dias de dois a seis blocos, utilizando argamassa de cimento e areia no traço 1:4 (peso) e observou que a relação entre o número de blocos no prisma e sua resistência é não-linear.

La Rovere e Soliz (1995), ao ensaiarem prismas de blocos cerâmicos à compressão, com e sem juntas verticais preenchidas, observaram que não houve

diferença significativa na resistência à compressão nos prismas com juntas de amarração quando comparados com prismas sem juntas de amarração. Com relação à altura do prisma, concluíram que, para prismas grauteados, o fator importante é a esbeltez (h/t) e observaram um decaimento exponencial da resistência do prisma com o aumento de h/t , tendendo a um valor constante para h/t maior ou igual 4. Para prisma não grauteado, houve um decréscimo significativo ao aumentar o prisma de 2 para 3 blocos na altura, mas não houve diferença significativa ao aumentar a altura do prisma de 3 para 4 blocos.

Diversos pesquisadores, como, por exemplo, Monk, Hilsdorff, Sinhá, Hendry, têm analisado o comportamento da alvenaria estrutural com blocos cerâmicos através de ensaios de blocos, prismas, paredinhas e paredes em tamanho natural, com alturas variadas. As determinações mais comuns são as capacidades resistentes a esforços de compressão axial e a deformabilidade de elementos testados.

Medeiros e Sabbatini (1993), Franco (1993), Oliveira e Pinheiro (1994), Muller (1989) e Aly (1992) recomendam que as pesquisas em alvenaria sejam realizadas empregando-se prismas com três blocos de altura.

A norma NBR 8215 (1983) cita dois métodos de preparação de prismas de concreto. No primeiro método, os prismas são moldados em laboratório, com diversos tipos de argamassa, blocos, graute. No segundo método, os prismas são moldados in loco, com os mesmos materiais e mão-de-obra em uso.

Define ainda a norma que os prismas devem ser compostos de dois blocos, unidos por uma junta de argamassa com 1 cm de espessura, e o resultado de resistência à compressão é a média do ensaio de três prismas. Essa especificação da NBR 8215 (1983) é contra a segurança, pois fornece valores maiores que os reais para a resistência da alvenaria.

Os ensaios com prismas apresentam a vantagem de serem mais rápidos e econômicos que os ensaios de paredes, além de não exigirem estrutura laboratorial muito sofisticada quanto esses últimos ensaios. Entretanto, com eles, não se obtém o real comportamento da alvenaria.

Pode-se fazer uma analogia com o concreto: o prisma é o corpo-de-prova para ensaio de compressão, assim como o cilindro é usado para ensaiar o concreto à compressão.

2.8.3 Pequenas paredes, "paredinhas" (prisma contrafiado)

Entre os séculos XIX e XX, edifícios de grande porte já eram construídos tendo como exemplo o "Monadnock", construído em Chicago, entre 1889 e 1891, com 16 pavimentos 65 metros de altura, cujas paredes inferiores possuíam 1,80m de espessura.

Os blocos cerâmicos foram desenvolvidos na Europa, em 1870, e produzidos nos Estados Unidos em 1875. Acredita-se que os primeiros ensaios de resistência de tijolos cerâmicos tenham sido executados na Inglaterra, por volta de 1818. Na Europa, em 1876, realizaram-se as primeiras tentativas de normalização dos ensaios. Entre 1882 e 1906, foram ensaiados, nos Estados Unidos, no "Watertown Arsenal", cerca de 173 pilares de alvenaria (MULLER, 1989; GOMES, 1974).

No período compreendido entre 1910 e 1928, no National Bureau of Standards (NBS), Estados Unidos, foram desenvolvidas várias pesquisas com paredes axialmente carregadas. Os ensaios em prismas surgiram, pela primeira vez, em 1929, abrindo a possibilidade de se estimar, satisfatoriamente, a resistência à compressão de paredes de alvenaria mediante ensaios nesse tipo de corpo-de-prova (STANG, 1929).

Um estudo publicado por A. Brebner, em 1923, resultado de estudos teóricos experimentais, é considerado como sendo o início da alvenaria estrutural. A partir dessa época, um grande número de pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de equacionar o comportamento da alvenaria quando chamada a desempenhar a função estrutural. Nesse curto espaço de tempo, o conhecimento sobre alvenaria cresceu muito mais do que o acumulado ao longo de vários séculos. Em 1946, o engenheiro suíço Paul Haller deu início a um conjunto de ensaios em paredes e pilares em escala natural. Esses ensaios contribuíram para um melhor aproveitamento das potencialidades dos materiais de então, possibilitando a construção de vários edifícios na Basileia e em Zurique (HALLER, 1958). O primeiro desses edifícios foi construído em 1951, possuindo 13 pavimentos, com paredes internas de 15 cm de espessura e externas de 37.5 cm. Tal edifício foi considerado, por Sahlin apud Roman (1983), o primeiro edifício em alvenaria estrutural não armada.

Esses edifícios fizeram ressurgir a confiança na alvenaria como estrutura, levando os ingleses a reverem, em 1964, sua norma que tratava do assunto, o CP-

111 de 1948. Nessa nova versão, os coeficientes de redução devido à esbelteza tornaram-se menos conservadores. Após revisado, esse código foi publicado em 1970.

Durante a década de 60, os ingleses dedicaram-se ao estudo do prisma cúbico de 229 mm com seis tijolos. Trabalhos conduzidos por Stedham (1965), Bradshaw e Hendry (1968) e West, Everil e Beech (1968), buscaram, por muito tempo, correlações entre a resistência à compressão desse tipo de corpo-de-prova e paredes em escala natural. Os resultados desses estudos, já no final da década, mostraram que o prisma cúbico era inadequado. A partir de então, passou-se a usar o prisma comum para o estudo do comportamento da alvenaria, quando submetida a diversos tipos de solicitações.

Em 1966, nos Estados Unidos, foi publicado o "Building Code Requirements for Engineered Brick Masonry", pelo Structural Clay Products Institute, hoje o Brick Institute of America (BIA), fato considerado como um marco na história da alvenaria estrutural. Posteriormente, em 1969, essas recomendações foram incluídas no "Recommended Practice for engineered Brick Masonry" do BIA.

Na década de 70, ainda nos Estados Unidos, vários trabalhos foram desenvolvidos com prismas, numa tentativa de se conhecer as influências das características dos componentes e da metodologia de ensaio sobre o comportamento da alvenaria, bem como as correlações com as resistências de paredes, a citar os trabalhos de Brown (1975), Redmond e Allen (1975).

Outros países, como a Bélgica e a França desenvolveram estudos, nos anos 70, com o objetivo de fornecer subsídios seguros para o desenvolvimento de critérios de projeto, tendo sido publicados diversos trabalhos sobre isso, como os de Résistance (1969), Schumacher (1971), realizados com prismas e painéis de paredes (pequenas paredes).

Na mesma época, os neozelandeses e australianos publicaram resultados de trabalhos experimentais sobre prismas construídos com unidades cerâmicas e de concreto, concluindo sobre a viabilidade de os prismas representarem paredes e permitirem o estudo da influência das propriedades dos componentes sobre a alvenaria. A exemplo desses trabalhos experimentais, podem ser citados os estudos de Bouolt (1976) e Anderson (1971).

Outro fato marcante, na história da alvenaria estrutural, foi a publicação da nova norma inglesa, BS-562810 Part 1: Unreinforced masonry, em 1978, substituindo

a última versão do CP-111 de 1970. Essa norma abandonou o conceito das tensões admissíveis, adotado em todo o mundo para a alvenaria, substituindo-o pela filosofia dos estados limites.

Em 1985, foi publicada a BS-562878 Part 2: Reinforced and prestressed masonry, despertando as atenções para a alvenaria protendida.

A década de 80 foi marcada por muitas pesquisas, que tiveram como objetivos: o estudo da alvenaria protendida; o comportamento global das paredes resistentes inseridas no sistema estrutural; a avaliação dos efeitos das cargas horizontais e verticais e o efeito de ações dinâmicas sobre as estruturas.

É recomendável que as paredes sejam confeccionadas com os mesmos materiais das alvenarias que pretendam representar, mantendo as mesmas características de espessura de juntas, tipo de argamassa e forma de assentamento.

Os ensaios em pequenas paredes conduzem a melhores resultados que os observados nos ensaios de unidades e argamassas, por serem mais representativos da alvenaria que as unidades isoladas Brick Institute Of America (1975). Apresentam ainda, como vantagens, a relativa rapidez de execução, o baixo custo e a simplicidade de equipamentos. Outra grande vantagem desse tipo de ensaio é a possibilidade de diversificação dos materiais a serem utilizados e das técnicas construtivas, não se prendendo a uma padronização rígida como o verificado nos ensaios anteriores. No entanto, sua utilização pressupõe o conhecimento das correlações existentes com paredes reais, executadas de forma semelhante. Deve-se observar, também, que esses ensaios geralmente são restritos ao estudo do comportamento de painéis simples (pequeno panos de alvenaria).

2.8.4 Argamassa de assentamento

A norma NBR 8798 (1985) define a argamassa de assentamento como o componente utilizado na ligação entre blocos estruturais, o qual garante a distribuição uniforme dos esforços atuantes na alvenaria e a monoliticidade do conjunto.

As argamassas são geralmente menos resistentes e mais deformáveis que os blocos, sendo o seu coeficiente de Poisson maior.

Composta por cimento, cal, areia e água, a argamassa pode ter ou não aditivo. O cimento é o principal elemento responsável por sua resistência, podendo

ser empregados vários tipos de cimento Portland.

Medeiros e Sabbatini (1993) e Gallegos (1989) afirmam que o grande interesse, na argamassa de assentamento de alvenaria estrutural, reside em aspectos como a trabalhabilidade, a consistência, a aderência e a deformabilidade. A resistência à compressão da argamassa de assentamento é um aspecto secundário, exigindo-se que a argamassa resista aos esforços a que for submetida sem que o seu desempenho fique prejudicado. Nesse sentido, a resistência à compressão exerce pequena influência na resistência da parede de alvenaria.

A BS 5628 part (1958) descreve as funções prioritárias da argamassa de assentamento:

- unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-la 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;
- selar as juntas contra a penetração de água de chuva.

Conforme a NBR 8798, as exigências mínimas de alguns pesquisadores estão descritas na tabela 2.5.

TABELA 2.5 – Exigências mínimas das argamassas.

Propriedade	Exigência
Índice de consistência	$230 \pm 10\text{mm}$
Retenção de água	$\geq 75 \%$
Resistência à compressão axial	$\geq 9 \text{MPa}$

Fonte: NBR 8798 (1985).

A BS 5628: part, 1 (1992) especifica que a fabricação e o emprego de argamassas deverão estar de acordo com as recomendações dadas na BS 5628: part 3. As proporções dos materiais e a resistência à compressão média requerida podem ser vistas na tabela 2.6.

TABELA 2.6 – Traços das argamassas de assentamento.

Aumento da resistência → Aumento da capacidade de acomodação de movimentos devidos ao assentamento, variações de temperatura	Tipo de arg.	Traço da argamassa (em volume)			Resistência média à compressão aos 28 dias (MPa)	
		Cim: cal: areia	Cimento de alvenaria: areia	Cim: areia c/ plastificante	Ensaio em laboratório	Ensaio em obra
	(i)	1:0 a ¼: 3	-	-	16,0	11,0
	(ii)	1:½:4 a 4½	1:2½ a 3½	1:3 a 4	6,5	4,5
	(iii)	1:1:5 a 6	1:4:5 a 6	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

FONTE: BS 5628 part 1 (1992).

A norma americana ASTM C 270-86b (1987) especifica o uso das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural quanto ao traço e quanto às propriedades, conforme a tabela 2.7.

TABELA 2.7 – Especificações dos traços das argamassas.

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

FONTE: ASTM C 270-86b.

2.8.5 Resistência à tração da alvenaria

Embora o esforço predominante a se considerar, nas alvenarias, seja o de compressão, dependendo da rigidez dos seus materiais constituintes, podem surgir tensões de tração nos blocos, sendo, portanto, importante a determinação da sua resistência à tração. Essa pode ser determinada por ensaios diretos e ensaios indiretos.

Considera-se que, antes da ruptura da alvenaria, ocorre a fissuração, provocada por forças de tração que se desenvolvem perpendicularmente à direção do carregamento de compressão, ocasionando uma redução na capacidade

resistente do elemento estrutural, o que pode resultar na sua ruína. Com isso, pode-se dizer que, quanto maior for a resistência do bloco à tração, maior será a capacidade de resistir a esforços de compressão por parte da parede de alvenaria.

Os ensaios indiretos têm sido preferidos, devido às incertezas obtidas nos ensaios diretos. O ensaio mais empregado é o de compressão diametral a que é submetido o corpo-de-prova, desenvolvido por **Lobo Carneiro**, conhecido como “**Teste Brasileiro**”.

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

$$F_{bt} = 0.41 \sqrt{f_b} \quad (2.9)$$

onde: F_b = Resistência à compressão do bloco em MPa.

f_b = resistência à compressão do bloco (área bruta)

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, serão apresentados o planejamento dos ensaios realizados, o uso de metodologias e equipamentos específicos para se obter o desempenho das características julgadas importantes para o sistema construtivo de alvenaria estrutural.

O objetivo do programa experimental aqui apresentado é investigar a influência do argamassamento na resistência dos elementos de alvenaria estrutural cerâmica, quando submetidos a esforços de compressão.

Estudar-se-ão dois tipos de geometria de blocos diferentes. Para isso, o programa experimental abrangerá:

- a) ensaio das unidades à compressão;
- b) construção de seis pequenas paredes, para cada geometria estudada e para cada tipo de argamassa aplicada na longitudinal e na junta plena, ensaiando-as à compressão;
- c) construção de uma pequena parede para cada geometria estudada e para cada tipo de argamassa aplicada na longitudinal e com a junta plena, submetendo-as ao ensaio de compressão instrumentada com extensômetros de medição digital para a medição das deformações.



Os ensaios em blocos e pequenas paredes serão conduzidos até ruptura, para que, através dos parâmetros obtidos, ou seja, medição dos deslocamentos, distribuição das tensões, deformações e modo de ruptura, seja feita a comparação de comportamento e resistência entre as diferentes formas geométricas analisadas e os diferentes tipos de argamassa utilizados.

Com a finalidade de avaliar o comportamento dos blocos e das pequenas paredes, através das cargas e tensões aplicadas sobre compressão axial, realizar-se-á uma análise e serão comparadas as diferentes geometrias e as diferentes formas de assentamento.

3.2 Metodologia empregada

Na realização desta pesquisa, foram ensaiados, à compressão axial simples, 84 pequenas paredes com duas geometrias diferentes de blocos contrafiados de quatro fiadas, com canela “u” baixa de 9 cm em cima grauteada para enrijecer, também foram grauteados os furos prismáticos da primeira fiada, utilizando 3 tipos de argamassa com resistências de 2 MPa, 4 MPa e 10 MPa.

TABELA 3.1 – Apresenta o número de pequenas paredes a serem ensaiadas.

Blocos	Resistência argamassas	Argamassamento pleno quantidade	Argamassamento longitudinal quantidade	Ensaio de compressão axial	Ensaio de deformação
	2 MPa	6 Unidades	6 Unidades		
	4 MPa	6 Unidades	6 Unidades	36 Unidades	6 Unidades
	10 MPa	6 Unidades	6 Unidades		
	2 MPa	6 Unidades	6 Unidades		
	4 MPa	6 Unidades	6 Unidades	36 Unidades	6 Unidades
	10 MPa	6 Unidades	6 Unidades		

A figura 3.1 mostra o modelo da pequena parede de blocos maciços com argamassa na longitudinal.



FIGURA 3.1 – Demonstrativo da pequena parede de blocos maciços, argamassa na longitudinal, com canaletas “u” e furos da 1º fiada grauteada.

A figura 3.2 expõe o modelo da pequena parede de blocos maciços com argamassa plena.



FIGURA 3.2 – Demonstrativo da pequena parede de blocos maciços, argamassa plena, com canaletas “u” e furos da 1º fiada grauteada.

A figura 3.3 mostra o modelo da pequena parede de blocos vazados com argamassa na longitudinal.



FIGURA 3.3 – Demonstrativo da pequena parede de blocos vazados com argamassa na longitudinal, com canaleta “u” e furos da 1º fiada grauteada.

Na figura 3.4, é exposto o modelo da pequena parede de blocos vazados com argamassa plena.



FIGURA 3.4 – Demonstrativo da pequena parede de blocos vazados, argamassa plena, com canaletas “u” e furos da 1º fiada grauteada.

3.3 Planejamento dos ensaios

Para melhor entendimento das metodologias e equipamentos empregados nesta pesquisa, neste capítulo, serão abordados somente os tipos de ensaios realizados.

3.3.1 Materiais utilizados

3.3.1.1 Água

A água utilizada será a consumida na UFSM (Universidade Federal de Santa Maria).

3.3.1.2 Argamassa industrializada

As argamassas utilizadas para o assentamento serão de três resistências características, assim identificadas: $f_{ak} = 2,0$; $4,0$ e $10,0$ MPa.

Essas argamassas serão industrializadas e da marca Fida, de procedência da indústria dos Irmãos Ciocari & Cia Ltda, localizada em Caçapava do Sul – RS. Compõem seus traços: cimento pozolânico CPIV, areia artificial e cal hidratada utilizada no ensaio de resistência à compressão axial de argamassa industrializada (40 Kg), conforme NBR 7215/91.

A figura 3.5 apresenta as amostras das argamassas industrializadas para ensaio acondicionado sob palete.

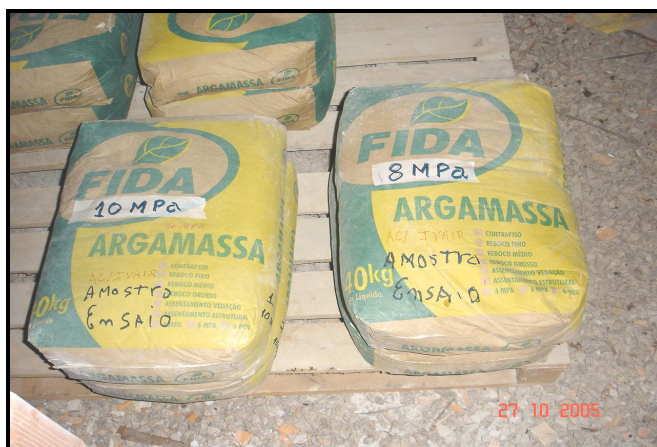


FIGURA 3.5 – Argamassa industrializada para ensaios acondicionada sob palete.

A argamassa de assentamento será preparada em argamassadeira, seguindo as especificações contidas na norma NBR 7215. Para cada argamassa, serão moldados 6 corpos de prova cilíndricos 5 x 10 cm, os quais posteriormente serão ensaiados à compressão aos 28 dias de idade, de acordo com a NBR 13279/95. Os corpos-de-prova serão curados ao ar livre durante 28 dias.

Depois que os corpos já estavam todos confeccionados, a edição da Norma ABNT NBR 13279:1995 foi substituída pela segunda edição. Então, a edição antiga foi cancelada e foi recomendado, por conveniência, que fosse utilizada a edição tecnicamente revisada, Norma ABNT NBR 13279:2005, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

3.3.1.3 Bloco cerâmico

Os blocos utilizados foram do tipo cerâmico estrutural, de paredes maciças e vazadas de dimensões nominais 140 x 190 x 290 mm, de procedência da Cerâmica PALLOTTI, localizada em Santa Maria, utilizados nos ensaios:

- Resistência à compressão de blocos cerâmicos, NBR 6461.
- Dimensões nominais de blocos cerâmicos, NBR 7171.
- Precisão dimensional de blocos cerâmicos, NBR 7171.

A figura 3.6 mostra blocos estruturais cerâmicos de parede maciça e com paredes vazadas.

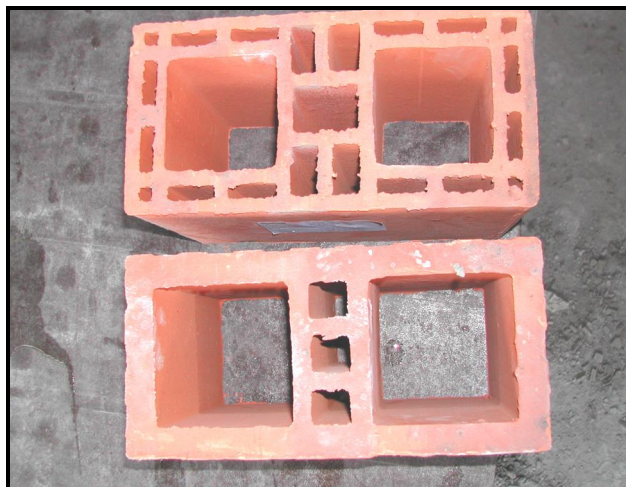


FIGURA 3.6 – Blocos estruturais cerâmicos de parede maciça e com parede vazada.

3.3.1.4 Corpos-de-prova de argamassa industrializada

Corpos-de-prova de argamassa pela Norma ABNT NBR 13279:1995

Foram utilizados corpos-de-provas cilíndricos de 50 milímetros de diâmetro por 100 milímetros de altura de argamassa industrializada, com resistências $f_{ak} = 2,0$; 4,0 e 10,0 MPa para determinar o ensaio de resistência à compressão axial de argamassa industrializada, conforme NBR 7215/91.

A figura 3.7 apresenta corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm de argamassa industrializada.

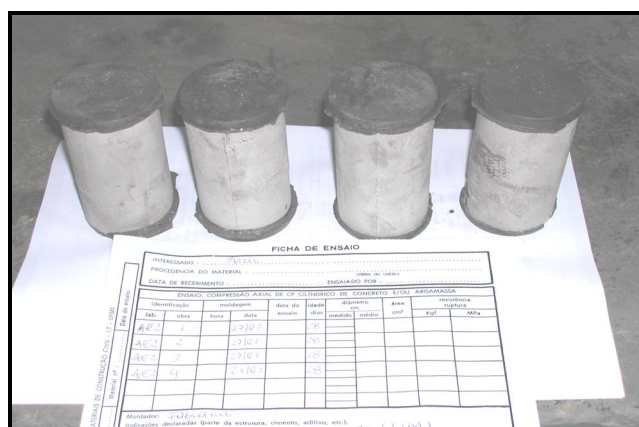


FIGURA 3.7 – Corpos-de-prova de argamassa industrializada de 50 mm x 100 mm.

Corpos-de-prova pela Norma ABNT NBR 13279:2005

Foram utilizados corpos-de-prova prismáticos metálicos, que consistem em

armações abertas com paredes removíveis, formando três compartimentos quando montados, capazes de servirem de molde para três corpos-de-prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm de argamassa industrializada com resistências de $f_{ak} = 2,0$; 4,0 e 10,0 MPa, para determinar o ensaio de resistência à compressão axial de argamassa industrializada, conforme NBR 7215/91.

Na figura 3.8, há corpos prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm de argamassa industrializada.



FIGURA 3.8 – Corpos-de-prova de argamassa industrializada 4 cm x 4 cm x 16 cm.

3.4 Ensaio de bloco

Para os demais ensaios, foram moldadas pequenas paredes de blocos do tipo estrutural-cerâmico, de parede maciça e com paredes vazadas, de dimensões nominais de 140 x 190 x 290 mm, utilizados para realizar os seguintes ensaios:

- Compressão axial de prismas de blocos vazados, NBR 8215.
- Resistência à compressão de blocos cerâmicos, NBR 6461.

3.4.1 Ensaio de resistência à compressão de blocos cerâmicos

A indústria fornecedora dos blocos estruturais, em acordo de monitoramento e cooperação à pesquisa, entregou, ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), uma amostra contendo 30 (trinta) blocos cerâmicos estruturais de dimensões nominais 140 x 190 x 290, mm para o ensaio de resistência à compressão característica (f_{bk}).

Para a realização do ensaio de compressão, foram separados, aleatoriamente, blocos cerâmicos e reduziu-se a amostra para 14 unidades de cada geometria, para serem submetidas ao ensaio de compressão axial. Os blocos foram ensaiados de acordo com a NBR, sendo submetidos ao preparo e ensaio da prensa de marca VPM calibrada, escala de 1.500KN, de acordo com procedimento constante no método de ensaio da NBR 6461/83, observando a seguinte seqüência:

- os blocos foram capeados com pasta de cimento com 5 mm de espessura;
- depois de capeadas ambas as faces, foi respeitado um período de 48 horas para cura do capeamento.
- após a cura do capeamento, os corpos-de-prova foram imersos em água por 24 horas;
- antes da realização do ensaio, foi retirado o excesso de água, com pano seco, efetuando-se a seguir as medições do bloco;
- o ensaio de compressão foi realizado aplicando-se a carga de acordo com a norma NBR 7184/91, a qual prevê um incremento de carga de 0,5 MPa/s.

As figuras 3.9 e 3.10 expõem blocos com paredes maciças e com paredes vazadas sendo ensaiada a resistência à Compressão.



FIGURA 3.9 – Bloco com parede maciça submetido ao ensaio de resistência à Compressão.



FIGURA 3.10 – Bloco parede vazada submetido ao ensaio de resistência à compressão.

3.4.2 Ensaio de dimensões nominais de blocos cerâmicos

A indústria fornecedora dos blocos estruturais, em acordo de monitoramento e cooperação à pesquisa, entregou, ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para a realização do ensaio de dimensões nominais, uma amostra contendo 30 (trinta) blocos do tipo cerâmico estrutural de dimensões nominais 140 x 190 x 290 mm.

Reduziu-se a amostra para 24 unidades, submetidas ao preparo e ensaio de medição direta com 24 blocos alinhados, conforme procedimento constante no item 4.7.2, do método de ensaio da NBR 7171.

Na figura 3.11, são apresentados blocos com parede maciça e com paredes vazadas sendo ensaiados a dimensões nominais.



FIGURA 3.11 – Blocos sendo submetidos ao ensaio de dimensões nominais.

3.4.3 Ensaio de precisão dimensional de blocos cerâmicos

Foi realizado o ensaio das dimensões reais, que, em acordo de monitoramento, a indústria fornecedora dos blocos entregou ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), uma amostra contendo 30 blocos do tipo cerâmico estrutural de dimensões nominais 140 x 190 x 290 mm.

Reduziu-se a amostra para 13 unidades, que foram submetidas ao preparo e ensaio através da inspeção por medição direta, verificadas suas dimensões por dupla amostragem, conforme procedimento constante no item 6.2, do método de ensaio da NBR 7171.

A figura 3.12 apresenta blocos com parede maciça e com parede vazadas sendo ensaiados a precisão dimensional.



FIGURA 3.12 – Blocos sendo submetidos ao ensaio de inspeção por medida direta.

3.5 Ensaio das argamassas industrializadas

3.5.1 Ensaio de resistência à compressão axial de argamassa industrializada

a) Ensaio pela Norma ABNT NBR 13279:1995

Foram ensaiadas, no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), várias amostras de argamassas industrializadas, com resistências de 2 MPa, 4 MPa e 10 MPa, cada uma composta de um saco de 40 Kg, da marca FIDA, sendo moldados vinte e oito corpos-de-prova cilíndricos, 50 mm x 100mm para a verificação da resistência à compressão axial da argamassa (f_a) na idade de 28 (vinte e oito) dias.

Os corpos-de-prova cilíndricos moldados foram curados em câmara úmida, com 95% de umidade relativa e temperatura controlada de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, por 24 horas. Depois de desmoldados e identificados, retornaram à câmara úmida até as datas do rompimento à compressão. Nas idades do rompimento, foram retirados da câmara úmida, com antecedência em torno de 3 horas, receberam o devido capeamento normalizado com mistura de enxofre e caulim, foram submetidos ao ensaio na prensa AMSLER calibrada, escala de 100 kN, de acordo com procedimento constante no método de ensaio da NBR 7215/91.

As figuras 3.13 e 3.14 apresentam corpos-de-prova cilíndricos, e o ensaio de resistência à compressão.



FIGURA 3.13 – Corpos-de-prova cilíndricos de diferentes argamassas.



FIGURA 3.14 – Ruptura de corpo-de-prova.

b) Ensaio pela Norma ABNT NBR 13279:2005

Para a preparação de argamassas frescas a serem utilizadas em ensaios de caracterização do material, recomenda-se usar, para cada mistura com água, 2,5 kg com aproximação de 1,0 g mais próximo do material seco (massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros, no caso de argamassa do tipo dosado em obra), conforme a NBR 13276/2005.

A figura 3.15 mostra a aparelhagem necessária à execução da dosagem da argamassa fresca com água.



a) Balança com resolução de 0,1 g



b) Misturador mecânico da argamassa



c) Molde tronco cônico, soquete metálico, mesa para índice de consistência



d) Misturador mecânico da argamassa

FIGURA 3.15 – Seqüência de dosagem da argamassa.

Determinação da resistência à tração na flexão

Os corpos-de-prova foram moldados em formas prismáticas metálicas, que consistem em armações abertas com paredes removíveis, formando três compartimentos quando montados, capazes de servirem de molde para três corpos-de-prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm (figuras 3.16 e 3.17).



a) Molde prismáticos metálicos onde argamassa está sendo rasada



b) Nivelador de camadas máquina de adensamento da argamassa

FIGURA 3.16 – Corpos-de-prova sendo moldados e adensados.



FIGURA 3.17 – Corpos-de-prova desmoldados.

A ruptura à tração na flexão é feita conforme detalhes mostrados nas figuras 3.18.(a,b,c)

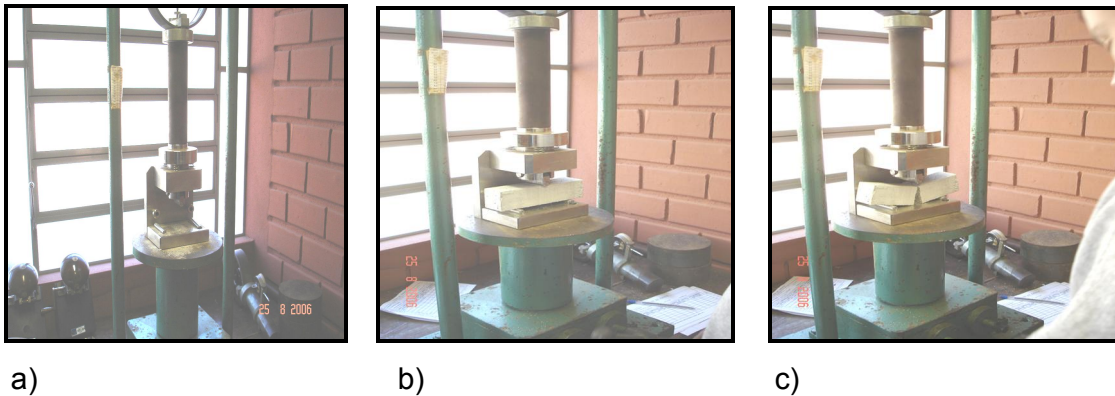


FIGURA 3.18 – Seqüência ensaio de ruptura à tração na flexão.

A resistência à tração na flexão é calculada segundo a equação:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot L}{40^3}$$

onde:

R_f é a resistência à tração na flexão (MPa)

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N)

L é a distância entre os suportes (mm)

Resistência à compressão axial

Para se analisar esse tipo de resistência, foram utilizadas as metades dos três corpos-de-prova do ensaio de flexão, posicionando-as no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio conforme a figura 3.19 (a,b, c)

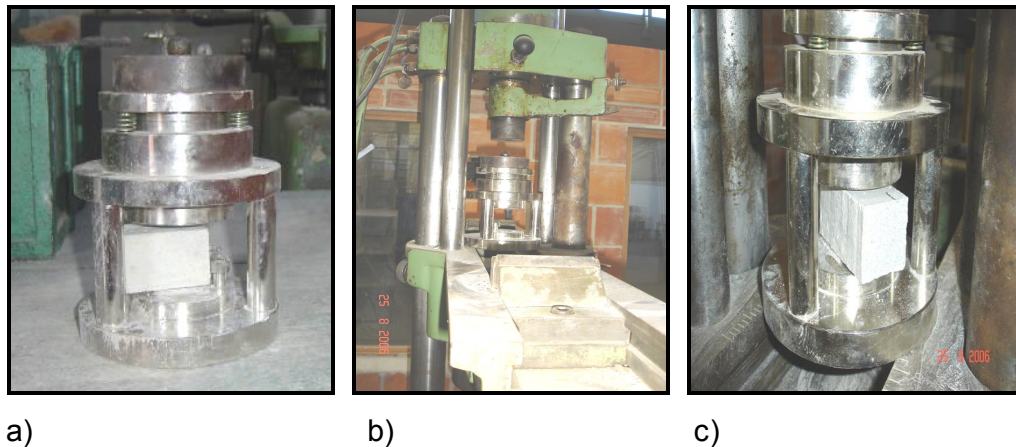


FIGURA 3.19 – Seqüência ensaio de resistência à compressão axial.

A resistência à compressão é calculada pela seguinte equação:

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

onde:

R_c é a resistência à compressão (MPa);

F_c é a carga máxima aplicada, em newtons;

1600 é a área da seção considerada (mm^2) quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm

3.6 Execução das pequenas paredes

Para a execução das pequenas paredes, foi adotado um procedimento padrão, e todas elas foram construídas pelo mesmo pedreiro.

Foram moldadas seis pequenas paredes para cada tipo de geometria de bloco cerâmico e para cada traço de argamassa e tipo de argamassamento, compreendendo um total de 72 pequenas paredes. As pequenas paredes possuíam dimensões 140 mm x 450 mm x 900 mm, sendo: altura de 4 fiadas + 1 canaleta “u” baixa de 9 cm – comprimento de 1 bloco e meio – largura de um bloco.

Os blocos das extremidades das paredes foram montados já capeados com pasta de cimento. Com a finalidade de evitar a absorção de água por parte do bloco da argamassa de assentamento, os blocos foram previamente umedecidos com água.

A figuras 3.20 mostra a seqüência da execução da alvenaria das pequenas paredes.



a) Grauteamento bloco 1º fiada



b) Execução da alvenaria



c) Argamassa plena



d) Colocação canaleta u



e) Colocação argamassa na longitudinal



f) Colocação canaleta u



h) Canaleta u grauteada



i) pequena parede sendo capeada



j) Capeamento sob a canaleta u

FIGURA 3.20 – Seqüência da execução das pequenas paredes.

4 RESULTADOS DOS ENSAIOS

4.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresentará os resultados dos ensaios realizados nesta pesquisa. Nessa parte do trabalho, inicialmente, serão relacionados os resultados relativos aos blocos e, na seqüência, os resultados dos ensaios das argamassas e das pequenas paredes.

Objetivando uma melhor compreensão, serão apresentadas tabelas contendo os resultados dos ensaios. As planilhas de ensaios serão relacionadas nos anexos.

4.2 Resultados dos ensaios dos blocos

Para uma melhor identificação dos resultados dos ensaios dos blocos estruturais cerâmicos, optou-se pela apresentação em separado para blocos vazados e blocos maciços. No item 3.4, foram detalhados todos os procedimentos realizados nos ensaios.

4.2.1 Resultados dos blocos estruturais cerâmicos vazados

a) Precisão dimensional e dimensões nominais

As inspeções visuais e os ensaios, quanto às dimensões efetivas, espessuras mínimas de paredes e septos, desvios máximos, características visuais e geométricas individuais, foram determinados segundo a NBR 15270:2005.

A tabela 4.1 expõe os resultados dos ensaios dimensionais em blocos cerâmicos vazados.

TABELA 4.1 – Precisão dimensional – blocos vazados.

Amostra	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)				Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede externa	Septos	Parede vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
01	138,5	190,5	289,5	8,0	7,0	28,5	80,0	1,0	0,0
02	138,5	191,0	289,5	8,0	6,5	29,0	80,0	0,0	0,0
03	138,5	190,5	289,5	8,0	7,0	29,5	79,5	0,0	0,0
04	138,0	189,5	290,0	8,5	7,0	29,5	81,0	0,0	0,0
05	138,5	190,5	289,5	8,5	7,0	29,0	80,5	0,0	0,0
06	138,5	189,5	289,5	8,0	7,0	29,0	80,0	1,0	0,0
07	138,0	190,5	290,0	8,0	7,0	30,0	80,0	2,0	0,0
08	138,5	190,0	289,5	8,0	6,5	28,5	80,5	2,0	0,0
09	138,5	190,0	290,0	8,0	7,0	29,5	80,5	1,0	0,0
10	138,5	190,0	289,5	8,5	7,5	29,0	79,5	0,0	0,0
11	138,5	190,0	290,0	8,5	7,0	29,0	80,0	0,0	0,0
12	139,0	190,5	290,0	8,0	7,0	28,5	80,0	2,0	0,0
13	138,5	190,0	290,0	9,0	7,0	28,5	80,0	1,0	0,0
Média	138,5	190,2	289,7	8,2	7,0	29,0	80,1	0,8	0,0

A tabela 4.2 apresenta os resultados dos ensaios em blocos cerâmicos vazados descritos de acordo com as dimensões nominais, NBR 7171:1992.

TABELA 4.2 – Dimensões nominais – blocos vazados.

Dimensões Padronizadas (L x H x C)	Medição 24 blocos alinhados (mm)			Dimensões médias dos blocos (mm)		
	Largura	Altura	Comprimento	Largura	Altura	Comprimento
(140 x 190 x 290) mm	3.374	4.569	6.972	140,5	190,5	290,5

b) Resistência à compressão de blocos cerâmicos vazados

Os resultados dos ensaios de resistências à compressão, individual, média e característica, referente a uma amostra de blocos cerâmicos estruturais vazados, contendo 13 corpos-de-prova, conforme NBR 15.270:2005, podem ser vistos na tabela 4.3.

TABELA 4.3 – Resistência à compressão – blocos vazados.

Amostra	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
01		40.096	505.000	12,6	12,3	10,7
02		40.096	512.500	12,8		
03		40.096	522.500	13,0		
04		40.020	472.500	11,8		
05		40.096	525.000	13,1		
06		40.096	485.000	12,1		
07		40.020	517.500	12,9		
08		40.096	407.500	10,2		
09		40.165	477.500	11,9		
10		40.096	485.000	12,1		
11		40.165	502.500	12,5		
12		40.310	517.500	12,8		
13		40.165	510.000	12,7		

4.2.2 Resultados dos blocos estruturais cerâmicos de paredes maciças

a) Precisão dimensional e dimensões nominais

Na tabela 4.4, podem ser analisados os resultados dos ensaios dimensionais em blocos cerâmicos de paredes maciças, segundo a NBR 7171:1992.

TABELA 4.4 – Ensaio dimensionais – blocos de paredes maciças.

Amostra	Dimensões médias dos blocos (mm)			Espessura mínima (mm)			Desvio (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede externa	Parede vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
01	139,0	189,5	289,0	21,0	-	94,5	2,5	0,0
02	139,0	187,5	289,0	21,0	-	94,0	2,0	1,0
03	139,0	190,0	289,0	21,0	-	93,0	1,5	0,5
04	139,0	189,0	290,0	20,5	-	93,5	1,0	1,5
05	139,0	191,0	289,0	21,5	-	95,0	2,0	2,0
06	139,0	189,0	289,5	20,5	-	94,5	0,5	1,0
07	139,0	189,5	289,5	21,0	-	95,0	1,5	1,0
08	139,0	189,5	289,0	21,0	-	93,5	2,0	1,5
09	139,0	189,0	290,0	21,0	-	94,0	0,5	1,0
10	139,0	190,0	289,0	21,5	-	93,5	3,0	0,5
11	139,0	188,0	289,5	21,0	-	94,0	0,0	0,5
12	139,0	189,0	290,0	21,0	-	94,0	3,0	1,0
13	139,0	190,5	289,5	21,0	-	95,0	1,5	1,0
Média	139,0	189,4	289,4	21,0		94,2	1,6	0,96

A tabela 4.5 expõe os resultados dos ensaios de dimensões nominais em blocos cerâmicos de paredes maciças, NBR 7171:1992.

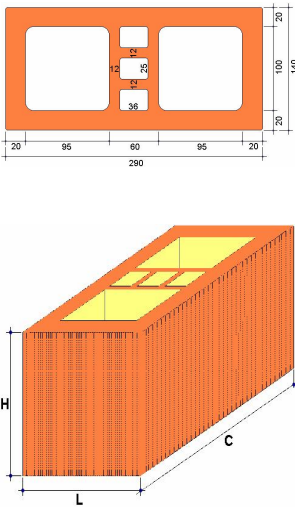
TABELA 4.5 – Dimensões nominais blocos cerâmicos de paredes maciças.

Dimensões Padronizadas (L x H x C)	Medição 24 blocos alinhados (mm)			Dimensões médias dos blocos (mm)		
	Largura	Altura	Comprimento	Largura	Altura	Comprimento
(140 x 190 x 290) mm	3.372	4.571	6.972	140,5	190,5	290,5

b) Resistência à compressão de blocos cerâmicos de paredes maciças

Os resultados do ensaio de resistência à compressão, individual, média e característica, referentes a uma amostra de blocos cerâmicos estruturais de paredes maciças contendo 13 corpos-de-prova, NBR 64611983, são apresentados na tabela 4.6.

TABELA 4.6 – Resistência à compressão - blocos estruturais de paredes maciças.

Amostra	Tipologia do bloco (L x C)	Área bruta média (mm ²)	Carga de ruptura (N)	Resistência à compressão (MPa)		
				Limite individual	Média	f _{bk,est} Adotada
01		40.171	705.000	17,5	18,0	15,3
02		40.171	682.500	17,0		
03		40.171	755.000	18,8		
04		40.310	745.000	18,5		
05		40.171	757.500	18,9		
06		40.241	720.000	17,9		
07		40.241	677.500	16,8		
08		40.171	722.500	18,0		
09		40.310	655.000	16,2		
10		40.171	682.500	17,0		
11		40.241	775.000	19,3		
12		40.310	782.500	19,4		
13		40.241	762.500	18,9		

4.3 Resultados das argamassas industrializadas

Nesta pesquisa, foi utilizada argamassa industrializada de 3 tipos de resistência (2 MPa, 4 MPa e 10 MPa).

Durante o período de desenvolvimento dos ensaios das argamassas desta pesquisa, ocorreu uma atualização da NBR 13.279. A nova norma determinou que os ensaios de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos fossem substituídos por ensaios em corpos-de-prova prismáticos. Dessa forma, optou-se pela realização dos ensaios de compressão segundo as duas versões da norma. No item 3.5, foram detalhados todos os procedimentos de moldagem e ruptura.

4.3.1 Ensaio de resistência à compressão axial

As tabelas 4.7 a 4.9 demonstram os resultados de ensaios de resistência à compressão simples para os 3 tipos de argamassa industrializada, em conformidade com as duas versões da NBR 13279.

TABELA 4.7 – Resistência à compressão simples – argamassa industrializada (2 MPa).

NBR 13279:1995		NBR 13279:2005	
Amostra	AE 2 (MPa)	Amostra	AE 2 (MPa)
1	2,343	1	2,688
2	2,802	2	2,500
3	2,802	3	2,438
4	2,362	4	2,750
5	2,394	5	2,625
6	2,904	6	2,250
Média	2,768	Média	2,542

TABELA 4.8 – Resistência à compressão simples – argamassa industrializada (4 MPa).

- NBR 13279:1995		- NBR 13279:2005	
Amostra	AE 4 (Mpa)	Amostra	AE 4 (Mpa)
1	4,840	1	4,250
2	4,432	2	4,250
3	4,559	3	4,313
4	4,483	4	4,250
5	3,897	5	4,188
6	4,381	6	4,250
Média	4,432	Média	4,250

TABELA 4.9 – Resistência à compressão simples – argamassa industrializada (10 MPa).

- NBR 13279:1995		- NBR 13279:2005	
Amostra	AE 10 (Mpa)	Amostra	AE 10 (Mpa)
1	12,837	1	13,750
2	14,366	2	12,500
3	12,939	3	13,375
4	12,990	4	13,250
5	13,245	5	13,188
6	12,990	6	12,563
Média	13,228	Média	13,104

4.3.2 Ensaio de resistência à tração na flexão de argamassa industrializada

As tabelas 4.10 a 4.12 mostram os resultados de ensaios de resistência à tração na flexão para os 3 tipos de argamassa industrializada, segundo a NBR 13279:2005.

TABELA 4.10 – Resistência à tração na flexão – argamassa – 2 MPa.

Argamassa AE 2 MPa - NBR 13279:2005	
Amostra	Argamassa AE 2 (Mpa)
1	1,020
2	0,956
3	1,084
Média	1,020

TABELA 4.11 – Resistência à tração na flexão – argamassa – 4 MPa.

Argamassa AE 4 MPa - NBR 13279:2005	
Amostra	Argamassa AE 4 (Mpa)
1	1,627
2	1,691
3	1,436
Média	1,585

TABELA 4.12 – Resistência à tração na flexão – argamassa – 10 MPa.

Argamassa AE 10 MPa - NBR 13279:2005	
Amostra	Argamassa AE 10 (Mpa)
1	3,994
2	3,706
3	4,473
Média	4,058

4.4 Resultados dos ensaios das pequenas paredes

As pequenas paredes, confeccionadas conforme item 3.6, foram ensaiadas à compressão simples, aos 28 dias de idade, em uma prensa da marca WPM calibrada, escala de 1,5 MN, conforme procedimentos constantes no método de ensaio da NBR 8215/83.

A velocidade de carregamento, para as pequenas paredes em que não se realiza a leitura das deformações, foi de $0,05 \pm 0,01$ MPa/s, de acordo com o que prescreve a NBR 7184/91. Já nas pequenas paredes em que foram monitoradas as deformações, a carga foi mantida constante até serem realizadas as medidas.

A figura 4.1 apresenta a seqüência das pequenas paredes de bloco com parede maciça e parede vazadas sendo ensaiadas à compressão.



a) Pequena parede acondicionado em dispositivo para transporte da prensa



b) Pequena parede sendo transportada para a mesa da prensa



c) Pequena parede posicionada na mesa da prensa



d) Pequena parede rompida a compressão pela prensa



e) Pequena parede com argamassa plena rompida



f) Pequena parede com argamassa longitudinal rompida

FIGURA 4.1 – Seqüência das pequenas paredes sendo submetidas ao ensaio de resistência à compressão.

Nas tabelas 4.13 a 4.15, podem ser vistos os resultados de resistência à compressão axial dos 72 prismas (pequenas paredes) de blocos de paredes maciças e vazadas, NBR 8215.

TABELA 4.13 – Resistência à compressão – pequenas paredes – argamassa de 2 MPa.

Amostra	Argamassa Plena (MPa)		Argamassa Longitudinal (MPa)	
	Bloco maciço	Bloco vazado	Bloco maciço	Bloco vazado
1	3,889	4,365	3,016	3,690
2	3,889	4,762	2,817	3,492
3	5,317	4,127	2,857	3,492
4	4,365	4,167	2,857	3,532
5	5,238	4,325	2,937	3,492
6	5,357	4,603	2,897	3,492
Média	4,676	4,392	2,897	3,532

TABELA 4.14 – Resistência à compressão – pequenas paredes – argamassa de 4 MPa.

Amostra	Argamassa Plena (MPa)		Argamassa Longitudinal (MPa)	
	Bloco maciço	Bloco vazado	Bloco maciço	Bloco vazado
1	5,238	4,444	3,056	3,532
2	5,397	4,167	3,492	3,571
3	5,476	4,484	3,056	3,810
4	5,706	4,127	3,571	3,810
5	5,794	4,643	2,937	3,611
6	5,992	4,167	3,056	3,532
Média	5,601	4,339	3,194	3,644

TABELA 4.15 – Resistência à compressão – pequenas paredes – argamassa de 10 MPa.

Amostra	Argamassa Plena (MPa)		Argamassa Longitudinal (MPa)	
	Bloco maciço	Bloco vazado	Bloco maciço	Bloco vazado
1	7,143	5,714	3,452	3,294
2	6,627	6,270	3,254	4,762
3	7,135	4,167	3,294	4,444
4	7,381	5,714	3,373	4,762
5	5,635	6,429	3,333	4,802
6	5,476	5,952	3,254	3,333
Média	6,566	5,708	3,327	4,233

4.5 Módulos de deformação

Para a determinação dos módulos de deformação longitudinal das pequenas paredes (prismas), foram ensaiados 12 corpos-de-prova correspondentes a três tipos de argamassas, dois tipos de blocos e dois argamassamentos.

A figura 4.2 mostra o dispositivo de ensaio utilizado nesta pesquisa, que foi posicionado no terço central das pequenas paredes. Na medição das deformações, utilizaram-se relógios comparadores digitais com resolução de 0,001 mm.



FIGURA 4.2 – Módulo de deformação – dispositivo de ensaio.

As figuras 4.3 e 4.4 mostram os gráficos dos ensaios para a determinação dos módulos de deformação para a argamassa de 2,0 MPa. Observa-se, nessas figuras, que os coeficientes de correlação apresentam valores próximos de 1, 0, indicando a qualidade dos ensaios.

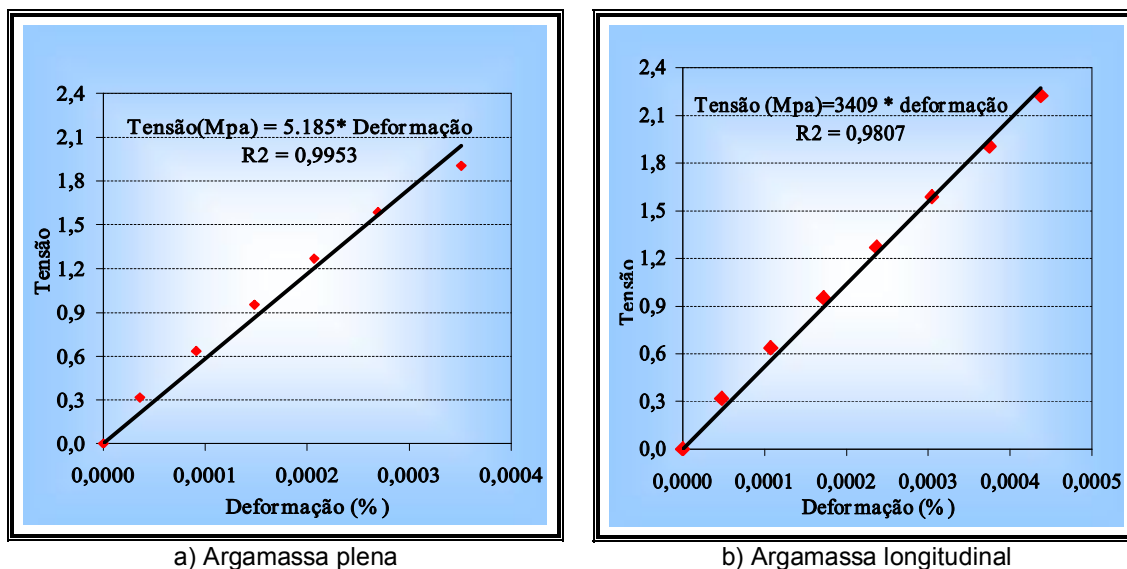


FIGURA 4.3 – Módulo de deformação – bloco de parede maciça – argamassa 2 MPa.

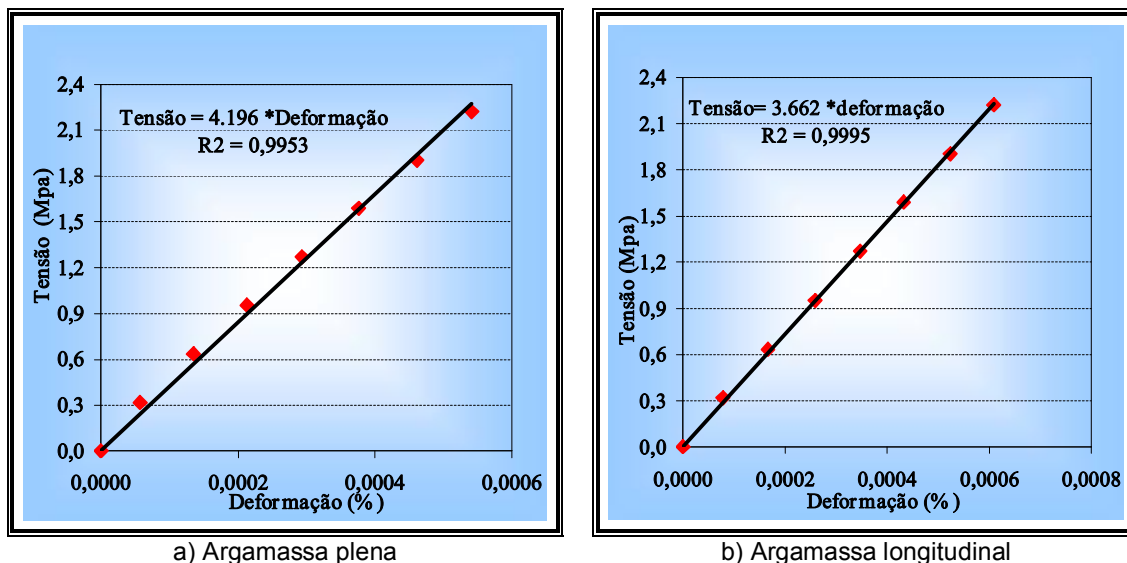


FIGURA 4.4 – Módulo de deformação – bloco de parede vazada – argamassa 2 MPa.

A tabela 4.16 apresenta os resultados médios dos valores dos módulos de deformação para todas as pequenas paredes instrumentadas. Os valores variam de 3.151 a 5.604 MPa, sendo os maiores valores para blocos de paredes maciças e argamassamento pleno.

TABELA 4.16 – Módulo de deformação – Pequenas paredes blocos de parede maciça e vazada.

Tipo de argamassa	Bloco com parede maciça argamassa plena		Bloco com parede maciça argamassa longitudinal		Bloco de parede vazada argamassa plena		Bloco com parede vazada argamassa longitudinal	
	Modulo (Mpa)	R ²	Modulo (Mpa)	R ²	Modulo (Mpa)	R ²	Modulo (Mpa)	R ²
2 Mpa	5185	0,9953	3409	0,9807	4196	0,9953	3662	0,9995
4 Mpa	5200	0,9922	3810	0,9965	3665	0,9909	3151	0,9979
10 Mpa	5604	0,9899	4646	0,9997	3355	0,9998	3793	0,9931

5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1 Introdução

Neste capítulo, serão analisados e interpretados os resultados dos ensaios dos blocos, argamassas e pequenas paredes (prismas). Analisar-se-ão os efeitos da interação bloco-argamassa através das relações que avaliam a eficiência para as diferentes paredes dos blocos, tipo de argamassa e de argamassamento, bem como dos valores dos módulos de deformação.

5.2 Análise dos resultados

5.2.1 Análise dimensional e visual

As tabelas 4.1, 4.2, 4.4. e 4.5 expõem os resultados da análise dimensional. A NBR 15.270:2005 especifica as possíveis dimensões de fabricação e tolerâncias dimensionais, determinadas por medição individual. Essa tolerância é de ± 5 mm para as determinações individuais e de ± 3 mm para a média das determinações. Para blocos de paredes vazadas, a espessura mínima das paredes externas deve ser de 8 mm e dos septos de 7mm. Conforme essa norma, o desvio em relação ao esquadro e a flecha máxima (planeza das faces) permitido é de 3 mm. Pelos parâmetros de aceitação e rejeição previstos, permite-se verificar, pelos ensaios e pelos resultados realizados na amostra, que a ela está em conformidade com a norma.

Quanto ao aspecto visual, a NBR 7171:1992 especifica que os blocos não devem apresentar defeitos sistemáticos (trincas, quebras, superfícies irregulares ou deformações). As amostras analisadas estão adequadas às especificações.

5.2.2 Resistência à compressão de blocos cerâmicos vazados, NBR 6461

A figura 5.1 mostra a dispersão dos resultados de resistência à compressão (tabela 4.3). Nela se observa uma variação da resistência entre 10,2 e 13,1 MPa.

Dispersão da Resistência dos Blocos

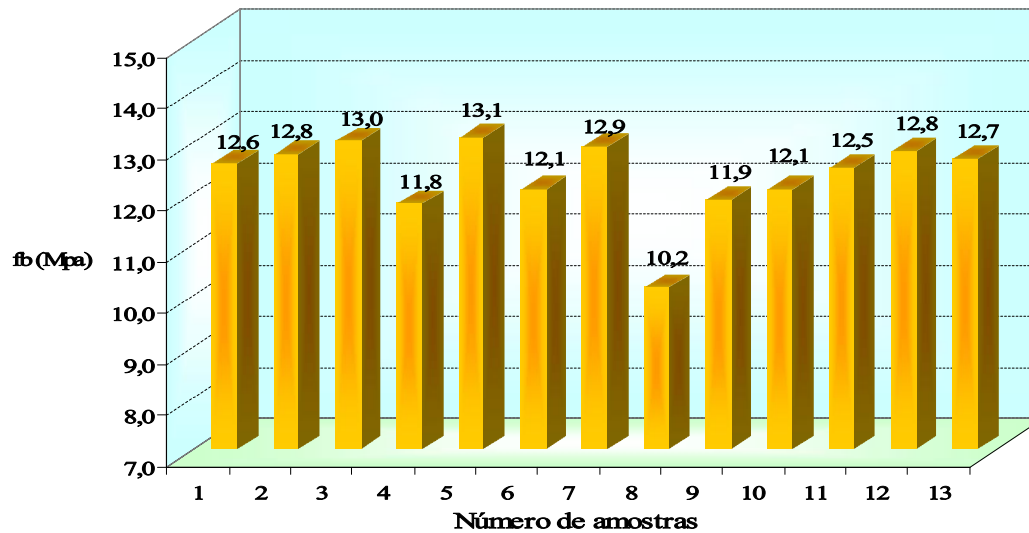


FIGURA 5.1 – Valores das resistências à compressão dos blocos vazados.

A amostra de blocos cerâmicos vazados demonstra uma resistência característica estimada $f_{bk,est} = 10,7MPa$, (tabela 4.3), determinada de acordo com o processo estatístico definido no item 5.5 da NBR 15270:2005 (parte 2). Esse valor da resistência característica atende às especificações para blocos cerâmicos estruturais, uma vez que é superior ao requisito de resistência à compressão estipulado pelo fabricante ($f_{bk} = 7,0MPa$).

5.2.3 Resistência à compressão de blocos cerâmicos de paredes maciças

A figura 5.2 mostra os valores das resistências dos blocos de paredes maciças (tabela 4.6) em que se observa uma variação entre 16,2 a 19,4 MPa.

Para os blocos cerâmicos estruturais, deve-se tomar como referência de resistência o menor limite de resistência individual. A amostra apresenta limite mínimo de resistência igual e $f_{bk,est} adotada = 15,3 MPa$ (tabela 4.6), determinado de acordo com processo estatístico, atendendo às especificações para blocos cerâmicos, classe 100, de resistência de 10,0MPa (NBR 7171:1992).

Dispersão da Resistência dos Blocos

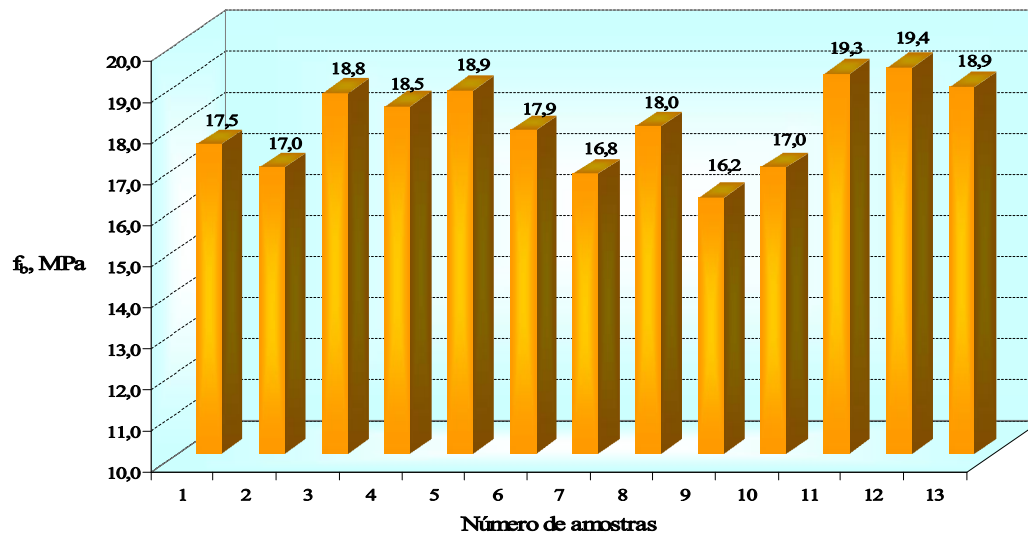


FIGURA 5.2 – Valores das resistências à compressão dos blocos maciços.

5.2.4 Análise dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial das argamassas industrializadas

Na análise dos resultados das argamassas, procurou-se observar as especificações da NBR 13279, na versão 1995 e 2005, ensaio de resistência à compressão axial de argamassa industrializada, e comparar com os certificados de ensaios das argamassas realizados pela indústria, os quais se encontram em anexo.

A figura 5.3 apresenta os valores das resistências da argamassa de 2 MPa da tabela 4.7. Percebe-se, nessa figura, que a resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos apresentou uma variação entre 2,3 a 2,9 MPa, um pouco superior àquela para corpos-de-prova prismáticos (2,25 a 2,75 MPa).

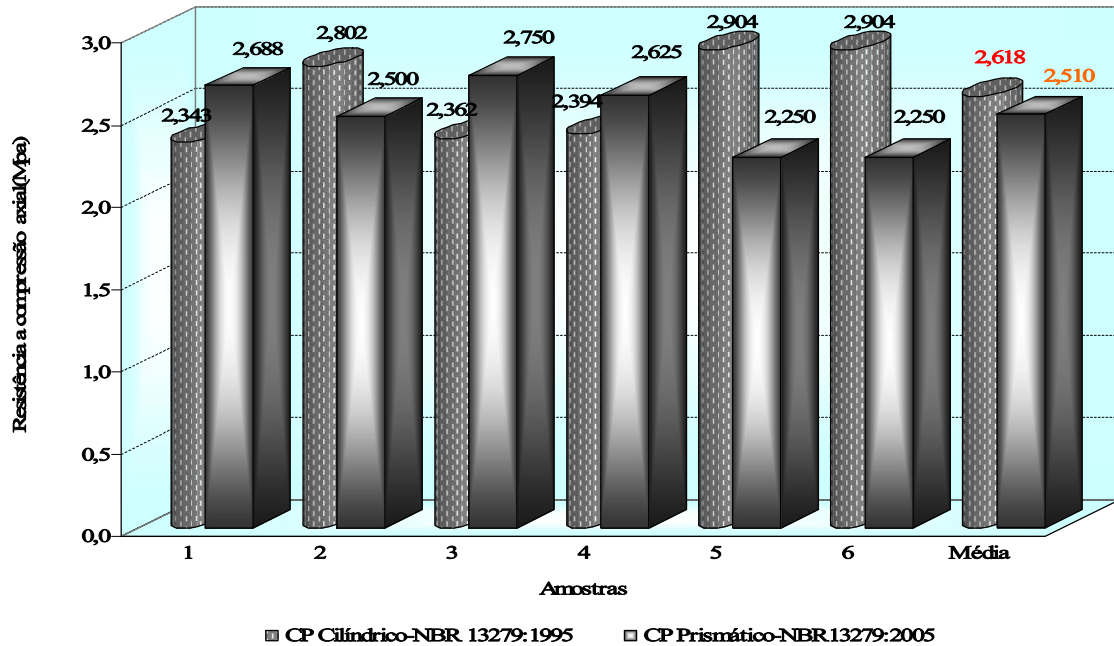


FIGURA 5.3 – Valores das resistências à compressão axial da argamassa de 2 MPa.

A figura 5.4 mostra a comparação entre os valores das resistências à compressão de corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos, para a argamassa de 4 MPa (tabela 4.8). Da mesma forma que para a argamassa de 2 MPa, os valores da resistência, para corpos-de-prova cilíndricos, mostraram-se superiores àqueles de corpos-de-prova prismáticos, numa faixa de 6% a 10 %.

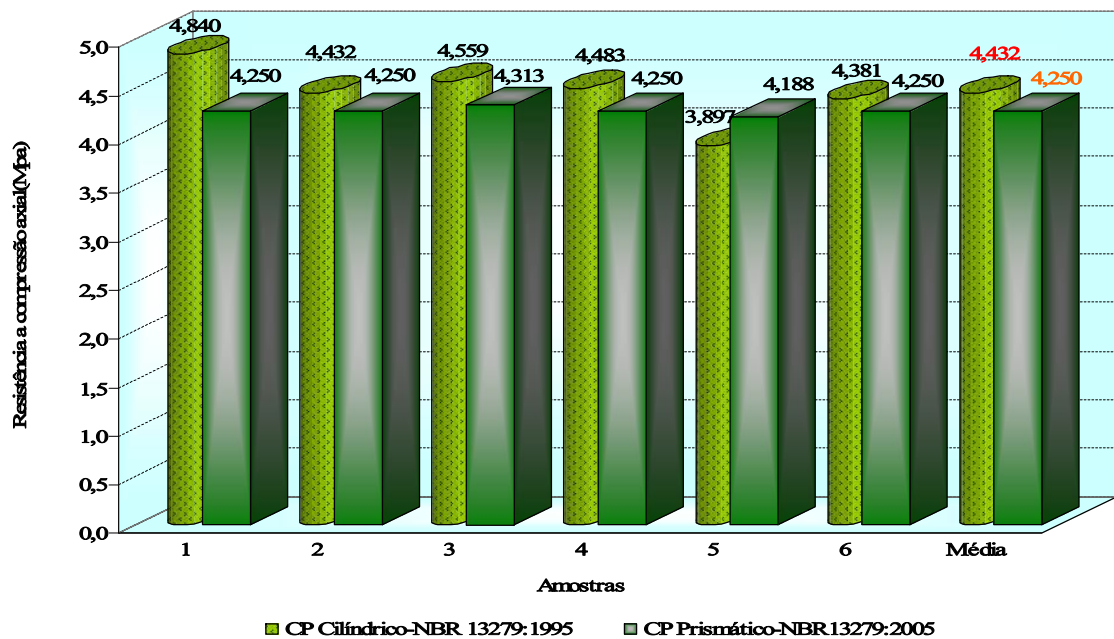


FIGURA 5.4 – Valores das resistências à compressão axial da argamassa de 4 MPa.

Para a argamassa de 10 MPa, a figura 5.5 mostra a mesma tendência de resistência média à compressão de corpos-de-prova cilíndricos superior àquela de corpos-de-prova prismáticos.

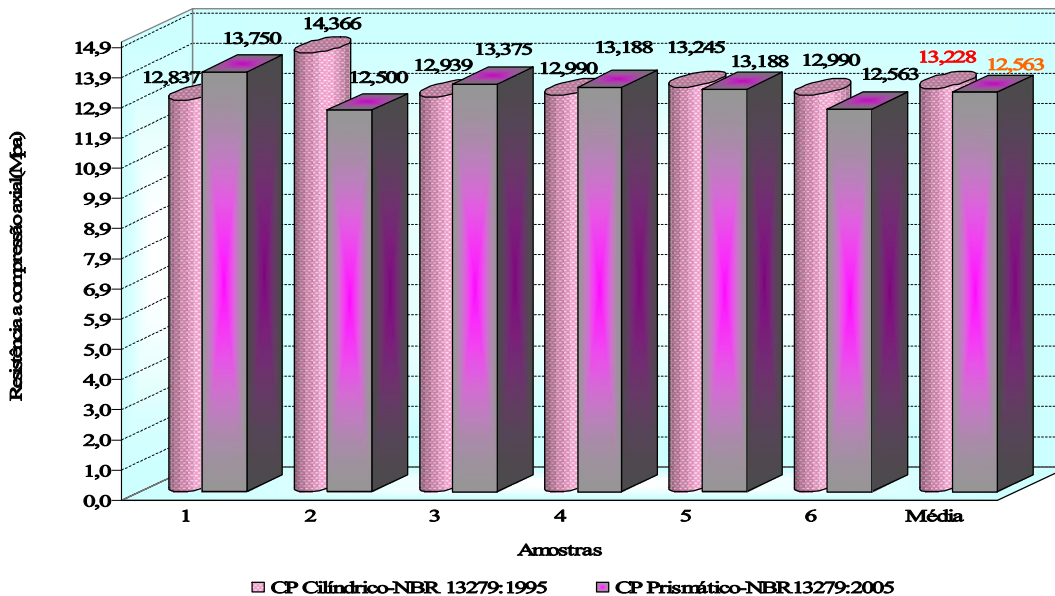


FIGURA 5.5 – Valores das resistências à compressão axial da argamassa de 10 MPa.

5.2.5 Resistência à tração na flexão de argamassa industrializada

A figura 5.6 apresenta os valores das resistências à tração na flexão das argamassas de 2, 4 e 10 MPa, conforme tabelas 4.10 a 4.12. Observa-se, nessa figura, uma pequena dispersão nos resultados, principalmente no caso da argamassa de 2,0 MPa.

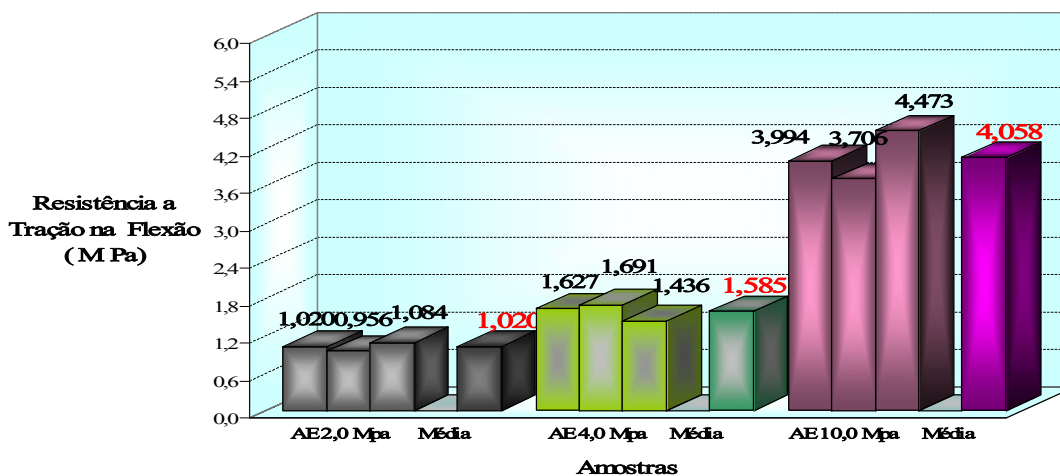


FIGURA 5.6 – Valores das resistências à tração na flexão das argamassas de 2, 4 e

10 MPa.

A figura 5.7 mostra uma comparação entre as resistências à tração na flexão e resistência à compressão. Observa-se uma tendência esperada de crescimento dos valores de uma em relação à outra. A relação percentual entre elas varia de 40,63% (2MPa) a 32,3% (10 MPa).

No caso específico das argamassas mais fracas, a relação indica valores maiores, por serem mais deformáveis e pela retentividade de água que influencia na resistência de aderência na interação das interfaces da alvenaria através da taxa inicial de absorção (sucção), característica de grande importância nas argamassas.

A resistência à tração, na flexão de argamassa industrializada, está relacionada com os requisitos básicos de unir solidariamente as unidades de alvenaria e resistir a esforços laterais de cisalhamento e de tração.

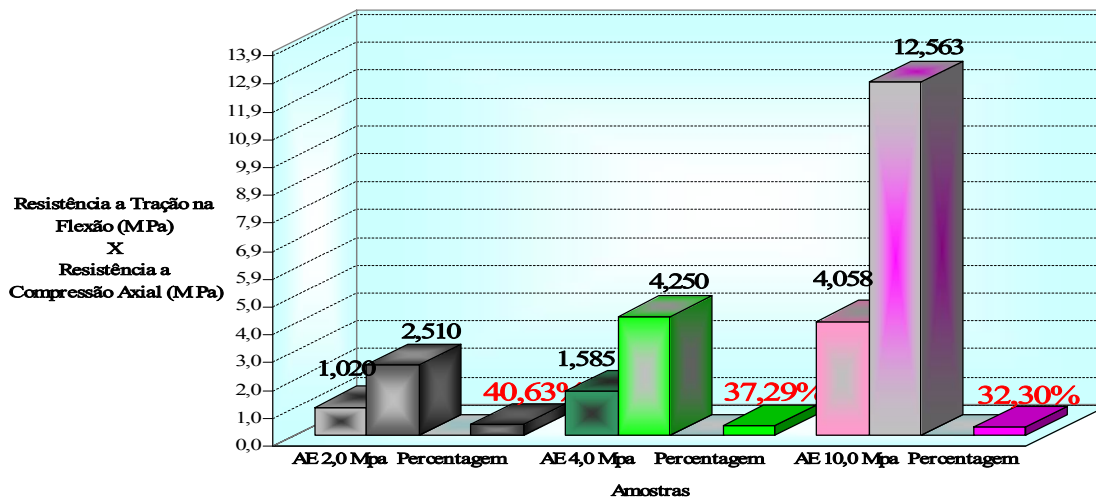


FIGURA 5.7 – Relação entre as resistências médias à tração na flexão e na compressão axial das argamassas de 2, 4 e 10 MPa.

Como considerações finais sobre os resultados das argamassas, restam caracterizar, segundo os requisitos da NBR 13281:2005, quanto à resistência, a compressão média e a resistência à tração na flexão média aos 28 dias. A mostra (AV 2,0 MPa) apresenta uma resistência à compressão média de 2,5 MPa e uma resistência à tração na flexão média de 1,02 MPa, caracterizando-se conforme esses requisitos em argamassa tipo P3 e R2. Já a amostra (AE 4,0 MPa) apresenta resistência à compressão média de 4,2 MPa e uma resistência à tração na flexão

média de **1,58 MPa**, enquadrando-se como argamassa tipo **P4** e **R3**.

A amostra (**AE 10,0 MPa**), a qual possui uma resistência à compressão média de **12,5 MPa** e uma resistência à tração na flexão média de **4,05 MPa** é classificada como argamassa tipo **P6** e **R5**.

5.2.6 Resistência à compressão axial de prismas (pequenas paredes) de blocos de paredes maciças e vazadas

A análise dos resultados dos ensaios dos 72 prismas (pequenas paredes) será desenvolvida para cada tipo de argamassa e, na seqüência, para o conjunto de argamassas.

a) Argamassa de 2MPa

A resistência média à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças e argamassa de 2 MPa variou de 2,82 a 3,02 MPa (média de 2,90 MPa) para argamassamento longitudinal e de 3,89 a 5,36 (média de 4,68) para argamassamento pleno, conforme tabela 4.13 e figura 5.8.

A resistência média à compressão, para argamassamento longitudinal, representou somente 61,4% do valor da resistência média para argamassamento pleno, indicando não ser uma prática recomendável.

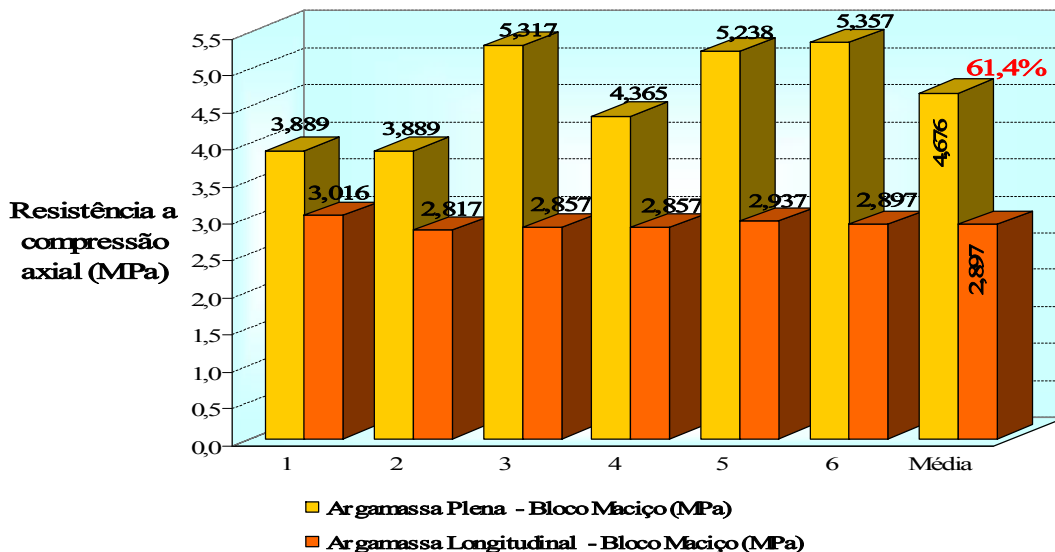


FIGURA 5.8 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 2 MPa.

A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes vazadas e argamassa de 2 MPa, conforme tabela 4.13 e figura 5.9, apresenta um percentual de resistência média de 24,3% maior para o argamassamento pleno que para o argamassamento longitudinal. Verifica-se também que, para o bloco de paredes vazadas e argamassamento longitudinal, tem-se uma menor diminuição de resistência que para o bloco de paredes maciças. Isso ocorre, possivelmente, devido as suas paredes serem vazadas, pois, nesse caso, a argamassa tem maior aderência aos vazios e aos septos das paredes.

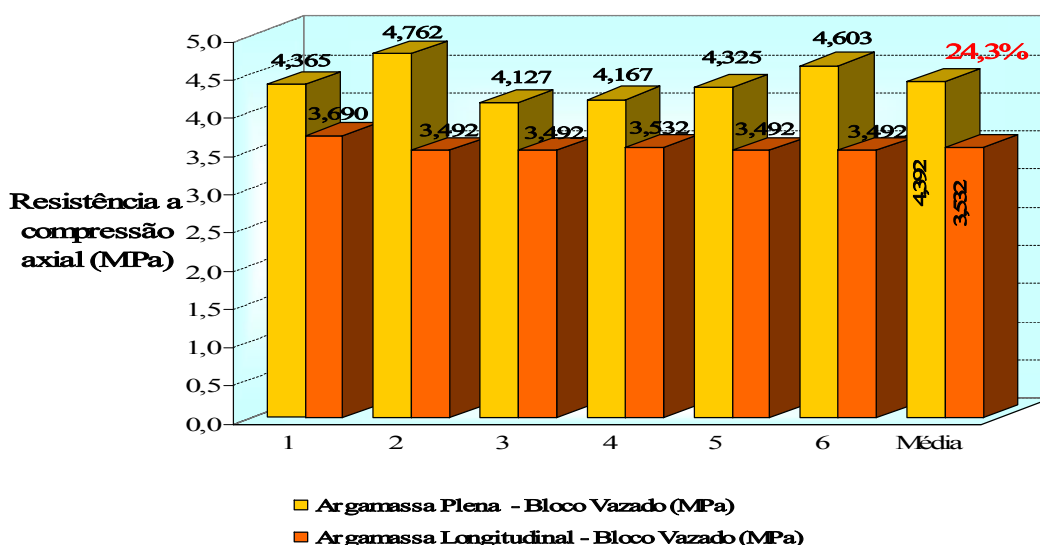


FIGURA 5.9 – Resistência à compressão axial - argamassa plena e longitudinal de 2 MPa – bloco vazado.

A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças e argamassa de 2 MPa plena apresenta um percentual de resistência média de 6,5% superior para o bloco de paredes maciças com argamassamento pleno em relação ao de paredes vazadas, conforme mostra a Figura 5.10. Isso tem como causa o fato de suas paredes serem maciças e a argamassa tender a retardar a ruptura, sendo levada ao esmagamento.

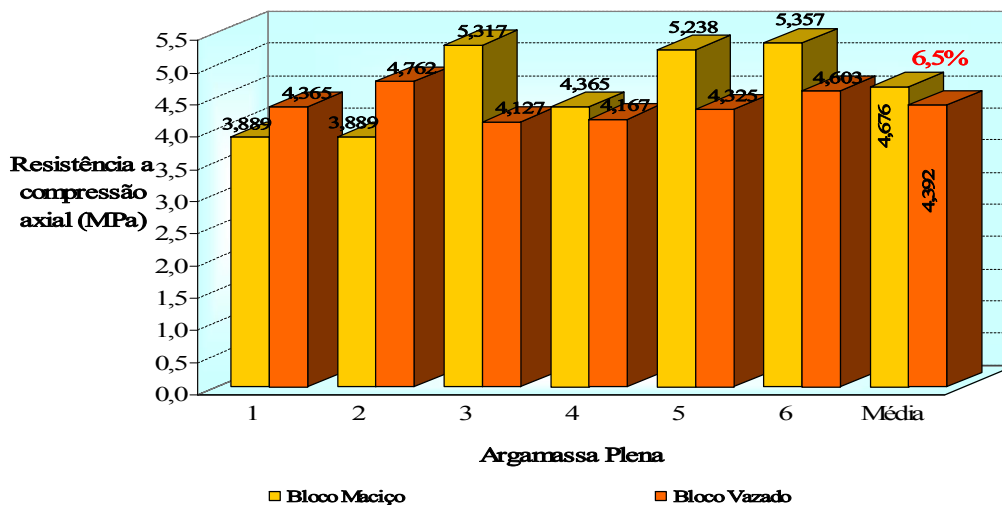


FIGURA 5.10 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas - argamassa plena de 2 MPa.

Já para a resistência à compressão axial das pequenas paredes de argamassa de 2 MPa e argamassamento longitudinal, os resultados, para blocos com paredes vazadas, mostraram um valor médio superior da ordem de 21,9% em relação àqueles de paredes maciças, o que pode ser constatado na figura 5.11.

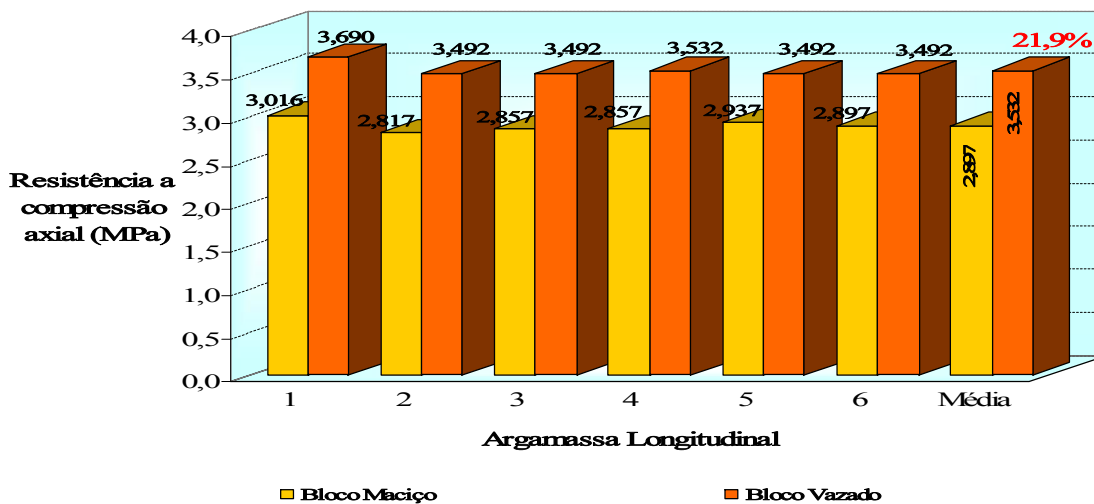


FIGURA 5.11 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas argamassa longitudinal de 2 MPa.

As figuras 5.12 e 5.13 mostram uma comparação entre as resistências à compressão para os dois tipos de blocos e dois tipos de argamassamento, no caso

de argamassa de 2 MPa. Observa-se que, nos dois tipos de blocos, o argamassamento pleno obteve maior resistência e no longitudinal ocorreu uma inversão no comportamento, pois o bloco de paredes maciças apresenta uma menor resistência.

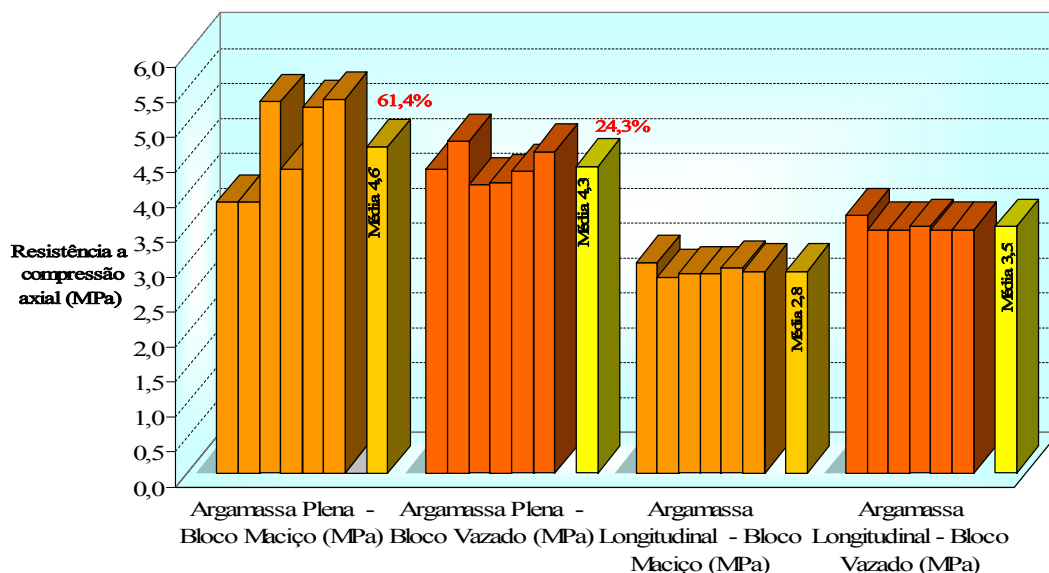


FIGURA 5.12 – Pequenas paredes – comparativo de resistências para argamassa de 2,0 MPa.

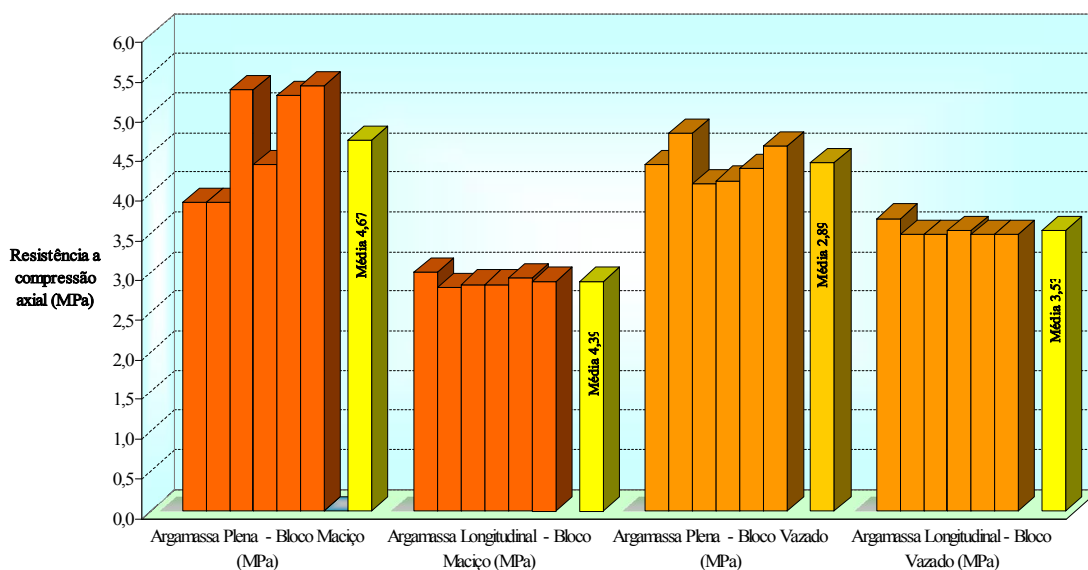


FIGURA 5.13 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 2 MPa.

b) Argamassa de 4 MPa

A resistência média à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças e argamassa de 4MPa variou de 2,94 a 3,57 MPa (média de 3,20 MPa), para argamassa longitudinal, e de 5,24 a 6,71 (média de 5,77) para argamassamento pleno, conforme o ilustrado na figura 5.14.

A resistência média à compressão, para argamassamento longitudinal, representou somente 55,5% do valor da resistência média para argamassamento pleno, indicando não ser uma prática que deva ser recomendada.

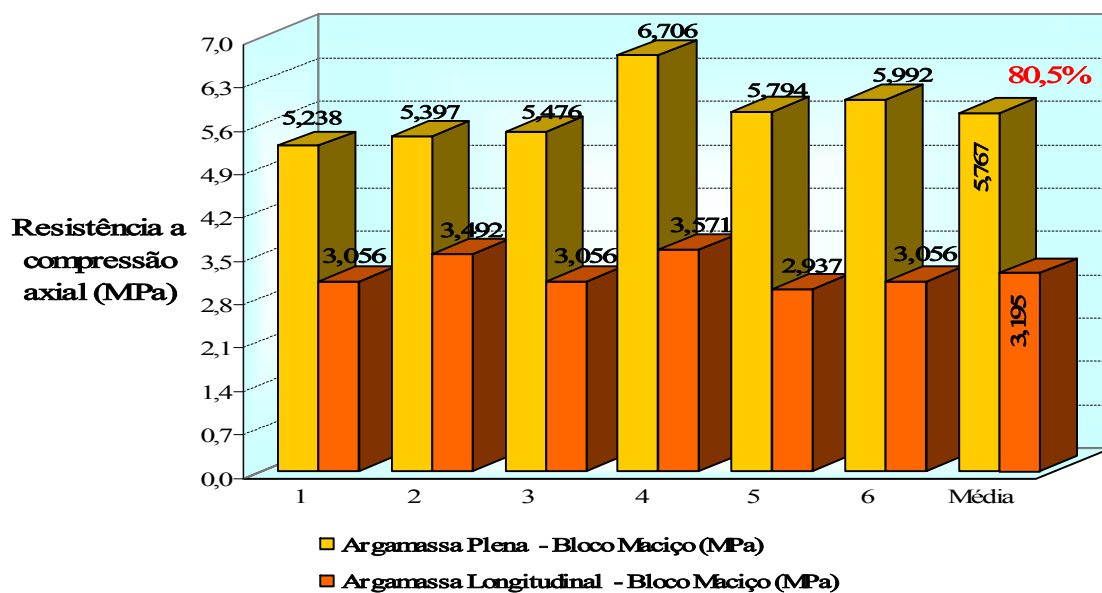


FIGURA 5.14 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 4 MPa.

A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes vazadas e argamassa de 4 MPa, de acordo com tabela 4.14 e figura 5.15, apresenta um percentual de resistência média de 19% maior para o argamassamento pleno que para o argamassamento longitudinal. Verifica-se que, no caso de bloco de paredes vazadas e argamassamento longitudinal, tem-se uma menor diminuição de resistência que no caso de bloco de paredes maciças. Possivelmente, devido às suas paredes serem vazadas, a argamassa tem maior aderência aos vazios e aos septos das paredes.

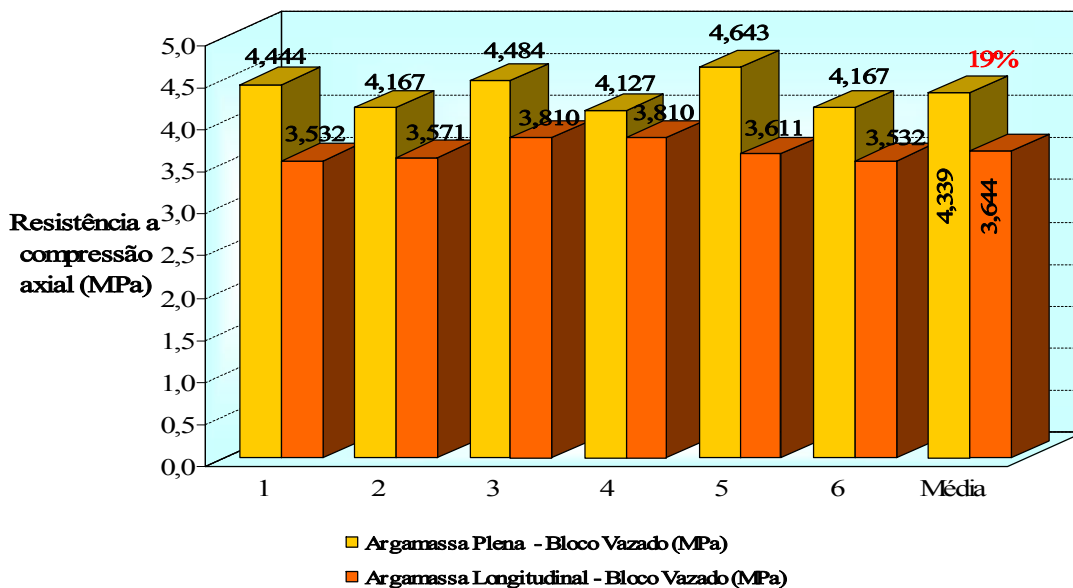


FIGURA 5.15 – Resistência à compressão axial - argamassa plena e longitudinal de 4 MPa – bloco.

A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças e argamassa de 4 MPa plena apresenta um percentual de resistência média de 32,9% superior para o bloco de paredes maciças com argamassamento pleno em relação ao de paredes vazadas, segundo mostra a figura 5.16. Isso ocorre devido às suas paredes serem maciças e a argamassa tender a retardar a ruptura, sendo levada ao esmagamento.

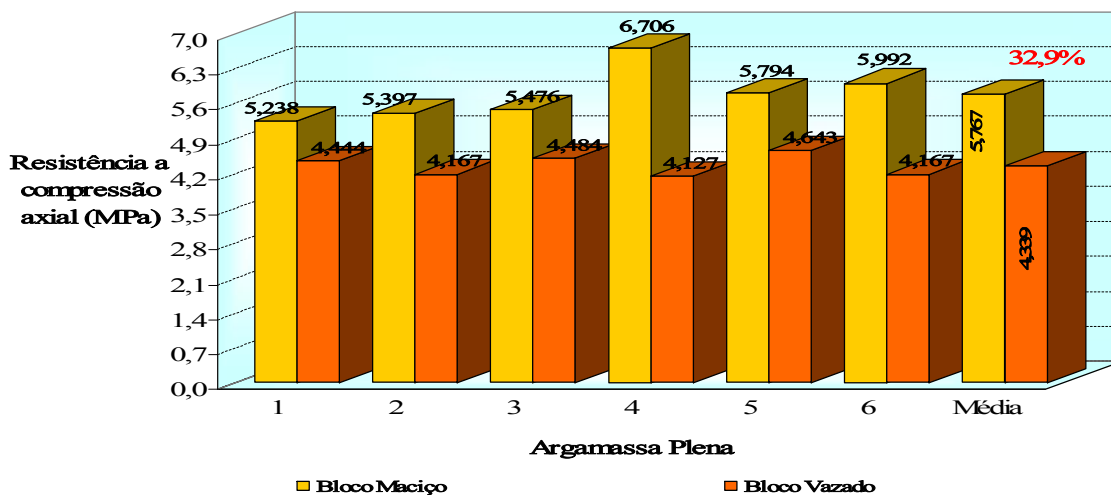


FIGURA 5.16 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas - argamassa plena de 4 MPa.

Já para a resistência à compressão axial das pequenas paredes de argamassa de 4 MPa e argamassamento longitudinal, os resultados, para blocos com paredes vazadas, mostraram um valor médio superior da ordem de 14% em relação àqueles de paredes maciças, como ilustra a figura 5.17.

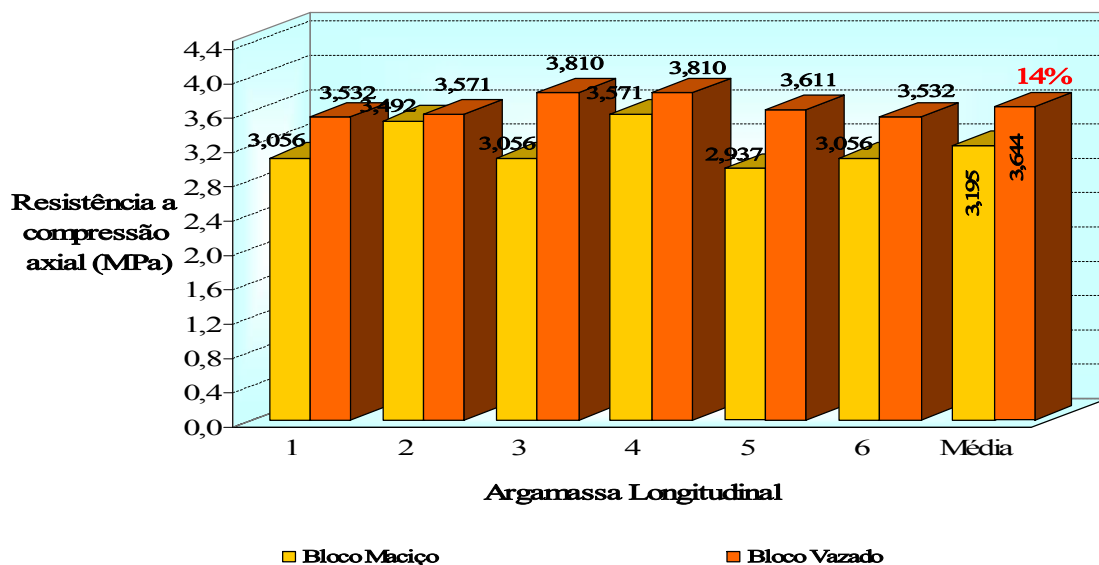


FIGURA 5.17 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas - argamassa longitudinal de 4 MPa.

As figuras 5.18 e 5.19 mostram uma comparação entre as resistências à compressão para os dois tipos de blocos e dois tipos de argamassamento, no caso específico da argamassa de 4 MPa. Nota-se que, para os dois tipos de blocos, o argamassamento pleno obteve maior resistência e, no caso do longitudinal, aconteceu uma inversão no comportamento, já que o bloco de paredes maciças teve uma menor resistência.

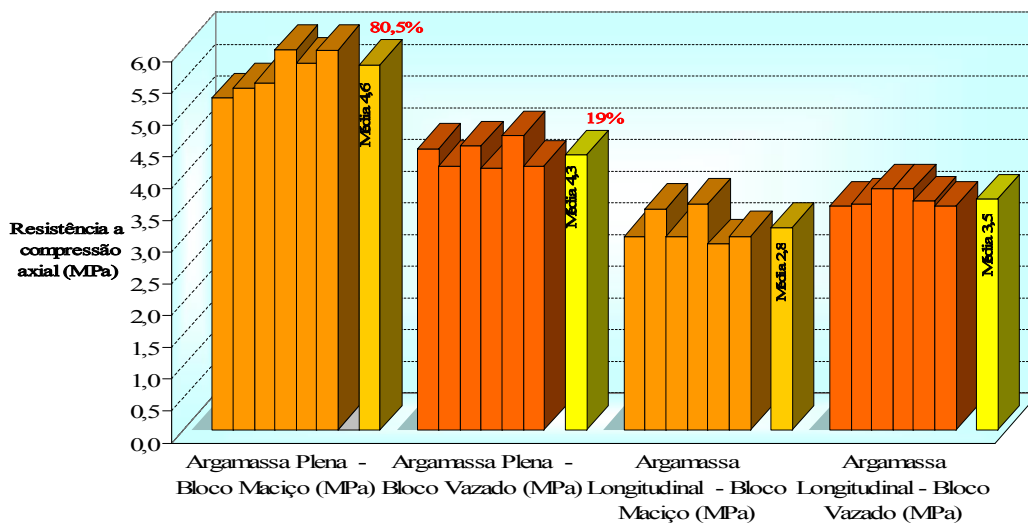


FIGURA 5.18 – Pequenas paredes - comparativo de resistências para argamassa de 4,0 MPa.

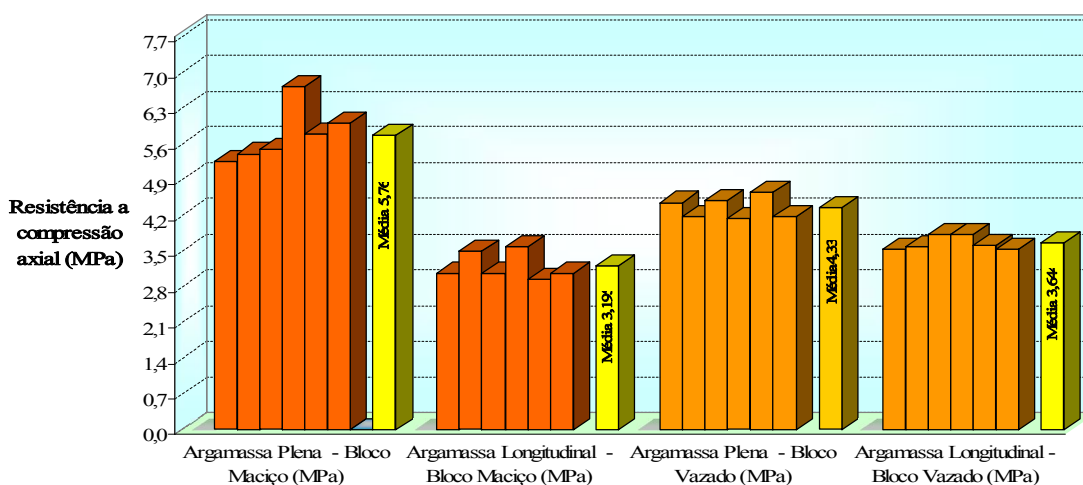


FIGURA 5.19 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 4MPa.

c) Argamassa de 10 MPa

A resistência média à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças e argamassa de 10MPa variou de 3,25 a 3,45 MPa (média de 3,33 MPa) para argamassa longitudinal e de 5,48 a 8,15 MPa (média de 6,73) para argamassamento pleno. Esses detalhes podem ser vistos na figura 5.20.

A resistência média à compressão, para argamassamento longitudinal, representou somente 49,3% do valor da resistência média para argamassamento pleno, indicando não ser uma prática recomendável.

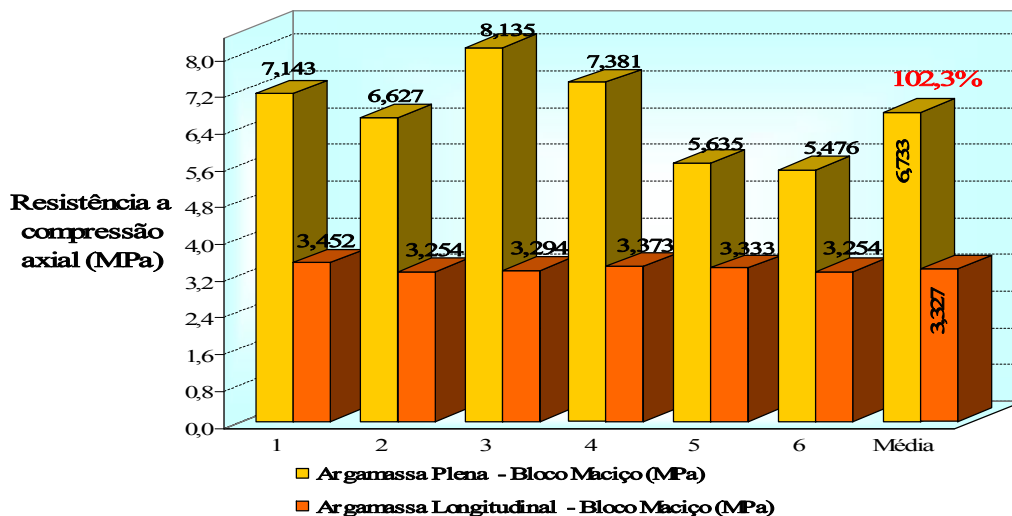


FIGURA 5.20 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 10 MPa.

A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes vazadas e argamassa de 10 MPa, de acordo com tabela 4.15 e com a figura 5.21, apresenta um percentual de resistência média de 34,8% maior para o argamassamento pleno que para o argamassamento longitudinal. Verifica-se que, no caso específico de bloco de parede vazada e argamassamento longitudinal, há uma menor diminuição de resistência que no caso de bloco de paredes maciças. É bem provável que isso ocorra devido às suas paredes serem vazadas, uma vez que, nesse caso, a argamassa tem maior aderência aos vazios e aos septos das paredes.

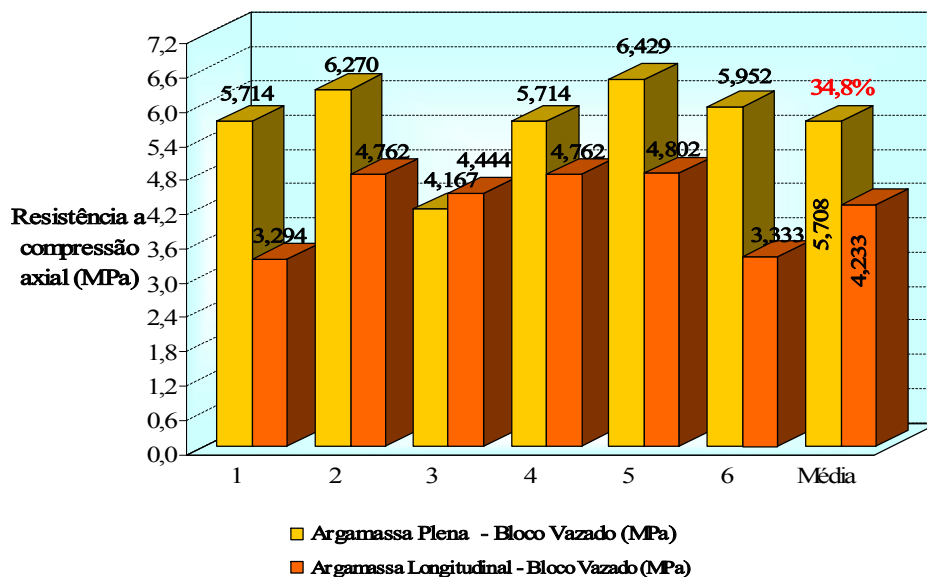


FIGURA 5.21 – Resistência à compressão axial - argamassa plena e longitudinal de 10 MPa.

A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças e argamassa de 10 MPa plena apresenta um percentual de resistência média de 17,9% superior para o bloco de paredes maciças com argamassamento pleno em relação ao de paredes vazadas. Isso é comprovado na figura 5.22 e ocorre devido às suas paredes serem maciças e a argamassa tender a retardar a ruptura, sendo levada ao esmagamento.

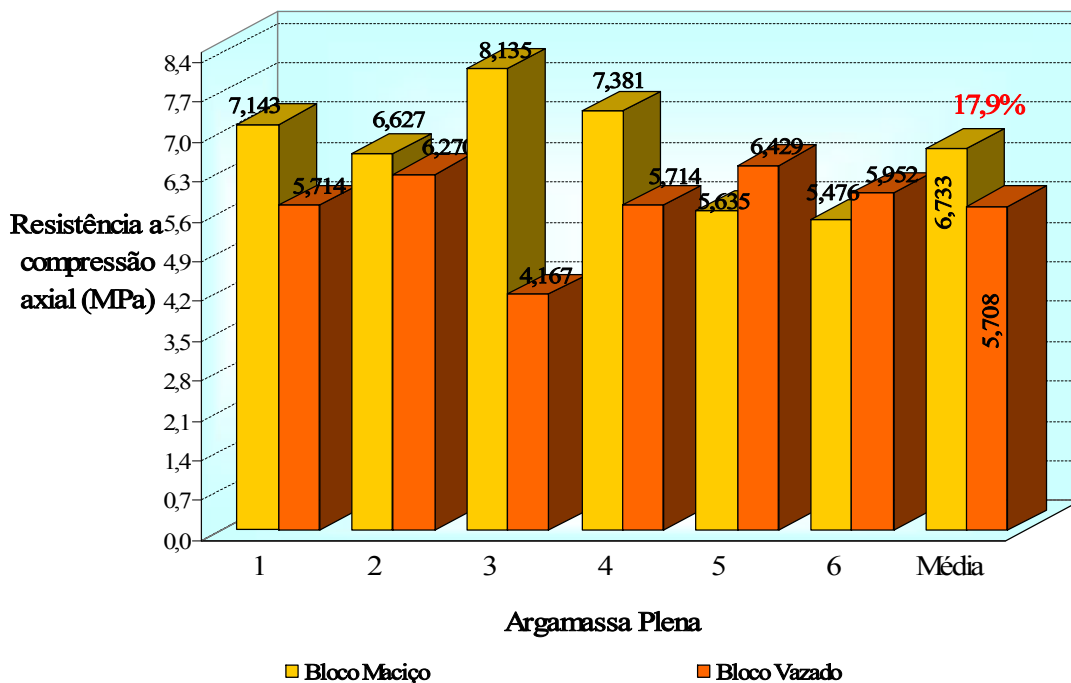


FIGURA 5.22 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas - argamassa plena de 10 MPa.

Já para a resistência à compressão axial das pequenas paredes de argamassa de 10 MPa e argamassamento longitudinal, os resultados detectados, em blocos com paredes vazadas, mostraram um valor médio superior da ordem de 27,2% em relação àqueles de paredes maciças, conforme a figura 5.23.

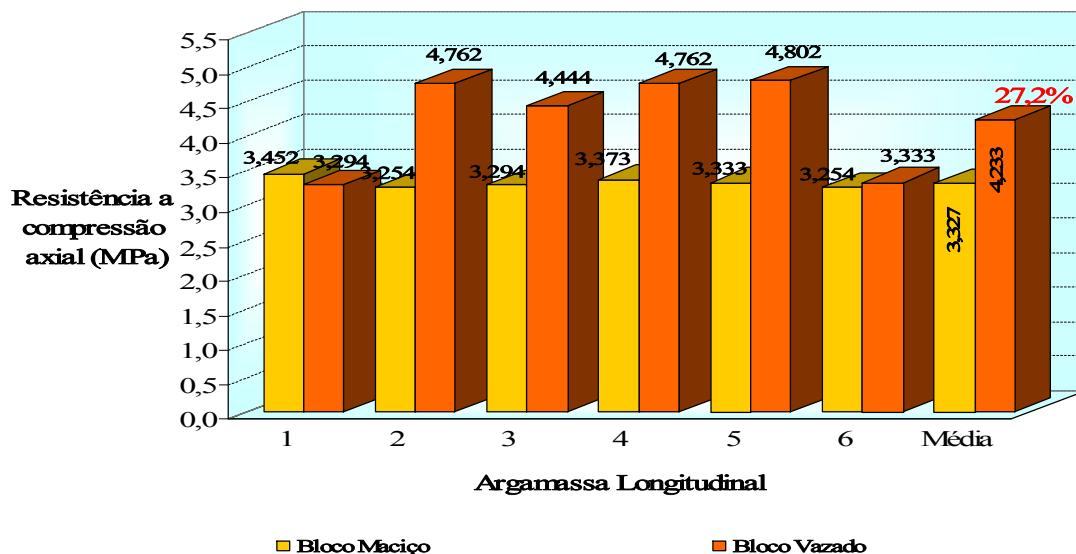


FIGURA 5.23 – Pequenas paredes de blocos de paredes maciças e vazadas - argamassa longitudinal de 10 MPa.

As figuras 5.24 e 5.25 mostram uma comparação entre as resistências à compressão para os dois tipos de blocos e dois tipos de argamassamento, quando utilizada argamassa de 10 MPa. Detectou-se que, para os dois tipos de blocos, o argamassamento pleno obteve maior resistência e, para o longitudinal, ocorreu uma inversão no comportamento, já que o bloco de paredes maciças apresenta uma menor resistência.

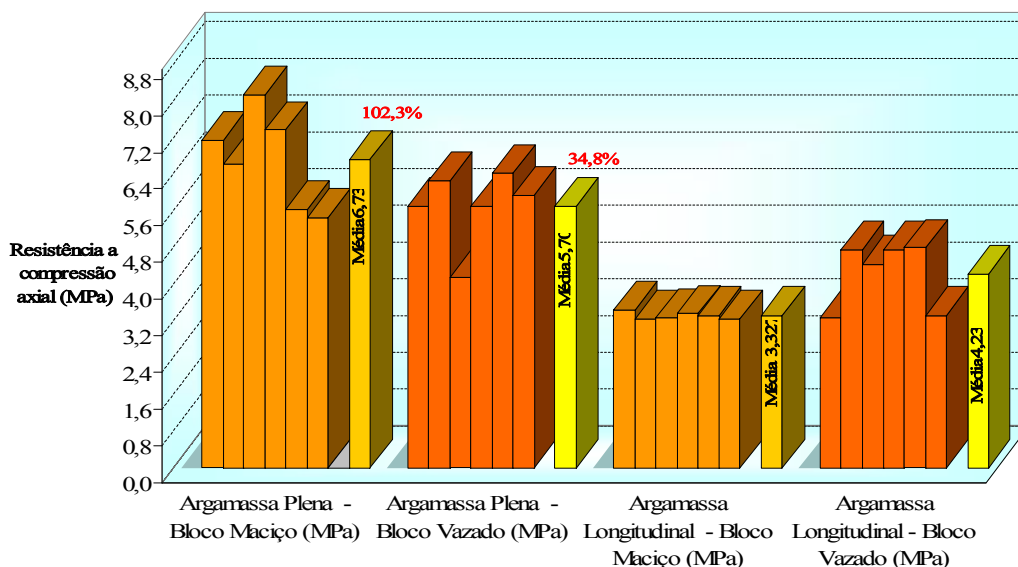


FIGURA 5.24 – Pequenas paredes - comparativo de resistências para argamassa de 10 MPa.

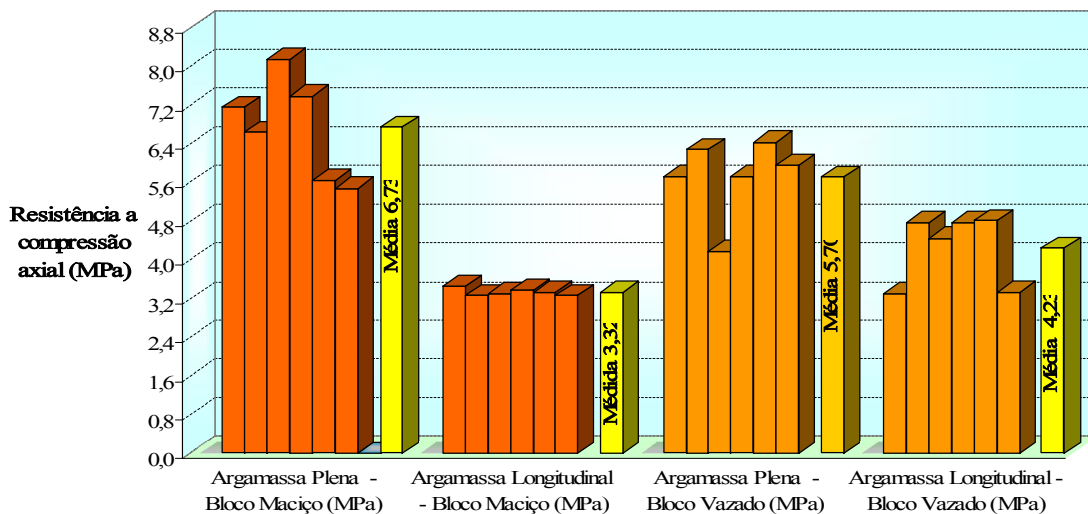


FIGURA 5.25 – Resistência à compressão axial com argamassa plena e longitudinal de 10 MPa.

5.2.7 Módulos de deformação

A figura 5.26 mostra o gráfico dos módulos de deformação para as diferentes argamassas, blocos e argamassamentos estudados nesta pesquisa.

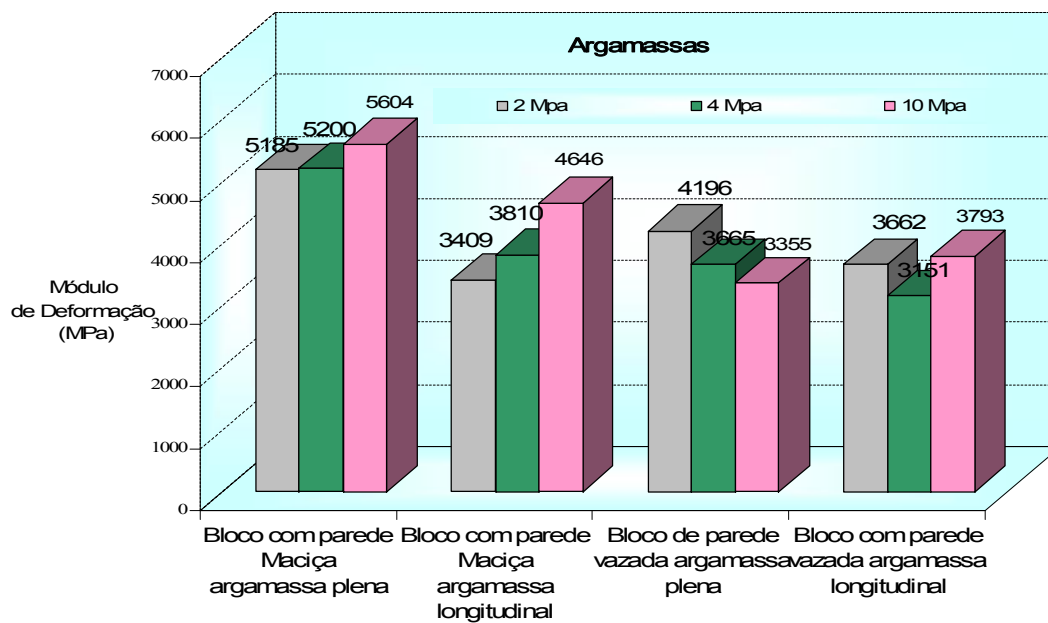


FIGURA 5.26 – Módulos de deformação- Argamassas 2MPa, 4 MPa e 10 MPa.

Os valores dos módulos de deformação variaram de 3.409 a 5.185 MPa para

a argamassa de 2 MPa, de 3.151 a 5.200 MPa, para a argamassa de 4,0 MPa, e de 3.355 a 5.604 para a argamassa de 10 MPa. Os valores dos módulos, no caso de argamassamento pleno, foram superiores àqueles para argamassamento longitudinal, devido a uma maior área de argamassa para resistir aos esforços.

Na tabela 5.1, é exposta uma síntese dos resultados de módulo de deformação obtidos por diversos pesquisadores brasileiros, incluindo aqueles determinados nesta pesquisa. Observa-se, nessa tabela, uma grande variação nas faixas de valores obtidos por diferentes pesquisadores, devido às variações nos materiais e condições de ensaios.

Os valores do módulo de deformação, deste estudo, para argamassas variando de 2 a 10 MPa de resistência e blocos cerâmicos de paredes maciças, variam de 5.185 a 5.604 MPa. Tais valores estão dentro da faixa de valores obtidos por outros pesquisadores, conforme ilustra a tabela 5.1.

Segundo Parsekian (2002), a norma britânica especifica que o módulo pode ser determinado por $E_m=900 \cdot f_p$, enquanto que a norma americana estipula que pode ser determinado por $E_m=700 \cdot f_p$, sendo comum a adoção de $E_m=800 \cdot f_p$, por parte dos projetistas, onde f_p = resistência característica do prisma.

Neste estudo, a relação E_m/f_p variou de 1123 a 784 (ver tabela 5.1)

TABELA 5.1 – Módulo de deformação segundo algumas pesquisas nacionais, valores em MPa. Modificado de Parsekian (2002).

Fonte	Tipo de bloco	σ	E_p	E/σ	Média de E/σ	Observações
GOMES (1983)	Bloco cerâmico vazado	2,40	3593	1497	1152	Ensaio de parede (σ e ϵ)
		3,10	2775	895		
		2,60	2448	942		
		2,90	3692	1273		
FRANCO (1987)	Bloco cerâmico perfurado	5,85	3661	626	529	Ensaio de prisma (σ) e parede (ϵ)
		5,52	2900	525		
		5,57	2816	506		
		4,82	2204	457		
	Sílico-calcário perfurado	5,67	4159	734	636	Ensaio de parede (σ e ϵ)
		5,05	2723	539		
Sílico-calcário maciço	7,05	3523	500	500		
MULLER (1989)	Bloco cerâmico vazado	5,95	3326	559	478	Ensaio de prisma (σ) e parede (ϵ)
		5,70	2523	443		
		5,37	2326	433		

(cont. Tabela 5.1)

Fonte	Tipo de bloco	σ	E_p	E/σ	Média de E/σ	Observações
ALY (1983)	Blocos vazados de concreto	6,40	6846	1070	972	Ensaio de prisma (σ) e parede (ϵ)
		9,30	7434	799		
		9,80	10259	1047		
MEDEIROS (1993)	Blocos vazados de concreto	4,28	3900	911	984	Ensaio de prisma (σ) e parede (ϵ)
		4,83	4200	870		
		4,97	5500	1107		
		4,64	4300	927		
		5,26	5100	970		
		6,52	7300	1120		
MENDES (1998)	Bloco cerâmico vazado	8,11	4508	556	487	Ensaio de prisma (σ e ϵ) sem graute
		12,56	5249	418	1067	Ensaio de prisma (σ e ϵ) graute de aprox.50 MPa
		12,28	18065	1471		
		20,81	13804	663		
		14,66	15609	1065	811	Ensaio de prisma (σ e ϵ) graute de aprox.25 MPa
		19,53	10893	558	678	Ensaio de prisma (σ e ϵ) graute de aprox.12,5 MPa
		17,94	13557	756		
21,33	12821	601				
MOHAMAD (1998)	Blocos vazados de concreto	10,56	9100	862	660	Ensaio de prisma (σ e ϵ)
		8,60	6712	780		
		8,17	4499	551		
		7,54	3373	447		
		11,70	9167	784		
		10,80	5809	538		
		8,84	5848	662		
GARCIA (2000)	Bloco cerâmico vazado	11,67	7044	604	682	Ensaio de prisma (σ) e parede (ϵ) 1/2 dos furos c/graute
		11,43	8692	760	1201	Ensaio de prisma (σ) e parede (ϵ) 3/4 dos furos c/graute
		4,02	4829	1201		Ensaio de parede (σ e ϵ), sem graute
ESTE TRABALHO	Bloco cerâmico de parede maciça	4,68	5195	1108	1123	Ensaio de pequenas paredes. Argamassa de 2MPa. Bloco de parede maciça
		5,16	5200	1008		Ensaio de pequenas paredes. Argamassa de 4MPa. Bloco de parede maciça
		4,48	5604	1252		Ensaio de pequenas paredes. Argamassa de 10MPa. Bloco de parede maciça

(cont. Tabela 5.1)

Fonte	Tipo de bloco	σ	E_p	E/σ	Média de E/σ	Observações
ESTE TRABALHO	Bloco cerâmico de parede vazada	4,56	4196	920	784	Ensaio de pequenas paredes. Argamassa de 2MPa. Bloco de parede vazada
		4,34	3665	844		Ensaio de pequenas paredes. Argamassa de 2MPa. Bloco de parede vazada
		5,21	3355	588		Ensaio de pequenas paredes. Argamassa de 2MPa. Bloco de parede vazada

5.2.8 Eficiência

A tabela 5.2 mostra os valores de eficiência, calculados neste trabalho como a relação entre a resistência à compressão da pequena parede e a resistência à compressão do bloco. Nota-se, nessa tabela, que a eficiência varia 0,18 a 0,46, sendo que as pequenas paredes construídas com blocos cerâmicos de parede vazada apresentam maiores eficiências que aquelas correspondentes com blocos de paredes maciças.

Pequenas paredes com argamassamento pleno apresentam maiores eficiências quando comparadas àquelas com argamassamento longitudinal, para o mesmo tipo de bloco.

Para o mesmo bloco e condição de argamassamento, a eficiência cresce com a resistência da argamassa.

A tabela 5.3 apresenta uma síntese dos valores de eficiência obtidos nesta pesquisa e também por diversos pesquisadores.

O fator de eficiência, f_p/f_b , muitas vezes pode ser mal interpretado, pois um prisma "A", construído com um determinado tipo de bloco "a", pode ter um fator de eficiência bem maior do que um outro prisma "B", preparado com um bloco "b", não significando, no entanto, que a resistência do prisma "B" seja inferior à do prisma "A" (CAVALHEIRO, 2006).

Muitas vezes, pequenos ganhos de eficiência ou de resistência do prisma são obtidos à custa de grandes aumentos da resistência da argamassa, como pode ser observado na tabela 5.2.

TABELA 5.2 – Fator de eficiência.

Argamassa	Argamassa plena		Argamassa Longitudinal	
	Parede maciça	Parede vazada	Parede maciça	Parede vazada
2 MPa	0,26	0,36	0,16	0,29
4 MPa	0,31	0,35	0,18	0,30
10 MPa	0,36	0,46	0,18	0,34

TABELA 5.3 – Valores de eficiência – experiência brasileira.

Autor	f_b (MPa)	f_a (MPa)	Eficiências		
			f_p/f_b	f_{par}/f_b	$f_{paredinha}/f_b$
FRANCO (1987)	10,6	7,2	0,52	0,41	0,44
GOMES (1983)	7,5	5,0	-	0,34	-
MÜLLER (1989)	23,3	3,6	0,26	0,13	0,14
GRACIA (2000)	12,1	11,0	-	0,33	-
CER.SELECTA (apud Garcia)	12,56	12,8	0,58	0,33	-
CER.MARISTELA (apud Garcia)	20,8	7,2	0,27	0,18	-
RAMALHO e CORRÊA(2003)	-	-	-	0,18	-
MAAS (2004)	7,7	5,2	0,35	0,27	-
ESTE TRABALHO	18,0	2,5	-	-	0,26
	18,0	4,2	-	-	0,31
	18,0	13,1	-	-	0,36
ESTE TRABALHO	12,3	2,5	-	-	0,36
	12,3	4,2	-	-	0,35
	12,3	13,1	-	-	0,46

6 CONCLUSÕES

6.1 Conclusões

a) Blocos de paredes maciças e vazadas

As amostras de blocos de paredes maciças e de vazadas estavam em conformidade com as normas técnicas da ABNT em relação a tolerâncias dimensionais, espessura de paredes, desvio do esquadro e flecha, defeitos sistemáticos (trincas, quebras, superfícies irregulares e deformações).

A amostra de blocos cerâmicos de paredes vazadas apresentou uma resistência variando de 10,2 a 13,1 MPa e resistência característica estimada de 10,7 MPa. Em caso de blocos de parede maciça, a resistência média variou de 16,2 a 19,4 MPa, e a resistência característica estimada foi de 15,3 MPa.

b) Argamassas

De acordo com as especificações da NBR 13279, na versão 1995 e 2005, nos ensaios de resistência à compressão axial de argamassa industrializada, constatou-se que, em todas as argamassas ensaiadas, a de 2 MPa, 4 MPa e 10 MPa, houve uma variação um pouco superior dos corpos-de-provas cilíndricos em relação aos prismáticos.

Para a resistência à tração na flexão de argamassa industrializada, observou-se uma pequena dispersão nos resultados, principalmente no caso da argamassa de 2,0 MPa.

Quanto a resistência à compressão média e a resistência à tração na flexão média aos 28 dias, a amostra (**AV 2,0 MPa**) apresentou uma resistência à compressão média de **2,5 MPa** e uma resistência à tração na flexão média de **1,02 MPa**, caracterizando-se conforme esses requisitos, em argamassa tipo **P3** e **R2**.

Já a amostra (**AE 4,0 MPa**) apresentou resistência à compressão média de **4,2 MPa** e uma resistência à tração na flexão média de **1,58 MPa**, enquadrando-se como argamassa tipo **P4** e **R3**.

A amostra (**AE 10,0 MPa**) que demonstrou uma resistência à compressão

média de **12,5 MPa** e uma resistência à tração na flexão média de **4,05 MPa** é classificada como argamassa tipo **P6** e **R5**.

c) Pequenas paredes de blocos de parede maciça e vazada

Argamassa de 2MPa – a resistência média à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças variou de 2,82 a 3,02 MPa (média de 2,90 MPa), para argamassa longitudinal, e de 3,89 a 5,36 (média de 4,68) para argamassamento pleno. A resistência média à compressão, no caso de argamassamento longitudinal, representou 61,4% do valor da resistência média para argamassamento pleno, indicando não ser uma prática recomendável.

A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos de paredes vazadas apresentou um percentual de resistência média de 24,3%, maior para o argamassamento pleno que para o argamassamento longitudinal.

Verificou-se, em blocos de paredes vazadas e argamassamento longitudinal, uma menor diminuição de resistência que nos blocos de paredes maciças, possivelmente, devido às suas paredes serem vazadas. Nesse caso, a argamassa tem maior aderência aos vazios e aos septos das paredes.

Já para a resistência à compressão axial das pequenas paredes com argamassamento longitudinal, os resultados, quando testados blocos com paredes vazadas, mostraram um valor médio superior da ordem de 21,9% em relação àqueles de paredes maciças.

A comparação entre as resistências à compressão, para os dois tipos de blocos e dois tipos de argamassamento, mostrou que, nos dois tipos de blocos, o argamassamento pleno obteve maior resistência e, para o longitudinal, aconteceu uma inversão no comportamento, uma vez que o bloco de paredes maciças demonstrou ter uma menor resistência.

Argamassa de 4MPa - A resistência média à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças variou de 2,94 a 3,57 MPa (média de 3,20 MPa) para argamassa longitudinal e de 5,24 a 6,71 (média de 5,77) para argamassamento pleno.

A resistência média à compressão, no caso de argamassamento longitudinal, representou somente 55,5% do valor da resistência média que apresentou o argamassamento pleno, indicando não ser uma prática que deva ser recomendada.

A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes vazadas apresentou um percentual de resistência média de 19% maior para o argamassamento pleno que para o argamassamento longitudinal.

Verificou-se que, para o bloco de paredes vazadas e argamassamento longitudinal, tem-se uma menor diminuição de resistência que para o bloco de paredes maciças. É bem provável que, devido às suas paredes serem vazadas, a argamassa tenha maior aderência aos vazios e aos septos das paredes.

Já para a resistência à compressão axial das pequenas paredes com argamassamento longitudinal, os resultados, no caso específico de blocos com paredes vazadas, mostraram um valor médio superior da ordem de 14% em relação àqueles de paredes maciças.

Argamassa de 10 MPa - A resistência média à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças variou de 3,25 a 3,45 MPa (média de 3,33 MPa) para argamassa longitudinal e de 5,48 a 8,15 MPa (média de 6,73) para argamassamento pleno.

A resistência média à compressão, para argamassamento longitudinal, representou somente 49,3% do valor da resistência média para argamassamento pleno, indicando não ser uma prática aconselhável.

Já para a resistência à compressão axial das pequenas paredes com argamassamento longitudinal, os resultados, em blocos com paredes vazadas, mostraram um valor médio superior da ordem de 27,2% em relação àqueles de paredes maciças.

Feita uma comparação entre as resistências à compressão para os dois tipos de blocos e dois tipos de argamassamento, notou-se que, no caso dos dois tipos de blocos, o argamassamento pleno obteve maior resistência e, no caso do longitudinal, ocorreu uma inversão no comportamento, pois o bloco de paredes maciças apresenta uma menor resistência.

Os módulos de deformação das 12 pequenas paredes variaram de 3.409 a 5.185 MPa, para a argamassa de 2 MPa, de 3.151 a 5.200 MPa, para a argamassa de 4,0 MPa, e de 3.355 a 5.604 para a argamassa de 10 MPa. Os valores dos módulos, para argamassamento pleno, demonstram ser superiores àqueles para argamassamento longitudinal, devido a uma maior área de argamassa para resistir aos esforços.

A eficiência variou de 0,18 a 0,46, sendo que as pequenas paredes construídas com blocos cerâmicos de paredes vazadas apresentaram maiores eficiências que aquelas correspondentes com blocos de paredes maciças.

Para o mesmo bloco e condição de argamassamento, a eficiência cresce com a resistência da argamassa.

6.2 Sugestões para outros estudos

- estudar correlações entre resistências do prisma, da argamassa e do bloco dentro do conceito de eficiência;
- desenvolver ensaios de prismas e de pequenas paredes instrumentadas;
- aplicar simulação e métodos numéricos no estudo de prismas e de pequenas paredes;
- construir pequenas paredes de blocos com resistência iguais, com argamassas diferentes, para constatar a eficiência das argamassas;
- realizar pesquisa utilizando prismas convencionais, de três blocos e paredes.
- estudar a aderência da interface bloco/argamassa de diversos tipos de parede maciça e vazada.
- realizar a pesquisa em blocos de concreto, com diferentes geometrias de blocos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALY, V. L. C. **Determinação da Capacidade Resistente do Elemento Parede de Alvenaria Armada de Blocos de Concreto, Submetido a Esforços de Compressão**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1992.

ALY, V. L. C.; SABBATINI, F. H. Determinação de Correlações de Resistência Mecânica de Paredes de Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto. In: The 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. **Proceedings**... Florianópolis, August, 1994.

ANDERSON, G. W. Stack-bonded small specimens as design and construction criteria. In: INTERNATIONAL BRICK MASONRY CONFERENCE, 2, 1979. Stoke-on-Trent. **Proceedings**... Stoke-on-Trent: The British Ceramic Research Association, 1971, p. 38-43.

ASSAN, A. E. **Método dos elementos finitos: primeiros passos**. Campinas, SP: Unicamp, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da composição granulométrica dos agregados, NBR 7217**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Agregados – Determinação da massa unitária, NBR 7251**. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Agregados-Determinação da massa específica dos agregados miúdos por meio do frasco de Chapman, NBR 9776**. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Bloco cerâmico para alvenaria – Especificações, NBR 7171**. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **Bloco cerâmico para alvenaria – Formas e Dimensões, NBR 8042**. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **Bloco cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão, NBR 6461.** Rio de Janeiro, 1983.

_____. **Bloco Cerâmico para Alvenaria, NBR 7171.** Rio de Janeiro.

_____. **Bloco Cerâmico Portante para Alvenaria – Determinação da Área Líquida, NBR 8043.** Junho, 1983.

_____. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural; método de ensaio, NBR-7186.** Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto, NB-1228.** Julho, 1989.

_____. **Paredes de Alvenaria Estrutural- Ensaio à Compressão Simples, NBR 8949.** Rio de Janeiro, 1985.

BOUOLT, B. F. Concrete masonry prism testing. **Journal of the American Concrete Institute.** v. 76, n. 4. Detroit, apr. 1979, p. 53-535.

BRADSHAW, R. E.; HENDRY, A. W. Further crushing tests on storey-eight walls 4172 in thick. **Proceedings of the British Ceramic Society.** Stoke-on-Trent, n. 11, jul. 1968, p. 25-53.

BRDE. Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul. **Cerâmica Vermelha: Informe Setorial.** Florianópolis, SC, dezembro de 1994, 14 p.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **Code of practice for structural use of masonry – Part 1 – Structural use of unreinforced masonry – BS5628: part 1.** Reino Unido, 1985.

_____. **Code of practice for structural use of masonry – Part 1 – Structural use of unreinforced masonry – BS5628: part 1.** Reino Unido, 1992.

_____. **Code of practice for structural use of masonry – Part 2 – Reinforced and prestressed masonry – BS5628: part 2.** Reino Unido, 1995.

_____. **Code of practice for structural use of masonry – Part 3 – Materials and components design and workmanship – BS5628: part 3.** Reino Unido, 1985.

BROOKS B. H. The Modulus of Elasticity of Masonry. **Masonry International,** v. 12, n. 2. 1998.

BROWN, R. H. **Predictino of brick masory prism strength from reduced constraint brick tests.** In: MASONRY: past and present. Philadelphia: ASTM, 1975, p. 171-194 (ASTM Special Technical Publication, 589).

CAMACHO, J. S. **Alvenaria estrutural não armada-parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes.** Porto Alegre, UFRGS/CPGEC, 1986, 183p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986.

_____. Fatores que afetam a resistência à compressão da alvenaria. In: Simpósio Nacional da Tecnologia da Construção: o uso da alvenaria como estrutura, 6., São Paulo, 1987. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1987.

CAMACHO, J. S.; ANDOLFATO, R. P. **Development of the Production Techniques of the small scale concrete blocks.** 12th International Brick/Block Masonry Conference. Madrid, 2000, p. 385-395.

CAMACHO, J. S.; BERTOLINO, R. Jr.; ANDOLFATO, R. P. **An Experimental Investigation of Correlations Between Prototypes And Small-Scale Modeling of Ceramic Block Masonry.** 12th International Brick/Block Masonry Conference. Madrid, 2000, p. 373-383.

CAPUZZO, N.; CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. **A Theoretical and Experimental Study of Intersecting Bonded Walls Under Vertical Loads.** 12th International Brick/Block Masonry Conference. Madrid, 2000.

CAVALHEIRO, O. C. **Resistência e Deformabilidade de Pequenas Paredes em Alvenaria Cerâmica Tradicional.** Calculadas no Estado Limite Último, 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Florianópolis, ago. 1994.

CAVALHEIRO, O.; MOHAMAD, G. **Desenvolvimento e Desempenho de Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural.** VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Qualidade no Processo Construído. Florianópolis, 1998.

COLVILLE J.; WOLDE-TINSAE, A. M. **Compressive strength of grouted concrete masonry.** Proceedings of the 9th International brick/block masonry conference. v. 1. Berlin, Germany, 1991, p. 149-156.

_____. **Compressive strength of hollow concrete masonry.** 5th North American Masonry Conference. University of Illinois at Urban-Champaign, jun. 1990, p. 663-672.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. **Procedimento Para Análise de Edificações de Alvenaria Estrutural Submetidos a Ações Verticais.** 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 1994.

DRYSDALE, G. R. et al. Behavior of Concrete Block Masonry Under Axial Compression. **ACI Journal.** Jun. 1979.

DUARTE, R. B. **Determinação Experimental do Módulo de Elasticidade da Alvenaria.** XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural. Argentina, 1995.

_____. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** Porto Alegre, 1999.

DYM, C. L.; SHAMES, I. H. **Solid Mechanics: a variational approach.** Mc Graw-Hill, 1973.

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

_____. **Desempenho estrutural do elemento parede de alvenaria empregado na alvenaria estrutural não armada, quando submetidas a esforços de compressão**. São Paulo: USP, 1987. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1987.

_____. **Parâmetros utilizados nos Projetos de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1993.

_____. **Parâmetros utilizados nos projetos de alvenaria estrutural**. São Paulo: EPUSP, Boletim Técnico, 17 p. 1993.

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

GANESAN, T. P.; RAMAMURTHY, K. Behavior of Concrete Hollow-Block Masonry Prisms Under Axial Compression. **Journal of Structural Engineering**. v. 118, jul. 1992.

_____. **Finite Element Analysis of Concrete Hollow Block Masonry Prisms**. Departament of Civil Engineering, I. I. T., Madras, India.

GOMES, N. S. **A Resistência das Paredes de Alvenaria**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1974.

GONÇALVES, R. R. O déficit habitacional no Brasil: uma estimativa a partir dos dados da PNAD – 1995. **Revista Nova Economia**. n. 1, v. 7, 1997, p. 99-121.

HALLER, P. Die technischen eigenschaften von backstein-Mauerwerk für Hochhäuser. **Schweizerische Bauzeitung**. v. 76, n. 28. Zürich, jul. 1958, p. 411-419.

HOISETH, K. V.; KVANDE, T. **Constitutive Properties of Lightweight Concrete Masonry**. 12th International Brick/Block Masonry Conference. Madrid, Spain, 2000.

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

HUGHES, T. G.; KITCHING, N. **Small Scale Testing of Masonry**. 12th International Brick/Block Masonry Conference. Madrid, 2000, p. 893-902.

IPT. 1986. **Manual de procedimentos para a indústria de cerâmica vermelha**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, IPT-Relatório 24.422.

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

LA ROVERE, H. L. **Análise do Comportamento Mecânico de Prismas de Alvenaria de Blocos de Concreto pelo MEF.**

LA ROVERE, H. L.; RODRÍGUEZ, R. M. **Análise do Comportamento Mecânico de Prismas de Alvenaria de Blocos de Concreto pelo MEF.**

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

MAURENBRECHER, A. H. P. **Axial Compression Tests on Masonry Walll and Prims.** Proceedings Third North American Masonry Conference University of Texas at Arlington, jun. 1985.

_____. **Use of the prism Test to Determine Compressive Strength of Masonry.** In: 1st North American masonry conference, 1978, Boulder, Columbia, TMs, EUA, 1978, Proceedings.

MEDEIROS, J. E.; SABBATINI, F. H. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** **Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.** São Paulo, SP, 1993, 20 p.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** São Paulo: EPUSP, 1993. v. 1 e 2, 449 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.

MENDES, R. J. K. **Resistência à Compressão de Alvenarias de Blocos Cerâmicos Estruturais.** 1998, 185 p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 1998.

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

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

MULLER, M. S. K. **Estudo das correlações entre resistência à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos a esforços de compressão axial.** São Paulo: USP, 1989, 246 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1989.

OLIVEIRA JR., V.; PINHEIRO, L. M. **Análise de Paredes de Alvenaria Estrutural Calculadas no Estado Limite Último.** 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 1994.

OLIVEIRA, S. M. **Avaliação dos blocos e tijolos cerâmicos do Estado de Santa Catarina**. 1993. Dissertação (Mestrado – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1993.

OLIVEIRA, V. J. **Recomendações para projeto de edifícios em alvenaria estrutural**. 1992. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1992.

PAGE, A. W. Finite Element Model for Masonry. **Journal of the Structural Division**, aug. 1998.

PAGE, A. W.; SHRIVE, N. G. A Critical Assessment of Compression Tests for Hollow Block Masonry. **Masonry International**, 1998.

PAPAYIANNI, I.; STEFANIDOU, M. **Characteristics of Bricks of Byzantine Period**. 12th International Brick/Block Masonry Conference. Madrid, Spain, 2000.

PARSEKIAN, G. A. **Tecnologia de produção de alvenaria estrutural protendida**. 2002, 263 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, SP, 2002.

PICCHI, F. A. **Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. São Paulo: USP, 1993, 2 v. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.

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

PRUDÊNCIO, Tr. L. R. **Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre resistência de unidade, prisma e parede capacidade resistente de tijolos cerâmicos maciços**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1986, 123 p.

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

REDMOND, T. B.; ALLEN, M. H. Compressive strength of composite brick and concrete masonry walls. In: **MASONRY: past and present**. Philadelphia: ASTM, 1975, p. 195-232 (ASTM Special Technical Publication, 589).

RÉSISTANCE des maçonneries en briques creuses soumises des charges verticales. **Cahiers du Centre Scientifique et technique du Bâtiment**. Paris, v. 104, n. 911, nov. 1969, p. 1-31.

RIZZATTI, E. **Influência da Geometria do Bloco Cerâmico no Desempenho Mecânico da Alvenaria Estrutural sob Compressão**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

ROMAGNA, R. H. **Resistência à Compressão de Prismas de Blocos de Concreto Grauteados e Não Grauteados**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

ROMAN, H. R. **Determinação das características físicas e análise estatística**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1983, 102 p. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1983.

ROMAN, H. R.; MOHAMAD, G. **Alvenaria Estrutural-Classificação e Materiais**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 1999, 83 p.

ROMAN, H. R.; PRADO, S. H. **Estudo comparativo da resistência à compressão de prismas de diferentes blocos e tijolos cerâmicos**. XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural, Argentina, 1995.

SANTOS, F. A. dos. **Efeito do Não Preenchimento de Juntas Verticais no Desempenho de Edifícios em Alvenaria Estrutural**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

SCHUMACHER, J. Quelques essays montrant l'influence de la mise en ceuvre et du mortier des joints sur la résistance de maçonneries en briques creuses. **Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment**. v. 117, n. 1017. Paris, mar. 1971, mar. 1971, p. 1-7.

SHRIVE, N. G. **A fundamental approach to the fracture of masonry precdings third canaiam masanry symposium**. University of Aberta, Edmontam, 1983.

SINHA, B. P. Model studies related to load bearing bricwork. **Edinburgh: University of Edinburgh**. 1967. Thesis (PhD) – University of Edinburgh, 1967.

STANG, A. H. et al. Compressive strength of clay brick walls. **Journal of Research of the Bureau of Standards**. v. 3, n. 4. Washington, oct. 1929, p. 507-571.

STEDHAM, M. E. C. Quality control for load-bearing brickwork I. 9-in cube tests; preliminary results. **Transactions of the British ceramic Society**. v. 64, n. 1. Stoke-on-Trent, jan. 1965, p. 1-7.

VERMELTFOORT, A. T. Properties of Some Clay Bricks Under Varying Loading Conditions. **Journal of the British Masonry Society**, 1997.

WEST, H. W. H.; EVERIL, J. B.; BEECH, D. G. Experiments in the use of the 9-in brickwork cube for site control testing. **Proceedings of the British Ceramic Society**. n. 11. Stoke-on-Trent, jul. 1968, p. 135-141.

YANG, W. J.; SHI, C. X. **Random Nonlinear Finite Element Analysis of Masonry Structure**. 12th International Brick/Block Masonry Conference, Madrid, Spain, 2000.

ANEXOS

ANEXO A
ENSAIOS DAS ARGAMASSAS


LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – LMCC

1/2

ENDEREÇO: Cidade Universitária – Camobi, Santa Maria/RS – CEP 97105-900

TELEFONE: (55) 3220 8608 (Fax) – Direção • 3220 8313 – Secretaria

E-MAIL: lmcc@ct.ufsm.br

ÁREA DE ENSAIOS – ALVENARIA ESTRUTURAL
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 32265
Amostra LMCC nº: 1865
Data de entrada: 09 / 01 / 2006
Interessado: IRMÃOS CIOCCARI & Cia. Ltda.
Referência: Ensaios de controle
Material declarado: Argamassa Industrializada para Assentamento de Alvenaria Estrutural

Tipo FIDA ASSENTAMENTO VEDAÇÃO 2,0 MPa

(NBR 13281:2005 – Classe P3, M5, R2, C3, D5, U6)

Objetivo: Determinação da densidade de massa no estado endurecido, da absorção de água por capilaridade e das resistências à tração na flexão e à compressão.

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios de caracterização englobando as determinações de densidade aparente de massa no estado endurecido e absorção de água por capilaridade. Também é objetivo, a determinação da resistência à compressão e a tração na flexão referente a uma amostra de argamassa industrializada contendo três corpos-de-prova prismáticos 40x40x160mm.

O ensaio foi realizado no estado endurecido aos 28 (vinte e oito) dias, por constituir os ensaios necessários para caracterização do lote, bem como parte do controle de produção da argamassa industrializada produzida pela Empresa. A amostra recebida pelo LMCC recebeu as seguintes identificações:

LMCC	Interessado	
1865	Data da entrega:	09 / 01 / 2006
	Número da amostragem:	01-01-2006
	Data de fabricação:	02 / 01 / 2006
	Requisitos tabelados:	P3, M5, R2, C3, D5, U6
	Identificação do lote:	AV 2,0 MPa – 1020106
	Equipamento que produziu:	Central de Argamassa

2. MÉTODOS DE ENSAIO E DOCUMENTOS REFERENCIADOS

NBR 13279:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão
NBR 13280:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa no estado endurecido
NBR 13281:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos
NBR 15259:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade
NBR 9778:2005	Argamassas e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica
NBR 9779:1995	Argamassas e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade

3. RESULTADOS

Os resultados das determinações de densidade aparente de massa no estado endurecido e absorção de água por capilaridade estão apresentados na *Tabela 01*.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca LMCC, para quaisquer fins, sob pena de indenização. Sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem alterações e depende da aprovação formal deste Laboratório.



Relatório de ensaio nº 32265

Tabela 01 – Determinação da densidade aparente de massa no estado endurecido (NBR 13280:2005), da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade (NBR 15259:2005)

Umidade (%)	Densidade de massa – $\rho_{m\acute{a}x}$ (kg/m ³)		Absorção de água – A_t (g/cm ²)			Coeficiente de capilaridade – C (g/dm ² .min ^{1/2})		
	Individuais	Média	10min	90min	Média (90min)	Individuais	Média	DRM (%)
19,8	1.838	1.840	0,64	1,86	1,89	1,23	1,19	3,3
	1.830		0,76	1,93		1,16		
	1.851		0,70	1,87		1,17		

- Data de realização dos ensaios: 07 / 02 / 2005
- Condições de ensaio no Laboratório: Temperatura de 25,0°C e Umidade Relativa de 61%
- A densidade aparente de massa no estado endurecido ($\rho_{m\acute{a}x}$) é definida pela equação $\rho_{m\acute{a}x} = \left(\frac{m}{V}\right) \cdot 1000$
- A absorção de água por capilaridade (A_t) é definida pela equação $A_t = \frac{m_t - m_0}{16}$, sendo m_t a massa do corpo-de-prova em cada tempo, e m_0 a massa inicial do mesmo, e o coeficiente de capilaridade (C) é definido pela equação $C = (m_{90} - m_{10})$

Os resultados, aos 28 (vinte e oito) dias de idade, da amostra de argamassa industrializada remetida pelo interessado, do ensaio de resistência à tração na flexão constam na Tabela 02, bem como os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Tabela 02 – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (NBR 13279:2005)

Exemplar	Carga de Ruptura à Flexão (N)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Exemplar	Carga de Ruptura à Compressão (N)	Resistência à Compressão (MPa)	Resistências médias calculadas (MPa)	
						Tração na Flexão	Compressão
8575	795	1,86	8578	6.100	3,81	1,8	3,7
			8579	6.150	3,84		
8576	753	1,77	8580	5.900	3,69		
			8581	6.200	3,88		
8577	767	1,80	8582	5.500	3,44		
			8583	5.350	3,34		

- Data de realização dos ensaios: 07 / 02 / 2006
- Data de moldagem: 10 / 01 / 2006
- Idade na data do ensaio: 28 (vinte e oito) dias
- Desvios-padrão obtidos no ensaio: 0,0 MPa (Tração na Flexão) ∴ 0,2 MPa (Compressão)
- Desvios absolutos máximos: 0,1 MPa (Tração na Flexão) ∴ 0,3 MPa (Compressão)
- Coefficiente de variação amostral: 4,7% (Tração na Flexão) ∴ 6,1% (Compressão)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme NBR 13280:2005 a densidade aparente média de massa no estado endurecido foi de **1.840kg/m³**, caracterizando esta amostra como **M5** (Tabela 2 da NBR 13281:2005). Pela NBR 15259:2005, o coeficiente de capilaridade médio da amostra foi de **1,19g/dm².min^{1/2}**, o que, conforme Tabela 2 da NBR 13281:2005 classifica a amostra como **C2**. Este lote (AV 3,0MPa – 3091205), aos 28 (vinte e oito) dias, apresenta uma resistência à tração na flexão média de **1,8MPa** e resistência à compressão média de **3,7MPa**, caracterizando-a, conforme estes requisitos em argamassa tipo **R2** e **P3**, respectivamente (Tabelas 3 e 1 da NBR 13281:2005).

Santa Maria (RS), 08 de fevereiro de 2006.

Prof. M. Eng. Odilon Pancaro Cavalheiro
Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural - GPDAE

Coordenador

M. Eng. Paulo Inácio Obregon do Carmo
Laboratório de Materiais de Construção Civil - LMCC

Diretor

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca LMCC, para quaisquer fins, sob pena de indenização. Sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem alterações e depende da aprovação formal deste Laboratório.


LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – LMCC

1/2

ENDEREÇO: Cidade Universitária – Camobi, Santa Maria/RS – CEP 97105–900

TELEFONE: (55) 3220 8608 (Fax) – Direção • 3220 8313 – Secretaria

E-MAIL: lmcc@ct.ufsm.br

ÁREA DE ENSAIOS – ALVENARIA ESTRUTURAL
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 32623

Amostra LMCC nº: 1955	Data de entrada: 20 / 02 / 2006
Interessado: IRMÃOS CIOCCARI & Cia. Ltda.	
Referência: Ensaios de controle	

Material declarado: Argamassa Industrializada para Assentamento de Alvenaria Estrutural Tipo FIDA ASSENTAMENTO ESTRUTURAL 4,0MPa (NBR 13281:2005 – Classe P4, R4) Objetivo: Determinação das resistências à tração na flexão e à compressão.

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios para determinação da resistência à compressão e a tração na flexão referente a uma amostra de argamassa industrializada contendo três corpos-de-prova prismáticos 40x40x160mm.

O ensaio foi realizado aos 28 (vinte e oito) dias, por constituir os ensaios necessários para liberação do lote, bem como parte do controle de produção da argamassa industrializada produzida pela Empresa. A amostra recebida pelo LMCC recebeu as seguintes identificações:

LMCC	Interessado	
1955	Data da entrega:	20 / 02 / 2006
	Número da amostragem:	01-02-2006
	Data de fabricação:	06 / 02 / 2006
	Requisitos tabelados:	P4, R4
	Identificação do lote:	AE 4,0MPa – 2060206
	Equipamento que produziu:	Central de Argamassa

2. MÉTODOS DE ENSAIO E DOCUMENTOS REFERENCIADOS

NBR 13276:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência
NBR 13277:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água
NBR 13278:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado
NBR 13279:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão
NBR 13281:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos

3. RESULTADOS

Os resultados, aos 28 (vinte e oito) dias de idade, da amostra de argamassa industrializada remetida pelo interessado, no ensaio de resistência de tração na flexão constam na *Tabela 01*, bem como os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca LMCC, para quaisquer fins, sob pena de indenização. Sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem alterações e depende da aprovação formal deste Laboratório.



Relatório de ensaio nº 32623

Tabela 01 – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (NBR 13279:2005)

Exemplar	Carga de Ruptura à Flexão (N)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Exemplar	Carga de Ruptura à Compressão (N)	Resistência à Compressão (MPa)	Resistências médias calculadas (MPa)	
						Tração na Flexão	Compressão
9381	904	2,12	9384	10.300	6,44	2,2	5,9
			9385	10.600	6,63		
9382	877	2,06	9386	8.600	5,38		
			9387	9.400	5,88		
9383	973	2,28	9388	8.750	5,47		
			9389	8.800	5,50		

- Data de realização dos ensaios: **27 / 03 / 2006**
- Data de moldagem: **27 / 02 / 2006**
- Idade na data do ensaio: **28 (vinte e oito) dias**
- Desvios-padrão obtidos no ensaio: **0,1 MPa (Tração na Flexão) ∴ 0,1 MPa (Compressão)**
- Desvios absolutos máximos: **0,5 MPa (Tração na Flexão) ∴ 0,7 MPa (Compressão)**
- Coeficiente de variação amostral: **5,4% (Tração na Flexão) ∴ 9,1% (Compressão)**
- Índice de consistência: **260mm**

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este lote de argamassa industrializada (Assentamento Estrutural 4,0MPa – 2060206), aos 28 (vinte e oito dias) dias, apresenta uma resistência à tração na flexão média de **2,2MPa** e resistência à compressão média de **5,9MPa**.

Santa Maria (RS), 30 de março de 2006.

Prof. M. Eng. Odilon Pancaro Cavalheiro
Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural - GPDAE
Coordenador

M. Eng. Paulo Inácio Obregon do Carmo
Laboratório de Materiais de Construção Civil - LMCC
Diretor


LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – LMCC

1/2

ENDEREÇO: Cidade Universitária – Camobi, Santa Maria/RS – CEP 97105–900

TELEFONE: (55) 3220 8608 (Fax) – Direção • 3220 8313 – Secretaria

E-MAIL: lmcc@ct.ufsm.br

ÁREA DE ENSAIOS – ALVENARIA ESTRUTURAL
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 32609

Amostra LMCC nº: 1943	Data de entrada: 06 / 02 / 2006
Interessado: IRMÃOS CIOCCARI & Cia. Ltda.	
Referência: Ensaios de controle	

Material declarado: Argamassa Industrializada para Assentamento de Alvenaria Estrutural Tipo FIDA ASSENTAMENTO ESTRUTURAL 10,0 MPa (NBR 13281:2005 – Classe P6, R6) Objetivo: Determinação das resistências à tração na flexão e à compressão.

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios para determinação da resistência à compressão e a tração na flexão referente a uma amostra de argamassa industrializada contendo três corpos-de-prova prismáticos 40x40x160mm.

O ensaio foi realizado aos 28 (vinte e oito) dias, por constituir os ensaios necessários para liberação do lote, bem como parte do controle de produção da argamassa industrializada produzida pela Empresa. A amostra recebida pelo LMCC recebeu as seguintes identificações:

LMCC	Interessado	
1943	Data da entrega:	06 / 02 / 2005
	Número da amostragem:	04-01-2006
	Data de fabricação:	30 / 01 / 2006
	Requisitos tabelados:	P6, R6
	Identificação do lote:	AE 10,0MPa – 2300106
	Equipamento que produziu:	Central de Argamassa

2. MÉTODOS DE ENSAIO E DOCUMENTOS REFERENCIADOS

NBR 13276:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência
NBR 13277:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água
NBR 13278:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado
NBR 13279:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão
NBR 13281:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos

3. RESULTADOS

Os resultados, aos 28 (vinte e oito) dias de idade, da amostra de argamassa industrializada remetida pelo interessado, no ensaio de resistência de tração na flexão constam na *Tabela 01*, bem como os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca LMCC, para quaisquer fins, sob pena de indenização. Sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem alterações e depende da aprovação formal deste Laboratório.



Relatório de ensaio nº 32609

Tabela 01 – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (NBR 13279:2005)

Exemplar	Carga de Ruptura à Flexão (N)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Exemplar	Carga de Ruptura à Compressão (N)	Resistência à Compressão (MPa)	Resistências médias calculadas (MPa)	
						Tração na Flexão	Compressão
9213	1.604	3,76	9216	21.750	13,59	3,9	13,5
			9217	21.500	13,44		
9214	1.769	4,15	9218	22.050	13,78		
			9219	21.500	13,44		
9215	1.632	3,82	9220	21.450	13,41		
			9221	21.600	13,50		

- Data de realização dos ensaios: 15 / 03 / 2006
- Data de moldagem: 15 / 02 / 2006
- Idade na data do ensaio: 28 (vinte e oito) dias
- Desvios-padrão obtidos no ensaio: 0,2 MPa (Tração na Flexão) ∴ 0,1 MPa (Compressão)
- Desvios absolutos máximos: 0,2 MPa (Tração na Flexão) ∴ 0,3 MPa (Compressão)
- Coeficiente de variação amostral: 5,3% (Tração na Flexão) ∴ 1,0% (Compressão)
- Índice de consistência: 258mm

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este lote de argamassa industrializada (Assentamento Estrutural 1,0 MPa – 2300106), aos 28 (vinte e oito dias) dias, apresenta uma resistência à tração na flexão média de **3,9MPa** e resistência à compressão média de **13,5MPa**.

Santa Maria (RS), 20 de março de 2006.

Prof. M. Eng. Odilon Pancaro Cavalheiro
Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural - GPDAE
Coordenador

M. Eng. Paulo Inácio Obregon do Carmo
Laboratório de Materiais de Construção Civil - LMCC
Diretor

ANEXO B
ENSAIOS DOS BLOCOS DE PAREDES MACIÇAS E VAZADAS


LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – LMCC

1/3

ENDEREÇO: Cidade Universitária – Camobi, Santa Maria/RS – CEP 97105–900

TELEFONE: (55) 220 8608 (Fax) – Direção • 220 8313 – Secretaria • 220 8468 – Ensaios

E-MAIL: lmcc@ct.ufsm.br

ÁREA DE ENSAIOS – ALVENARIA ESTRUTURAL
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 01

Amostra nº: 01	Data de entrada: 29 / 07 / 2005
Interessado: Sociedade Vicente Pallotti – Cerâmica PALLOTTI	
Referência: Ensaios de controle e Mestrado Ivair Pasquali	

Material declarado: Blocos Cerâmicos Estruturais com Paredes Maciças Fases Ranhuradas – 140x190x290mm (NBR 7171:1992)
Objetivo: Determinação das características geométricas e da resistência à compressão

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão referente a uma amostra de blocos cerâmicos estruturais contendo treze corpos-de-prova. O ensaio foi realizado por constituir parte dos ensaios necessários para controle de produção dos blocos estruturais. A amostra entregue ao LMCC recebeu as seguintes identificações:

LMCC	Interessado	
1470	Data da coleta:	25 / 07 / 2005
	Data de extrusão:	19 / 07 / 2005
	Data de queima:	23 / 07 / 2005
	Classe de resistência:	10,0 MPa
	Dimensões nominais:	140 x 190 x 290 mm
	Identificação do lote:	LOTE 24 (BEPMF)
	Equipamento que produziu:	Extrusora a Vácuo

2. MÉTODOS DE ENSAIO E DOCUMENTOS REFERENCIADOS

NBR 7171:1992 Bloco cerâmico para alvenaria – Especificação

NBR 6461:1983 Bloco cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão – Método de ensaio

3. RESULTADOS

As inspeções visuais, as determinações dimensionais e os resultados das determinações de resistência à compressão da amostra de blocos cerâmicos estruturais são apresentados nas *Tabelas 01 a 03*.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



Relatório de ensaio nº 01

TABELA 01 – Características visuais e geométricas individuais – NBR 7171:1992

Exemplar	Dimensões médias dos blocos (mm)			Espessura mínima (mm)			Desvio (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede externa	Parede vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
01	139,0	189,5	289,0	21,0	-	94,5	2,5	0,0
02	139,0	187,5	289,0	21,0	-	94,0	2,0	1,0
03	139,0	190,0	289,0	21,0	-	93,0	1,5	0,5
04	139,0	189,0	290,0	20,5	-	93,5	1,0	1,5
05	139,0	191,0	289,0	21,5	-	95,0	2,0	2,0
06	139,0	189,0	289,5	20,5	-	94,5	0,5	1,0
07	139,0	189,5	289,5	21,0	-	95,0	1,5	1,0
08	139,0	189,5	289,0	21,0	-	93,5	2,0	1,5
09	139,0	189,0	290,0	21,0	-	94,0	0,5	1,0
10	139,0	190,0	289,0	21,5	-	93,5	3,0	0,5
11	139,0	188,0	289,5	21,0	-	94,0	0,0	0,5
12	139,0	189,0	290,0	21,0	-	94,0	3,0	1,0
13	139,0	190,5	289,5	21,0	-	95,0	1,5	1,0
Média	139,0	189,4	289,4	21,0	-	94,2	1,6	0,96

Características visuais Os blocos têm aspecto homogêneo, sem quebras ou trincas e possuem arestas vivas.

TABELA 02 – Determinação da resistência à compressão – NBR 6461:1983

Exemplar	Tipologia do Bloco (L x C)	Área Bruta Média (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (MPa)		
				Limite Individual	Média	f _{bk,est} Adotada ¹
01		40.171	705.000	17,5	18,0	15,3
02		40.171	682.500	17,0		
03		40.171	755.000	18,8		
04		40.310	745.000	18,5		
05		40.171	757.500	18,9		
06		40.241	720.000	17,9		
07		40.241	677.500	16,8		
08		40.171	722.500	18,0		
09		40.310	655.000	16,2		
10		40.171	682.500	17,0		
11		40.241	775.000	19,3		
12		40.310	782.500	19,4		
13		40.241	762.500	18,9		

- Data de realização dos ensaios: 08 / 08 / 2005
- Desvio padrão obtido no ensaio: 1,0 MPa
- Coeficiente de variação da amostra: 5,7 %
- 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 ≅ 10 N.

¹ A f_{bk,est} (Resistência à compressão característica estimada) é obtido através da expressão: $f_{bk,est} = 2 \cdot \left(\frac{f_{b1} + f_{b2} + \dots + f_{bm-1}}{m-1} \right) - f_{bm}$ ∴

sendo que: $m = \frac{n}{2}$, se n for par e $m = \frac{n+1}{2}$, se n for ímpar. Onde: f_{b1}, f_{b2}, ..., f_{bm} são os valores individuais de resistência à compressão, em ordem crescente e n é o número de corpos-de-prova da amostra.

A f_{bk,est} adotada não poderá ser maior que 85% da média dos corpos-de-prova da amostra, nem menor que Ψ₆ · f_{b1}.

Sendo Ψ₆ estipulado de acordo com o número de corpos-de-prova, para treze corpos-de-prova o valor é 0,99.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



Relatório de ensaio nº 01

TABELA 03 – Determinação das dimensões por medição direta – NBR 7171:1992

Dimensões Padronizadas (L x H x C)	Medição 24 blocos Alinhados (mm)			Dimensões médias dos blocos (mm)		
	Largura	Altura	Comprimento	Largura	Altura	Comprimento
(140 x 190 x 290) mm	3.372	4.571	6.972	140,5	190,5	290,5

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para os blocos cerâmicos estruturais deve-se tomar como referência de resistência o menor limite de resistência individual. A amostra apresentou limite mínimo de resistência igual a **18,0 MPa** e $f_{bk,est}$ adotada = **15,3 MPa**, determinado de acordo com processo estatístico, **atendendo às especificações para blocos cerâmicos, classe 100**, de resistência de 10,0MPa (Tabela 2, NBR 7171:1992).

Quanto à análise dimensional, a NBR 7171:1992 especifica no item 4.7.1, Tabela 2, que as dimensões médias para os blocos de vedação e estruturais, determinadas por medição de 24 exemplares alinhados deve ter tolerância de ± 3 mm. A espessura mínima das paredes externas deve ser de 7mm (item 5.2, NBR 7171:1992), o desvio em relação ao esquadro e a flecha máxima (planeza das faces) permitida é de 3mm (Tabela 1 da NBR 7171:1992). Os ensaios realizados permitiram verificar que o lote analisado **está em conformidade com a Norma**.

Quanto ao aspecto visual, a NBR 7171:1992 especifica no item 4.6 que os blocos não devem apresentar defeitos sistemáticos (trincas, quebras, superfícies irregulares ou deformações), **estando o lote analisado em conformidade com as especificações**.

Santa Maria-RS, 15 de agosto de 2005.

Prof. M. Eng. Odilon Pancaro Cavalheiro
Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural - GPDAE
Coordenador

M. Eng. Paulo Inácio Obregon do Carmo
Laboratório de Materiais de Construção Civil - LMCC
Responsável Técnico


LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – LMCC

1/4

ENDEREÇO: Cidade Universitária – Camobi, Santa Maria/RS – CEP 97105–900

TELEFONE: (55) 3220 8608 (Fax) – Direção • 3220 8313 – Secretaria

E-MAIL: lmcc@ct.ufsm.br

ÁREA DE ENSAIOS – ALVENARIA ESTRUTURAL
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 01

Amostra nº: 01	Data de entrada: 16 / 12 / 2005
Interessado: Sociedade Vicente Pallotti – Cerâmica PALLOTTI	
Referência: Ensaios de controle e Mestrado Ivair Pasquali	

Material declarado: Blocos Cerâmicos Estruturais com Paredes Vazadas – Faces Ranhuradas – 14x19x29cm (NBR 15270:2005 – Parte 2)
Objetivo: Determinação das características geométricas e da resistência à compressão

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão referente a uma amostra de blocos cerâmicos estruturais contendo treze corpos-de-prova. O ensaio foi realizado por constituir parte dos ensaios necessários para controle de produção dos blocos estruturais. A amostra entregue ao LMCC recebeu as seguintes identificações:

LMCC	Interessado	
1812	Data da coleta:	16 / 12 / 2005
	Data de extrusão:	12 / 12 / 2005
	Data de queima:	15 / 10 / 2005
	Resistência especificada:	$f_{bk} = 7,0$ MPa
	Dimensões de fabricação:	14 x 19 x 29 cm
	Identificação do lote:	LOTE 31 (BEPVR)
	Equipamento que produziu:	Extrusora a Vácuo

2. MÉTODOS DE ENSAIO E DOCUMENTOS REFERENCIADOS

NBR 15270:2005 Componentes cerâmicos – Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos

NBR 15270:2005 Componentes cerâmicos – Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca LMCC, para quaisquer fins, sob pena de indenização. Sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem alterações e depende da aprovação formal deste Laboratório.



3. RESULTADOS

As inspeções visuais e os ensaios quanto às dimensões efetivas, espessuras mínimas de paredes e septos e desvios máximos são dados na *Tabela 01*, enquanto que os resultados das determinações de resistência à compressão, individual, média e característica, da amostra de blocos cerâmicos, são apresentados nas *Tabelas 02*.

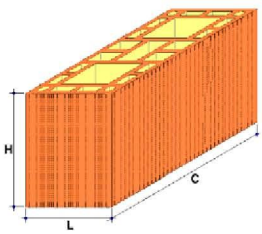
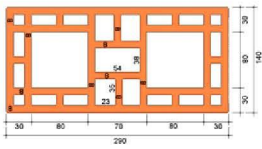
TABELA 01 – Características visuais e geométricas individuais – NBR 15270:2005 (Parte 3 – Anexo A – Normativo)

Exemplar	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)				Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede externa	Septos	Parede vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
01	138,5	190,5	289,5	8,0	7,0	28,5	80,0	1,0	0,0
02	138,5	191,0	289,5	8,0	6,5	29,0	80,0	0,0	0,0
03	138,5	190,5	289,5	8,0	7,0	29,5	79,5	0,0	0,0
04	138,0	189,5	290,0	8,5	7,0	29,5	81,0	0,0	0,0
05	138,5	190,5	289,5	8,5	7,0	29,0	80,5	0,0	0,0
06	138,5	189,5	289,5	8,0	7,0	29,0	80,0	1,0	0,0
07	138,0	190,5	290,0	8,0	7,0	30,0	80,0	2,0	0,0
08	138,5	190,0	289,5	8,0	6,5	28,5	80,5	2,0	0,0
09	138,5	190,0	290,0	8,0	7,0	29,5	80,5	1,0	0,0
10	138,5	190,0	289,5	8,5	7,5	29,0	79,5	0,0	0,0
11	138,5	190,0	290,0	8,5	7,0	29,0	80,0	0,0	0,0
12	139,0	190,5	290,0	8,0	7,0	28,5	80,0	2,0	0,0
13	138,5	190,0	290,0	9,0	7,0	28,5	80,0	1,0	0,0
Média	138,5	190,2	289,7	8,2	7,0	29,0	80,1	0,8	0,0
Características visuais dos blocos (item 4.2 e 4.4 – NBR 15270:2005 – Parte 2)				Todos os blocos estão devidamente identificados pelo fabricante (gravação). Possuem aspecto homogêneo, sem quebras ou trincas e possuem arestas vivas. A amostra apresenta-se conforme a estes requisitos observando os parâmetros de aceitação e rejeição, definidos na Tabela 7 da NBR 15270:2005 (Parte 2).					
<ul style="list-style-type: none"> • Data de realização dos ensaios: 19 / 12 / 2005 • As determinações da espessura mínima da parede vazada e dos vazados maiores dos blocos são apenas informativas, não existem limitações normativas dessas dimensões. 									

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca LMCC, para quaisquer fins, sob pena de indenização. Sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem alterações e depende da aprovação formal deste Laboratório.



TABELA 02 – 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
01		40.096	505.000	12,6	12,3	10,7
02		40.096	512.500	12,8		
03		40.096	522.500	13,0		
04		40.020	472.500	11,8		
05		40.096	525.000	13,1		
06		40.096	485.000	12,1		
07		40.020	517.500	12,9		
08		40.096	407.500	10,2		
09		40.165	477.500	11,9		
10		40.096	485.000	12,1		
11		40.165	502.500	12,5		
12		40.310	517.500	12,8		
13		40.165	510.000	12,7		

- Data de realização dos ensaios: **26 / 12 / 2005**
- Desvio padrão obtido no ensaio: **0,8 MPa**
- Coeficiente de variação da amostra: **6,4%**
- 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 **0,40**.
- Unidades no SI, considerando 1,0 kgf ≅ 10 N.

¹A estimativa da resistência à compressão característica (f_{bk,est}) da amostra de blocos é obtida através da expressão:

$$f_{bk,est} = 2 \cdot \left(\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i-1} \right) - f_{bi} \quad \therefore \text{sendo que: } m = \frac{n}{2}, \text{ se } n \text{ for par e } m = \frac{n-1}{2}, \text{ se } n \text{ for ímpar. Onde: } f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{b(m)}$$

são os valores individuais de resistência à compressão, em ordem crescente e **n** é o número de corpos-de-prova da amostra.

- Se o valor de f_{bk,est} ≥ f_{bm} adota-se f_{bm} como a resistência característica do lote (f_{bk}).
- Se o valor de f_{bk,est} ≤ φ · f_{b(1)} adota-se como a resistência característica do lote (f_{bk}) o valor determinado pela expressão φ · f_{b(1)}, sendo φ estipulado de acordo com o número de corpos-de-prova, para treze corpos-de-prova o valor é **0,99**.
- Caso o valor calculado de f_{bk,est} esteja entre os limites mencionados acima (φ · f_{b(1)} e f_{bm}), adota-se este valor como resistência característica à compressão do lote (f_{bk}).

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca LMCC, para quaisquer fins, sob pena de indenização. Sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem alterações e depende da aprovação formal deste Laboratório.



TABELA 03 – Determinação das dimensões por medição direta – NBR 7171:1992

Dimensões Padronizadas (L x H x C)	Medição 24 blocos Alinhados (mm)			Dimensões médias dos blocos (mm)		
	Largura	Altura	Comprimento	Largura	Altura	Comprimento
(140 x 190 x 290) mm	3.374	4.569	6.972	140,5	190,5	290,5

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto a análise dimensional, a NBR 15270:2005 (Parte 2) especifica no item 4.5.2, tabela 1, quais as possíveis dimensões de fabricação. No item 5, apresentam-se nas tabelas 2 e 3 as tolerâncias dimensionais que as dimensões efetivas médias possuem, determinadas por medição individual. Esta tolerância é de $\pm 5\text{mm}$ para as determinações individuais, e de $\pm 3\text{mm}$ para a média das determinações. Para blocos de paredes vazadas, a espessura mínima das paredes externas deve ser de 8mm e dos septos de 7mm (item 5.2, NBR 15270:2005 – Parte 2). Conforme o item 5.3 e 5.4 da mesma Norma, o desvio em relação ao esquadro e a flecha máxima (planeza das faces) permitida é de 3mm . Pelos parâmetros de aceitação e rejeição, previstos na Tabela 8 da NBR 15270:2005 – Parte 2, permite-se verificar pelos ensaios realizados na amostra, que a mesma **está em conformidade com a Norma**.

Para a amostra de blocos cerâmicos estruturais deve-se tomar como referência de resistência característica do lote (f_{bk}) o valor determinado conforme Tabela 02 acima. A amostra apresentou $f_{bk,est}$ **adotada = 10,7MPa**, determinado de acordo com o processo estatístico definido no item 5.5 da NBR 15270:2005 (Parte 2), **atendendo às especificações para blocos cerâmicos estruturais**, uma vez que é superior ao requisito de resistência à compressão estipulado pelo fabricante ($f_{bk} = 7,0\text{MPa}$).

Santa Maria (RS), 28 de dezembro de 2005.

Prof. M. Eng. Odilon Pancaro Cavalheiro
Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural - GPDAE
Coordenador

M. Eng. Paulo Inácio Obregon do Carmo
Laboratório de Materiais de Construção Civil - LMCC
Diretor

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)