

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

Carlos Eduardo Giacomini De Marco

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PRISMAS PREENCHIDOS COM
ARGAMASSA / GRAUTE**

**Santa Maria, RS
2016**

Carlos Eduardo Giacomini De Marco

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PRISMAS PREENCHIDOS COM
ARGAMASSA / GRAUTE**

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

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rizzatti
Co-orientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad

Santa Maria, RS
2016


Carlos Eduardo Giacomini De Marco

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PRISMAS PREENCHIDOS COM
ARGAMASSA / GRAUTE**

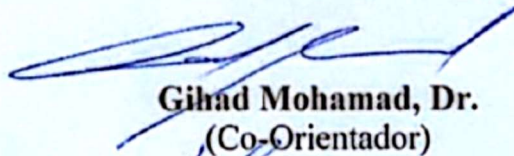
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**

Aprovada em 10 de março de 2016:

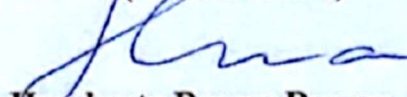
COMISSÃO EXAMINADORA:



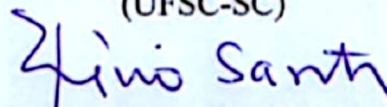
Eduardo Rizzatti, Dr.
(Presidente/Orientador)



Gilad Mohamad, Dr.
(Co-Orientador)



Humberto Ramos Roman, Dr.
(UFSC-SC)



Flávio Antônio Dos Santos, Dr.
(CEFET-MG)

**Santa Maria, RS
2016**

De Marco, Carlos Eduardo Giacomini
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PRISMAS PREENCHIDOS COM
ARGAMASSA / GRAUTE / Carlos Eduardo Giacomini De Marco.-
2016.

105 p.; 30cm

Orientador: Eduardo Rizzatti
Coorientador: Gihad Mohamad
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2016

1. Alvenaria estrutural 2. Blocos estrutural cerâmicos
3. Graute 4. Argamassa 5. Resistência à compressão I.
Rizzatti, Eduardo II. Mohamad, Gihad III. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Carlos Eduardo Giacomini De Marco. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte. E-mail: eng_demarco@yahoo.com.br.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

*Ao Grande Arquiteto Do Universo,
o autor da vida;
Aos meus pais, Alcides e Jane, ao meu Irmão Ricardo,
pelo apoio e amor incondicional;
À minha noiva, Cassiane,
pelo incentivo, companheirismo e paciência.
Ao meu filho, Bernardo,
que nasceu em meio aos livros de engenharia, que seja uma pessoa de sucesso.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor Eduardo Rizzatti, além do incentivador deste trabalho e motivador nessa jornada, é um amigo que levarei para toda a vida, obrigado pela confiança e apoio.

Ao professor Gihad Mohamad, pelo tempo dedicado ao experimento e a ensinamentos contínuos durante todo período de mestrado.

Aos Professores Dr. Humberto Ramos Roman e Dr. Flávio Antônio Dos Santos, pela disposição em participar de minha Banca e acrescentar muito ao trabalho.

Aos meus bolsistas, ajudantes e grandes amigos Jonathan Meller e Principalmente Guilherme Fiorin Fornel, pelo trabalho árduo, paciência e muitos finais de semana dedicados ao experimento, como cita a autora Cristiane Correia em “Sonho Grande” são empreendedores com “sangue nos olhos e faca nos dentes”.

A família Giacomini Benini, Gilmar, Luana, Ana Lia, Felipe e Maria Magália, família não escolhemos, mas Deus me deu a melhor do mundo. Foram os grandes incentivadores desse mestrado e almejam um Doutorado e PHD, e por que não? Com o apoio de vocês sou e me sinto cada vez mais forte no caminho do conhecimento, ainda mais com o respaldo nas correções de português da “Tia Maga”.

A Clarice Stefens pela ajuda com os programas estatísticos, dedicação e a busca da perfeição em tudo que faz.

Ao Diretor do Laboratório de Materiais de Construção Civil Mauro Just, e aos colaboradores: Marialva, Vitor, João e principalmente aos envolvidos diretamente no experimento, José Pedro, Eduardo, Willian, Vilson e Diego pelo apoio, compreensão e dedicação.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural e aos colegas do PPGEC.

A Marilia Goulart pelo apoio, amizade e incentivo durante todo período do mestrado.

A Prof^a. Margaret Souza Schmidt Jobim, pelos conselhos que influenciaram minhas decisões, ao meu grande amigo e professor que não está mais entre nós, mas sempre me apoiou na vida acadêmica e profissional Prof. Pedro Saurin.

Aos meus sócios e colaboradores, pela compreensão, colaboração e paciência.

Às cerâmicas, Pallotti, Constrular e Pauluzzi, que cederam o material utilizado nesse experimento, agradeço a confiança e a parceria ao longo de minha vida profissional.

Ao fabricante de argamassas Irmãos Ciocari & Cia Ltda. (FIDA) por ceder a argamassa utilizada nesse experimento.

RESUMO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PRISMAS PREENCHIDOS COM ARGAMASSA / GRAUTE

AUTOR: Carlos Eduardo Giacomini De Marco
ORIENTADOR: Prof. Dr. Eduardo Rizzatti
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Gihad Mohamad

Este trabalho tem como objetivo principal analisar o comportamento mecânico de prismas executados com blocos cerâmicos e preenchidos com argamassa ou graute, verificando a sua influência quando submetidos à compressão centrada. Foi desenvolvido um programa experimental composto por quatro diferentes tipos de prismas. Foram utilizados para confecção dos prismas blocos de três diferentes cerâmicas. As cerâmicas foram nomeadas aleatoriamente como Fabricante 1, Fabricante 2 e Fabricante 3. Os fabricantes forneceram as seguintes resistências de Blocos Estruturais: Fabricante 1 – $f_{bk(A)}$ 6 MPa, Fabricante 2 – $f_{bk(E)}$ 7 MPa e $f_{bk(C)}$ 15 MPa, Fabricante 3 – $f_{bk(B)}$ 6 MPa e $f_{bk(D)}$ 15 MPa. Os prismas foram moldados com argamassa industrializada. Cada tipo de prisma, com suas respectivas resistências de blocos, foi moldado da seguinte forma: prismas ocos, prismas preenchidos com argamassa (nos vazados maiores), a mesma utilizada no assentamento; e prismas preenchidos com graute, totalizando 320 prismas, os quais foram submetidos a ensaios à compressão axial simples. Os resultados foram analisados estatisticamente através do Teste de Tukey com nível de significância de 5%. Concluiu-se que o graute utilizado não agregou significativo acréscimo de resistência aos prismas. Pelo estudo realizado não se pode afirmar se é possível ou não substituir o graute pela argamassa, no preenchimento dos vazados, assim como a resistência adequada da argamassa com uso no preenchimento deve ser novamente estudada.

Palavras-chave: alvenaria estrutural, blocos cerâmicos, graute, argamassa.

ABSTRACT

PRISMS MECHANICAL EVALUATION FILLED WITH MORTAR / GROUT THE COMPRESSION

AUTHOR: Carlos Eduardo Giacomini De MarcO

ADVISOR: Prof. Dr. Eduardo Rizzatti

CO-ADVISOR: Prof. Dr. Mohamad Gihad

This work has as main objective to analyze the mechanical behavior of prisms run with ceramic bricks and filled with mortar or grout, checking their influence when subjected to centric compression. An experimental program consists of four different types of prisms was developed. They were used for making the prisms blocks of three different Manufacturers. The ceramics were randomly named as Manufacturer 1 Manufacturer 2 and Manufacturer 3, manufacturers have provided the following resistance of structural blocks: Manufacturer 1 - fbk (A) 6 MPa, Manufacturer 2 - fbk (E) 7 MPa and fbk (C) 15 MPa Manufacturer 3 - FBK (B) and 6 MPa FBK (D) 15 MPa. The prisms were molded with industrialized mortar. Each prism type with its respective resistors blocks were molded as follows: hollow prism, prisms filled with grout (the larger castings), the same used in the settlement, and prisms filled with grout, totaling 320 prisms, which were subjected to tests to simple axial compression. The results were analyzed statistically by the Tukey test at 5% significance level. It was concluded that the grout used not added significant increase in resistance to the prisms, the study can not say whether it is possible or not to replace the grout by mortar, to fill the cast, as well as adequate strength of the mortar used in filling It should be further studied.

Keywords: masonry, ceramic blocks, grout, mortar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – (a) Pagoda do pequeno ganso selvagem, (b) Pagoda do grande ganso selvagem, (c) muralha da China. Fotos Autor.	21
Figura 2.2 – Hotel e Cassino Excalibur – Las Vegas. Foto Autor.....	22
Figura 2.3 – Exemplos de unidades cerâmicas, concreto e sílico-cálcario obtidas de diferentes fabricantes.....	26
Figura 2.4 – Blocos cerâmicos – Definições (Fonte: NBR 15270-2, 2005)	27
Figura 2.5 – Dimensões mínimas dos septos das unidades cerâmicas	29
Figura 2.6 – Comportamento geral dos prismas sujeitos a carga de compressão.....	42
Figura 2.7 – Relação entre a resistência à compressão triaxial e a tensão lateral confinante dos estudos de Atkinson et al. (1985) e Mohamad (1998)	43
Figura 2.8 – Envolvória de ruptura proposta para as unidades de alvenaria com diferentes proporções entre área líquida e bruta	44
Figura 2.9 – Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais.....	45
Figura 2.10 – Resultados de resistência dos blocos, argamassas e prismas (Mohamad, 1998)	46
Figura 2.11 – Modo de ruptura dos prismas de blocos de concreto não-grauteados (a região 1 é mostrada no prisma da esquerda).....	47
Figura 2.12 – Modo de ruptura dos prismas de blocos de concreto grauteados	47
Figura 2.13 – Resultados de resistência do bloco, argamassa, graute e prismas grauteados e não-grauteados (Romagna, 2000).....	48
Figura 2.14 – Resultados de resistência do bloco, argamassa, graute e prismas grauteados e não-grauteados (Kuersten, 1998)	49
Figura 2.15 – Modos de ruptura dos prismas de blocos de cerâmicos grauteados e não-grauteados (Kuersten, 1998)	50
Figura 2.16 – Dimensões e formas dos blocos cerâmicos em escala 1:3 com o modo de ruptura dos prismas de tijolos (Rizzatti, 2003).....	51
Figura 2.17 – Dimensões e formas dos blocos cerâmicos em escala 1:3 com o modo de ruptura dos prismas de tijolos (Rizzatti, 2003).....	51
Figura 2.18 – Modo de ruptura dos prismas e paredes de alvenarias cerâmicas (Rizzatti, 2003).....	52
Figura 2.19 – Relação entre as resistências da alvenaria, argamassa e do bloco (Mohamad, 2007).....	53
Figura 2.20 – Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos maciços de concreto, de acordo com BS 5628 – Parte 1	58
Figura 3.1 – Tipos diferentes de Prismas utilizados no experimento	59
Figura 3.2 – Ensaios Dimensionais: (a) Desvio em relação ao esquadro, (b) Planeza das faces.....	64
Figura 3.3 – Ensaio de AAI: (a) Blocos secos em estufa 24h, (b) Suporte metálico, (c) Bloco sendo ensaiado, lâmina 3mm de água	65
Figura 3.4 – Equipamentos e ensaio para determinação do módulo de elasticidade dos blocos	67
Figura 3.5 – Moldagem Corpos de prova prismáticos: (a) Moldagem, (b) identificação	69
Figura 3.6 – Moldagem dos Prismas.....	71

Figura 3.7 – Tipos de Prisma moldados neste experimento: (a) prisma 1 com 2 blocos sobrepostos; (b) prisma 2 com 3 blocos sobrepostos; (c) prisma 3 com dois blocos e dois meio blocos; (d) prisma 3 com três blocos e três meio blocos	72
Figura 3.8 – Preenchimento dos prismas, (a) e (b) com graute, (c) e (d) com a mesma argamassado assentamento	73
Figura 3.9 – Prensa Instron Estrutura 1500HDX – Utilizada no experimento.....	74
Figura 3.10 – Modo de ruptura semelhante para os blocos de 15 MPa ocos, (a) Fabricante 3 fbk(D) 15,0 MPa, (b) Fabricante 2 fbk(C) 15,0 MPa. Modelo 2 - (c) Fabricante 3 fbk (D) 15,0 MPa. Modelo 3 - (d) Fabricante 2 fbk(C) 15,0 MPa. Modelo 4 - (e) Fabricante 2fbk (C) 15,0 MPa	75
Figura 3.11 – Modo de ruptura semelhante para os prismas grauteados: Fabricante 2 fbk(C) 15,0MPa (a) Modelo 1, (b) Modelo 2, (c) Modelo 3. Fabricante 3 fbk(D) 15,0 MPa: (d) Modelo 4	75
Figura 3.12 – Modo de ruptura semelhante para os prismas preenchidos com argamassa: Fabricante 2 fbk(C) 15,0 MPa (a) Modelo 3, (b), (c) e (d) Modelo 2. Fabricante 3fbk(D) 15,0 MPa: (e), (f) e (g) Modelo 2, (h) Modelo 4	76
Figura 3.13 – Modo de ruptura semelhante para os prismas ocos Modelo 1: (a) Fabricante 1 fbk(A) 6,0 MPa, (b) Fabricante 2 fbk(E) 7,0 MPa, (c) Fabricante 3 fbk(B) 6,0 MPa.....	76
Figura 3.14 – Modo de ruptura semelhante para os prismas grauteados - Fabricante 1fbk(A) 6,0 MPa: (a) Modelo 2, (b) Modelo 3, (c) Modelo 4. Fabricante 2 fbk(E) 7,0 MPa: (d)Modelo 2, (e) Modelo 3. Fabricante 3 fbk(B) 6,0 MPa: (f) Modelo 1, (g) Modelo3, (h) Modelo 4	77
Figura 3.15 – Modo de ruptura semelhante para os prismas preenchidos com argamassa - Fabricante 1 fbk(A) 6,0 MPa: (a) Modelo 1, (b) e (c) Modelo 2, (d) Modelo 4	77
Figura 3.16 – Modo de ruptura semelhante para os prismas preenchidos com argamassa - Fabricante 2 fbk(E) 7,0 MPa: (a), (b) e (c) Modelo 2, (d) e (e) Modelo 3. Fabricante 3 fbk(B) 6,0 MPa: (h) Modelo 4	78
Figura 4.1 – Resultado rompimento individual de cada prisma e fator de eficiência para Fabricante 1 fbk(A) 6,0 MPa.....	85
Figura 4.2 – Resultado rompimento individual de cada prisma e fator de eficiência para Fabricante 2 fbk(E) 7,0 MPa.....	86
Figura 4.3 – Resultado rompimento individual de cada prisma e fator de eficiência paraFabricante 2 fbk(C) 15,0 MPa.....	87
Figura 4.4 – Resultado rompimento individual de cada prisma e fator de eficiência para Fabricante 3 fbk(B) 6,0 MPa.....	88
Figura 4.5 – Resultado rompimento individual de cada prisma e fator de eficiência para Fabricante 3 fbk(D) 15,0 MPa.....	89
Figura 4.6 – Gráfico do fator de eficiência Prisma/Bloco e Argamassa/Bloco para o Prisma Modelo 1 e todos os fabricantes de Blocos, resistências ensaiadas e configurações de preenchimento	94
Figura 4.7 – Gráfico do fator de eficiência Prisma/Bloco e Argamassa/Bloco para o Prisma Modelo 2 e todos os fabricantes de Blocos e resistências ensaiadas	94

Figura 4.8 – Gráfico do fator de eficiência Prisma/Bloco e Argamassa/Bloco para o Prisma Modelo 3 e todos os fabricantes de Blocos e resistências ensaiadas.....	95
Figura 4.9 – Gráfico do fator de eficiência Prisma/Bloco e Argamassa/Bloco para o Prisma Modelo 4 e todos os fabricantes de Blocos e resistências ensaiadas.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais (NBR 15270-2 (2005))	28
Tabela 2.2 – Tolerâncias dimensionais relacionadas à média das dimensões efetivas	28
Tabela 2.3 – Valores de \emptyset em função da quantidade de blocos	30
Tabela 2.4 – Número de blocos dos lotes e da amostragem	31
Tabela 2.5 – Número de unidade mínima para aceitação ou rejeição dos lotes	32
Tabela 2.6 – Número de unidade mínimas para aceitação ou rejeição dos lotes	32
Tabela 2.7 – Número de unidade mínimas para aceitação ou rejeição dos lotes	32
Tabela 2.8 – Influência dos materiais constituintes nas propriedades da argamassa	34
Tabela 2.9 – Proporções recomendadas para a dosagem do graute.....	38
Tabela 2.10 – Dimensões das amostras de alvenaria para ensaio de compressão	54
Tabela 2.11- Valores de \emptyset para o cálculo do fek (resistência característica estimada da amostra).....	56
Tabela 2.12 – Traços e resistência especificada pela BS 5628 - Parte 1	57
Tabela 3.1 – Prismas 1 (dos blocos sobrepostos) – Oco, preenchido com Graute e preenchido com argamassa	61
Tabela 3.2 – Prismas 2 (três blocos sobrepostos) – Oco, preenchido com Graute e preenchido com argamassa	61
Tabela 3.3 – Prismas 3 (dois blocos e dois meio-blocos) – Oco, preenchido com Graute e preenchido com argamassa	62
Tabela 3.4 – Prismas 4 (três blocos mais três meio-blocos) – Oco, preenchido com Graute e preenchido com argamassa	62
Tabela 3.5 – Características geométricas dos blocos estruturais	64
Tabela 3.6 – Área Bruta, Área Líquida, AA e AAI dos blocos estruturais.....	65
Tabela 3.7 – Módulo de Elasticidade dos blocos estruturais.....	67
Tabela 3.8 – Resistência à compressão dos blocos na área líquida e área bruta	68
Tabela 3.9 – Resistência à tração na flexão nos corpos de prova prismáticos de argamassa	69
Tabela 3.10 – Resistência à compressão axial nos corpos de prova prismáticos de argamassa	69
Tabela 3.11 – Resistência à compressão axial do Graute	70
Tabela 3.12 – Resistência à compressão axial dos Prismas (Área Bruta).....	79
Tabela 4.1 – Resistência média dos blocos na área bruta, resistência média dos prismas e fator de Eficiência Prisma/Bloco	84
Tabela 4.2 – Valores para os blocos do FABRICANTE 1 fbk(A) 6,0 MPa.....	90
Tabela 4.3 - Valores para os blocos do FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 MPa	91
Tabela 4.4 - Valores para os blocos do FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 MPa	91
Tabela 4.5 – Valores para os blocos do FABRICANTE 3 fbk(B) 6,0 MPa.....	92
Tabela 4.6 - Valores para os blocos do FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 MPa	93
Tabela A1.1 – Característica Geométrica dos Blocos	101
Tabela A1.2 – Resistências médias na área bruta e área líquida	101
Tabela A1.3 – Características dos blocos cerâmicos.....	102
Tabela A1.4 – Módulo de Elasticidade dos blocos cerâmicos 14x19x14	103

Tabela B1.1 – Característica Geométrica dos Blocos 14x19x29cm	104
Tabela B1.2 – Característica Geométrica dos Blocos 14x19x14cm	105

LISTA DE SÍMBOLOS

AAI	–	Absorção de água inicial
A_b	–	Área Bruta do Bloco
A_{liq}	–	Área Líquida do Bloco
b	–	relação entre a área grauteada e área bruta
f_a	–	resistência à compressão da argamassa
$f_{alv,c}$	–	tensão máxima admissível de cálculo para a parede
f_{em}	–	resistência média dos exemplares
f_b	–	resistência à compressão do bloco
f_{bk}	–	resistência característica do Bloco
f_g	–	resistência à compressão do graute
f_p	–	resistência à compressão do prisma
h	–	altura da parede
h_a	–	altura da junta de argamassa
h_b	–	altura do bloco
S_n	–	desvio padrão da amostra
t	–	espessura da parede
β	–	fator de redução de capacidade resistente
γ_m	–	fator parcial de segurança
δ_c	–	massa unitária do cimento
δ_l	–	massa unitária da cal
δ_s	–	massa unitária da areia
σ_a	–	tensão na argamassa
σ_b	–	tensão no bloco
σ_g	–	tensão no graute
γ	–	massa unitária

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
1.2	OBJETIVO PRINCIPAL	17
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4	JUSTIFICATIVAS	18
1.5	DELIMITAÇÃO DO TEMA	18
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	COMPONENTES E ELEMENTOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL	19
2.2	HISTÓRIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL	19
2.3	ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL	23
2.4	VANTAGENS ECONÔMICAS DO SISTEMA EM ALVENARIA ESTRUTURAL	24
2.5	COMPONENTES E PROPRIEDADES DA ALVENARIA ESTRUTURAL	24
2.5.1	Bloco estrutural	25
2.5.1.1	<i>Especificações Normativas de Classificação</i>	27
2.5.1.1.1	Unidade cerâmica	27
2.5.1.1.2	Absorção de água inicial (AAI)	29
2.5.1.1.3	Resistência característica à compressão	29
2.5.1.1.4	Área líquida e Área bruta dos blocos	33
2.6	ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL	33
2.6.1	Tipos de Argamassa	34
2.7	GRAUTE	36
2.7.1	Propriedades do graute no estado fresco e endurecido	38
2.7.2	Materiais Constituintes	38
2.7.3	Dosagem	38
2.7.4	Proporcionamento, mistura e lançamento	39
2.8	ARMADURA	40
2.9	PRISMA	40
2.10	RUPTURA DA ALVENARIA À COMPRESSÃO	41
2.10.1	Envoltória de ruptura da alvenaria, bloco e argamassa	42
2.10.2	Surgimento das tensões responsáveis pela ruptura da alvenaria	44
2.10.3	Resistência à compressão das alvenarias, blocos e argamassas utilizados no Brasil	45
2.10.4	Caracterização física e mecânica das alvenarias	53
2.10.5	Fator de eficiência (f_p/f_b)	57
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	59
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	59
3.2	METODOLOGIA DO EXPERIMENTO	60
3.3	MATERIAIS E COMPONENTES UTILIZADOS	63
3.3.1	Bloco Estrutural	63
3.3.1.1	<i>Características dimensionais</i>	63
3.3.1.2	<i>Módulo de Elasticidade</i>	66
3.3.1.3	<i>Resistência à compressão</i>	67
3.3.2	Argamassa Industrializada	68

3.3.3	Graute	70
3.3.4	Prismas	70
3.3.4.1	<i>Moldagem dos prismas</i>	70
3.3.4.2	<i>Preenchimento dos prismas</i>	72
3.3.4.3	<i>Resistência à compressão dos prismas e Modo de ruptura</i>	73
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	81
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	81
4.2	PRISMAS.....	82
4.2.1	Fator de eficiência (f_p/f_b)	83
4.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	90
4.3.1	Interpretação gráfica	93
5	CONCLUSÕES	96
5.1	CONCLUSÕES OBTIDAS NO TRABALHO	96
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	97
	REFERÊNCIAS	98
	APÊNDICE A	101
	APÊNDICE B	104

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A utilização de blocos cerâmicos de alvenaria estrutural tem aumentado muito nos últimos anos. As certificações das cerâmicas nos programas de qualidade e a criação de normas específicas para esse produto ajudaram a cativar um público exigente e necessitário de comprovações de desempenho em várias esferas de exigências.

Seguindo essa linha de raciocínio, com a crescente utilização do bloco estrutural cerâmico, há necessidade de estudos que envolvam o sistema construtivo e a agregação de novas técnicas para que o sistema continue em ascensão e não perca terrenos para novas tecnologias. Com esse intuito, apresenta-se estudos feitos em laboratório, comparando prismas de quatro diferentes arranjos e cinco diferentes componentes, os quais terão seu comportamento comparado no estado oco, preenchido com a mesma argamassa de assentamento e com graute industrializado.

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar o comportamento mecânico de prismas executados com blocos cerâmicos e preenchidos com argamassa ou graute, verificando a sua influência quando submetidos à compressão centrada.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (1) Determinar as resistências à compressão dos quatro tipos diferentes de prismas quando ocos, preenchidos com graute e preenchidos com argamassa;
- (2) Verificar se há diferença entre os resultados encontrados;
- (3) Avaliar o modo de ruptura para as diferentes combinações de blocos, argamassas e grautes;
- (4) Obter as relações de eficiência f_p/f_b para as diferentes geometrias e resistência à compressão de blocos.

1.4 JUSTIFICATIVAS

A Alvenaria estrutural, caracterizada por ser uma tecnologia de construção racionalizada, vem se desenvolvendo e agregando técnicas para cada vez mais reduzir custos e agilizar processos. Um dos gargalos na produção de obras é a utilização do graute, pois sendo um material produzido em obras gera contratempos na execução da alvenaria estrutural. Nesse sentido, este trabalho procura alternativas para redução do uso do graute e propõe a substituição do emprego do graute por argamassa, analisando o comportamento de prismas submetidos à compressão.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Esta pesquisa limita-se a substituição do graute pela argamassa a fim de aumentar a resistência da parede. A interação da argamassa com a armadura não será observada.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 5 capítulos:

O Capítulo 1 descreve os objetivos e as propostas deste trabalho. O capítulo 2 engloba a revisão bibliográfica, contando um pouco da história da alvenaria estrutural, conceitos, componentes e normas vigentes. Também citado nesse capítulo traços de autores que analisaram a alvenaria estrutural e seus modos de ruptura.

O capítulo 3 descreve o programa experimental completo, com a caracterização de todos os elementos envolvidos, moldagem de prismas e princípios respeitados neste experimento.

O capítulo 4 relata as análises dos resultados dessa pesquisa, fazendo um contraponto pela análise estatística, a fim de entender melhor os resultados encontrados. No capítulo 5, encontram-se as conclusões obtidas neste trabalho e, no mesmo, são sugeridos trabalhos futuros com a mesma linha de pesquisa e evolução.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As edificações em alvenaria estão entre as construções de maior aceitação pelo homem desde as civilizações antigas. Edificações monumentais em alvenaria de pedras e tijolos, como as pirâmides do Egito e o Coliseu romano, ainda permanecem em pé, passados mais de 2000 anos de sua construção, o que serve de testemunho da durabilidade deste sistema construtivo ao longo do tempo (DUARTE, 1999).

Segundo Lordsleem Júnior (2002), a palavra alvenaria deriva do árabe albanna: aquele que constrói (banna significa construir). Quando empregada apenas com a função de vedação, portanto não sendo dimensionada para resistir a cargas além de seu peso próprio, chama-se alvenaria de vedação. A alvenaria de vedação é utilizada para o fechamento dos vãos da maioria dos edifícios construídos pelo método convencional, ou seja, estrutura em concreto armado com preenchimento em blocos cerâmicos ou de concreto.

A alvenaria estrutural, objeto do presente trabalho, não apresenta estrutura de concreto armado e adota a vedação com blocos modulares de maior resistência como a estrutura, que possuem vazados na Vertical, por onde passam as tubulações, sem “rasgos nas paredes”, constituindo-se numa obra mais rápida, que gera menos entulho e mais economia.

A publicação em 2010 das normas NBR 15.812-1 Projetos e NBR 15812-2 Execução e controle de obras, atendeu uma exigência de normas técnicas para controle de obras e projetos específicos de blocos cerâmicos.

2.2 HISTÓRIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL

A história da alvenaria como processo construtivo se inicia por volta dos anos 9000 a 7000 a.C., com o início das primeiras civilizações (LOURENÇO, 2002).

O uso da alvenaria tem milhares de anos de existência e iniciou com conhecimentos empíricos que foi passado por gerações, inclusive a história popular comenta que quem dominava essa arte de construção estava sempre ligado à nobreza, não sendo a profissão de pedreiro difundida e sim herdada.

A alvenaria foi o principal método construtivo até o início do século XX, e o tijolo é o mais antigo dos materiais de construção manufaturados, ainda em uso. (JÚNIOR, 1992)

Ramalho & Correa (2003) citam alguns exemplos de obras executadas em alvenaria, desde a antiguidade, destacando as três grandes pirâmides de Guizé, (Quéfren, Quéops e Miquerinos), construídas em alvenaria de blocos de pedra, que datam de aproximadamente 2600 anos antes de Cristo. Ilustram, o Farol de Alexandria, como uma obra marcante, do ponto de vista estrutural, com altura equivalente a um prédio de 45 pavimentos e construída 280 anos antes de Cristo. Enfatizam o Coliseu, construção datada de 70 anos depois de Cristo, como um grande exemplo da arquitetura romana, que eram suportados por pórticos formados por pilares e arcos.

A muralha da China começou a ser construída no ano 220 a.C com término no século XV, durante a Dinastia Ming, possui 21.196 quilômetros na totalidade e aproximadamente 7 metros de altura (base de 7m e topo de 6m de vão livre). Os blocos de pedra e tijolos eram assentados com uma mistura de barro e farinha de arroz.

Outro exemplo de construção portante de carga são as pagodas localizadas na china, A sudoeste do portal Sul de Xi'an, o Pagoda do Pequeno Ganso Selvagem, Xiaoyahta, de 43 m de altura está ligado às ruínas do templo Jianfu Si, uma das relíquias Tang da Cidade de Xi'an, foi construído para guardar os Sutas (textos sagrados budistas) trazidos da Índia. Sua torre de alvenaria, terminada em 709 d.C. foi feita para proteger os sutas do fogo, que costumava destruir os templos de madeira. O topo do Pagoda foi sacudido por um terremoto, na parte de trás do complexo está o Museu de Xi'an. Da mesma forma e com o mesmo propósito foi construída o Pagoda do grande ganso selvagem, localizado no centro de Xi'an, na parte central do Templo Ci'en. Foi construído durante a Dinastia Tang, em 648 d.C. e em memória da Imperatriz Wende, mãe do Imperador Gaozong. O Pagoda, que possui 64 metros de altura, distribuídos em 7 andares, foi construído para guardar os "sutas", escritos indianos que contavam as histórias do budismo e que ajudaram na difusão dessa religião na China. Esses "sutas" foram levados para a China pelo monge Xuanzang, que idealizou esta construção e passou o resto da vida traduzindo os documentos.

Figura 2.1– (a) Pagoda do pequeno ganso selvagem, (b) Pagoda do grande ganso selvagem, (c) muralha da China



(a)



(b)



(c)

Fonte: Acervo do Autor.

O conhecimento empírico, então existente no final do século XIX, originava a construção de edificações em alvenaria estrutural com paredes de espessuras excessivas. O edifício de maior porte e mais famoso exemplo dessa fase é o “Monadnock Building” construído em Chicago, EUA, entre 1889 e 1891 com 16 pavimentos e 65 metros de altura, cujas paredes inferiores apresentam 1,80 metros de espessura, fato que delineou os limites para a construção em alvenaria.

O “Monadnock Building” foi construído em duas etapas, sendo que a metade norte foi construída em alvenaria e a metade sul, dois anos após, em estruturas de aço, evidenciando para os incorporadores o ganho na área útil e a redução de peso do edifício com a estrutura em aço (CARVALHO, 2008). Sendo assim, esse empreendimento demonstra o motivo por qual marcou a transição entre o ápice da utilização de alvenaria estrutural na época e o declínio do processo construtivo (CARVALHO, 2008; ROMAN et al.,2002).

A alvenaria estrutural ressurgiu na década de 50, principalmente devido à escassez de aço na Europa originada pela segunda guerra mundial. Nas décadas seguintes foram construídos diversos edifícios em alvenaria estrutural promovidos por programas públicos (HENDRY, 1981). A partir daí, novas pesquisas e métodos de cálculo tornaram o processo competitivo para a construção de prédios e, novamente, a alvenaria estrutural passa a ser uma alternativa viável como sistema estrutural (CARVALHO e ROMAN, 2001).

Na Suíça, em 1951, Paul Haller construiu um edifício com 42 m de altura e 13 pavimentos, utilizando-se da alvenaria não armada. As paredes internas e externas possuem espessura de respectivamente 15 e 37,5 cm. Considerando-se essas informações, pode-se concluir que o dimensionamento da espessura das paredes provavelmente foi realizado com base em procedimentos internacionais ainda vigentes. Desde essa edificação, toda obra que usa deste sistema construtivo deve passar por projetos guiados a partir de normas técnicas e manuais.

Outra obra de destaque na alvenaria estrutural é o Hotel Excalibur, localizado em Las Vegas, EUA, que é considerado o mais alto edifício em alvenaria estrutural da atualidade. O complexo do hotel é formado por quatro torres principais, com 28 pavimentos cada. As paredes estruturais foram executadas em alvenaria armada de blocos de concreto e a resistência à compressão especificada na base, foi de aproximadamente 28 MPa. Um dos fatores que determinou a escolha pelo sistema foi o desempenho diante de ações sísmicas, comuns naquela região.

Figura 2.2 – Hotel e Cassino Excalibur – Las Vegas.



Fonte: Acervo do Autor.

2.3 ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL

A alvenaria surge no Brasil como uma técnica de construção apenas no final da década de 1960, anteriormente era considerada como “alvenaria resistente”, fruto de conhecimento empírico, como consequência da inexistência de regulamentos que fixassem critérios de dimensionamento e segurança dos elementos estruturais, de forma a relacionar as diferentes tensões atuantes a resistência do elemento. A maioria das edificações possuía quatro pavimentos com critérios de execução e dimensionamentos básicos à experiência do construtor. Assim, as paredes dessas edificações eram constituídas por unidades cerâmicas maciças (tijolos), nos três primeiros pavimentos, e, no último, eram usadas unidades vazadas, com furos na direção do assentamento da parede. Canchado (1986, citado por Moramad et al., 2015), observou que no início da alvenaria estrutural, as construções antecederam às pesquisas na área, estando concentradas em algumas regiões, como São Paulo (isso na década de 1970) e em Porto Alegre (em 1984 – 1985).

Em 1966 foi o marco inicial do emprego em bloco de concreto em alvenaria estrutural armada, no Brasil, com a construção do conjunto habitacional Central Park Lapa no estado de São Paulo. Sendo que esta obra foi realizada com paredes com espessura de 19 cm e quatro pavimentos. Em 1972 foi construído, no mesmo conjunto habitacional, quatro prédios de 12 pavimentos cada, em alvenaria armada.

Em São José dos Campos – SP, em 1970, foi construído o edifício “Muriti”, este com 16 pavimentos, em alvenaria armada.

O edifício pioneiro em alvenaria não armada no Brasil foi o Jardim Prudência, construído em São Paulo, no ano de 1977. A edificação tinha nove pavimentos, em blocos de concreto de silico-calcário com paredes de 14 cm de espessura.

Os blocos cerâmicos nas obras em alvenarias estruturais não armadas ou armadas começaram somente na década de 1980, com a introdução, no mercado da construção, de unidades com dimensões modulares e furos na vertical que proporcionassem a passagem de instalações elétricas sem os rasgos comumente feitos nas obras. Já na década de 1990 foi construído o edifício residencial “Solar dos Alcântaras” em São Paulo – SP. Atualmente essa edificação é a maior do Brasil em alvenaria estrutural armada, com paredes de blocos de concreto com 14 cm de espessura sendo do primeiro ao último andar (Mohamad et al., 2015).

No Brasil, a alvenaria estrutural teve um grande crescimento na década de 1980, com avanços em pesquisas que se iniciaram ainda na década de 1970. Com a incorporação desta técnica por grandes empresas construtoras, a alvenaria estrutural acabou se difundindo nas regiões sul e sudeste do país. Atualmente diversos centros de pesquisa realizam estudos, nesta área, visando o aperfeiçoamento das técnicas, o desenvolvimento de novos materiais, e o aprimoramento dos modelos de dimensionamento, que ainda são dotados de diversas simplificações, segundo Santos (1998), tinha por objetivo baratear custos e aumentar a produtividade. Foi devido principalmente a estas duas características que a alvenaria estrutural, como alternativa de construção, cresceu rapidamente, no Brasil, durante a expansão dos programas habitacionais, sendo o principal, implementado em 2008, o programa Minha Casa Minha Vida.

2.4 VANTAGENS ECONÔMICAS DO SISTEMA EM ALVENARIA ESTRUTURAL

As constantes dificuldades vivenciadas pelas construtoras, devido ao gradual aumento da concorrência e ao nível de exigência construtiva, têm provocado uma mudança na estratégia, possibilitando melhorias na produção, empregando alternativas que levem a racionalização do processo. A alvenaria estrutural, segundo Wendler, 2005, citado por Mohamed et al. (2015), possui diversas vantagens, na qual a econômica é uma das principais, devido a sua otimização de tarefas em obra, por meio de técnicas executivas simplificadas e facilidade de controle nas etapas da própria produção e eliminação de interferências, gerando, assim, a redução no desperdício de materiais produzidos pelo constante retrabalho. Assim, como consequência, este sistema construtivo conseguiu proporcionar uma flexibilidade no planejamento das etapas em execução das obras, tornando-o competitivo, no Brasil, comparado com estruturas convencionais.

2.5 COMPONENTES E PROPRIEDADES DA ALVENARIA ESTRUTURAL

As paredes em alvenaria são compostas pela união de diferentes materiais, como bloco (cerâmico, sílico-calcário e concreto), argamassas e grautes. Essa composição impõe uma certa dificuldade aos projetistas em especificar os componentes de forma a potencializar o seu uso para fins estruturais, devido ao estado de tensão desenvolvido e à natureza quasi-frágil (comportamento do material

cuja tensão, após atingir o pico, diminui gradativamente até o zero à tração e compressão) do material.

De acordo com Sampaio (2010), a alvenaria estrutural é um processo construtivo, onde os elementos que desempenham a função estrutural são a própria alvenaria, dispensando, assim, o uso de pilares e vigas, o que acarreta redução de custos.

Entende-se por componente da alvenaria estrutural uma entidade básica, ou seja, algo que compõe os elementos que, por sua vez, compõem a estrutura. Os componentes principais da alvenaria estrutural são: blocos, ou unidades; argamassa; graute e armadura. (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Roman e Filho (2007) destacam ainda, que a alvenaria estrutural pode ser entendida como um processo construtivo, onde as paredes de alvenaria e as lajes enrijecedoras funcionam estruturalmente em substituição aos pilares e vigas, estes utilizados nos processos construtivos tradicionais, dimensionados por métodos de cálculos racionais e também de confiabilidade determinável.

2.5.1 Bloco estrutural

É o principal componente da alvenaria estrutural, sendo conhecido como sua unidade básica, pois são eles que formam as paredes que servirão de estrutura para as edificações. Sua resistência possui relação direta com a resistência das paredes e, logo, com a resistência da construção. Segundo a NBR 15270 (ABNT, 2005), blocos estruturais: “São blocos projetados para suportarem outras cargas verticais além do seu peso próprio, compondo o arcabouço estrutural da edificação”. Para que uma construção em alvenaria possua resistência estrutural, algumas características mínimas de desempenho e conformidade devem ser seguidas. Estas foram definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), encontram-se normatizadas e dizem respeito às questões relacionadas com sua forma geométrica e capacidade resistiva.

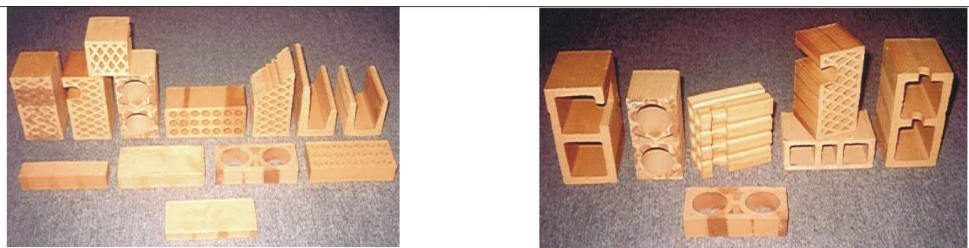
Atualmente estão disponíveis no mercado muitos tipos de blocos estruturais, para diferentes funções, variando sua forma e materiais usados em sua produção, podendo ser de diversos tipos como de concreto, cerâmico, silício-calcário e concreto celular auto-clavado. No Rio Grande do Sul são mais difundidos os blocos cerâmicos e de concreto.

Roman (1991) refere que os aspectos mais importantes para a resistência dos blocos são: o tamanho, a forma e a homogeneidade.

Martins (2001), por sua vez define a unidade da alvenaria (bloco) como um componente industrializado, de dimensões e peso que o fazem manuseável, tendo formato paralelepipedal.

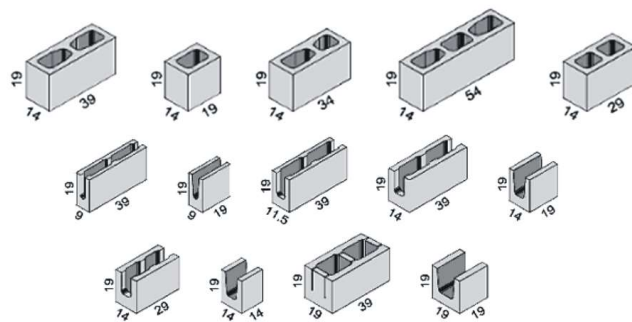
A Figura 2.3 mostra alguns exemplos de unidades cerâmicas, de concreto e de sílico-calcárias utilizadas em larga escala em construções de alvenaria estrutural. Observa-se, na Figura 2.3, que houve uma evolução em aspectos como: geometria, distribuição de furos, peças especiais para a passagem de tubulações elétricas e hidráulicas, peças para apoios de laje e para a utilização no contorno de aberturas como portas e janelas, diminuição na área líquida de assentamento e dimensões modulares para as unidades. Esses elementos qualificam os produtos como sendo considerados essenciais para adequar o desempenho da alvenaria estrutural ao processo racional de execução.

Figura 2.3 – Exemplos de unidades cerâmicas, concreto e sílico-calcário obtidas de diferentes fabricantes (Cerâmica Bosse, Indústria Glasser e Prensil).



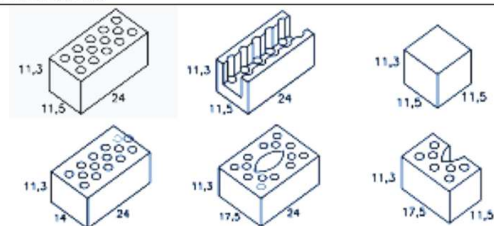
Fonte: Cerâmica Bosse

Unidades Cerâmicas



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

Unidades em Concreto



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

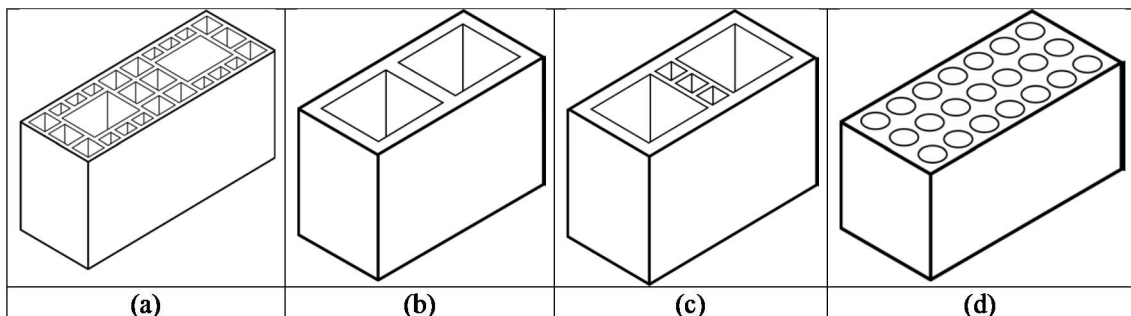
Unidades de Sílico-Calcário

2.5.1.1 Especificações normativas de classificação

2.5.1.1.1 Unidades cerâmicas

Os blocos cerâmicos estruturais são componentes da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares à face que os contêm, sendo os mesmos produzidos para serem assentados com furo na vertical. Os blocos cerâmicos classificam-se em: bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas (a); bloco cerâmico estrutural com paredes maciças (b); bloco cerâmico estrutural com paredes maciças (paredes internas vazadas) (c), e bloco cerâmico estrutural perfurado (d), como mostra a Figura 2.4.

Figura 2.4 – Blocos cerâmicos – Definições



Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

O bloco cerâmico estrutural deve possuir a forma de um prisma reto, cuja dimensão de fabricação deve respeitar a Tabela 2.1.

Os blocos e os tijolos cerâmicos para a alvenaria estrutural devem apresentar propriedades físicas (aspecto, dimensão, esquadro e planeza e absorção de água) de acordo com as recomendações mínimas normativas. Além dessas propriedades, é importante que tenham as tolerâncias de fabricação apresentadas na Tabela 2.2 e as propriedades de sucção inicial e de resistência à compressão definidas abaixo (NBR 15270-2 (ABNT, 2005)). De acordo com a mesma norma, o índice de absorção de água dos componentes cerâmicos não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%.

Tabela 2.1 – Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais

Dimensões L x H x C	Dimensões de fabricação (cm)					
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)			
			Bloco principal	1/2 bloco	Amarração (L)	Amarração (T)
(5/4)M x (5/4)M x (5/2)M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (5/2)M			24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (3)M		19	29	14	26,5	41,5
(5/4)M x (2)M x (4)M			39	19	31,5	51,5
(3/2)M x (2)M x (3)M	14	19	29	14	-	44
(3/2)M x (2)M x (4)M			39	19	34	54
(2)M x (2)M x (3)M	19	19	29	14	34	49
(2)M x (2)M x (4)M			39	19	-	59

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

Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

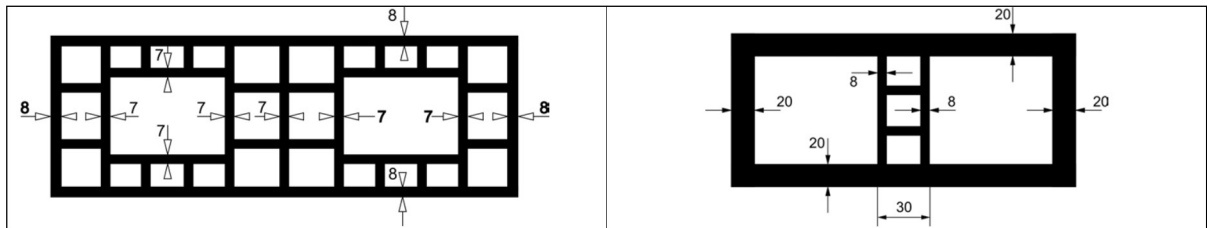
Tabela 2.2 – Tolerâncias dimensionais relacionadas à média das dimensões efetivas

DIMENSÃO	Tolerâncias dimensionais relacionadas às medições individuais (mm)	Tolerâncias dimensionais relacionadas à média (mm)
Largura (L)	± 5	± 3
Altura (H)	± 5	± 3
Comprimento (C)	± 5	± 3
Desvio em relação ao esquadro (D)		3
Planeza das faces ou Flecha (F)		3

Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

Os blocos cerâmicos estruturais de paredes vazadas devem possuir septos internos de espessura mínima de 7 mm e das paredes externas de no mínimo 8 mm. A espessura mínima das paredes dos blocos cerâmicos de paredes maciças deve ser de 20 mm, podendo as paredes internas apresentar vazados, desde que a sua espessura total seja maior ou igual a 30 mm, sendo 8 mm a espessura mínima de qualquer septo. A Figura 2.5 apresenta as dimensões mínimas dos septos das unidades cerâmicas.

Figura 2.5 - Dimensões mínimas dos septos das unidades cerâmicas



Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

2.5.1.1.2 Absorção de água inicial (AAI)

A absorção de água inicial de uma unidade cerâmica é definida como a quantidade de água absorvida por um tijolo seco quando parcialmente imerso em água (profundidade de 3 mm) pelo período de 1 minuto. Essa absorção inicial de água, dada em (grama/cm²)/minuto, mede a tendência da unidade em retirar a água da argamassa. Sua magnitude depende das características superficiais da unidade, do tipo de argila empregada e do grau de cozimento da peça. A absorção de água inicial pode ser chamada de taxa de sucção inicial e afeta a aderência entre a unidade e a argamassa. Quanto maior for essa taxa de sucção inicial, tanto menor será a resistência à flexão e ao cisalhamento. Por isso, nos casos em que um tijolo tenha elevada absorção de água inicial, este deve ser umedecido antes do assentamento, pois poderá reduzir a aderência final do componente. O valor máximo recomendado para a taxa de sucção é de (30 grama/193,55 cm²)/minuto (NBR 15270-2 (ABNT, 2005)).

2.5.1.1.3 Resistência característica à compressão

É a principal característica da unidade para uso em alvenaria estrutural. Ela deve atingir os requisitos mínimos que a norma especifica, bem como as exigências do projeto estrutural. A resistência característica à compressão dos blocos estruturais deve ser referida na área bruta. De acordo com a norma NBR 15270-2 (ABNT, 2005), a resistência característica à compressão (f_{bk}) dos blocos cerâmicos estruturais deve ser considerada a partir de 3,0 MPa, referida à área bruta.

A estimativa da resistência à compressão da amostra dos blocos é o valor estipulado pela Equação (1):

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

Onde:

$f_{bk, est.}$ = é a resistência característica estimada da amostra, em MPa;
 $f_{b(1)}, \dots, f_{b(2)}, \dots, f_{bi}$ = são os valores de resistência à compressão individual dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;
 $i = n/2$, se n for par;
 $i = (n-1)/2$, se n for ímpar;
 n = é a quantidade de blocos da amostra

Após o cálculo do $f_{bk, est}$ deve-se proceder à seguinte análise:

- se o valor do $f_{bk, est} \geq f_{bm}$ (média da resistência à compressão de todos os corpos de prova da amostra), adota-se f_{bm} como a resistência característica do lote (f_{bk});
- se o valor do $f_{bk, est} < \emptyset \cdot f_{b(1)}$ (menor valor da resistência à compressão de todos os corpos de prova da amostra), adota-se a resistência característica à compressão (f_{bk}) determinada pela expressão $\emptyset \cdot f_{b(1)}$, estando os valores de \emptyset indicados na Tabela 2.3.
- caso o valor calculado de $f_{bk, est}$ esteja entre os limites mencionados acima ($\emptyset \cdot f_{b(1)}$ e f_{bm}), adota-se este valor como a resistência característica à compressão (f_{bk}).

Tabela 2.3 – Valores de \emptyset em função da quantidade de blocos

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	≥ 18
\emptyset	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

NOTA: Recomenda-se adotar $n \geq 13$.

Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

Para a execução da inspeção geral (deve ser obrigatoriamente gravada em uma das suas faces externas) amostragem simples (1ª amostragem) para a identificação da empresa, das dimensões de fabricação em centímetros (L x H x C), as letras EST (indicativo da sua condição estrutural) e indicação da rastreabilidade.

Adota-se dupla amostragem (2ª amostragem) para as verificações das características visuais, onde não devem apresentar defeitos sistemáticos como quebras, superfícies irregulares ou deformações que impeçam seu emprego na função específica, de acordo com a Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Número de blocos dos lotes e da amostragem.

Lote	Número de Blocos	
	1ª amostragem ou amostragem simples	2ª amostragem
1.000 a 100.000	13	13

NOTA: Recomenda-se que, por questões de racionalidade, a inspeção por ensaios seja realizada após a aprovação do lote na inspeção geral.

Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005)

Para o ensaio de determinação das características geométricas (largura, altura, comprimento, espessura das paredes externas e septos, planeza das faces e desvio em relação ao esquadro) e para o ensaio de determinação da resistência característica à compressão, as amostras são constituídas de 13 corpos de prova. Para o ensaio do índice de absorção de água, a amostra é constituída de seis corpos de prova.

Para aceitação ou rejeição do lote fica condicionado aos seguintes aspectos:

- o não atendimento em qualquer corpo-de-prova dos aspectos a seguir é o suficiente para a rejeição do lote: identificação da empresa; dimensões de fabricação em centímetros, na sequência largura (L), altura (H) e comprimento (C), na forma (L x H x C), podendo ser suprimida a inscrição da unidade de medida em centímetros; as letras EST (indicativo da sua condição estrutural); indicação de rastreabilidade.
- o critério para definição da aceitação ou rejeição do lote das características visuais como defeitos sistemáticos, tais como quebras, superfícies irregulares ou deformações que impeçam seu emprego na função especificada devem atender a Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Número de unidade mínima para aceitação ou rejeição dos lotes

Nº de blocos constituintes		Unidades não-conformes			
		1ª amostragem		2ª amostragem	
1ª amostragem	2ª amostragem	Nº de aceitação	Nº de rejeição	Nº de aceitação	Nº de rejeição
13	13	2	5	6	7

Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

- o critério para definição da aceitação ou rejeição do lote das características geométricas (medidas das faces; espessura dos septos e paredes externas dos blocos; desvio em relação ao esquadro (D); planeza das faces (F)) devem atender ao disposto na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Número de unidade mínimas para aceitação ou rejeição dos lotes

Nº de blocos constituintes	Unidades não-conformes	
	Nº para aceitação do lote	Nº para rejeição do lote
Amostragem Simples		
13	2	3

NOTA: Esta tabela não se aplica aos itens área bruta e área líquida

Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

- o critério para definição da aceitação ou rejeição do lote das características físicas (massa seca (m_s); índice de absorção d'água (AA)) devem atender ao disposto na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Número de unidade mínimas para aceitação ou rejeição dos lotes

Nº de blocos constituintes	Unidades não-conformes	
	Nº para aceitação do lote	Nº para rejeição do lote
Amostragem Simples		
6	1	2

Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

- na inspeção por ensaios referentes à resistência à compressão, a aceitação ou rejeição do lote fica condicionada à resistência característica à

compressão (f_{bk} ser igual ou maior ao especificado pelo comprador, que, por sua vez, deve ser igual ou maior que o do projeto estrutural).

2.5.1.1.4 Área Líquida e Área Bruta dos Blocos

Outros conceitos importantes a serem definidos são área bruta e área líquida dos blocos. A primeira é a área da face do bloco, calculada através do produto de sua largura pelo seu comprimento; a segunda é a área efetiva do bloco, ou seja, a área bruta da face diminuída da área de vazios da face do bloco.

2.6 ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

A argamassa de assentamento, segundo a NBR 12118:2011, é o "elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto, garantindo distribuição uniforme de esforços". A utilização da mesma na alvenaria estrutural tem por objetivo unir os blocos, facilitando assim o seu assentamento através da acomodação dos mesmos às suas amarrações. Segundo Cavalheiro (1995), tem-se como função básica dessa junta de argamassa, a distribuição uniforme das cargas atuantes na parede, por toda a área resistente dos blocos.

Santos (2008) define argamassa como "uma mistura homogênea de agregados miúdo(s), aglomerante(s), inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedade de aderência e endurecimento".

Mohamad e Rizzatti (2013) refere que as argamassas são fundamentais para a alvenaria, sendo geralmente compostas por cimento, cal, água o suficiente para produzir uma mistura plástica de boa qualidade. Sendo sua principal responsabilidade mecânica, transmitir as tensões verticais através das unidades e acomodar as deformações concentradas, buscando não provocar as fissuras.

Quanto aos materiais utilizados na confecção da argamassa, da mesma forma que os autores acima citados, a NBR 12118 (ABNT, 2011) define que, a argamassa deve ser composta pelo cimento, agregado miúdo, água e cal (ou outro material que confira plasticidade e retenção de água à mistura).

A Tabela 2.8 apresenta a influência dos materiais constituintes nas propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido. As propriedades citadas na Tabela 2.8 são os principais requisitos de desempenho de argamassas de assentamento para

alvenaria estrutural no estado fresco e endurecido. Os sinais (+, ++ ou 0) indicam a influência dos materiais nas propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido. Por exemplo, quanto mais cal a argamassa possuir, aumenta-se, significativamente, as propriedades de plasticidade, coesão, retenção de água, aderência e durabilidade e pouca influência na resistência à compressão.

Tabela 2.8 – Influência dos materiais constituintes nas propriedades da argamassa

		MATERIAIS				
Propriedade		Cimento	Cal	Areia Grossa	Areia Fina	Água
No Estado Fresco	1. Fluidez	+	+	0	0	++
	2. Plasticidade	+	++	-	+	0
	3. Coesão	+	++	-	+	0
	4. Retentividade	+	++	-	+	0
No Estado Endurecido	5. Aderência	+	++	-	+	+
	6. Durabilidade da Aderência	-	++	0	0	0
	7. Resistência à Compressão	++	-	+	-	-

+: indica que aumenta; ++: indica um aumento considerável na propriedade; - : indica que diminui; 0: indica que tem pouca influência;

Fonte: (Mohamad, 1998).

2.6.1 Tipos de argamassa

As argamassas utilizadas para o assentamento das unidades podem ser classificadas, segundo os materiais presentes, como: argamassas com base de cal, argamassas de cimento, argamassas mistas de cimento e cal e argamassas industrializadas.

ARGAMASSAS MISTAS: constituídas de cimento, cal e areia, quando adequadamente dosadas, apresentam a combinação das vantagens das argamassas de cal e das argamassas de cimento. A presença do cimento confere à argamassa um aumento da resistência à compressão nas idades iniciais. A cal melhora a trabalhabilidade da mistura e a retenção de água, diminuindo os efeitos de retração na argamassa. Por isso, essas argamassas são as mais adequadas para o uso em alvenaria estrutural.

ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS: nesse tipo de argamassa, a cal é substituída por aditivos, plastificantes ou incorporadores de ar. Esse tipo de argamassa resulta numa menor resistência de aderência e compressão comparativamente às produzidas com cal. Nas argamassas com aditivos incorporadores de ar, a resistência à compressão diminui se o tempo de mistura em betoneira for excessivo, geralmente acima de 3 minutos (Mohamad et al., 2000). As argamassas industrializadas possuem, nos seus componentes, diversos materiais que garantem propriedades específicas ao produto quando no estado fresco. Portanto, para as argamassas industrializadas desenvolvidas por empresas especializadas, antes de se recomendar o uso em alvenarias estruturais, devem-se verificar os ensaios de desempenho do produto, principalmente para obras de maior responsabilidade estrutural.

Já em relação à dosagem da argamassa, que tem como objetivo estabelecer um traço que tenha resistência e trabalhabilidade previstas pode ser feita de duas maneiras: a primeira, sendo a dosagem experimental, que se deve levar em conta alguns fatores como a utilização de uma relação água/cimento adequada para suprir as necessidades de resistência à compressão e também a durabilidade, trabalhabilidade compatível com as características dos materiais e o teor de cal em relação ao cimento não deve ultrapassar o limite de 0,25. Já, a dosagem não experimental é feita em canteiro de obra e somente deve ser permitido em obras de pequeno vulto, quando a resistência à compressão do prisma for menor que 3,0 MPa em sua área bruta.

Outro fator importante, quando se fala em argamassa de assentamento, é a espessura da junta que deve ser de aproximadamente um centímetro. Variações significativas, nesta espessura, causam perdas na resistência da parede ou de própria capacidade de acomodar deformações. Os preenchimentos das juntas também afetam a resistência final da parede, já que, paredes sem juntas verticais e juntas horizontais transversais apresentam menor capacidade de resistir a esforços de cisalhamento e flexão, sendo a sua colocação de pouca influência na resistência à compressão. As juntas verticais também são de vital importância quanto à permeabilidade de água, conforto térmico e acústico das paredes. Assim, recomenda-se o preenchimento de todas as juntas de argamassa.

Contudo, pode-se dizer da importância que a argamassa tem para a alvenaria estrutural, vários ensaios já foram realizados a este respeito. Estes ensaios são

feitos para se constatar a qualidade da argamassa empregada em obras de alvenaria estrutural, visto que, a mesma tem importante função estrutural na confecção das paredes. Os aspectos mais importantes da argamassa analisados até então são: a consistência, a retenção de água, o teor de ar incorporado e a resistência à compressão.

2.7 GRAUTE

Para Martins (2001), “o graute é o resultado da mistura de materiais aglomerantes, agregados e água, com ou sem aditivos, em proporções tais que se obtenha uma consistência líquida sem segregação de seus constituintes. Sua finalidade é de solidarizar as armaduras aos blocos de alvenaria, garantindo o funcionamento como estrutura armada, influenciando, inclusive na resistência mecânica à compressão das paredes, com vazios preenchidos, sem aumentar a espessura da parede”.

Para Mohamad e Rizzatti (2013), o graute tem por objetivo aumentar a capacidade de resistência à compressão das paredes, assim como de solidarizar as armaduras à alvenaria. Podendo também ser utilizado para enchimento em reforços estruturais e também nas zonas de concentrações de tensões.

Segundo a NBR 12118 (ABNT, 2011), o graute é um elemento que tem por finalidade preencher os vazios dos blocos e canaletas, possibilitando solidarização da armadura a estes elementos e aumento da capacidade portante. Seguindo com mesma norma, o graute deve ser composto pelos seguintes materiais: cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e cal (ou outro material similar que possa fornecer trabalhabilidade e retenção de água à mistura).

De acordo com a mesma norma, a dosagem do graute pode ser feito com dosagem empírica ou experimental. A dosagem da segunda deve ser feita por qualquer um dos métodos desenvolvidos para concreto convencional. Porém, a dosagem empírica só deve ser realizada em casos de obras de pequeno porte, quando a resistência mínima de projeto do prisma for menor ou igual a 6,0 MPa para prisma oco ou menor ou igual a 3,0 MPa para prisma cheio, a trabalhabilidade do graute deve ser atendida com o proporcionalmente especificado, a proporção entre agregados graúdos e miúdos, por sua vez, deve ser otimizada experimentalmente com os materiais da obra.

O graute pode ser classificado em duas formas conforme a presença ou não de agregado graúdo. O graute fino seria aquele cujo diâmetro máximo do agregado for igual ou inferior a 4,8 mm e o graute grosso é aquele cujo diâmetro é superior a 4,8mm. O recomendado para a escolha do tipo de graute a ser usado, seja de acordo com o tamanho dos furos a serem preenchidos, ou seja, para que tenha a capacidade de penetrar nos furos, visto que o diâmetro máximo do agregado não pode ser superior a um terço do diâmetro dos furos que devem preencher.

Nas obras de alvenaria estrutural, realizadas com blocos cerâmicos, as principais funções do graute são: permitir o posicionamento correto das armaduras nos furos e transmitir os esforços graute/bloco. Já nos casos de alvenaria armada é absorver um pouco dos esforços verticais e aumentar a rigidez do conjunto, isso principalmente nas cargas horizontais (GOMES, 1983).

A NBR 12118:2011 define que o abatimento do graute deve ser de 17 a 20 cm para adensamento por apiloamento e 20 a 23 cm para auto adensamento; e o graute deve ser o menos fluido possível quando for usado vibrador mecânico.

Mohamad e Rizzatti (2013) referem-se à NBR 15812-1:2010, que especifica a influência do graute na resistência da alvenaria, a qual deve ser verificada em laboratório nas condições de sua utilização, sendo a avaliação de sua influência devendo ser verificada por ensaio de compressão de prisma.

Parsekian (2010) cita que, nas obras de grande vulto, deve-se proceder a dosagem experimental, sendo um indicativo para a resistência do graute a mesma resistência do Bloco considerando a resistência em sua área líquida.

O grauteamento já é uma das técnicas mais utilizadas no reforço de alvenaria estrutural. É através do preenchimento dos vazios dos blocos, que se tem um aumento da resistência da parede aos esforços de flexão, cisalhamento e compressão. Tendo como finalidade de solidarizar as unidades com as eventuais armaduras distribuídas em seus vazios (SAMPAIO, 2010).

Contudo, para que o graute cumpra suas funções, torna-se necessário alguns cuidados no que se refere: à retração do graute, absorção (bloco/graute e graute/argamassa), à altura do grauteamento, ao adensamento e às adições. Estas são conclusões de pesquisas já realizadas sobre o assunto.

2.7.1 Propriedades do graute nos estados fresco e endurecido

As principais propriedades que o graute deve apresentar são:

- a) consistência: a mistura deve apresentar coesão e, ao mesmo tempo, ter fluidez suficiente para preencher todos os furos dos blocos;
- b) retração: a retração não deve ser tal que possa ocorrer separação entre o graute e as paredes internas dos blocos;
- c) resistência à compressão: a resistência à compressão do graute, combinada com as propriedades mecânicas dos blocos e da argamassa, definirá as características à compressão da alvenaria.

2.7.2 Materiais constituintes

Os grautes são compostos por cimento, areia, pedrisco, água e, em certos casos, pode ser adicionada cal na mistura para diminuir a sua rigidez.

2.7.3 Dosagem

O graute deve ser dosado para que atinja as características físicas e mecânicas necessárias para o bom desempenho estrutural da parede. É recomendável que seja sempre realizado ensaio de prismas feitos com material a ser utilizado na obra, para verificar se a especificação de materiais proporciona o resultado de resistência desejado. Em caso de obras pouco carregadas, no entanto, podem-se utilizar alguns traços clássicos de grautes. Estes podem ser vistos na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Proporções recomendadas para a dosagem do graute.

	Materiais constituintes		
	Cimento	Areia	Pedrisco
Sem pedrisco	1	3 a 4	-
Com pedrisco	1	2 a 3	1 a 2

O Eurocode 6 (2002) cita que o graute deve ter uma adequada resistência à compressão e trabalhabilidade, conforme a necessidade de projeto. Também, sua

resistência à compressão não deve ser menor que 12 a 15 N/mm². O tamanho máximo do agregado não deve exceder 20 mm para os grautes de enchimento. No entanto, quando os grautes forem usados para preencherem vazios de tamanhos menores que 100 mm ou quando as unidades possuírem vazios, cujo cobrimento da armadura seja menor que 25 mm, o tamanho máximo do agregado não deve exceder 10 mm.

A BS-5628-1(1992) determina que o graute utilizado em blocos estruturais deve ter a mesma resistência à compressão que sua área líquida. A NBR 15812-1/10 cita que quando especificado o graute, sua influência, na resistência da alvenaria, deve ser devidamente verificada em laboratório, nas condições de sua utilização, essa verificação é feita com moldagem e ensaio de prismas grauteados ou argamassados com mesmo material que seria utilizado em obra.

2.7.4 Proporcionalamento, mistura e lançamento

O proporcionalamento dos materiais componentes do graute deve ser feito de tal forma que as quantidades especificadas possam ser controladas e mantidas com uma precisão da ordem de $\pm 5\%$. A mistura dos materiais constituintes deve efetuar-se mecanicamente por um tempo não menor que 5 minutos e suficiente para proporcionar boa homogeneidade. O lançamento do graute geralmente é realizado em duas ou três camadas ao longo da altura da parede, conforme a fluidez do material. O aumento no número de camadas de lançamento permite que se use um graute com menor teor de água/cimento e maior controle no preenchimento dos furos verticais dos blocos, diminuindo a possibilidade de segregação e de ocorrência de vazios na parede. Geralmente, a própria pressão hidráulica gerada pela coluna líquida é, muitas vezes, suficiente para o adensamento. Em alguns casos, no entanto, pode ser necessário vibrá-lo (vibradores de agulha de pequeno diâmetro) ou compactá-lo manualmente (barras de aço). Pode-se encontrar no mercado produtos a base de cimento de alta resistência inicial, com agregados graduados, adições, aditivos plastificantes e compensadores de retração para o grauteamento dos furos do bloco e solidarização da armadura. Esses grautes possuem como características principais a alta fluidez, a baixa retração na secagem e resistências iniciais superiores a 30 MPa aos três dias de idade.

Recomenda-se antes de lançar o graute no vazado do bloco, que se abra uma janela de inspeção na primeira fiada, na coluna onde o graute será lançado, essa janela

serve para que seja feita a limpeza proveniente de rebarbas da argamassa do assentamento endurecida que adentram os vazados principais do bloco. Essa janela serve para inspecionar se a coluna de graute foi preenchida, antes do lançamento do graute ela deve ser fechada.

2.8 ARMADURA

São as barras de aço utilizadas nas construções em alvenaria, que estão sempre acompanhadas do envolvimento do graute, para garantir o trabalho conjunto com o restante dos componentes da alvenaria.

2.9 PRISMA

Um prisma é a justaposição de dois blocos estruturais, unidos por uma junta de argamassa que deve possuir a espessura de um centímetro (NBR 12118 (ABNT, 2011)).

Mendes (1998, p.89) considera que:

“Primas de alvenaria são simulações mais simples e econômicas para a verificação das propriedades mecânicas de uma parede de alvenaria. Ensaios em paredes em escala natural seriam ideais, porém são muitas vezes técnica e economicamente inviáveis”.

A norma ASTM E 447-84 recomenda que os prismas devem ser formados por três blocos assentados a prumo, com duas juntas de argamassa. Segundo a NBR 15961-2 (ABNT, 2011), há a possibilidade de se preparar prismas de duas formas diferentes. Os prismas podem ser moldados em laboratório, isso com diferentes tipos de argamassas, grautes e blocos. Também podem ser moldados em obra com os mesmos materiais e mão-de-obra utilizados na estrutura. Ainda, segundo tal norma, pesquisas para verificar a resistência de prismas devem ter a resistência à compressão identificada pela média do ensaio de três prismas.

Os estudos empíricos para verificar a resistência da alvenaria estrutural ocorrem, na maioria das vezes, através da análise de prismas, os quais são à base dos projetos estruturais, pois a correlação prisma/parede é mais próxima do que a relação bloco/parede.

Mohamad e Rizzatti (2013) mencionam, em seus estudos, que o ensaio dos prismas pode ser realizados em corpos de prova cheio ou mesmo oco, sendo blocos de concreto ou cerâmico, sendo dois blocos principais sobrepostos, íntegros e isento de defeitos. Podendo então serem avaliados nas seguintes situações: para caracterização prévia da alvenaria, para controle das obras com especificação de resistência (característica do bloco de concreto inferior a 12MPa).

Visto que os prismas, para isso, devem ser identificados limpos e armazenados em lugar protegido para preservar suas características originais. De acordo com os mesmos autores, as condições para preparação dos prismas devem ser as seguintes: capeamento total e apresentando plano; o argamassamento deve ser em toda área líquida do bloco; o assentamento, grauteamento, capeamento, cura e transporte dos corpos de prova devem ser realizados de forma a tornar as faces de aplicação de carga planas, pruma nas laterais e resistência compatíveis, conforme orienta a NBR 12118 (ABNT, 2014).

2.10 RUPTURA DA ALVENARIA À COMPRESSÃO

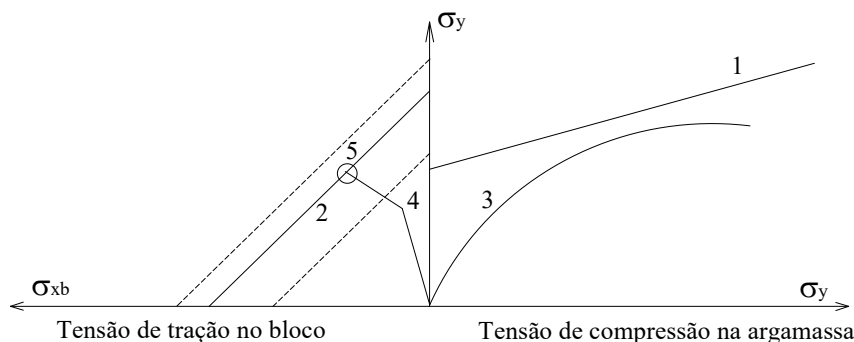
A alvenaria estrutural não-armada pode ser considerada como um sistema formado por alguns materiais distintos, que interagem para responder às cargas verticais e horizontais produzidos pelo peso-próprio, vento, sismos e sobrecargas durante a sua vida útil, cuja natureza resistente é frágil à tração. Cabe salientar que o comportamento do conjunto depende não somente da qualidade de cada material empregado, mas também das interações físico-químicas que ocorre entre os materiais constituintes. Assim, deve-se tratar a parede de alvenaria estrutural não em função das características de seus materiais isoladamente, mas, sim, como um material compósito fruto da interação da unidade, da argamassa e, quando também usado, do graute. Dessa forma, é importante que se entenda perfeitamente o comportamento do “material alvenaria”, comportamento que varia de unidade para unidade e com os diferentes tipos de argamassa e graute utilizados. Por essa razão, o desempenho estrutural de paredes de alvenaria não pode ser estimado sem a realização de testes com paredes ou prismas dos materiais que serão utilizados. As principais propriedades mecânicas que devem apresentar as paredes de alvenaria são as resistências à compressão, à tração, à flexão e ao cisalhamento. De todas essas propriedades, a mais importante é a resistência à compressão, pois,

geralmente, as paredes de alvenaria estão submetidas a carregamentos verticais mais intensos que os horizontais produzidos pelo vento e sismos.

2.10.1 Envoltória de ruptura da alvenaria, bloco e argamassa.

Para a alvenaria estrutural, por ser uma composição entre componentes (blocos, argamassas e grautes) e suas respectivas propriedades mecânicas, é de fundamental importância o estudo dos modos de ruptura para poder propor composições de melhor desempenho estrutural. O comportamento geral dos prismas sujeitos à compressão uniforme é apresentado no gráfico da Figura 2.6, que relaciona a evolução das tensões de tração no bloco e as tensões de confinamento da argamassa em função da tensão uniaxial aplicada ao conjunto, ou seja, à medida que se aplica uma força vertical de compressão na alvenaria, surgem tensões de tração no bloco e tensões de compressão na argamassa. A ruptura pode acontecer no bloco por atingir o limite da resistência à tração ou na junta de argamassa se atingir a resistência à compressão confinada da mesma. Portanto, é importante compatibilizar o traço de argamassa em função do tipo (cerâmico ou concreto) e da resistência da unidade escolhida no projeto, de forma que o processo de ruptura aconteça por tração no bloco, podendo eventualmente ter esmagamentos localizados.

Figura 2.6 – Comportamento geral dos prismas sujeitos a carga de compressão

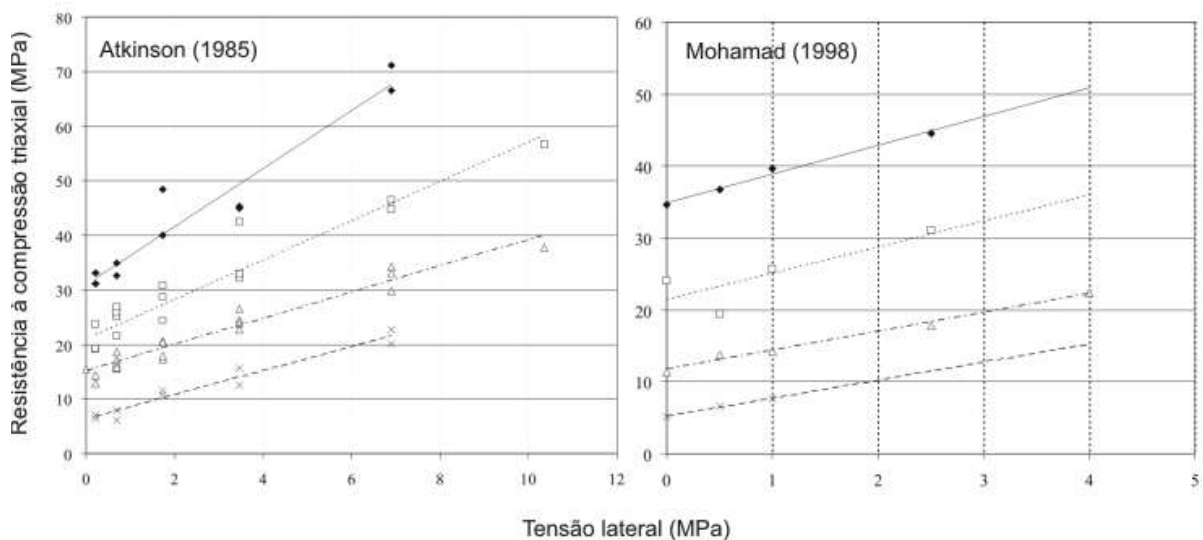


Fonte: (Mohamad, 1998).

O ponto “1” é a envoltória de ruptura da argamassa sob compressão triaxial; o ponto “2” é a envoltória de ruptura dos blocos sob compressão e tração biaxial; o ponto “3” é a curva de carregamento da argamassa; o ponto “4” é a curva de carregamento do

bloco; “5” é o ponto em que a ruptura ocorreu por tração no bloco, antes de atingir o esmagamento da junta de argamassa. Com isso, o modo de ruptura da alvenaria se dá basicamente pelo esmagamento da argamassa, tração do bloco ou efeito combinado de tração e compressão. A Figura 2.7 apresenta os resultados experimentais do comportamento triaxial da argamassa, conforme os resultados experimentais de Atkinson et al. (1985) e Mohamad (1998). De acordo com a Figura 2.7 se pode concluir que a argamassa aumenta a sua resistência à compressão em função do aumento da tensão lateral confinante, provocado pelo impedimento ao deslocamento lateral que a aderência produz entre a unidade e a argamassa. Nos resultados experimentais dos dois autores, podem-se aproximar por uma função linear os resultados de resistência à compressão triaxial.

Figura 2.7 – Relação entre a resistência da argamassa à compressão triaxial e a tensão lateral confinante dos estudos de Atkinson et al. e Mohamad.

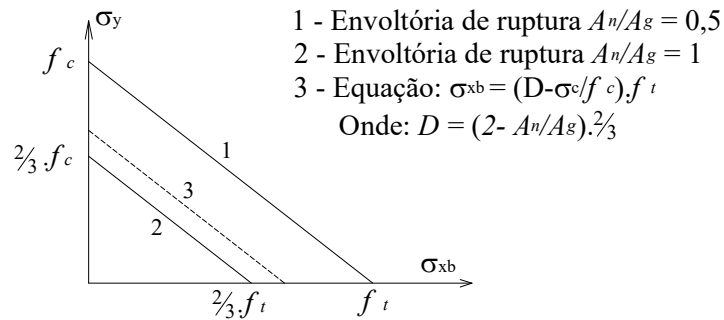


Fonte: (Atkinson et al.,1985; Mohamad, 1998)

Para Afshari e Kaldjan (1989), o comportamento biaxial das unidades de alvenaria com diferentes proporções entre a área líquida (A_n) e a área bruta (A_g) segue o comportamento mostrado na Figura 2.8. Nessa figura, σ_y é a tensão uniaxial aplicada na unidade, f_t é a resistência à tração uniaxial das unidades, e f_c é a resistência à compressão uniaxial das unidades. A envoltória detalhada na Figura 2.8 permite que

esta seja corrigida, conforme a relação área líquida e bruta, ou seja, para A_n/A_g igual a 0,5 o valor de $D= 1,0$ e para A_n/A_g igual a 1,0 o valor $D= 2/3$.

Figura 2.8 – Envoltória de ruptura proposta para as unidades de alvenaria com diferentes proporções entre área líquida e bruta

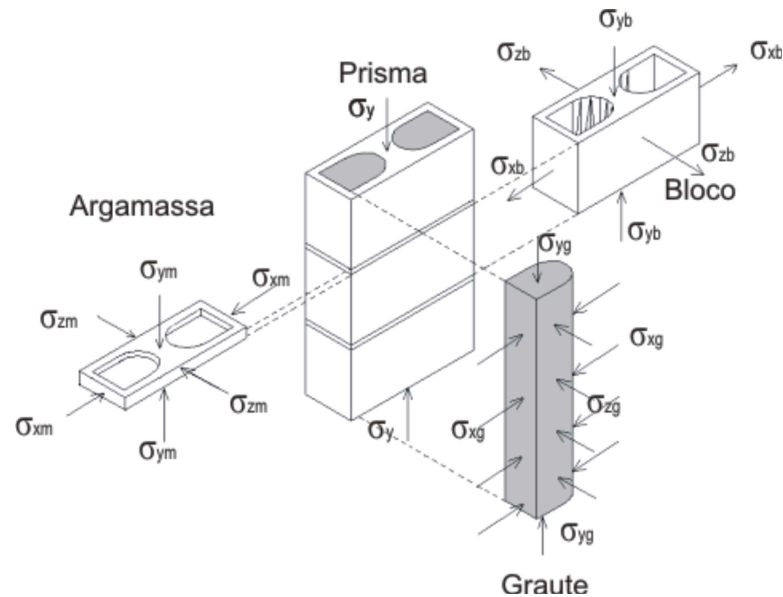


Fonte: (Mohamad, 1998).

2.10.2 Surgimento das tensões responsáveis pela ruptura da alvenaria

A alvenaria, quando submetida à compressão, produz tensões biaxiais (compressão e tração σ_y é a tensão vertical atuante no prisma; $\sigma_{yb}, \sigma_{ym}, \sigma_{yg}$ é a parcela da tensão vertical atuante no bloco, argamassa e graute, respectivamente; $\sigma_{x,z m}, \sigma_{x,z b}, \sigma_{x,z g}$ são as tensões horizontais atuantes na argamassa, bloco e graute, respectivamente nas direções x e z, geradas pelas diferentes características dos materiais no bloco ou tijolos e tensões triaxiais de compressão na argamassa e graute, caso os furos forem preenchidos com concreto. A Figura 2.9 apresenta o esquema da distribuição das tensões verticais e horizontais que surgem nos materiais quando submetidos à compressão simples. Basicamente, as deformações laterais máximas impedidas servem para explicar o surgimento das tensões e, por consequência, dos mecanismos que levam a alvenaria à ruptura. Parte-se do princípio da compatibilidade de deformações laterais entre os componentes (bloco, argamassa e graute). Por esse critério, quanto maior a diferença entre o módulo de elasticidade da argamassa, do bloco e do graute, maiores são as tensões laterais de tração e de compressão geradas nos componentes.

Figura 2.9 – Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais



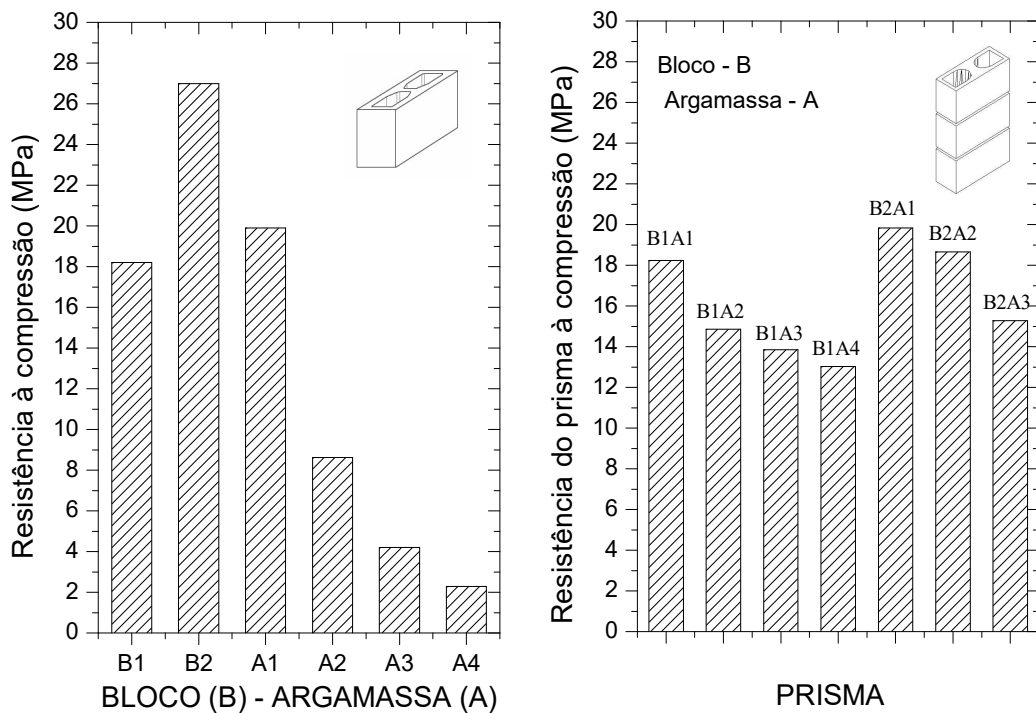
Fonte: (Mohamad, 1998).

2.10.3 Resistência à compressão das alvenarias, blocos e argamassas utilizados no Brasil

É importante destacar que a resistência à compressão e o modo de ruptura dos componentes das alvenarias são importantes para a especificação dos materiais apropriados para a execução de uma edificação. Assim, para os diferentes tipos de unidades, argamassas e grautes, o comportamento do “material alvenaria” apresenta diferenças, seja no modo de ruptura, seja na resistência desta comparada com a resistência dos componentes que a constituem (unidade, argamassa e graute). Um conceito bastante usado para definir essa relação chama-se fator de eficiência. Esse fator é obtido dividindo a resistência à compressão do prisma de alvenaria pela resistência à compressão da unidade. Geralmente é menor que um e diminui à medida que aumenta a resistência da unidade. Algumas investigações foram realizadas nos últimos anos, na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo Grupo de Desenvolvimento de Sistemas em Alvenaria (GDA), para estabelecer a resistência das alvenarias à compressão e os modos de ruptura, com a finalidade de compreender os fenômenos internos e externos que levam o material (cerâmico, concreto, argamassa e graute) a romper. Tais investigações são resumidas abaixo.

Mohamad (1998) realizou estudos experimentais em prismas de blocos de concreto não-grauteados. Os prismas construídos tiveram diferentes modos de rupturas, de acordo com a resistência da argamassa. As características visuais do modo de ruptura, durante os ensaios em prismas, permitiram concluir que a argamassa induz no bloco tensões laterais. Essas tensões são diferenciadas conforme as características físicas da interface superior e inferior. Normalmente, o esfacelamento aconteceu na face superior do bloco intermediário. Após o esfacelamento, verificou-se uma perda de aderência entre a argamassa e o bloco, gerando o esmagamento da junta de assentamento. O esmagamento não levou o prisma a perder a capacidade resistente, apenas gerou fissuras ao longo do comprimento do bloco, tendendo, posteriormente, a esfacelar o bloco superior em contato com a junta. A Figura 2.10 apresenta os resultados individuais de duas resistências de blocos (B1 e B2), quatro resistências de argamassas (A1, A2, A3 e A4) e as resistências das diferentes combinações de prismas.

Figura 2.10 – Resultados de resistência dos blocos, argamassas e prismas



Fonte: (Mohamad, 1998).

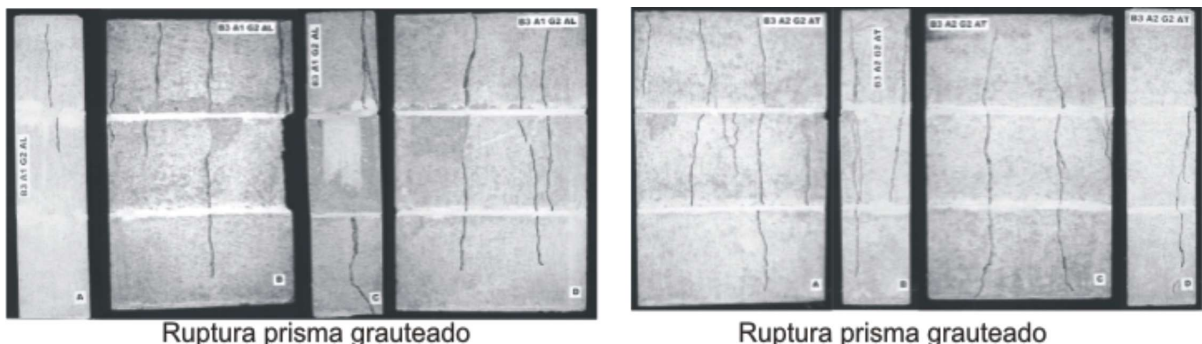
Romagna (2000) também avaliou o comportamento mecânico dos prismas de bloco de concreto de dois furos à compressão, incluindo na pesquisa o comportamento de prismas grauteados, como mostra a Figura 2.11. As fissuras aconteceram, na maioria das vezes, na interseção entre as paredes transversais e longitudinais. Aconteceram, também, fendilhamentos na parede do bloco (região demarcada como “1” na Figura 2.11). As rupturas caracterizadas visualmente demonstraram uma perda da capacidade resistente da argamassa em pontos específicos, por onde se propagaram tensões laterais causadas pela sobreposição das unidades. Foram verificadas fissuras distribuídas na direção paralela ao carregamento, no sentido do comprimento do bloco. Os prismas grauteados apresentaram fissuras distribuídas na direção vertical provocados pela expansão do graute de enchimento. Não foram verificadas quebras dos septos transversais dos blocos, como mostra a Figura 2.12.

Figura 2.11 – Modo de ruptura dos prismas de blocos de concreto não-grauteados (a região 1 é mostrada no prisma da esquerda)



Fonte: (Romagna, 2000).

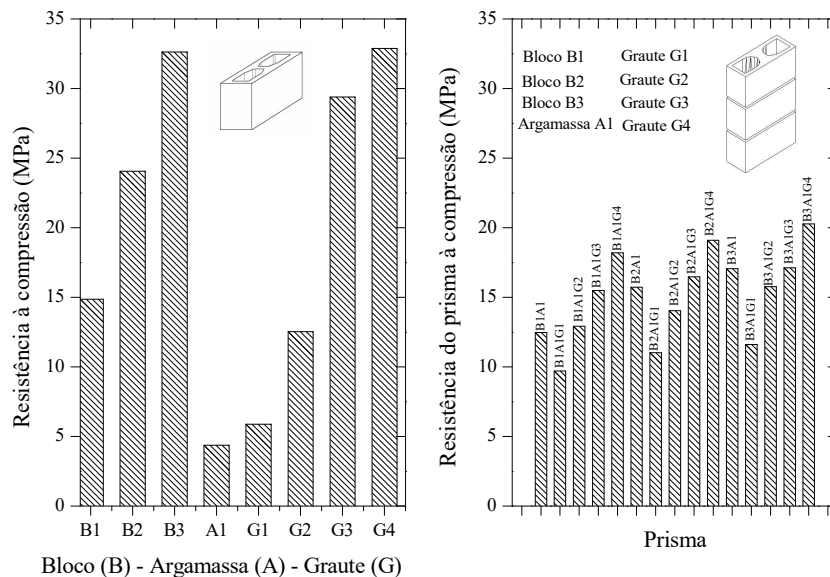
Figura 2.12 – Modo de ruptura dos prismas de blocos de concreto grauteados



Fonte: (Romagna, 2000).

Nos resultados experimentais de Romagna (2000) foram estudadas diferentes composições entre bloco, argamassa e graute, avaliando a influência da resistência de seus componentes no conjunto. Para os blocos de concreto estudou três níveis de resistência, designando os mesmos como (B1, B2, B3), um traço de argamassa (A1) e quatro resistências à compressão de grautes (G1, G2, G3 e G4). Os resultados de resistência à compressão do bloco, argamassa e graute e dos prismas com as diferentes combinações entre componentes são apresentados na Figura 2.13. A designação B1A1 indica a combinação do bloco B1, argamassa A1 e sem a presença do graute nos vazios do bloco. A designação B1A1G1 indica a combinação do bloco B1, argamassa A1 e graute G1. Com os resultados experimentais se verifica a importância de se ter uma adequada combinação na resistência entre o bloco, graute e argamassa, pois isso pode afetar significativamente os resultados de resistência à compressão dos prismas, como mostra a Figura 2.13.

Figura 2.13 – Resultados de resistência do bloco, argamassa, graute e prismas grauteados e não-grauteados



Fonte: (Romagna, 2000).

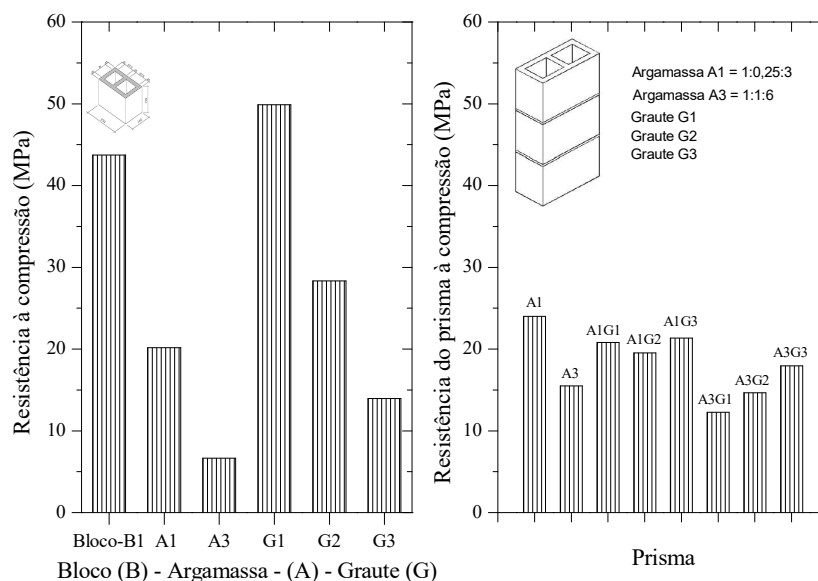
Ensaio similares, porém com blocos de cerâmicos estruturais de parede maciças, foram realizados por Kuerten (1998). Prismas de três blocos vazados cerâmicos grauteados e não-grauteados foram ensaiados à compressão. Nos estudos experimentais de Kuerten (1998) foram empregados uma resistência de bloco (B1), duas resistências de argamassas (A1 e A3) e três resistências de grautes (G1, G2 e G3).

A relação entre a área líquida pela bruta do bloco cerâmico foi de 0,52. Após o assentamento da argamassa e seu endurecimento, os prismas eram preenchidos com grautes de diferentes resistências à compressão.

A Figura 2.14 apresenta os resultados individuais do bloco (B1), argamassas (A1 e A3), grautes (G1, G2 e G3) e as diferentes combinações de resistência entre os prismas não-grauteados (A1 e A3) e grauteados (A1G1, A1G2, A1G3, A3G1, A3G2, A3G3). Os prismas não-grauteados foram calculados na área líquida a fim de comparar com os prismas grauteados. A resistência do bloco cerâmico era de aproximadamente 50% da resistência do bloco na área líquida.

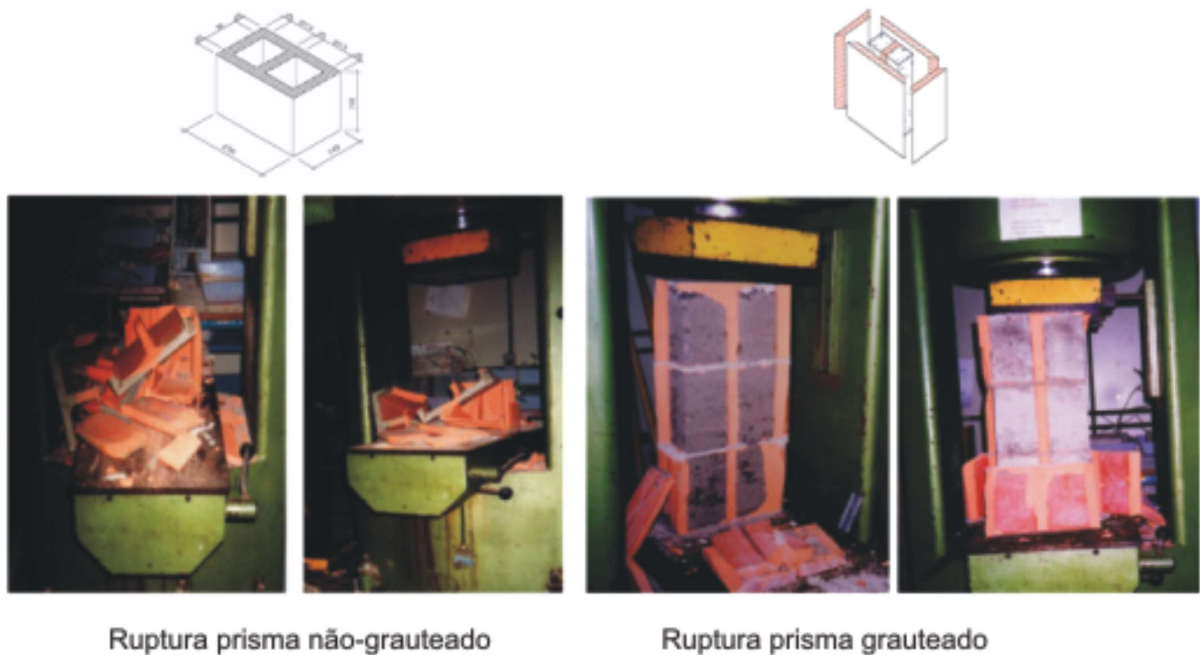
A geometria e os modos de ruptura dos prismas grauteados e não-grauteados podem ser visualizados na Figura 2.15. Pode-se observar, nos prismas não-grauteados, que o início da trinca começa com o esmagamento da junta de argamassa, gerando concentrações de tensões no bloco e o fendilhamento da superfície do bloco no contato com a argamassa. O tipo de ruptura dos prismas não-grauteados foi brusco para os ensaios com argamassa mais resistente (A1) e através de “descascamento” do bloco para argamassa de resistência mais baixa (A3). Nos prismas grauteados, houve uma separação de todas as paredes do bloco cerâmico provocado pelas deformações laterais de expansão do graute. Com isso, pode se verificar pelos resultados experimentais a importância da compatibilização entre as resistências do bloco, argamassa e graute no valor da resistência à compressão dos prismas.

Figura 2.14 – Resultados de resistência do bloco, argamassa, graute e prismas grauteados e não-grauteados



Fonte: (Kuerten, 1998).

Figura 2.15 – Modos de ruptura dos prismas de blocos de cerâmicos grauteados e não-grauteados



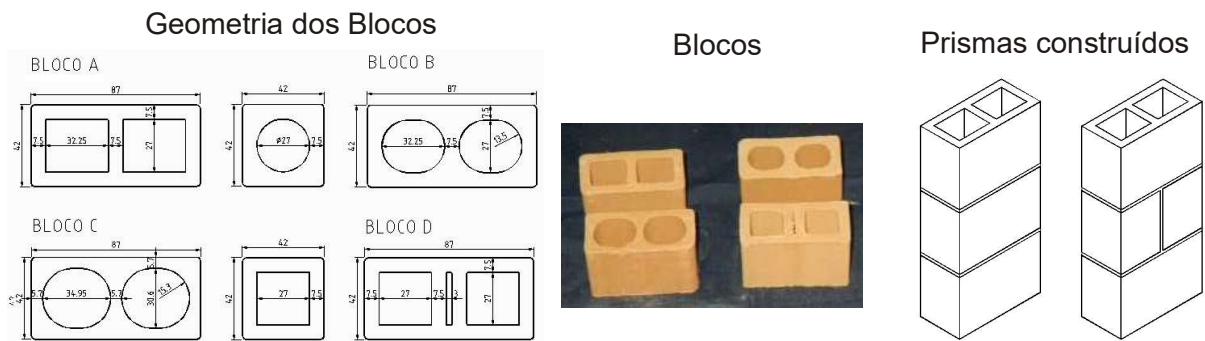
Fonte: (Kuerten, 1998).

Também com unidades cerâmicas, Rizzatti (2003) analisou a influência da geometria do bloco na resistência à compressão da alvenaria. O autor estudou quatro tipos de geometria de bloco em escala reduzida 1:3, para simular o bloco de escala real igual à 14 x 19 x 29 cm (largura x altura x comprimento), e dois traços de argamassas. As geometrias designados por A, B, C e D possuíam vazados com diferentes formatos:

- Bloco A – vazados de forma quadrada (relação área líquida/área bruta = 0,51);
- Bloco B – vazados de forma elíptica (relação área líquida/área bruta = 0,57);
- Bloco C – vazados de forma circular (relação área líquida/área bruta = 0,48);
- Bloco D – vazados quadrados em que a espessura da parede interna é dupla com um espaço interno da espessura de uma junta de argamassa (relação área líquida/área bruta = 0,57).

A Figura 2.16 mostra as dimensões e formas dos blocos ensaiados, juntamente com o modo de ruptura dos prismas de três blocos obtidos experimentalmente.

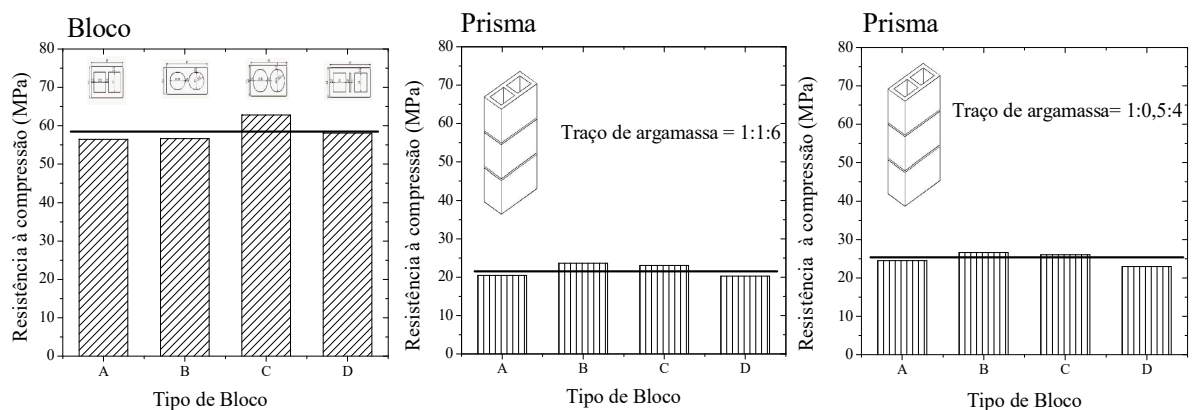
Figura 2.16 – Dimensões e formas dos blocos cerâmicos em escala 1:3 com o modo de ruptura dos prismas de tijolos



Fonte: (Rizzatti, 2003).

A Figura 2.17 apresenta os resultados de resistência à compressão individuais dos diferentes blocos (A, B, C e, D), argamassas do tipo 1:1:6 e 1:0,5:4 (proporção entre cimento:cal e areia em volume) e as diferentes combinações de resistência dos prismas não-grauteados. A Figura 2.18 apresenta o modo de ruptura dos prismas de três blocos e paredes.

Figura 2.17 – Dimensões e formas dos blocos cerâmicos em escala 1:3 com o modo de ruptura dos prismas de tijolos



Fonte: (Rizzatti, 2003).

Figura 2.18 – Modo de ruptura dos prismas e paredes de alvenarias cerâmicas

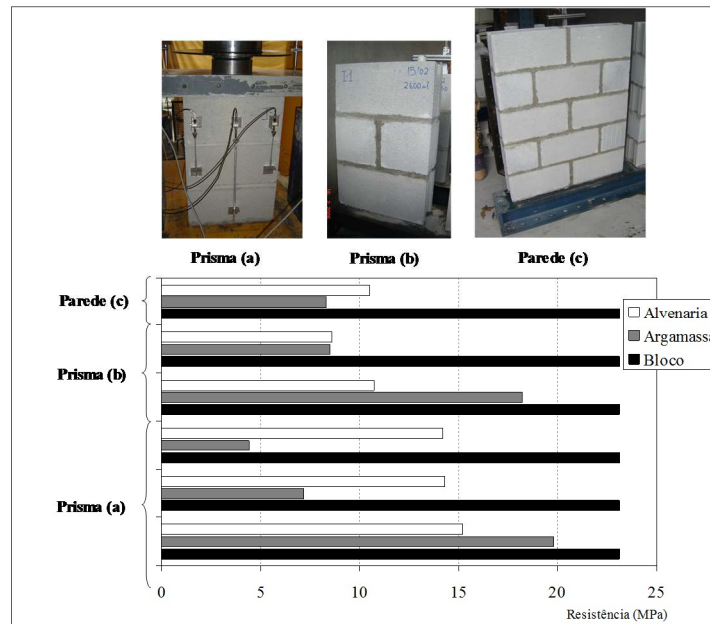


Fonte: (Rizzatti, 2003).

Mohamad (2007) analisou a resistência à compressão e eficiência dos componentes de alvenaria, denominados da seguinte forma: prismas de três blocos inteiros (prisma (a)), prismas de dois blocos inteiros e uma junta vertical (prisma (b)) e paredes com dimensão de 0,80 m de comprimento por 1 m de altura (parede (c)). A Figura 2.19 apresenta os resultados de resistência do bloco, argamassa e alvenaria em função do tipo de componente (a), (b) e (c). Os resultados de resistência à compressão dos prismas do tipo (a) foram significativamente diferente dos prismas (b) e paredes (c). No entanto, verificaram-se resultados semelhantes de resistência para os prismas do tipo (b) e paredes (c). Pode-se concluir que, nestes casos, os prismas de dois blocos inteiros e uma junta vertical (b) pode representar, em termos de valores de resistência à compressão, as características da alvenaria.

Quando comparadas resistência à compressão e o modo de ruptura das unidades cerâmicas, nota-se significativamente rompimentos diferentes quando comparados com os de concreto. Os materiais cerâmicos possuem uma faixa de resistência à compressão maior, um modo de ruptura mais frágil, fissuras normalmente localizadas nos encontros entre as paredes longitudinais e transversais do bloco e um fator entre a resistência do componente e unidade (fator de eficiência) menor comparado ao concreto.

Figura 2.19 – Relação entre as resistências da alvenaria, argamassa e do bloco



Fonte: (Mohamad, 2007).

O bloco de concreto possui uma faixa de resistência menor, uma ruptura mais dúctil, uma fissuração distribuída e um fator de eficiência maior do que as unidades cerâmicas. Portanto, a avaliação do modo de ruptura e da resistência à compressão deve acontecer juntamente com a observação do início da perda da capacidade resistente do conjunto bloco-argamassa e da forma de propagação das trincas, pois a ruptura está relacionada com fenômenos internos inerentes à natureza quasi-frágil do material. Visualmente, o modo de ruptura é por indução de tensões de tração no bloco ou por esmagamentos da junta de assentamento, podendo, muitas vezes, ser a associação dos dois modos de ruptura. Essa afirmação trata a ruptura como uma combinação de efeitos consecutivos e dependentes. Por isso, é necessário, para os critérios de especificação de resistência das alvenarias, o conhecimento da resistência última do conjunto (componente) e do modo de ruptura obtido nos experimentos.

2.10.4 Caracterização física e mecânica das alvenarias

O Eurocode 6 (2002) cita que a capacidade resistente da alvenaria pode ser determinada experimentalmente ou por uma equação que relaciona a resistência dos componentes. De acordo com a norma EN 1052-1 (1999) o tamanho da amostra

para testes de resistência compressão das alvenarias deve ser de acordo com a Tabela 2.10.

Tabela 2.10 – Dimensões das amostras de alvenaria para ensaio de compressão.

Tamanho da Unidade		Tamanho da amostra da alvenaria para o ensaio de compressão		
l_u (mm)	h_u (mm)	Comprimento	Altura	Espessura
≤300	≤150	≥ (2. l_u)	≥ 5. h_u	≥ 3. t_s e ≤ 15. t_s e ≥ l_s
	>150		≥3. h_u	
>300	≤150	≥ (1,5. l_u)	≥ 5. h_u	
	>150		≥3. h_u	

Onde: l_u = é o comprimento da unidade; h_u = a altura da unidade; t_s = é a espessura da unidade.

Fonte: Autor.

Além dos resultados experimentais, o valor da resistência característica pode ser obtida pela Equação (2).

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \quad (2)$$

Onde: f_k = é a resistência à compressão característica da alvenaria em N/mm²;

K = é uma constante

f_b = é a resistência de compressão média normalizada da unidade na direção da ação aplicada (a resistência à compressão normalizada das unidades é a resistência à compressão seca ao ar de um equivalente 100 mm x 100 mm entre a largura e altura, respectivamente obtido conforme EN 772-1 (2000));

f_m = é a resistência à compressão das argamassas em N/mm².

Como limitantes para o uso da Equação (2) está a determinação da resistência normalizada das unidades, das argamassas (argamassas de uso geral, camada fina (0,5 mm à 3 mm) e peso-específico da argamassa) e do grupo em que as unidades se encontram em função do volume de vazios e espessuras das paredes internas e externas das unidades, sejam cerâmicos, sílico-calcário ou concreto. A Equação (02) pode ser reescrita conforme as características da junta de argamassa. Para junta de argamassas com espessura de 10 mm, ou seja, de uso geral, as constantes $\alpha = 0,7$ e $\beta = 0,3$. Também, no Eurocode 6 (2000) constam

adaptações da Equação (3) para a espessura de junta de 0.5 a 3 mm e os diferentes grupos de unidade.

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) especifica as principais características das alvenarias estruturais cerâmicas. A norma especifica que, na ausência de dados experimentais, se pode adotar o coeficiente de dilatação térmica linear de $6,0 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ e coeficiente de expansão por unidade da alvenaria de $300 \times 10^{-6} \text{mm/mm}$. A resistência característica à compressão simples da alvenaria f_k deve ser determinada com base no ensaio de paredes ou ser estimada como 70% da resistência característica de compressão simples de prisma f_{pk} ou 85% da pequena parede f_{ppk} . Se as juntas horizontais tiverem argamassamento parcial, a resistência característica à compressão simples da alvenaria deve ser corrigida, multiplicando-a pela razão entre a área de argamassamento parcial e a área de argamassamento total. Opcionalmente, se o argamassamento parcial for feito apenas nas faces longitudinais do bloco, esse fator de correção pode ser obtido por 1,15 vezes a citada razão, empregando-se, neste caso, as áreas de efetivo contato entre argamassa e material do bloco. A NBR 15812-2 (ABNT, 2010) especifica que a caracterização da alvenaria deve ser feita através de ensaios de prisma (12 unidades), ou pequena parede (6 unidades) ou paredes (3 unidades) executados com blocos, argamassas e grautes de mesma origem e características dos que serão efetivamente utilizados na estrutura. A determinação da resistência característica do elemento de alvenaria obtida nos ensaios deve ser igual ou superior à resistência característica especificada pelo projetista estrutural. Para amostragem menor do que 20 e maior do que 6 corpos de prova a resistência característica deve seguir os critérios determinados a seguir:

$$f_{ek, est.} = 2. [(f_{e(1)} + f_{e(2)} + \dots + f_{e(i-1)}) / (i-1)] - f_{ei} \quad (3)$$

Sendo:

$i = n/2$, se n for par;

$i = (n-1)/2$, se n for ímpar

Onde:

$f_{ek, est}$ é a resistência característica estimada da amostra, expressa em megapascals;

$f_{e(1)}, f_{e(2)}, \dots, f_{ei}$ são os valores de resistência à compressão individual dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;

n é igual a quantidade de corpos de prova da amostra.

O valor do f_{ek} não deve ser inferior ao resultado da expressão: $\emptyset \times f_{e(1)}$, sendo os valores de \emptyset dados na Tabela 2.11.

Assim, se $f_{ek,est} < \emptyset \times f_{e(1)}$, então $f_{ek} = \emptyset \times f_{e(1)}$; caso contrário $f_{ek} = f_{ek,est}$. (não se adotando $f_{ek,est}$ maior que 85% da média f_{em}).

Tabela 2.11–Valores de \emptyset para o cálculo do f_{ek} (resistência característica estimada da amostra)

Número de Elementos	\emptyset
3	0,80
4	0,84
5	0,87
6	0,89
7	0,91
8	0,93
9	0,94
10	0,96
11	0,97
12	0,98
13	0,99
14	1,00
15	1,01
16 e 17	1,02
18 e 19	1,04

Fonte: Autor.

Para ensaios de parede com n menor do que 6, a resistência característica deve ser calculada conforme segue:

$$f_{pak} = \emptyset \cdot f_{pa(1)}$$

Para ensaios com número de elementos maior ou igual a 20:

$$f_{ek} = f_{em} - 1,65 S_n$$

Onde: f_{em} = resistência média dos exemplares

S_n = desvio padrão da amostra

2.10.5 Fator de eficiência (f_p/f_b)

A resistência do bloco influi diretamente na resistência dos prismas, dessa forma é importante avaliar essa correlação através do fator de eficiência, que é a relação entre a resistência do bloco e dos prismas, nesse caso, é calculado dividindo-se o valor da resistência à compressão do prisma pela resistência do bloco.

Nessralla (2013) cita que a resistência do bloco cerâmico é geralmente maior que a da parede, sendo assim o fator de eficiência será menor que 1. Isso se dá pelo fato da parede receber outros componentes em sua estrutura e com resistência menor que a do bloco fazendo esta diferenciação.

Segundo Corrêa e Ramalho (2003), para paredes em blocos cerâmicos no Brasil tem um fator de eficiência entre 0,2 a 0,5 e entre 0,3 e 0,6 para prismas. Medeiros (1993) ainda indica que, no Brasil, este valor pode variar entre 25% e 70% para a alvenaria de blocos de concreto.

Mohamad (1998) concluiu que o fator de eficiência diminui com o aumento da resistência das unidades, sendo isso verificado com maior intensidade para blocos do que para tijolos.

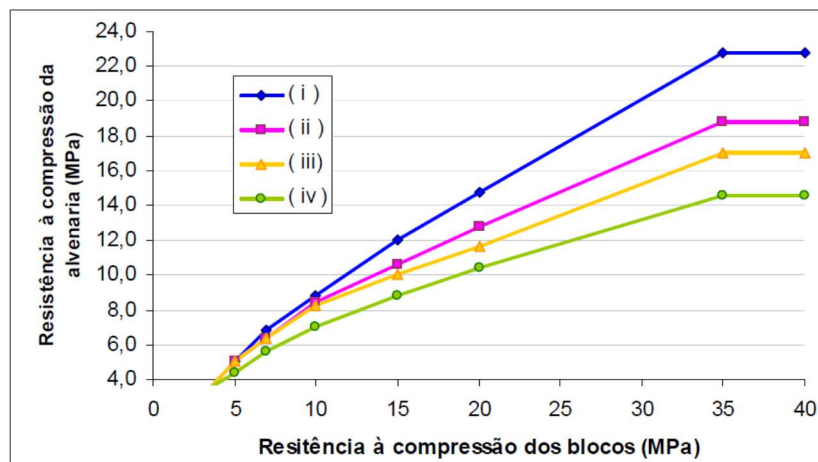
A norma britânica BS 5628 (BRITISH, 1992), parte 1, dispõe de dados caracterizando a resistência da alvenaria, a partir da resistência dos blocos e da argamassa recomendada pela mesma. Esta indicação é visualizada na Figura 2.20 dada a argamassa na Tabela 2.12. Esse é um exemplo prático de fator de eficiência.

Tabela 2.12 – Traços e resistência especificada pela BS 5628 - Parte 1

Tipo de argamassa	Traço em volume	Resistência média à compressão (MPa) - 28 dias	
		Ensaio em Laboratório	Ensaio em obra
(i)	1 : 0 a 0,25 : 3	16,0	11,0
(ii)	1 : 0,5 : 4 a 4,5	6,5	4,5
(iii)	1 : 1 : 5 a 6	3,6	2,5
(iv)	1 : 2 : 8 a 9	1,5	1,0

Fonte: (BS 5628 (BRITISH, 1992)).

Figura 2.20 – Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos maciços de concreto, de acordo com BS 5628 – Parte 1.



Fonte: (BS 5628 (BRITISH, 1992)).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

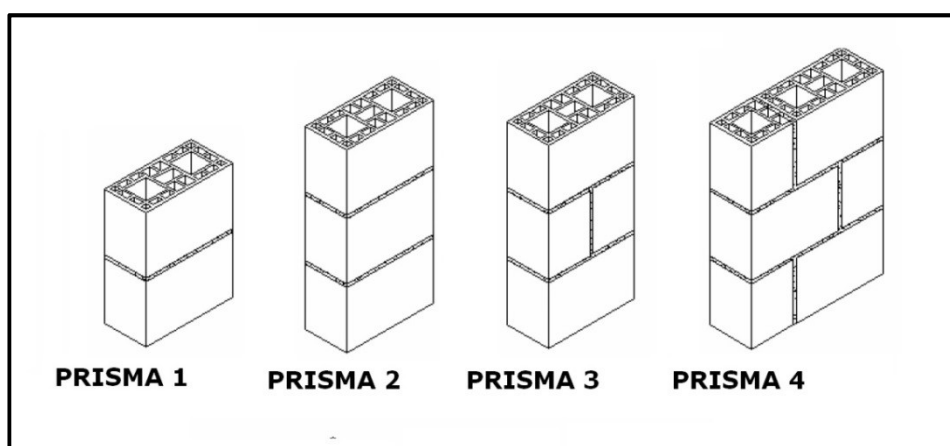
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com a finalidade de analisar a influência do preenchimento de prismas, constituídos de blocos cerâmicos, com argamassa e graute na resistência à compressão axial simples, foi desenvolvido um programa experimental composto por quatro diferentes tipos de prismas (Prisma 1, Prisma 2, Prisma 3 e Prisma 4) conforme Figura 3.1. Foram utilizados para confecção dos prismas, blocos de três diferentes cerâmicas muito conceituadas no sul do Brasil, um fabricante de Santa Catarina e dois do Rio Grande do Sul.

As cerâmicas foram nomeadas aleatoriamente como Fabricante 1, Fabricante 2 e Fabricante 3, os fabricantes forneceram as seguintes resistências de blocos estruturais: Fabricante 1 – $f_{bk(A)}$ 6 MPa, Fabricante 2 – $f_{bk(E)}$ 7 MPa e $f_{bk(C)}$ 15 MPa, Fabricante 3 – $f_{bk(B)}$ 6 MPa e $f_{bk(D)}$ 15 MPa.

Os prismas foram moldados com argamassa industrializada com duas resistências nominal 4 MPa para os blocos de f_{bk} 6 e 7 MPa e resistência de 12 MPa para os blocos de f_{bk} 15 MPa. Cada tipo de prisma com suas respectivas resistências de blocos foi moldado da seguinte forma: prisma oco, prisma preenchidos com argamassa (nos vazados maiores), a mesma utilizada no assentamento; e prisma preenchidos com graute de duas resistências 15 MPa para os blocos com f_{bk} 6 e 7 MPa e 25 MPa para blocos com f_{bk} 15 MPa. Totalizando 320 prisma.

Figura 3.1 – Tipos diferentes de Prismas utilizados no experimento.



3.2 METODOLOGIA DO EXPERIMENTO

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria. Após o recebimento dos blocos estruturais procedeu-se a caracterização dimensional conforme especificação da NBR 15270-3 (ABNT, 2005). Da mesma forma procederam-se os ensaios de área bruta, área líquida, índice de absorção de água (AA) e índice de absorção de água inicial (AAI). Após a caracterização dimensional e física procedera-se os ensaios de módulo de elasticidade e resistência de compressão de cada tipo de bloco estrutural, onde a Tabela 3.8 apresenta os resultados de compressão na área líquida e área bruta dos blocos.



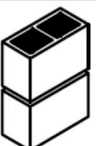
A argamassa, da mesma forma que os blocos estruturais, foi recebida no LMCC e procederam-se ensaios de determinação de resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial do lote e resistências distintas, conforme determinação das normas vigentes, as Tabelas 3.9 e 3.10 apresentam os resultados dos ensaios.

O graute, também recebido no LMCC, foi alocado em local seco e protegido sendo preparado e moldados em corpos de prova cilíndricos, após 28 dias procedeu-se o ensaio de resistência à compressão, este apresentado na Tabela 3.11.

Após o recebimento e ensaio dos blocos estruturais, argamassa e graute, se iniciou o processo de moldagem dos prismas, esse trabalho foi executado pelo mesmo profissional com a utilização de ferramentas adequadas. No local da moldagem estavam sob controle a temperatura do ambiente e a umidade.

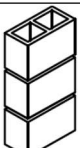
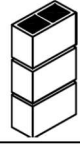
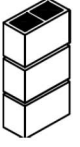
Foram realizados ensaios à compressão axial simples de 320 prismas de blocos cerâmicos, com diferentes modelos de prismas conforme Figura 3.1. As Tabelas 3.1 a 3.4 mostram os ensaios realizados nos diferentes tipos de prismas com fabricantes de blocos e resistências distintas de graute e argamassa utilizados.

Tabela 3.1 – Prismas 1 (dos blocos sobrepostos) – Oco, preenchido com Graute e preenchido com argamassa.

	PRISMA 1	Número	Identificação do prisma	RESISTÊNCIA DO BLOCO Fbk	DATA DA MOLDAGEM	QUANTIDADE DE PRISMAS	RESISTÊNCIA ARGAMASSA Fak	RESISTÊNCIA DO GRAUTE Fgk
OCO		1	D1, D2, D3, D4, D5, D6	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	12/01/2013	6	4,0 MPA	
		2	E1, E2, E3, E4, E5, E6	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	12/01/2013	6	4,0 MPA	
		3	C3, C7, C8, C9, C10, C11	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	10/01/2013	6	4,0 MPA	
		4	A1, A3, A4, A7, A9, A10	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	10/01/2013	6	12,0 MPA	
		5	B1, B2, B3, B4, B5, B6	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	10/01/2013	6	12,0 MPA	
					TOTAL			30
GRAUTEADO		6	D12, D13, D14, D15, D16	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	10/05/2014	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		7	E12, E13, E14, E15, E16	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	10/05/2014	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		8	C12, C13, C14, C15, C16	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	10/05/2014	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		9	A12, A13, A14, A15, A16	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	17/05/2014	5	12,0 MPA	25,0 MPA
		10	B12, B13, B14, B15, B16	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	17/05/2014	5	12,0 MPA	25,0 MPA
					TOTAL			25
ARGAMASSADO		11	D7, D8, D9, D10, D11	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	12/01/2013	5	4,0 MPA	
		12	E7, E8, E9, E10, E11	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	12/01/2013	5	4,0 MPA	
		13	C1, C2, C4, C5, C6	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	10/01/2013	5	4,0 MPA	
		14	A2, A5, A6, A8, A11	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	10/01/2013	5	12,0 MPA	
		15	B7, B8, B9, B10, B11	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	10/01/2013	5	12,0 MPA	
					TOTAL			25
			Σ TOTAL			80		



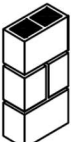
Fonte: Autor.

Tabela 3.2 – Prismas 2 (três blocos sobrepostos) – Oco, preenchido com Graute e preenchido com argamassa.

	PRISMA2	Número	Identificação do prisma	RESISTÊNCIA DO BLOCO Fbk	DATA DA MOLDAGEM	QUANTIDADE DE PRISMAS	RESISTÊNCIA ARGAMASSA Fak	RESISTÊNCIA DO GRAUTE Fgk
OCO		16	F5, F6, F7, F9, F10, F11	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	19/01/2013	6	4,0 MPA	
		17	G6, G7, G8, G9, G10, G11	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	19/01/2013	6	4,0 MPA	
		18	J6, J7, J8, J9, J10, J11	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	23/01/2013	6	4,0 MPA	
		19	I6, I7, I8, I9, I10, I11	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	22/01/2013	6	12,0 MPA	
		20	H6, H7, H8, H9, H10, H11	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	22/01/2013	6	12,0 MPA	
					TOTAL			30
GRAUTEADO		21	F12, F13, F14, F15, F16	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	10/05/2014	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		22	G12, G13, G14, G15, G16	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	10/05/2014	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		23	J12, J13, J14, J15, J16	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	10/05/2014	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		24	I12, I13, I14, I15, I16	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	17/05/2014	5	12,0 MPA	25,0 MPA
		25	H12, H13, H14, H15, H16	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	17/05/2014	5	12,0 MPA	25,0 MPA
					TOTAL			25
ARGAMASSADO		26	F1, F2, F3, F4, F8	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	19/01/2013	5	4,0 MPA	
		27	G1, G2, G3, G4, G5	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	19/01/2013	5	4,0 MPA	
		28	J1, J2, J3, J4, J5	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	23/01/2013	5	4,0 MPA	
		29	I1, I2, I3, I4, I5	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	22/01/2013	5	12,0 MPA	
		30	H1, H2, H3, H4, H5	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	22/01/2013	5	12,0 MPA	
					TOTAL			25
			Σ TOTAL			80		

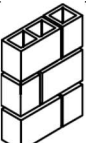
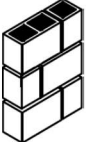

Fonte: Autor.

Tabela 3.3 – Prismas 3 (dois blocos e dois meio-blocos) – Oco, preenchido com Graute e preenchido com argamassa.

	PRISMA 3	Número	Identificação do prisma	RESISTÊNCIA DO BLOCO Fbk	DATA DA MOLDAGEM	QUANTIDADE DE PRISMAS	RESISTÊNCIA ARGAMASSA Fak	RESISTÊNCIA DO GRAUTE Fgk
OCO		31	L6, L7, L8, L9, L10, L11	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	09/02/2013	6	4,0 MPA	
		32	K6, K7, K8, K9, K10, K11	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	23/01/2013	6	4,0 MPA	
		33	M6, M7, M8, M9, M10, M11	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	09/02/2013	6	4,0 MPA	
		34	N6, N7, N8, N9, N10, N11	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	11/02/2013	6	12,0 MPA	
		35	O6, O7, O8, O9, O10, O11	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	11/02/2013	6	12,0 MPA	
			TOTAL			30		
GRAUTEADO		36	L12, L13, L14, L15, L16	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	24/05/2014	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		37	K12, K13, K14, K15, K16	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	24/05/2014	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		38	M12, M13, M14, M15, M16	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	24/05/2014	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		39	N12, N13, N14, N15, N16	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	17/05/2014	5	12,0 MPA	25,0 MPA
		40	O12, O13, O14, O15, O16	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	17/05/2014	5	12,0 MPA	25,0 MPA
			TOTAL			25		
ARGAMASSADO		41	L1, L2, L3, L4, L5	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	09/02/2013	5	4,0 MPA	
		42	K1, K2, K3, K4, K5	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	23/01/2013	5	4,0 MPA	
		43	M1, M2, M3, M4, M5	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	09/02/2013	5	4,0 MPA	
		44	N1, N2, N3, N4, N5	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	11/02/2013	5	12,0 MPA	
		45	O1, O2, O3, O4, O5	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	11/02/2013	5	12,0 MPA	
			TOTAL			25		
			Σ TOTAL			80		

Fonte: Autor.

Tabela 3.4– Prismas 4 (três blocos mais três meio-blocos) – Oco, preenchido com Graute e preenchido com argamassa.

	PRISMA 4	Número	Identificação do prisma	RESISTÊNCIA DO BLOCO Fbk	DATA DA MOLDAGEM	QUANTIDADE DE PRISMAS	RESISTÊNCIA ARGAMASSA Fak	RESISTÊNCIA DO GRAUTE Fgk
OCO		46	P6, O7, P8, P9, P10, P11	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	12/02/2013	6	4,0 MPA	
		47	Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	11/03/2015	6	4,0 MPA	
		48	R6, R7, R8, R9, R10, R11	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	27/03/2013	6	4,0 MPA	
		49	T8, T7, T6, T9, T10, T11	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	06/04/2013	6	12,0 MPA	
		50	S10, S11, S8, S9, S6, S7	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	06/04/2013	6	12,0 MPA	
			TOTAL			30		
GRAUTEADO		51	P12, P13, P14, P15, P16	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	24/05/2014	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		52	Q12, Q13, Q14, Q15, Q16	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	05/04/2013	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		53	R12, R13, R14, R15, R16	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	05/04/2013	5	4,0 MPA	15,0 MPA
		54	T12, T13, T14, T15, T16	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	06/04/2013	5	12,0 MPA	25,0 MPA
		55	S12, S13, S14, S15, S16	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	06/04/2013	5	12,0 MPA	25,0 MPA
			TOTAL			25		
ARGAMASSADO		56	P1, P2, P3, P4, P5	(A) Fabricante 1 - 6 MPa	12/02/2013	5	4,0 MPA	
		57	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5	(E) Fabricante 2 - 7 MPa	11/03/2013	5	4,0 MPA	
		58	R1, R2, R3, R4, R5	(B) Fabricante 3 - 6 MPa	05/04/2013	5	4,0 MPA	
		59	T1, T2, T3, T4, T5	(C) Fabricante 2 - 15 MPa	06/04/2013	5	12,0 MPA	
		60	S1, S2, S3, S4, S5	(D) Fabricante 3 - 15 MPa	06/04/2013	5	12,0 MPA	
			TOTAL			25		
			Σ TOTAL			80		

Fonte: Autor.

3.3 MATERIAIS E COMPONENTES UTILIZADOS

Nessa etapa, foram caracterizados os diferentes materiais utilizados para confecção dos prismas de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, sendo os principais: o bloco estrutural, a argamassa de assentamento e preenchimento e o graute. Foram realizados ensaios específicos em cada componente a fim de caracterizar sua estrutura e possíveis interações dessas com os resultados encontrados com o rompimento dos prismas.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria.

3.3.1 Bloco estrutural

Para a realização da pesquisa foi recebido no LMCC cerca de 1.500 unidades de três fabricantes de blocos estruturais distintos, todos os blocos estruturais recebidos por fabricante são do mesmo lote.

Para facilitar a compreensão, foi nomeado os fabricantes de blocos e respectivos blocos com letras e suas resistências características:

- Fabricante 1 - $f_{bk(A)}$ 6,0 MPa
- Fabricante 2 - $f_{bk(E)}$ 7,0 MPa e $f_{bk(C)}$ 15,0 MPa
- Fabricante 3 - $f_{bk(B)}$ 6,0 MPa e $f_{bk(D)}$ 15,0 MPa

Os blocos foram ensaiados para a obtenção de suas características físicas e mecânicas de acordo às normas brasileiras em uso. Na falta destas, utilizaram-se normas internacionais. As propriedades estudadas foram: as características dimensionais, a resistência à compressão média e característica, a absorção à água, a determinação da área líquida e o índice de absorção inicial.

3.3.1.1 Características dimensionais





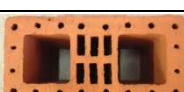
Os ensaios dimensionais dos blocos estruturais foram realizados conforme a NBR 15270-2 (ABNT, 2005, Anexo A), com um total de 13 blocos por amostra. Na Tabela 3.5 estão os diferentes fabricantes, diferentes resistências e dimensões dos blocos estruturais. Nesta tabela está demonstrada a média da largura, altura e comprimento.

Figura 3.2 – Ensaio Dimensionais: (a) Desvio em relação ao esquadro, (b) Planeza das faces.



Fonte: Acervo do autor.

Tabela 3.5 – Características geométricas dos blocos estruturais.

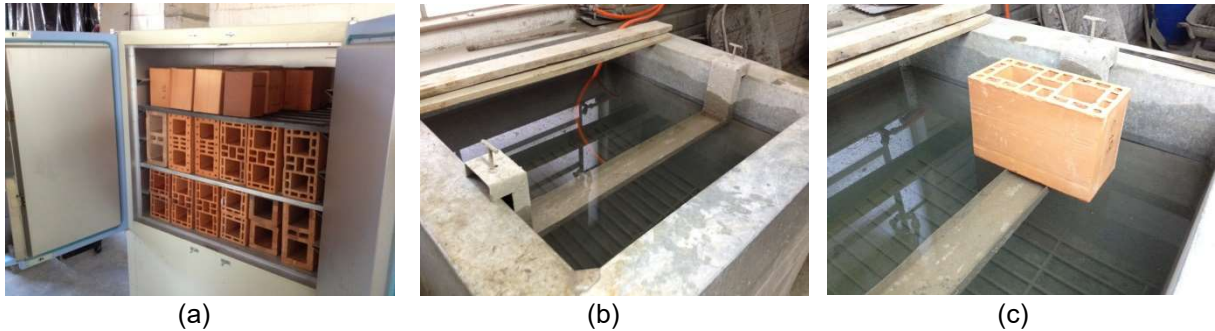
Tipologia	Medida LxHxC (cm)		Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coefficiente de Variação (%)
FABRICANTE 1 $f_{bk}(A)$ 6,0 MPa	 14x19x29	Largura	138,4	0,7	0,5
		Altura	189,9	0,9	0,5
		Comprimento	287,1	0,5	0,2
FABRICANTE 2 $f_{bk}(E)$ 7,0 MPa	 14x19x29	Largura	137,9	0,5	0,4
		Altura	187,9	1	0,5
		Comprimento	286,8	1,3	0,5
FABRICANTE 2 $f_{bk}(C)$ 15,0 MPa	 14x19x29	Largura	138,2	0,4	0,3
		Altura	189,3	0,9	0,5
		Comprimento	289,6	0,7	0,2
FABRICANTE 3 $f_{bk}(B)$ 6,0 MPa	 14x19x29	Largura	139,3	0,6	0,5
		Altura	188,8	0,8	0,4
		Comprimento	288,4	0,8	0,3
FABRICANTE 3 $f_{bk}(D)$ 15,0 MPa	 14x19x29	Largura	138,2	0,6	0,4
		Altura	186,7	1,1	0,6
		Comprimento	289	1,4	0,5

Fonte: Autor.

Segundo item 5.1 da NBR 15270-2 (ABNT, 2005), as tolerâncias dimensionais relacionadas à média das dimensões efetivas na largura, na altura e no comprimento podem variar em $\pm 3,0\text{mm}$. Pelas observações da Tabela 3.5, o

Fabricante 2 excedeu a tolerância no comprimento ($f_{bk(E)}$ 7,0 MPa), e o Fabricante 3 excedeu a tolerância na altura ($f_{bk(D)}$ 15,0 MPa). Os resultados referentes a dimensões das paredes dos blocos e septos, assim como desvios de esquadro e flechas serão aparentados no Apêndice B.




Figura 3.3 – Ensaio de AAI: (a) Blocos secos em estufa 24h, (b) Suporte metálico, (c) Bloco sendo ensaiado, lâmina 3mm de água.

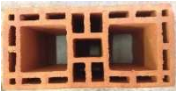



Fonte: Acervo do autor.

Tabela 3.6 – Área Bruta, Área Líquida, AA e AAI dos blocos estruturais.

(continua)

Tipologia	Medida LxHxC (cm)		Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
FABRICANTE 1 fbk(A) 6,0 MPa	 14x19x29	Área Bruta - Ab (cm ²)	397,27	2,2	0,56
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	172,17	1,4	0,79
		Índice de Absorção de Água AA(%)	9,87	0,32	3,24
		Índice de Absorção de Água Inicial - AAI (g/193,55cm ² /min)	22,12	2,65	11,98
FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 MPa	 14x19x29	Área Bruta - Ab (cm ²)	395,63	2,5	0,62
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	197,32	1,95	0,99
		Índice de Absorção de Água AA(%)	13,82	0,36	2,60
		Índice de Absorção de Água Inicial - AAI (g/193,55cm ² /min)	28,47	4,12	14,47
FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 MPa	 14x19x29	Área Bruta - Ab (cm ²)	400,34	2,0	0,49
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	243,86	1,69	0,69
		Índice de Absorção de Água AA(%)	14,18	0,09	0,63
		Índice de Absorção de Água Inicial - AAI (g/193,55cm ² /min)	30,82	4,28	13,89

					(conclusão)
Tipologia	Medida LxHxC (cm)		Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
FABRICANTE 3 fbk(B) 6,0 Mpa	 14x19x29	Área Bruta - Ab (cm ²)	401,74	2,6	0,65
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	175,13	1,33	0,76
		Índice de Absorção de Água AA(%)	16,25	0,73	4,49
		Índice de Absorção de Água Inicial - AAI (g/193,55cm ² /min)	26,72	2,84	10,63
FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 Mpa	 14x19x29	Área Bruta - Ab (cm ²)	399,27	2,8	0,71
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	251,34	0,62	0,25
		Índice de Absorção de Água AA(%)	13,81	0,94	6,77
		Índice de Absorção de Água Inicial - AAI (g/193,55cm ² /min)	20,4	3,09	15,15

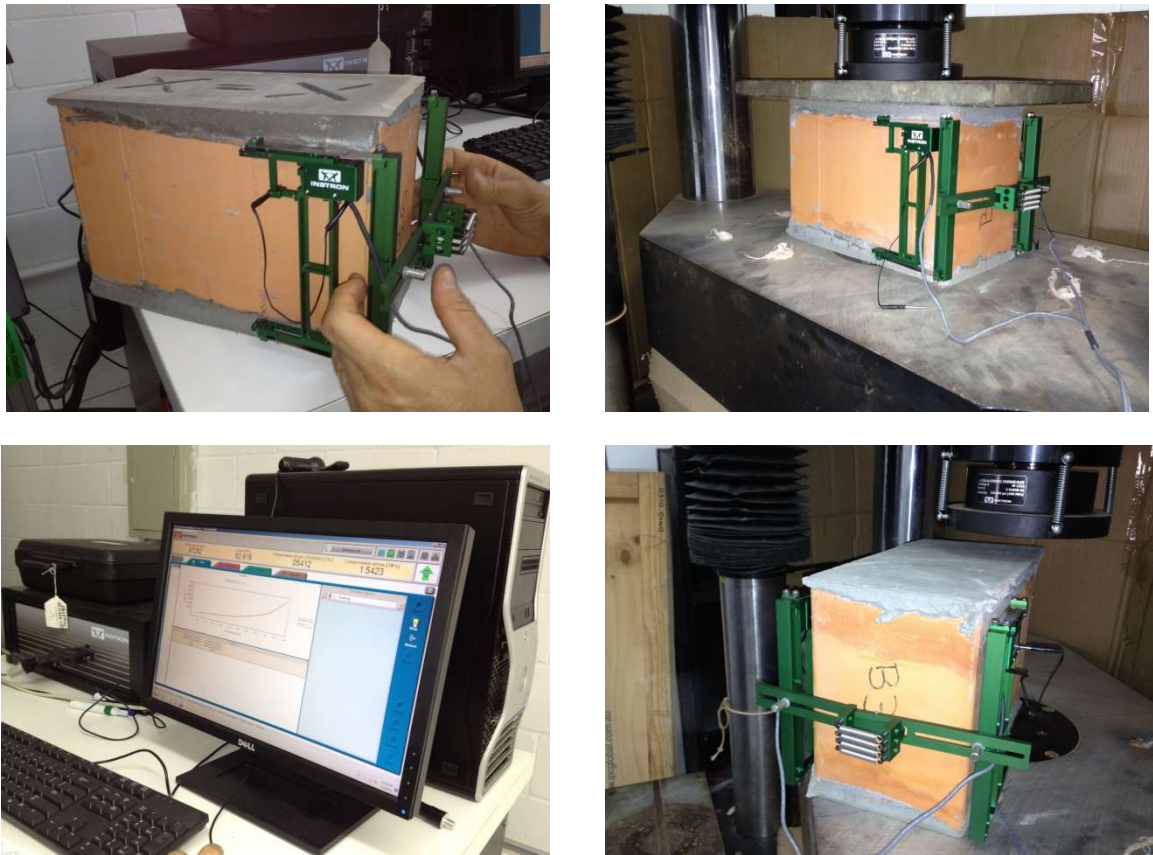
Fonte: Autor.

Observando os resultados da Tabela 3.6, a relação das médias apresentadas pela Área Líquida/Área Bruta para os blocos do Fabricante 1 - fbk(A) 6,0 MPa é de 0,43, para o Fabricante 2 - fbk(E) 7,0 MPa é 0,50 e fbk(C) 15,0 MPa é 0,61, para o Fabricante 3 - fbk(B) 6,0 MPa é 0,44 e fbk(D) 15,0 MPa é 0,63. Os resultados dos ensaios do Índice de Absorção de Água (AA) e do Índice de Absorção de Água Inicial (AAI) também estão ilustrados na Tabela 3.6.

3.3.1.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade foi determinado por equipamento extensômetro acoplado à prensa INSTRON Estrutura 1500HDX (Figura 3.4), o qual através do programa Bluehill 3.13.1260 foi ajustado para carregar e descarregar uma carga de aproximadamente 50% da carga de ruptura, do bloco. Após 50% da carga de ruptura (Tabela 3.7) as leituras eram interrompidas por questões de segurança e por meio destas medidas foram confeccionados gráficos tensão x deformação e calculados os módulos de elasticidade.

Figura 3.4 – Equipamentos e ensaio para determinação do módulo de elasticidade dos blocos



Fonte: Acervo do autor.

Tabela 3.7 – Módulo de Elasticidade dos blocos estruturais.

Tipologia	Medida LxHxC (cm)	Eb (GPa)
FABRICANTE 1 fbk(A) 6,0 MPa	14x19x29	3,5
FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 MPa	14x19x29	5,1
FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 MPa	14x19x29	3,3
FABRICANTE 3 fbk(B) 6,0 MPa	14x19x29	4,2
FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 MPa	14x19x29	6,1





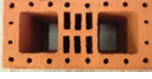
Fonte: Autor.

3.3.1.3 Resistência à compressão

Para a realização do ensaio de compressão foram utilizadas 13 unidades para comporem os ensaios de cada tipo de bloco. Segundo a Tabela 3.8, podemos notar

que a resistência média dos blocos comparados com a resistência nominal é muito superior.

Tabela 3.8 – Resistência à compressão dos blocos na área líquida e na área bruta.

Tipologia	Medidas 14X19 X29 (cm)		Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
FABRICANTE 1 fbk(A) 6,0 MPa		Área Bruta - Ab (cm ²)	12,5	1,07	8,59
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	28,7	2,47	8,61
FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 MPa		Área Bruta - Ab (cm ²)	16,5	1,21	7,32
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	33,1	2,37	7,16
FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 MPa		Área Bruta - Ab (cm ²)	15,8	1,66	10,49
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	26,0	2,69	10,35
FABRICANTE 3 fbk(B) 6,0 MPa		Área Bruta - Ab (cm ²)	13,0	2,23	17,21
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	29,7	5,09	17,14
FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 MPa		Área Bruta - Ab (cm ²)	20,2	2,64	13,09
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	32,0	4,14	12,94

Fonte: Autor.

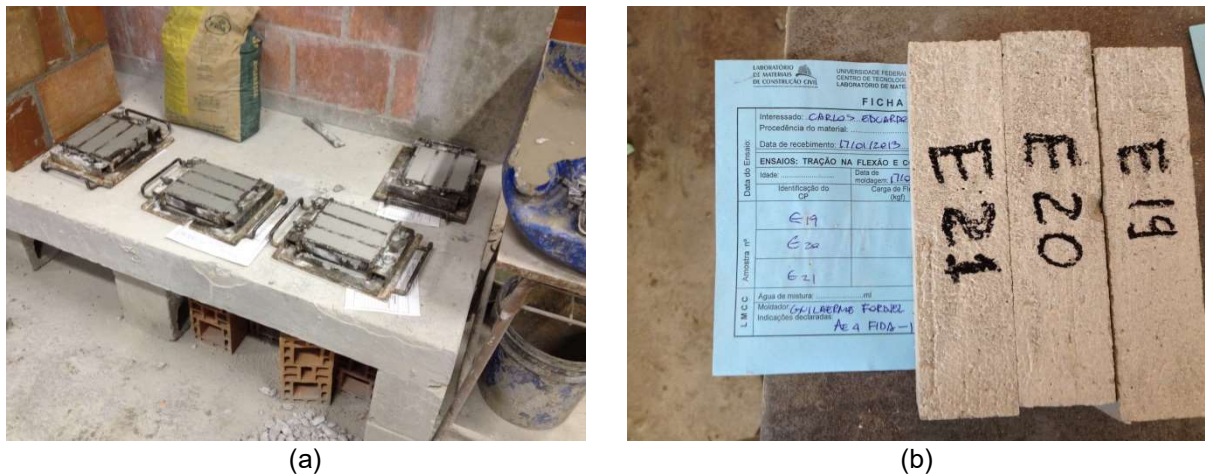
3.3.2 Argamassas industrializadas

Esse trabalho utiliza a argamassa com duas funções principais, a moldagem de todos os 320 prismas dos quatro modelos ensaiados e o preenchimento de 100 desses prismas, com o objetivo de comparar estatisticamente o desempenho com os mesmos 100 prismas preenchidos com graute.

Para facilitar o trabalho experimental, foi recebido no Laboratório de Materiais de Construção (LMCC) da UFSM, 50 sacos de argamassa de resistência característica 4,0 MPa e 50 sacos de argamassa de 12,0 MPa, essa argamassa embalada a seco em sacos de 40 Kg.

Os ensaios de determinação da resistência à flexão, com corpos de prova prismáticos de 4x4x16 cm (Figura 3.5), foram realizados conforme prescreve a NBR 13279 (ABNT, 2005). As metades desses corpos de prova foram rompidas à compressão, atendendo os requisitos da NBR 15961 (ABNT, 2011), que prescreve a moldagem de corpos de prova cúbicos (4 cm) para determinação da resistência à compressão aos 28 dias.

Figura 3.5 – Moldagem Corpos de prova prismáticos: (a) Moldagem, (b) Identificação.



Fonte: Acervo do autor.

A Tabela 3.9 ilustra os ensaios de tração na flexão dos corpos de prova prismáticos e a Tabela 3.10 ilustra a resistência à compressão axial dos meios corpos de prova prismáticos.

Tabela 3.9 – Resistência à tração na flexão nos corpos de prova prismáticos de argamassa.

Tipologia	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
ARGAMASSA A 4,0 MPa	2,12	0,4	0,19
ARGAMASSA B 12,0 MPa	4,17	0,78	0,19

Fonte: Autor.

Tabela 3.10– Resistência à compressão axial nos corpos de prova prismáticos de argamassa.

Tipologia	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
ARGAMASSA A 4,0 MPa	5,15	1,01	0,20
ARGAMASSA B 12,0 MPa	12,12	1,73	0,14

Fonte: Autor.

3.3.3 Graute

O graute utilizado nesse experimento é industrializado, fornecido por empresa conceituada nesse segmento. A resistência utilizada foi de 15 MPa e 25 MPa, os ensaios de resistência estão apresentados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Resistência à compressão axial do Graute

Tipologia	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
GRAUTE A 15 MPa	16,8	0,5	0,03
GRAUTE B 25 MPa	26,97	2,14	0,08

Fonte: Autor.

3.3.4 Prismas

Conforme descrito em capítulos anteriores, os prismas deste experimento foram moldados com quatro formatos, e cada um destes foi ensaiado à compressão, oco, preenchido 100% com a mesma argamassa de assentamento e preenchido 100% com graute industrializado. Essa configuração gera vários resultados para análise, sendo esta dissertação voltada apenas à análise estatística do comportamento mecânico dos prismas submetidos à compressão axial simples, comparados entre si a fim de determinar se a substituição de argamassa pelo graute gera ganho ou perda de resistência.

3.3.4.1 Moldagem dos prismas

Os prismas foram moldados segundo a NBR 12118 (ABNT, 2011) com todas as diretrizes da norma respeitadas. Todos os prismas foram executados pelo mesmo profissional, com ampla experiência em execução de obras de alvenaria estrutural e trabalhos de pesquisa realizados no LMCC, dessa forma mantendo o mesmo padrão

nas juntas de assentamento. Os prismas foram moldados em bancada nivelada. As juntas de argamassa respeitaram as tolerâncias da NBR 15812-2 (ABNT, 2010), ou seja, $10\text{mm} \pm 3\text{mm}$. A argamassa utilizada no assentamento foi preparada mecanicamente, tendo as informações de mistura e água adicionada conforme orientação do fabricante.

Figura 3.6 – Moldagem dos Prismas.



Fonte: Acerto do autor.

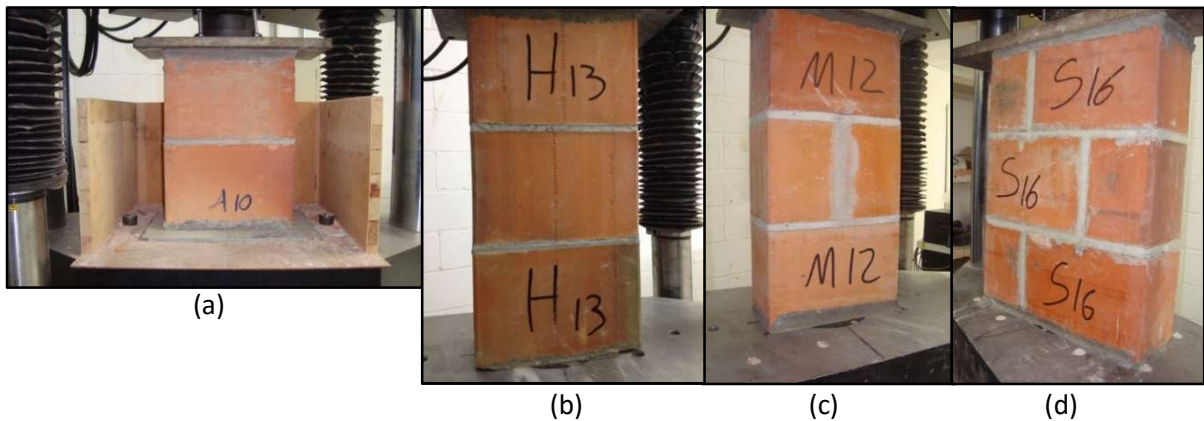
Para a moldagem dos prismas formados por blocos com resistência nominal de 6,0 e 7,0 MPa foi utilizada a Argamassa A, de resistência nominal 4,0 MPa e para os prismas moldados com blocos de 15 MPa a argamassa utilizada foi a Argamassa B de 12,0 MPa. A NBR 15812-2 (ABNT, 2010) refere-se à resistência à compressão da argamassa de assentamento que deve ser atendido o valor mínimo de 1,5 MPa e o máximo limitado a $0,7 f_{bk}$ (resistência característica do bloco) na área bruta. Adotado, segundo Parsekian (2010), a resistência da argamassa no valor de 70% da resistência nominal do bloco. Dessa forma, as citadas argamassas tiveram suas resistências determinadas em função das resistências nominais dos blocos estruturais utilizados.

Foram moldados para este experimento quatro modelos de prismas:

- *Prisma 1* com 2 blocos sobrepostos – Figura 3.7 (a);

- Prisma 2 com 3 blocos sobrepostos – Figura 3.7 (b) ;
- Prisma 3 com dois blocos e dois meio blocos – Figura 3.7 (c) ;
- Prisma 3 com três blocos e três meio blocos – Figura 3.7 (d).

Figura 3.7 – Tipos de Prisma moldados neste experimento: (a) prisma 1 com 2 blocos sobrepostos; (b) prisma 2 com 3 blocos sobrepostos; (c) prisma 3 com dois blocos e dois meio blocos; (d) prisma 3 com três blocos e três meio blocos.



Fonte: Acerto do autor.

3.3.4.2 Preenchimento dos prismas

Os prismas determinados a receber o preenchimento com argamassa e graute, após moldados e no tempo mínimo de 24 horas, eram preenchidos. Antes do preenchimento, os prismas eram molhados, o excesso de água retirado e preenchido, o adensamento foi feito com bastão específico, todo trabalho foi realizado no LMCC. Após preenchimento, os prismas foram capeados conforme norma vigente.

Para esse estudo, foi adotado graute 15 MPa para prismas moldados com Blocos de 6,0 e 7,0 MPa e Graute de 25 MPa para prismas moldados com blocos de 15 MPa, sendo essa determinação utilizada conforme grautes usuais em obras da região.

A Figura 3.8 ilustra a execução do preenchimento dos prismas com graute.

Figura 3.8 – Preenchimento dos prismas, (a) e (b) com graute, (c) e (d) com a mesma argamassa do assentamento.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Acervo do Autor.

3.3.4.3 Resistência à compressão dos prismas e Modo de ruptura

A determinação da resistência à compressão dos prismas foi realizada conforme NBR 12118:2011, sendo ensaiado na prensa INSTRON Estrutura 1500HDX, (Figura 3.9), o software utilizado foi o Bluehill versão 3.13.1260.

Todos os prismas foram identificados, limpos e mantidos em ambiente protegido, de modo a preservar suas características. Foram depositados ao lado da sala onde se encontra a prensa a fim de diminuir a possibilidade de acidentes no transporte.

Figura 3.9 – Prensa Instron Estrutura 1500HDX – Utilizada no experimento.

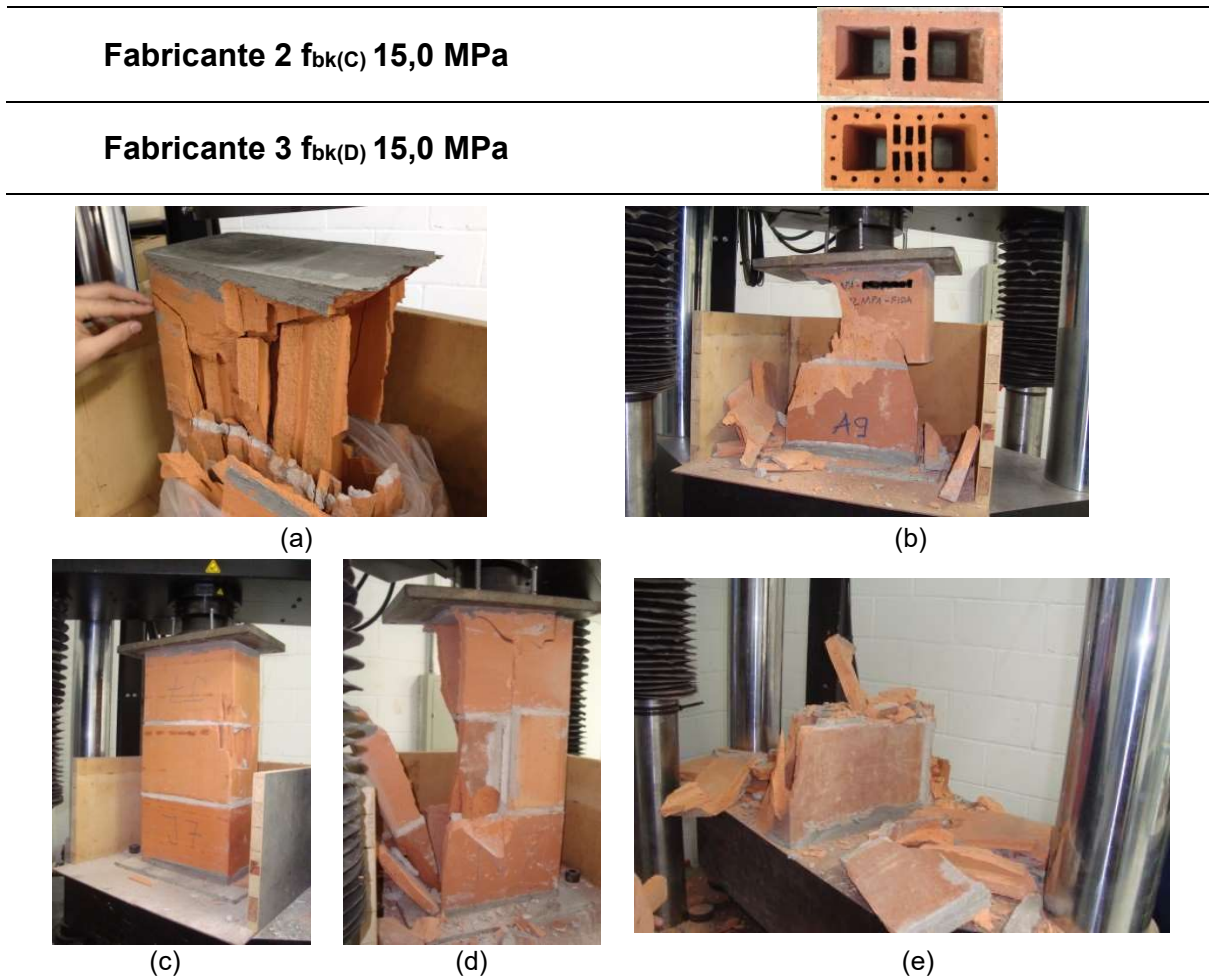


Fonte: Acervo do autor.

Para ilustrar a forma de ruptura dos prismas Modelo de prisma 1, 2, 3 e 4 e esses ocas, preenchidos com argamassa e preenchidos com graute foi definida a disposição dos mesmos por resistência a fim de identificar as particularidades com o mesmo componente. Foi observado os modos de ruptura, os quais são similares para blocos de parede maciça entre si, assim como os modelos de ruptura dos blocos de parede vazada são entre si.

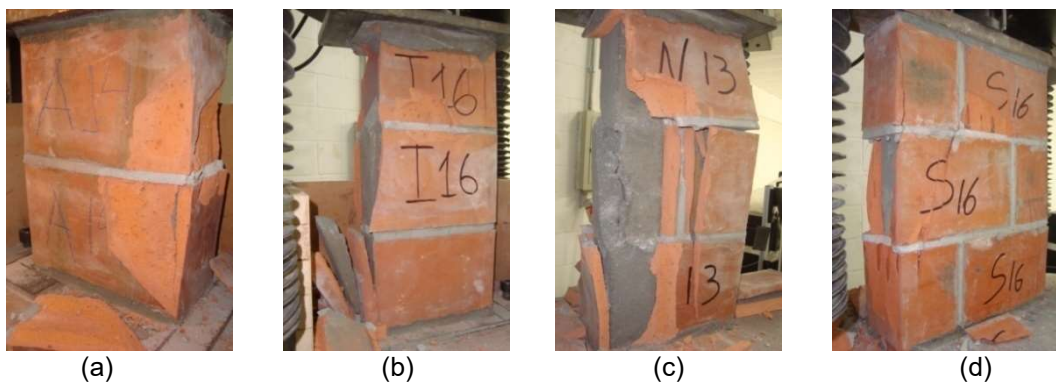
As Figuras 3.10 a 3.16 ilustram os ensaios realizados nos prismas.

Figura 3.10 – Modo de ruptura semelhante para os blocos de 15 MPa ocos, (a) Fabricante 3 $f_{bk(D)}$ 15,0 MPa, (b) Fabricante 2 $f_{bk(C)}$ 15,0 MPa. Modelo 2 - (c) Fabricante 3 $f_{bk(D)}$ 15,0 MPa. Modelo 3 - (d) Fabricante 2 $f_{bk(C)}$ 15,0 MPa. Modelo 4 - (e) Fabricante 2 $f_{bk(C)}$ 15,0 MPa.



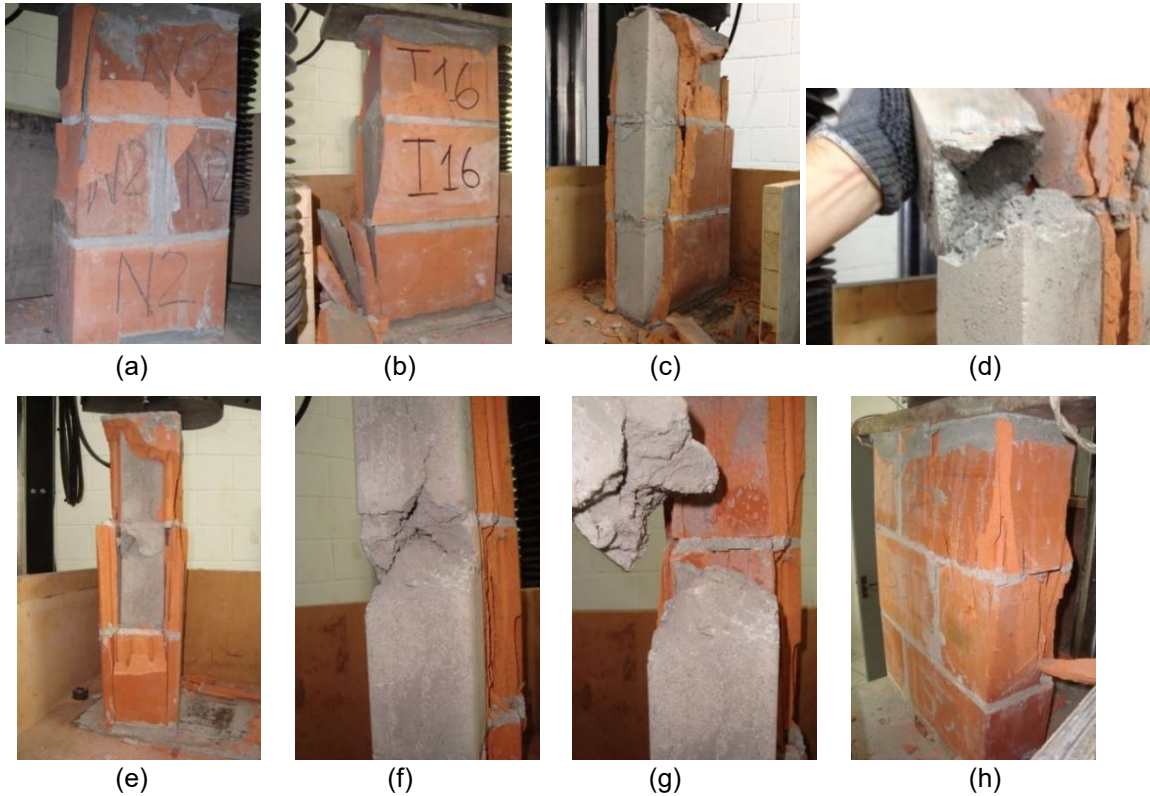
Fonte: Acervo do autor.

Figura 3.11 – Modo de ruptura semelhante para os prismas grauteados: Fabricante 2 $f_{bk(C)}$ 15,0 Mpa (a) Modelo 1, (b) Modelo 2, (c) Modelo 3. Fabricante 3 $f_{bk(D)}$ 15,0 MPa: (d) Modelo 4.



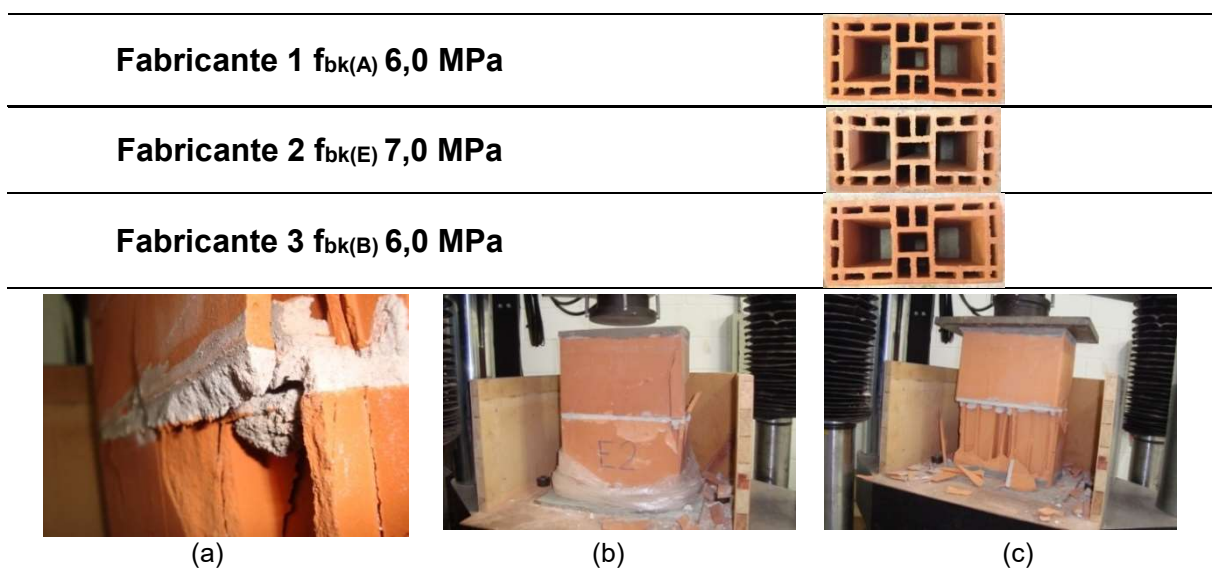
Fonte: Acervo do autor.

Figura 3.12 – Modo de ruptura semelhante para os prismas preenchidos com argamassa: Fabricante 2 $f_{bk(C)}$ 15,0 MPa (a) Modelo 3, (b), (c) e (d) Modelo 2. Fabricante 3 $f_{bk(D)}$ 15,0 MPa: (e), (f) e (g) Modelo 2, (h) Modelo 4.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 3.13 – Modo de ruptura semelhante para os prismas ocios Modelo 1: (a) Fabricante 1 $f_{bk(A)}$ 6,0 MPa, (b) Fabricante 2 $f_{bk(E)}$ 7,0 MPa, (c) Fabricante 3 $f_{bk(B)}$ 6,0 MPa.



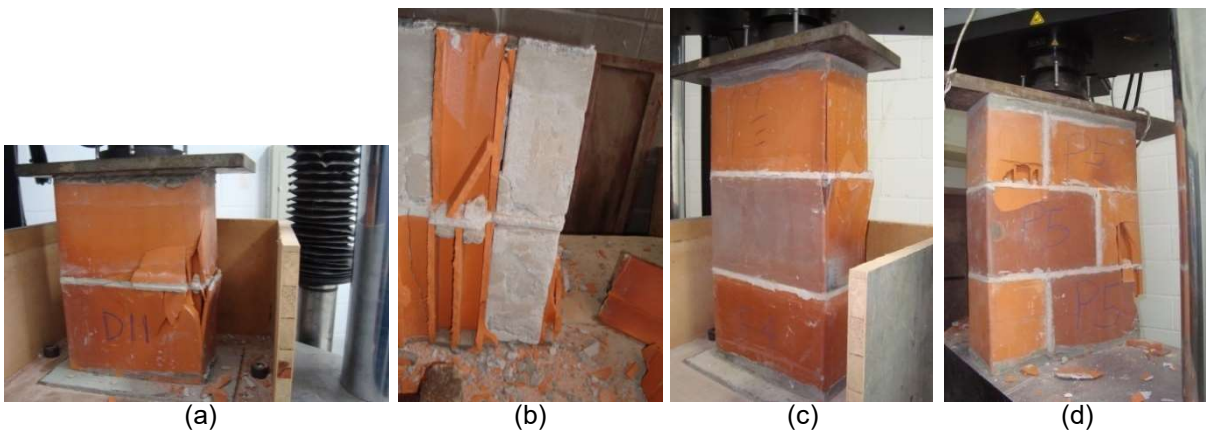
Fonte: Acervo do autor.

Figura 3.14 – Modo de ruptura semelhante para os prismas grauteados - Fabricante 1 $f_{bk(A)}$ 6,0 MPa: (a) Modelo 2, (b) Modelo 3, (c) Modelo 4. Fabricante 2 $f_{bk(E)}$ 7,0 MPa: (d) Modelo 2, (e) Modelo 3. Fabricante 3 $f_{bk(B)}$ 6,0 MPa: (f) Modelo 1, (g) Modelo 3, (h) Modelo 4.



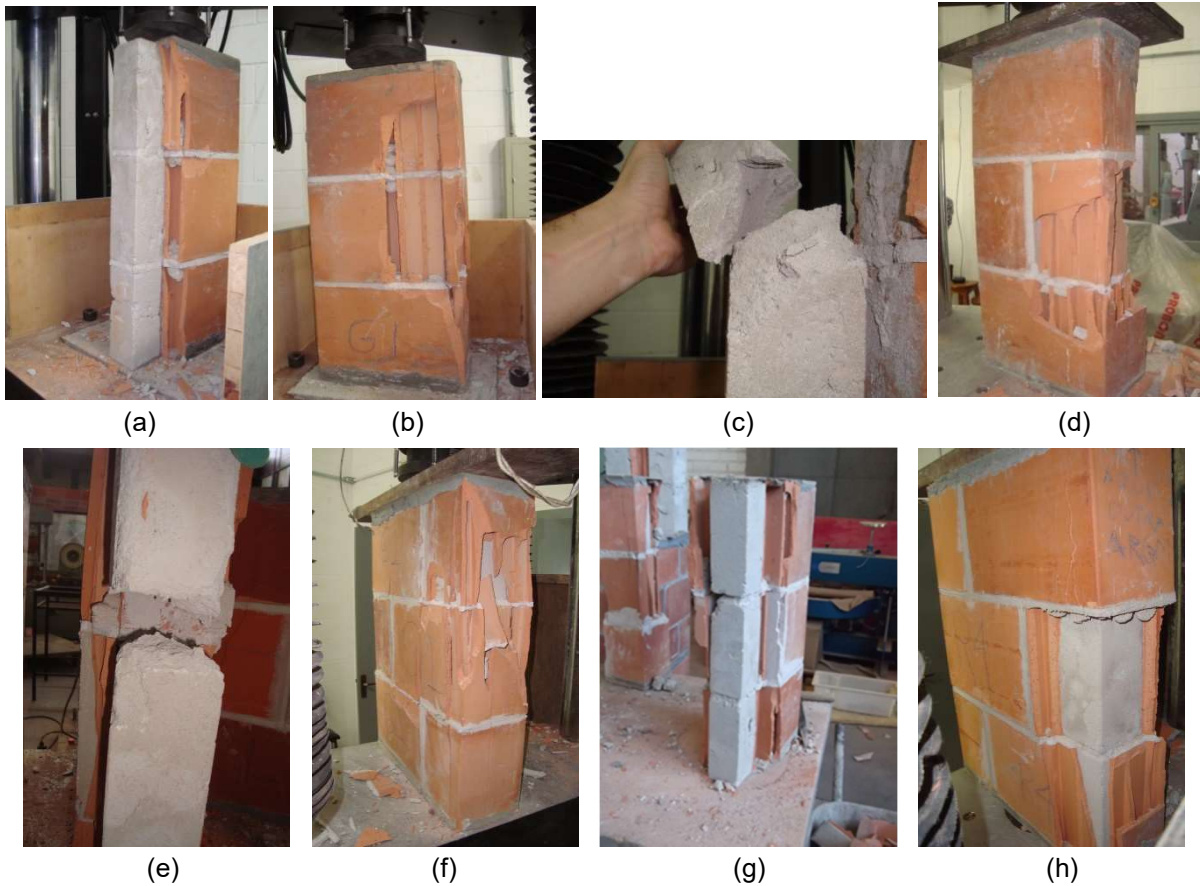
Fonte: Acervo do autor.

Figura 3.15 – Modo de ruptura semelhante para os prismas preenchidos com argamassa - Fabricante 1 $f_{bk(A)}$ 6,0 MPa: (a) Modelo 1, (b) e (c) Modelo 2, (d) Modelo 4.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 3.16 – Modo de ruptura semelhante para os prismas preenchidos com argamassa - Fabricante 2 $f_{bk(E)}$ 7,0 MPa: (a), (b) e (c) Modelo 2, (d) e (e) Modelo 3. Fabricante 3 $f_{bk(B)}$ 6,0 MPa: (h) Modelo 4.

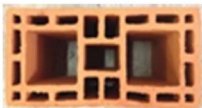










Fonte: Acervo do autor.

Observado o modelo de ruptura dos blocos de parede maciça de resistência 15 MPa, nota-se um rompimento semelhante para os blocos preenchidos com argamassa, o qual também ocorreu na maioria dos blocos de parede vazada 6 e 7 MPa. A argamassa interna ao bloco parece formar uma cunha próximo a junta horizontal de assentamento do bloco, havendo um deslocamento da parede externa do bloco, ou seja, ocorre uma tração na parede do bloco.

A Tabela 3.12 apresenta os resultados de resistência à compressão dos prismas ocos, grauteados e argamassados na área bruta, seu desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 3.12 – Resistência à compressão axial dos Prismas (Área Bruta).

Tipologia / Prismas/ Preenchimento			 FABRICANTE 1 fbk(A) 6,0 Mpa			 FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 Mpa			 FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 Mpa			 FABRICANTE 3 fbk(B) 6,0 Mpa			 FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 Mpa		
			RESISTÊNCIA MÉDIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO (Mpa)	COEFICIENTE DE VARIÇÃO (%)	RESISTÊNCIA MÉDIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO (Mpa)	COEFICIENTE DE VARIÇÃO (%)	RESISTÊNCIA MÉDIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO (Mpa)	COEFICIENTE DE VARIÇÃO (%)	RESISTÊNCIA MÉDIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO (Mpa)	COEFICIENTE DE VARIÇÃO (%)	RESISTÊNCIA MÉDIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO (Mpa)	COEFICIENTE DE VARIÇÃO (%)
PRISMA 1		OCO	6,55	0,51	7,73	8,07	1,43	17,78	14,61	1,27	8,72	6,04	0,10	1,68	15,83	0,51	3,21
		ARGAMASSADO	8,05	0,34	4,25	7,08	1,55	21,84	14,37	0,46	3,19	6,62	0,15	2,25	17,77	0,56	3,16
		GRAUTEADO	8,55	1,27	14,90	9,17	1,36	14,83	13,39	1,44	10,72	6,90	0,57	8,29	13,71	0,02	0,13
PRISMA 2		OCO	6,18	0,16	2,66	6,01	0,58	9,61	12,76	1,80	14,10	5,58	0,52	9,28	16,22	0,30	1,83
		ARGAMASSADO	6,65	0,55	8,34	6,69	1,42	21,30	14,13	0,98	6,95	6,87	0,44	6,43	17,52	0,79	4,52
		GRAUTEADO	6,02	0,29	4,78	7,34	0,41	5,53	11,21	2,21	19,73	6,15	0,87	14,14	13,77	1,38	10,06
PRISMA 3		OCO	4,98	0,21	4,28	5,51	0,37	6,78	13,97	1,22	8,71	5,28	0,37	7,08	15,61	0,52	3,32
		ARGAMASSADO	5,70	1,03	18,06	6,50	1,59	24,50	13,63	1,09	8,00	7,39	0,58	7,80	14,51	0,19	1,29
		GRAUTEADO	4,77	1,05	21,91	8,64	0,57	6,63	12,57	0,87	6,94	7,27	0,47	6,50	14,26	0,57	3,98
PRISMA 4		OCO	4,48	0,39	8,78	3,40	0,53	15,48	8,35	2,15	25,70	4,11	0,51	12,45	9,38	1,83	19,51
		ARGAMASSADO	4,34	1,08	24,85	4,82	0,59	12,33	8,51	0,33	3,93	4,73	0,22	4,74	10,39	1,14	10,95
		GRAUTEADO	5,31	0,43	8,10	5,64	0,19	3,38	10,72	0,82	7,61	5,63	0,38	6,74	8,44	0,89	10,54

Fonte: Autor.

Analisando os resultados, da tabela 3.12 observa-se que no prisma de modelo 1, o ganho de resistência do prisma preenchido com argamassa para o prisma preenchido com graute ocorreu apenas nos fabricantes onde a resistência dos blocos foi de 15 MPa, os demais fabricantes de 6 e 7 MPa os prismas grauteados desenvolveram maior eficiência do que os prismas preenchidos com argamassa.

Analisando os resultados do rompimento à compressão dos prismas de modelo 2 e modelo 3, apenas um fabricante com resistência de bloco estrutural de 7 MPa obteve maior eficiência com o preenchimento de graute, os demais fabricantes e resistências obtiveram maiores resultados no rompimento à compressão dos seus prismas preenchidos com argamassa.

Para os resultados dos prismas de modelo 4, apenas um fabricante de resistência de bloco estrutural 15 Mpa obteve resultados mais eficientes com preenchimento de seus vazados com argamassa, os demais fabricantes e resistências obtiveram melhores resultados de rompimento à compressão de seus prismas preenchidos com graute.

Com uma análise geral de todos os modelos de prismas e resistências de blocos, ainda podemos constatar que 55% dos blocos ocios obtiveram uma resistência superior que um prisma de mesmo modelo e resistência preenchido com graute ou preenchido com argamassa.

Analisando esses dados, fica difícil concluir se há uma variação significativa dos resultados em relação a utilização de graute ou argamassa para o preenchimento dos vazados dos blocos estruturais. Dessa forma, recorreremos à estatística para verificações mais aprofundadas.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo serão comentados os resultados obtidos nos ensaios dos diversos tipos de prismas ocos e preenchidos, a fim de analisar o comportamento e estabelecer comparações entre eles. Durante os ensaios dos prismas foram observados os modelos de ruptura e detalhes do confinamento do graute e argamassa utilizados para preenchimento.

Conforme comentado em 3.3.4.3, os resultados dos ensaios de compressão dos 4 tipos de prismas e suas resistências específicas foram bastante variados. Antes de iniciar a análise dos resultados dos prismas, foi feita uma análise estatística dos valores encontrados, nesse momento retirando os valores espúrios.

Para retirar os valores espúrios, ou pontos fora da curva, foi utilizado o método dos quartis e o Teste de Chauvenet. O primeiro é mais utilizado para evidenciar quais pontos são potenciais dados espúrios, o segundo faz um teste estatístico para saber se determinado ponto é espúrio ou não.

- Método dos Quartis

No livro do Himmelblau [2], encontra-se o Método dos Quartis que consiste em analisar o quão distantes estão os extremos da sua base de dados (mínimo e máximo) do 1º e do 3º quartil. Basicamente, um ponto é considerado um dado espúrio, e deve ser removido da base de dados, se:

$$\begin{aligned} \cdot x > Q_{\frac{3}{4}} + 3,0 \cdot IEQ \text{ ou;} \\ \cdot x < Q_{\frac{1}{4}} - 3,0 \cdot IEQ; \end{aligned}$$

E ele é um potencial dado espúrio, e cabe ao operador a decisão, se:

$$\begin{aligned} \cdot Q_{\frac{3}{4}} + 1,5 \cdot IEQ < x < Q_{\frac{3}{4}} + 3,0 \cdot IEQ \text{ ou;} \\ \cdot Q_{\frac{1}{4}} - 3,0 \cdot IEQ < x < Q_{\frac{1}{4}} - 1,5 \cdot IEQ; \end{aligned}$$

$$\text{Onde } IEQ = Q_{\frac{3}{4}} - Q_{\frac{1}{4}}.$$

Durante a aplicação desse método, muitos valores pareciam estar dentro da média estabelecida, porém aplicando o Teste de Chauvenet foi constatado que se tratava de um valor espúrio.

- Teste de Chauvenet

O Teste de Chauvenet é um teste de hipótese onde se prova se o ponto de interesse (x_s) não é um dado espúrio. Caso este seja verdadeiro, x_s não é um dado espúrio, caso contrário, ele é eliminado da base de dados. O teste utiliza a distribuição t-Student e consiste no cálculo de:

Onde n é o número de dados, a média (\bar{x}) e o desvio padrão (s) são calculados da base de dados.

$$n \cdot \left[p \left(z \geq \frac{x_s - \bar{x}}{s} \right) \right] \geq 0,5$$

4.2 PRISMAS

Para este experimento foram escolhidas três cerâmicas, todas muito conceituadas, fabricantes de blocos estruturais. Conforme citado em 3.1, o Fabricante 1, com blocos de 6,0 MPa; o Fabricante 2, com Blocos de 7,0 e 15,0 MPa; e o Fabricante 3, com Blocos de 6,0 e 15,0 MPa. Cada resistência de bloco por fabricante originou quatro modelos de prismas, e estes foram ensaiados ocós, preenchidos com Argamassa e preenchidos com Graute.

A escolha da argamassa de assentamento se deu conforme citado em 3.3.4.1, essa mesma utilizada para o preenchimento dos vazados dos blocos, porém mais fluida.

O Graute foi determinado, anteriormente, ao início da pesquisa com valores de graute utilizados na região, a especificação para preenchimento de blocos estruturais com resistência nominal 6,0 e 7,0 MPa foi de 15,0 MPa e para blocos estruturais com resistência nominal de 15,0 MPa o graute especificado foi de 25,0 MPa.





4.2.1 Fator de eficiência (f_p/f_b)

Com os dados de eficiência da alvenaria f_p/f_b e as relações entre f_{arg}/f_{bloc} se podem obter equações do comportamento da resistência em função dos componentes empregados.

A Tabela 4.1 apresenta os valores das resistências médias dos blocos na área bruta, os valores das resistências médias dos prismas, sem os valores espúrios e o fator de eficiência dos diferentes blocos estruturais utilizados, relacionados aos diversos prismas preenchidos e ocos.

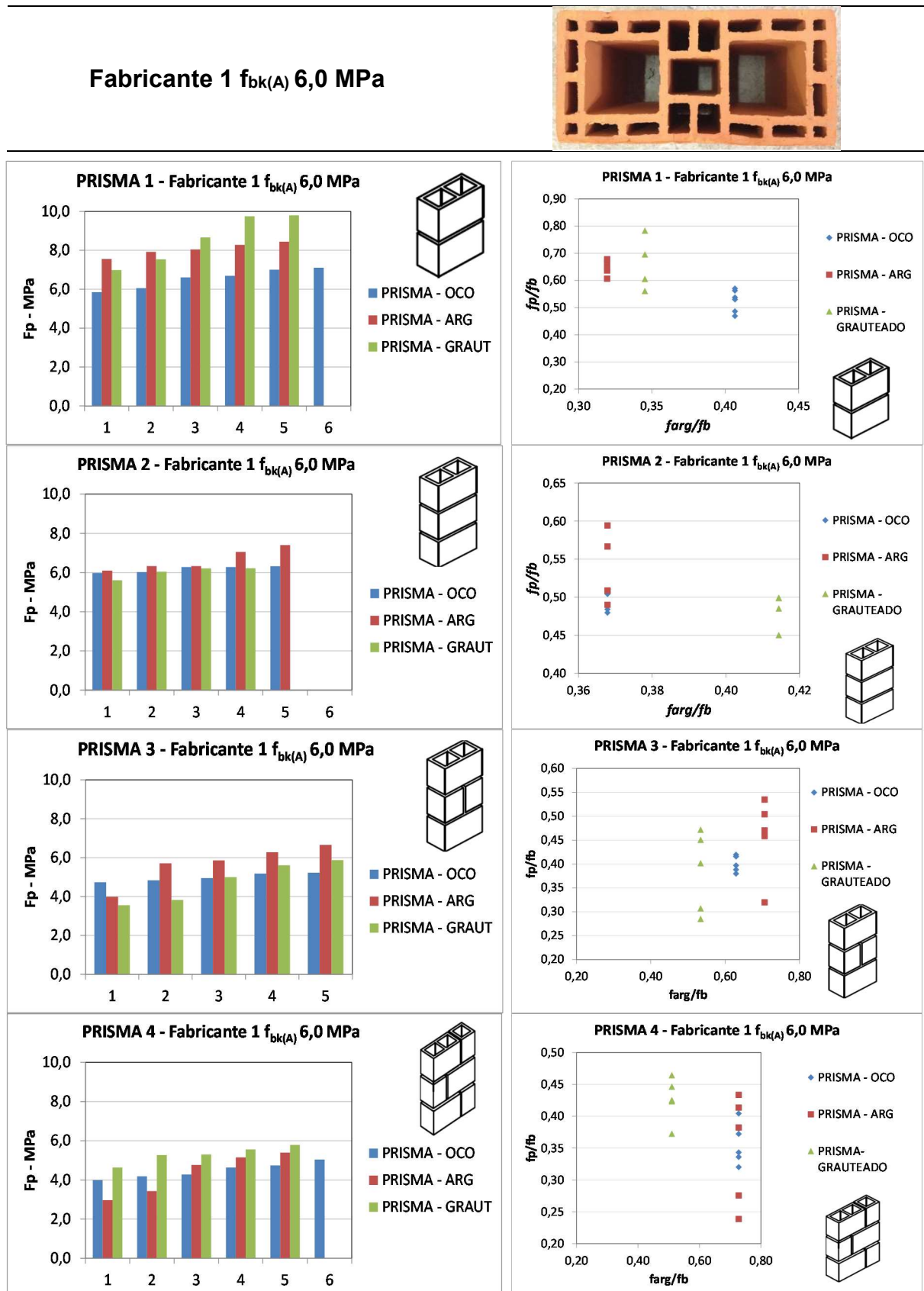
Os gráficos da Figura 4.1 a 4.5 apresentam na coluna da esquerda um gráfico com organização crescente dos resultados de rompimento dos prismas de modelo 1, 2, 3 e 4 ocos, preenchidos com argamassa (ARG) e preenchidos com graute (GRAUT), por fabricante de bloco. Na coluna da esquerda há gráficos com relação entre fatores de eficiência prisma / bloco (f_p/f_b) x argamassa bloco (f_{arg}/f_{bloc}) a fim de melhor visualizar esses parâmetros com relação à resistência dos prismas.

Tabela 4.1 – Resistência média dos blocos na área bruta, resistência média dos prismas e fator de Eficiência Prisma/Bloco.

Tipologia / Prismas/ Preenchimento			FABRICANTE 1 fbk(A) 6,0 Mpa			FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 Mpa			FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 Mpa			FABRICANTE 3 fbk(B) 6,0 Mpa			FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 Mpa		
			RESISTÊNCIA MÉDIA DO BLOCO (Mpa)	RESISTÊNCIA MÉDIA DO PRISMA (Mpa)	FATOR DE EFICIÊNCIA (fp/fb)	RESISTÊNCIA MÉDIA DO BLOCO (Mpa)	RESISTÊNCIA MÉDIA DO PRISMA (Mpa)	FATOR DE EFICIÊNCIA (fp/fb)	RESISTÊNCIA MÉDIA DO BLOCO (Mpa)	RESISTÊNCIA MÉDIA DO PRISMA (Mpa)	FATOR DE EFICIÊNCIA (fp/fb)	RESISTÊNCIA MÉDIA DO BLOCO (Mpa)	RESISTÊNCIA MÉDIA DO PRISMA (Mpa)	FATOR DE EFICIÊNCIA (fp/fb)	RESISTÊNCIA MÉDIA DO BLOCO (Mpa)	RESISTÊNCIA MÉDIA DO PRISMA (Mpa)	FATOR DE EFICIÊNCIA (fp/fb)
PRISMA 1		OCO	12,50	6,55	0,52	16,50	8,07	0,49	15,80	14,61	0,92	13,00	6,04	0,46	20,20	15,83	0,78
		ARGAMASSADO		8,05	0,64		7,08	0,43		14,37	0,91		6,62	0,51		17,77	0,88
		GRAUTEADO		8,55	0,68		9,17	0,56		13,39	0,85		6,90	0,53		13,71	0,68
PRISMA 2		OCO	12,50	6,18	0,49	16,50	6,01	0,36	15,80	12,76	0,81	13,00	5,58	0,43	20,20	16,22	0,80
		ARGAMASSADO		6,65	0,53		6,69	0,41		14,13	0,89		6,87	0,53		17,52	0,87
		GRAUTEADO		6,02	0,48		7,34	0,44		11,21	0,71		6,15	0,47		13,77	0,68
PRISMA 3		OCO	12,50	4,98	0,40	16,50	5,51	0,33	15,80	13,97	0,88	13,00	5,28	0,41	20,20	15,61	0,77
		ARGAMASSADO		5,70	0,46		6,50	0,39		13,63	0,86		7,39	0,57		14,51	0,72
		GRAUTEADO		4,77	0,38		8,64	0,52		12,57	0,80		7,27	0,56		14,26	0,71
PRISMA 4		OCO	12,50	4,48	0,36	16,50	3,40	0,21	15,80	8,35	0,53	13,00	4,11	0,32	20,20	9,38	0,46
		ARGAMASSADO		4,34	0,35		4,82	0,29		8,51	0,54		4,73	0,36		10,39	0,51
		GRAUTEADO		5,31	0,42		5,64	0,34		10,72	0,68		5,63	0,43		8,44	0,42

Fonte: Autor.

Figura 4.1 – Resultado rompimento individual de cada prisma e fator de eficiência para Fabricante 1 $f_{bk(A)} 6,0$ MPa.



Fonte: Autor.

Figura 4.2 – Resultado rompimento individual de cada prisma e fator de eficiência para Fabricante 2 $f_{bk(E)}$ 7,0 MPa.

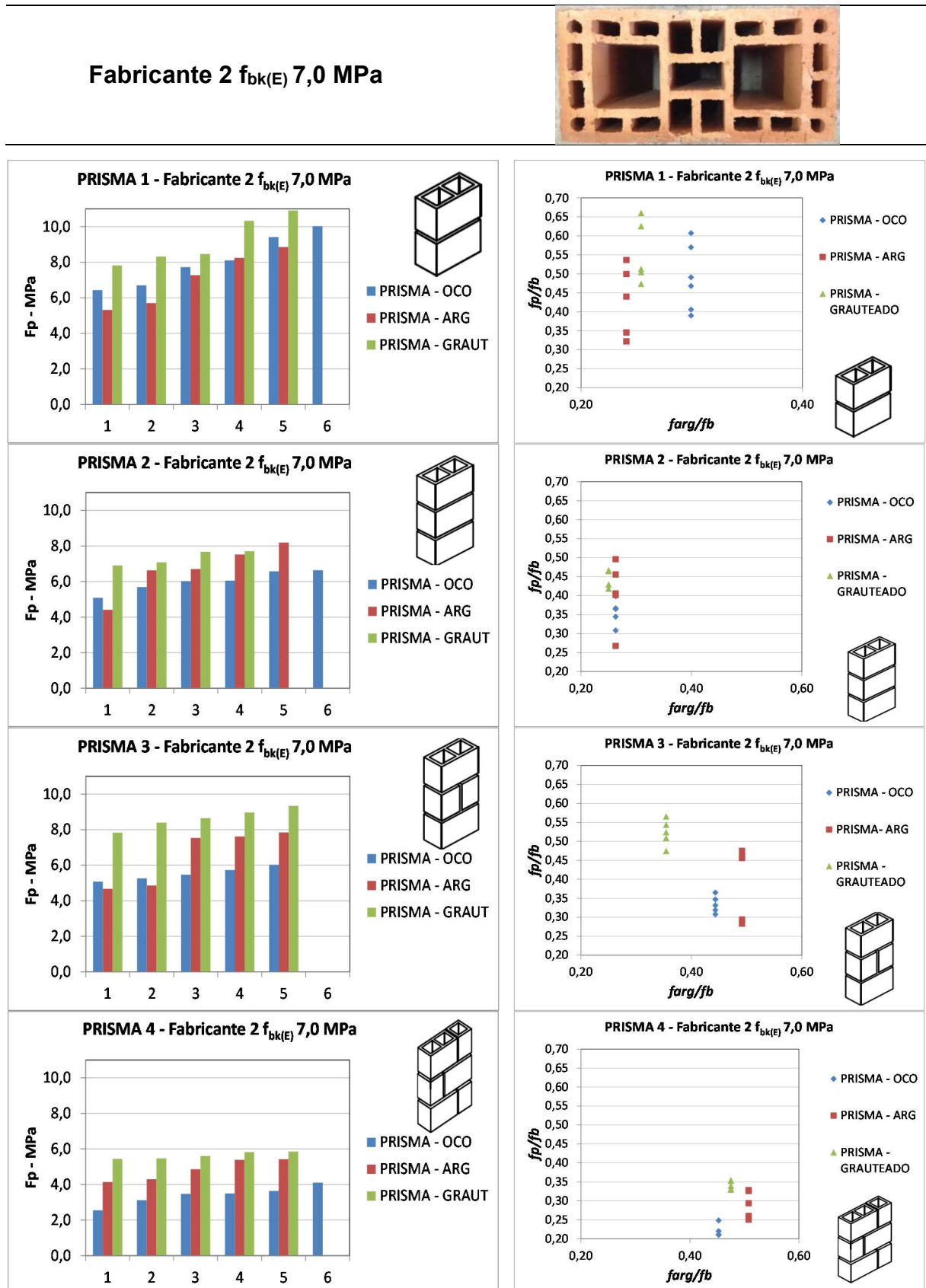


Figura 4.3 – Resultado rompimento individual de cada prisma e fator de eficiência para Fabricante 2 $f_{bk(C)}$ 15,0 MPa.

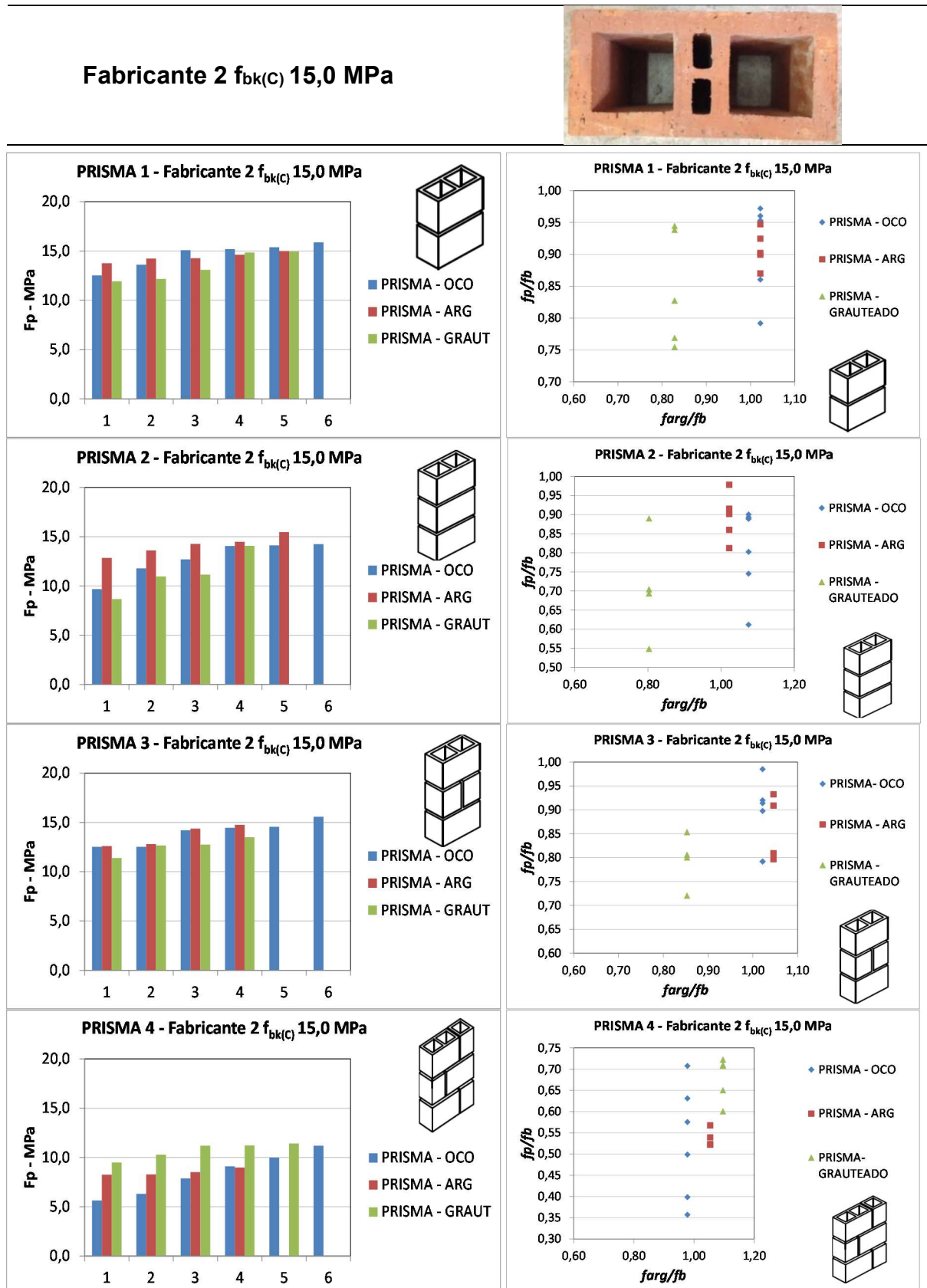
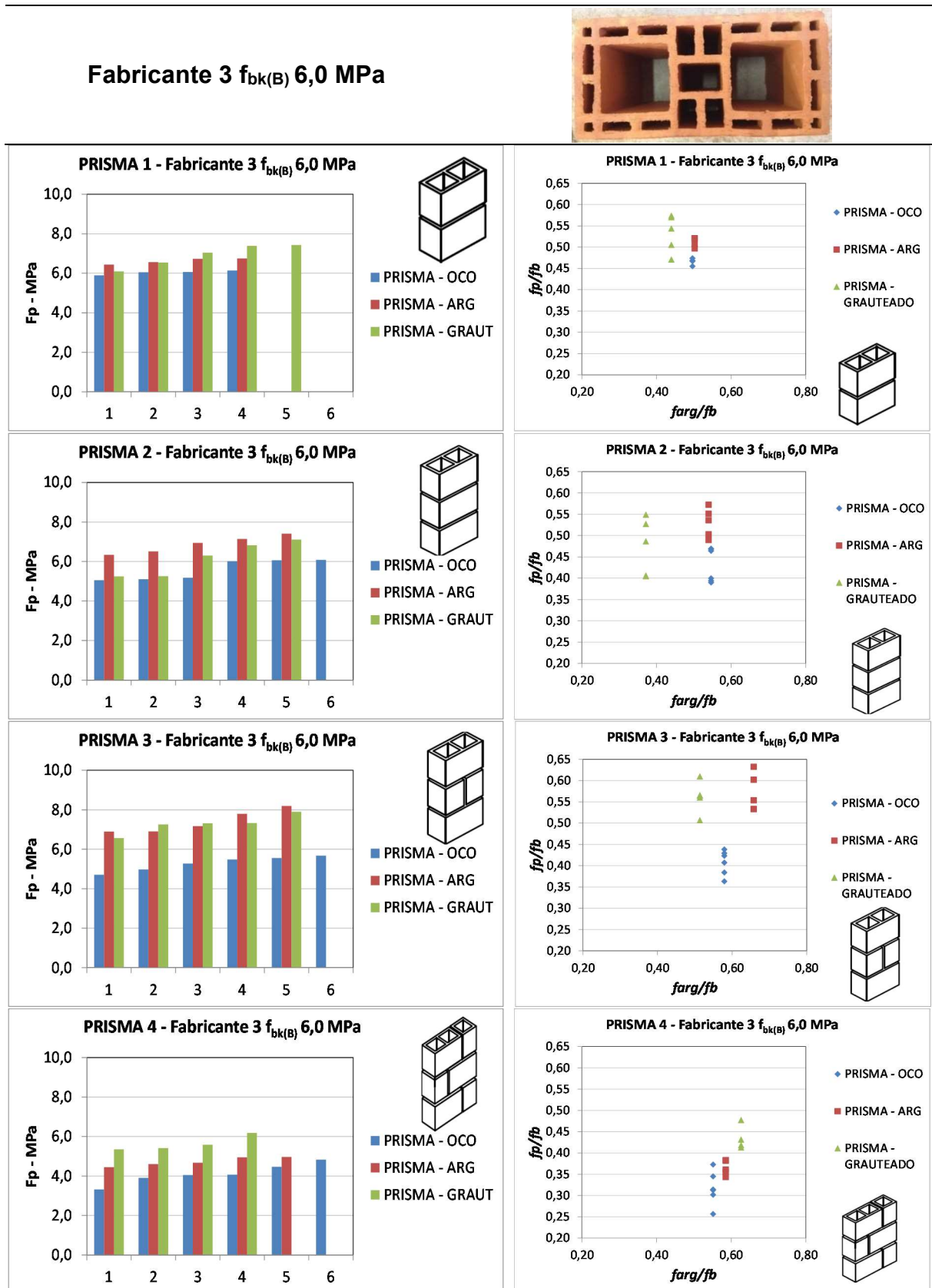
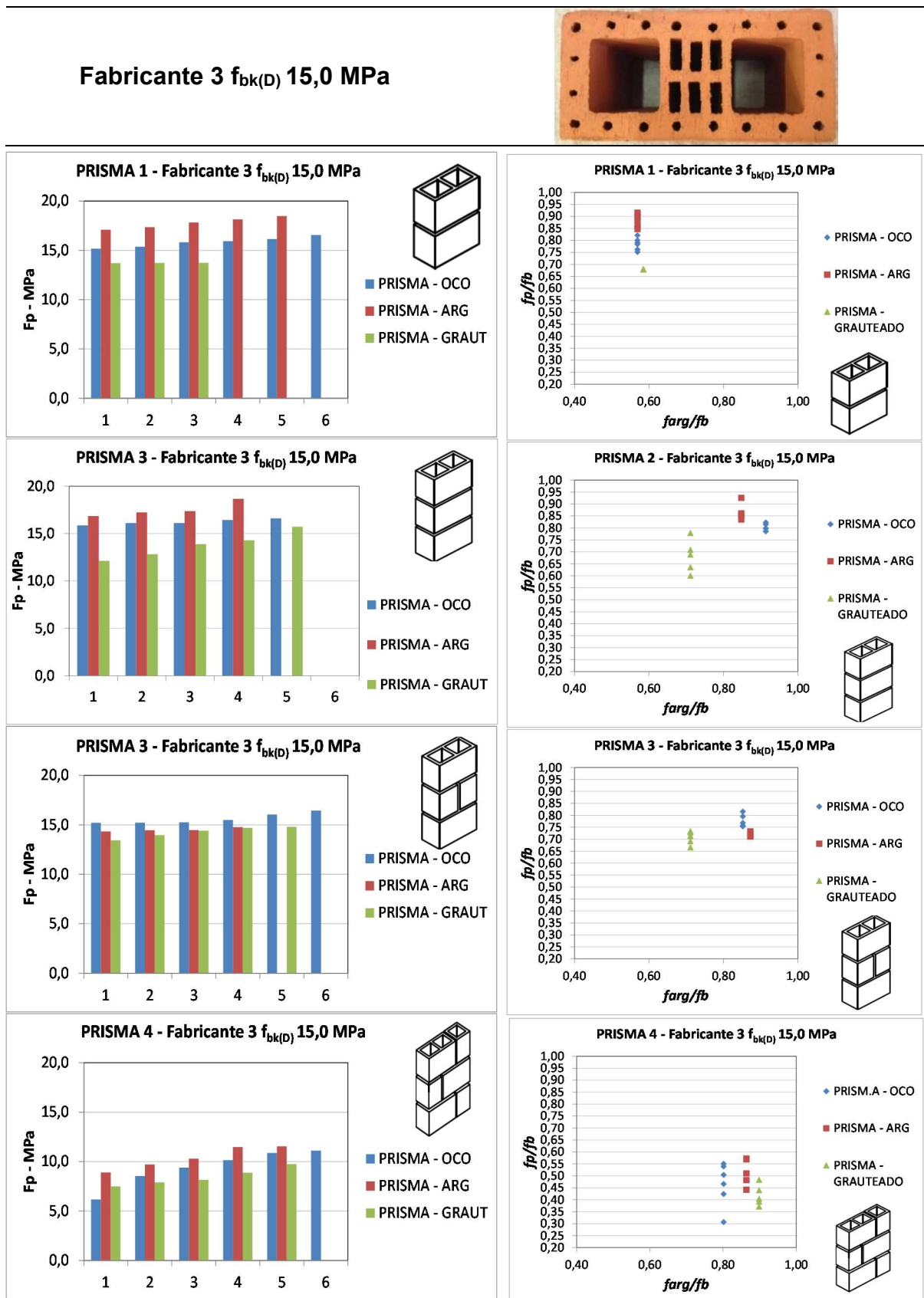


Figura 4.4 – Resultado rompimento individual de cada prisma e fator de eficiência para Fabricante 3 $f_{bk(B)} 6,0$ MPa.



Fonte: Autor.

Figura 4.5 – Resultado rompimento individual de cada prisma e fator de eficiência para Fabricante 3 $f_{bk(D)} 15,0$ MPa.



Fonte: Autor.

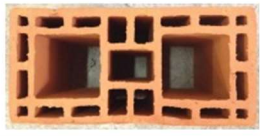
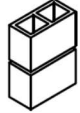


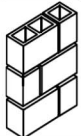
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística, neste experimento, baseia-se em analisar as diferenças dos valores obtidos nos ensaios experimentais, que permitem avaliar se os valores de resistências dos diferentes tipos de prisma, com diferentes preenchimentos, são estatisticamente iguais ou diferentes para um determinado nível de significância.

Para análise estatística, foi utilizado o Teste de Tukey, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), utilizando o programa Statistica® 8.0 (STADISTIC).

Os resultados serão apresentados segundo tabelas abaixo. As letras minúsculas sobre os números, se iguais, representam estatisticamente igualdade de resultados nas colunas. Essa análise está baseada na resistência média de cada conjunto de prismas (Prismas 1 ao 4), sendo que o limite superior é a média somada ao desvio padrão e o limite inferior é a média subtraída o desvio padrão.

Tabela 4.2 – Valores de resistência média dos prismas mais ou menos seu desvio padrão, para os blocos do **FABRICANTE 1** $f_{bk(A)} 6,0$ MPa.

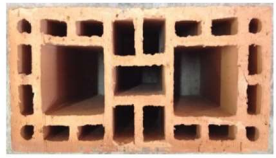




				
	PRISMA 1	PRISMA 2	PRISMA 3	PRISMA 4
MÉDIA OCO ÁREA BRUTA	6.55093 ^b ±0.50636	6.17946 ^a ±0.16428	4.98277 ^a ±0.21335	4.47797 ^b ±0.39322
MÉDIA ARG ÁREA BRUTA	8.05013 ^a ±0.34224	6.64629 ^a ±0.55443	5.69854 ^a ±1.02939	4.34355 ^{a,b} ±1.07944
MÉDIA GRAUTEADO ÁREA BRUTA	8.55030 ^a ±1.27414	6.01964 ^a ±0.28746	4.77211 ^a ±1.04535	5.31175 ^a ±0.43017

Média ± Desvio Padrão seguidas de letras iguais na coluna indicam não haver diferença significativa a nível de 5% (teste de Tukey).

Fonte: Autor.

Com os valores da Tabela 4.2, notou-se que para o Fabricante 1 $f_{bk(A)} 6,0$ MPa quando se utiliza o modelo de prismas 1 para este experimento, estatisticamente o prisma preenchido com argamassa (argamassados) é igual ao prisma preenchido com graute (grauteados), sendo sua resistência aumentada em relação ao mesmo modelo de prisma oco. No modelo de Prisma 2, há uma igualdade estatística entre os prismas ocos, argamassados e grauteados. O prisma de Modelo 3 teve comportamento semelhante ao prisma de Modelo 2, já o prisma de Modelo 4 teve resultados estatisticamente iguais entre os prismas oco e preenchido com argamassa e entre o prisma preenchido com argamassa e o prisma grauteado.

Tabela 4.3–Valores de resistência média dos prismas mais ou menos seu desvio padrão, para os blocos do **FABRICANTE 2** $f_{bk(E)}$ **7,0 MPa**.


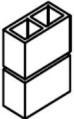


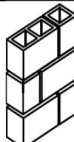
				
	PRISMA 1	PRISMA 2	PRISMA 3	PRISMA 4
MÉDIA OCO ÁREA BRUTA	8.06866 ^a ±1.43478	6.00956 ^b ±0.57742	5.51291 ^b ±0.37372	3.39536 ^b ±0.52544
MÉDIA ARG ÁREA BRUTA	7.07779 ^a ±1.54584	6.69023 ^{a,b} ±1.42487	6.50307 ^{b,a} ±1.59309	4.82028 ^a ±0.59419
MÉDIA GRAUTEADO ÁREA BRUTA	9.16574 ^a ±1.35900	7.33950 ^a ±0.40565	8.63704 ^a ±0.57227	5.64023 ^a ±0.19063

Média ± Desvio Padrão seguidas de letras iguais na coluna indicam não haver diferença significativa a nível de 5% (teste de Tukey).

Fonte: Autor.

Nas representações dos resultados da tabela 4.3, o prisma de modelo 1, obteve resultados estatisticamente iguais entre os prismas ocios, preenchidos com argamassa e preenchidos com graute. O prisma modelo 2, obteve resultados iguais estatisticamente entre prismas ocios e argamassados, e entre os prismas argamassados e grauteados. Os prismas de modelo 3 obteve os resultados semelhantes ao prisma de modelo 2. O prisma de modelo 4 obteve igualdade estatística entre os prismas preenchidos com argamassa e preenchidos com graute, diferente dos prismas ocios.

Tabela 4.4–Valores de resistência média dos prismas mais ou menos seu desvio padrão, para os blocos do **FABRICANTE 2** $f_{bk(C)}$ **15,0 MPa**.

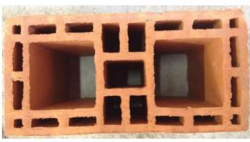

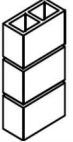


				
	PRISMA 1	PRISMA 2	PRISMA 3	PRISMA 4
MÉDIA OCO ÁREA BRUTA	14.60716 ^a ±1.27387	12.76153 ^a ±1.79963	13.97089 ^a ±1.21685	8.35073 ^b ±2.14599
MÉDIA ARG ÁREA BRUTA	14.37154 ^a ±0.45914	14.13012 ^a ±0.98258	13.62895 ^a ±1.08982	8.50801 ^{a,b} ±0.33396
MÉDIA GRAUTEADO ÁREA BRUTA	13.39036 ^a ±1.43551	11.21447 ^a ±2.21237	12.57158 ^a ±0.87216	10.72451 ^a ±0.81623

Média ± Desvio Padrão seguidas de letras iguais na coluna indicam não haver diferença significativa a nível de 5% (teste de Tukey).

Fonte: Autor.

Conforme a Tabela 4.4 os prismas de modelos 1, 2 e 3 comportaram-se semelhantemente, tendo seus prismas ocós, argamassados e grauteados iguais estatisticamente, porém, nota-se que para essa resistência de blocos os prismas preenchidos de graute diminuíram a resistência comparados com os prismas preenchidos com argamassa. O prisma modelo 4 obteve resultados estatisticamente iguais entre os prismas ocós e preenchidos com argamassa e entre os prismas preenchidos com argamassa e os preenchidos com graute.

Tabela 4.5 – Valores de resistência média dos prismas mais ou menos seu desvio padrão, para os blocos do **FABRICANTE 3** $f_{bk(B)}6,0$ MPa.

				
	PRISMA 1	PRISMA 2	PRISMA 3	PRISMA 4
MÉDIA OCO ÁREA BRUTA	6.03871 ^b ±0.10148	5.58152 ^b ±0.51774	5.27949 ^b ±0.37372	4.10889 ^b ±0.51165
MÉDIA ARG ÁREA BRUTA	6.61939 ^a ±0.14910	6.87032 ^a ±0.44163	7.39481 ^a ±0.57675	4.72835 ^b ±0.22391
MÉDIA GRAUTEADO ÁREA BRUTA	6.90254 ^a ±0.57189	6.15018 ^{ab} ±0.86939	7.27162 ^a ±0.47268	5.63466 ^a ±0.37996

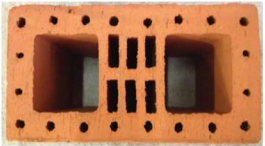




Média ± Desvio Padrão seguidas de letras iguais na coluna indicam não haver diferença significativa a nível de 5% (teste de Tukey).

Fonte: Autor.

Observando os dados da Tabela 4.5, para os resultados dos blocos do Fabricante 3 $f_{bk(B)} 6,0$ MPa, os modelos de prismas 1, 2 e 3 tiveram o mesmo comportamento ou seja blocos preenchidos com argamassa e graute não tiveram diferenças estatísticas, já para o modelo de prisma 4, os prismas ocós e argamassados tiveram o mesmo comportamento estatístico, diferente do prisma grauteado o qual o desempenho foi maior.

Pode-se observar, na Tabela 4.6, que os prismas de modelos 1 e 2 não tiveram resultados iguais em nenhuma configuração de preenchimento. O prisma de modelo 3, obteve resultados iguais estatisticamente nos prismas preenchidos com argamassa e preenchidos com graute, sendo que o resultado do prisma oco obteve resultados superiores aos demais. O prisma de modelo 4 obteve resultados iguais nos ensaios oco, argamassado e grauteado. Observou-se no geral, que, para esse bloco, o graute diminuiu a eficiência do prisma.

Tabela 4.6–Valores de resistência média dos prismas mais ou menos seu desvio padrão, para os blocos do **FABRICANTE 3** $f_{bk(D)}$ **15,0 MPa**.

				
	PRISMA 1	PRISMA 2	PRISMA 3	PRISMA 4
MÉDIA OCO ÁREA BRUTA	15.82828 ^b ± 0.50881	16.21514 ^b ± 0.29722	15.60750 ^a ± 0.51780	9.37615 ^a ± 1.82935
MÉDIA ARG ÁREA BRUTA	17.77482 ^a ± 0.56148	17.52175 ^a ± 0.79111	14.51165 ^b ± 0.18666	10.38562 ^a ± 1.13714
MÉDIA GRAUTEADO ÁREA BRUTA	13.71435 ^c ± 0.01821	13.76595 ^c ± 1.38451	14.25876 ^b ± 0.56696	8.43668 ^a ± 0.88882

Média ± Desvio Padrão seguidas de letras iguais na coluna indicam não haver diferença significativa a nível de 5% (teste de Tukey).

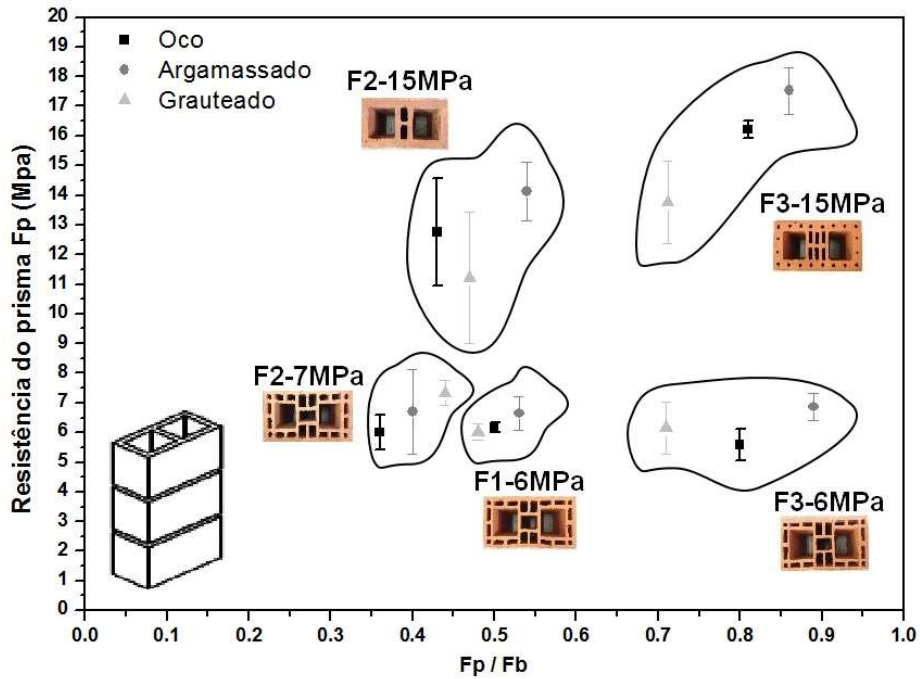
Fonte: Autor.

4.3.1 Interpretações gráficas

Observado as Tabelas 4.2 a 4.6, fica claro que uma representação gráfica seria de extrema importância para melhor visualizar os resultados. Desta forma, processou-se uma interpretação através do software ORIGIN 8.1, no qual foram gerados gráficos das médias seguidas do desvio padrão de cada resistência de prisma (eixo y), seja oco, preenchido com argamassa e preenchido com graute. No eixo x foram utilizados os valores da resistência média dos prismas dividida pela resistência média dos blocos estruturais utilizados, ou seja, o fator de eficiência prisma / bloco, (f_p/f_b).

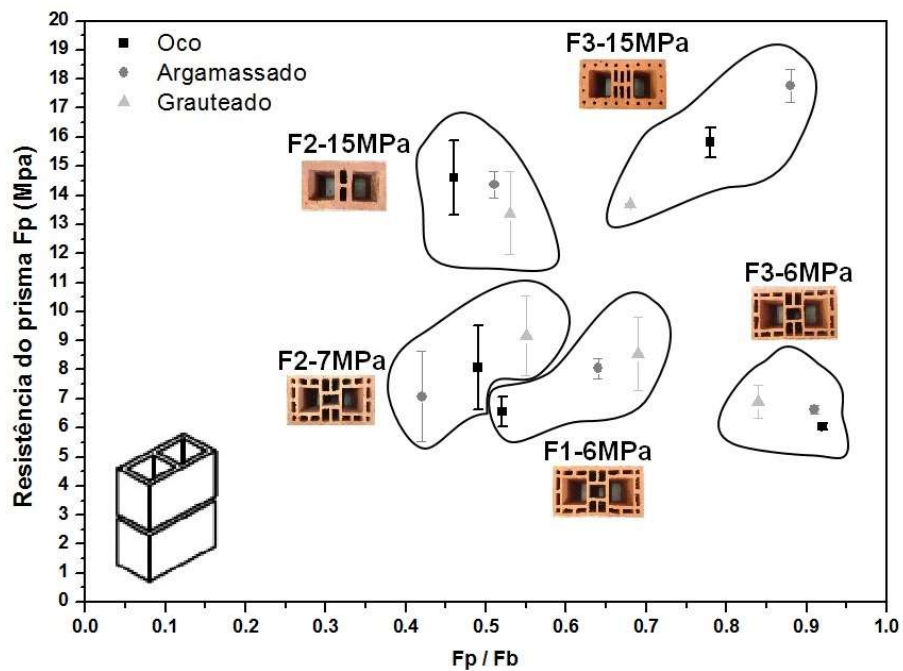
Dessa forma podemos analisar graficamente os resultados das tabelas citadas acima, traçando uma linha horizontal no gráfico, paralela ao eixo x, podemos notar que se essa linha estiver contemplando os desvios padrão, por exemplo, do prisma oco, argamassado e grauteado estes três serão estatisticamente de igual eficiência. O exemplo citado é observado no gráfico da Figura 4.6 (F2-15 MPa) e comparando com a tabela 4.4, prisma modelo 1, onde tanto o prisma oco, preenchido com argamassa e preenchido com graute tem a mesma letra na coluna.

Figura 4.6 – Gráfico da resistência de compressão para o Prisma Modelo 1, com todos os fabricantes de Blocos e respectivas resistências assim como configurações de preenchimento.



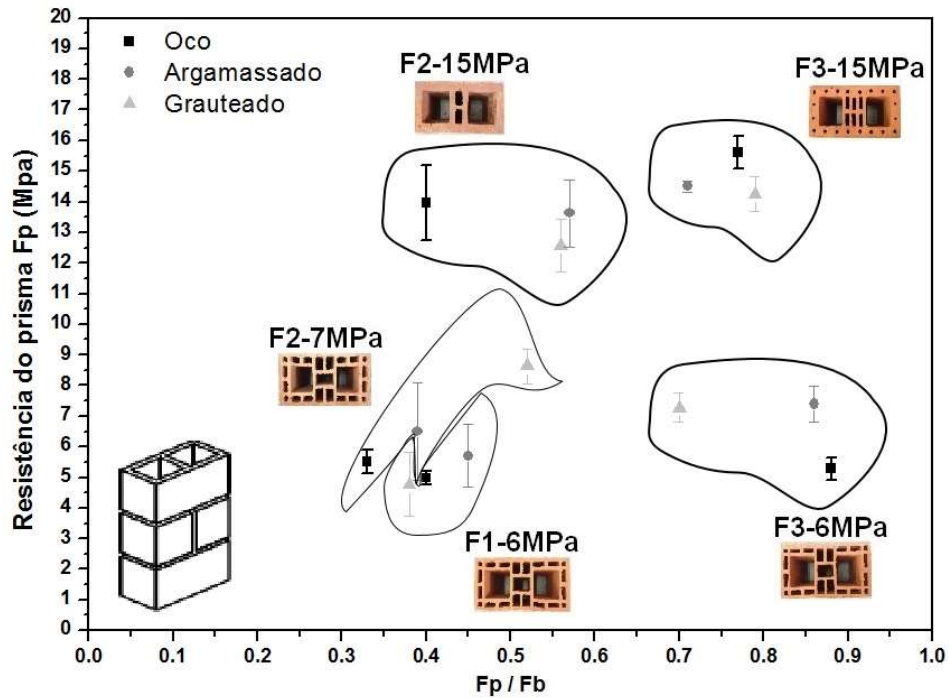
Fonte: Autor.

Figura 4.7 – Gráfico da resistência de compressão para o Prisma Modelo 2, com todos os fabricantes de Blocos e respectivas resistências assim como configurações de preenchimento.



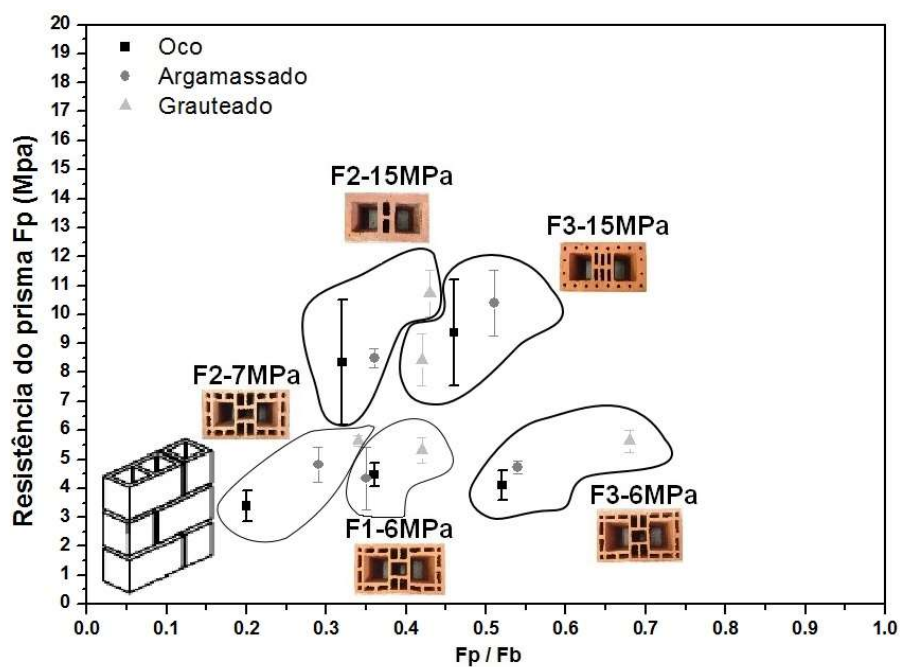
Fonte: Autor.

Figura 4.8 – Gráfico da resistência de compressão para o Prisma Modelo 3, com todos os fabricantes de Blocos e respectivas resistências assim como configurações de preenchimento.



Fonte: Autor.

Figura 4.9 – Gráfico da resistência de compressão para o Prisma Modelo 4, com todos os fabricantes de Blocos e respectivas resistências assim como configurações de preenchimento.



Fonte: Autor.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES OBTIDAS NO TRABALHO

A partir dos diversos dados obtidos, nesse experimento, e o enfoque dado a eles, pode-se concluir que:

- De uma maneira geral, para os prismas construídos, com blocos com resistências nominais 6 e 7 MPa, o graute utilizado não agregou significativo acréscimo de resistência aos prismas. Isto pode ser decorrente do fato que a resistência do graute utilizada contraria a bibliografia, embora a bibliografia não cite se a resistência do bloco utilizada para estimativa da resistência do graute é a característica ou a mediana.
- Da mesma forma, para os prismas construídos com resistência nominal de 15 MPa, mesmo utilizando o graute recomendado pela bibliografia, o mesmo também não proporcionou acréscimo na resistência dos prismas e sim houve uma redução da resistência comparado com os mesmos prismas preenchidos com argamassa.
- Com relação ao preenchimento dos septos com argamassa, dos vários tipos de prisma com as resistências de blocos estudadas, observa-se que os resultados encontrados não permitem concluir se a mesma agregou resistência aos prismas ociosos.
- Com relação ao preenchimento dos prismas com argamassa em substituição ao graute, os resultados encontrados também não fornecem subsídios que possibilitam uma conclusão definitiva.
- Como se sabe, o comportamento real da alvenaria só pode ser analisado em paredes, por isso, para obter o real comportamento da interação de preenchimento com graute e argamassa, principalmente em situações em que se analisam a substituição de um componente por outro, como é o caso do estudo em questão, devem-se ensaiar paredes.
- Analisando-se os vários resultados encontrados para os diferentes tipos de prismas estudados não nos permite afirmar se o preenchimento com graute do vazado do prisma oco ou seu preenchimento com argamassa agregam aos prismas um acréscimo de resistência. Além disso, não se pode concluir, com os resultados encontrados, a possibilidade ou não da substituição do graute pela argamassa.

- Notou-se, no modo de ruptura de alguns prismas preenchidos com argamassa, que cria uma espécie de cunha no encontro com a argamassa de assentamento. Dessa forma podendo criar tensões internas e romper o bloco a tração, explicando, assim, o rompimento de prismas preenchidos com argamassa com resistência menor que os mesmos prismas ociosos.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se, para trabalhos futuros, o estudo de paredes construídas com blocos de diferente resistência e que esses possam ser preenchidos com a mesma argamassa de assentamento, comparados à utilização do graute conforme especificações da literatura.

REFERÊNCIAS

ABCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo: ABCI, 1990.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural: requisitos. Rio Janeiro, 2014.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 15270-1**: Componentes Cerâmicos - Parte 1: Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

_____. **NBR 15270-2**: Componentes Cerâmicos - Parte 2: Blocos Cerâmicos Para Alvenaria Estrutural – Terminologia e Requisitos. Primeira Edição. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

_____. **NBR 15270-3**: Componentes Cerâmicos - Parte 3: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural – métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005. 27 p.

_____. **NBR15812-1**: Alvenaria Estrutural – Blocos Cerâmicos - Parte 1: Projetos. 1.ed. Rio de Janeiro, 2010. 41 p.

_____. **NBR 15812-2**: Alvenaria Estrutural – Blocos Cerâmicos - Parte 1: Execução e Controle de Obras. 1.ed. Rio de Janeiro, 2010. 28 p.

_____. **NBR 15961-2**: Alvenaria estrutural - Blocos de Concreto - Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2011. 42 p.

ATKINSON, R. H.; NOLAND, J. L. e ABRAMS, D. P. A deformation failure theory for stack-bond brick masonry prism in compression. In: International Brick Masonry Conference, 7., 1985, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne: IBMAC, 1985. v. 1, p. 577-592.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 270**: Mortar for unit masonry. Philadelphia, 2008.

_____. **ASTM C 404**: Aggregates for masonry grout, Philadelphia, 2007.

BSI- **BS 5628-1**: Code of practice for use of masonry – Part 1: Structural use of unreinforced masonry. London, 1992.

CAMACHO, J. S. **Alvenaria estrutural não armada – parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes**. 1986. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Porto Alegre, 1986.

DUARTE, R. B. Fissuras em alvenaria: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação. Porto Alegre, 1998. CIENTEC – **Boletim Técnico**. n.25.

GOMES, N.S. **A resistência das paredes de alvenaria**. 1983. 190p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

EUROPEAN STANDARD. **EN 998-2**: Specification for mortar for masonry – Part 2: Masonry mortar. 2003.

_____. **Eurocode 6**: Design of Masonry Structures – Part-1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures. European Standard. 2002.

HENDRY, A. W. **Structural brickwork**. New York – USA: Halsted Press Book, John Wiley & Sons , 1981.

HIMMELBLAU, D. M. **Process Analysis by Statistical Methods**. New York: John Wiley & Sons Inc, 1970.

LOURENÇO, P. B. **Computational Strategies for Masonry Structures**. 1996. 210f. Tese (Doctoroed) - Delft University of Technology, Netherlands, 1996.

LOURENÇO, P. B.; ROTS, J. G. Multisurface interface model for analysis of masonry structures. **JournalofEngineeringMechanics**. 1997.

MOHAMAD, G. (coordenador) **Construção em Alvenaria Estrutural: materiais, projeto e desempenho**. São Paulo:Blucher, 2015. 1.ed.

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

MOHAMAD, G.; RIZZATI, E. e ROMAN, H. R. Estudo das argamassas de revestimento aditivadas em relação as de cal. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL, 4., 2000, Juiz de Fora – MG. **Anais...** Juiz de Fora: UFJF, 2000.

Nakamura, J. A redescoberta da alvenaria estrutural. **Revista Técnica**. São Paulo:Pini. nº 75, junho de 2003.

PARSEKIAN, G.A.; SOARES, M.M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle**. São Paulo: O Nome da Rosa.1. ed., 2010.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

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

ROMAGNA, R. H. **Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SÁNCHEZ, E. **Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural**. 1.ed. Rio de Janeiro: Interciência, Cap. 3 – Gihad Mohamad, D. Sc, Eduardo Rizzatti, D. Sc.2013.

SANTOS, F. A. dos. **Efeito do não-preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria estrutural**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SCHWAAB, M.; PINTO, J. C. **Análise de Dados Experimentais I – Fundamentos de Estatística e Estimação de Parâmetros**. 1. ed. Rio de Janeiro: E-Papers, 2007. (Escola Piloto de Engenharia Química, v. 1).

THE MASONRY SOCIETY (TMS). **The Masonry Society**. Disponível em: <http://www.masonrysociety.org/html/about/awards/haller/>. Acesso em: jun. 2005.

WENDLER, A. A. **Relatório sobre alvenaria estrutural – considerações econômicas**. Disponível em: <http://www.wendlerprojetos.com.br/frame.htm>. Acesso em: jun. 2005.

APÊNDICE A

A1 – Caracterização Blocos de 14 x 19 x 14 (comprimento x altura x largura – em cm)

Tabela A1.1 – Característica Geométrica dos Blocos.





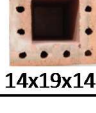
Tipologia	Medida LxHxC (cm)		MÉDIA (mm)	DESVIO PADRÃO (mm)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
FABRICANTE 1 fbk(A) 7,0 Mpa	 14x19x14	LARGURA	138,2	0,6	0,4
		ALTURA	191	1,1	0,6
		COMPRIMENTO	138,3	0,5	0,3
FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 Mpa	 14x19x14	LARGURA	138,2	0,4	0,3
		ALTURA	189,5	0,7	0,3
		COMPRIMENTO	138,3	0,5	0,3
FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 Mpa	 14x19x14	LARGURA	140,4	1,3	0,9
		ALTURA	189,7	1,4	0,7
		COMPRIMENTO	139,7	0,9	0,6
FABRICANTE 3 fbk(B) 9,0 Mpa	 14x19x14	LARGURA	138,4	1	0,8
		ALTURA	190,9	0,8	0,4
		COMPRIMENTO	140,3	1,1	0,8
FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 Mpa	 14x19x14	LARGURA	136,8	1	0,7
		ALTURA	187,2	1,1	0,6
		COMPRIMENTO	135,09	0,9	0,6

Tabela A1.2 – Resistências médias na área bruta e área líquida.

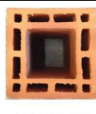
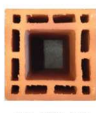



Tipologia	Medida LxHxC (cm)		RESISTÊNCIA MÉDIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO (Mpa)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
FABRICANTE 1 fbk(A) 7,0 Mpa	 14x19x14	Área Bruta - Ab (cm ²)	13,3	2,04	15,33
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	28,7	4,45	15,51
FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 Mpa	 14x19x14	Área Bruta - Ab (cm ²)	19,1	2,6	13,61
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	36,8	5,03	13,67
FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 Mpa	 14x19x14	Área Bruta - Ab (cm ²)	23,5	6,76	28,77
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	37,0	10,14	27,41
FABRICANTE 3 fbk(B) 9,0 Mpa	 14x19x14	Área Bruta - Ab (cm ²)	14,9	3,98	26,64
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	29,5	7,68	26,03
FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 Mpa	 14x19x14	Área Bruta - Ab (cm ²)	34,4	3,97	11,54
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	48,1	5,64	11,74

Tabela A1.3 – Características dos blocos cerâmicos.

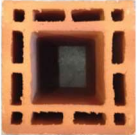
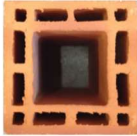


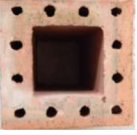
Tipologia	Medida LxHxC (cm)		MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)	
FABRICANTE 1 fbk(A) 7,0 Mpa		14x19x14	Área Bruta - Ab (cm ²)	191,18	1,1	0,56
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	88,59	6,4	7,27	
		Índice de Absorção de Água AA(%)	9,19	0,52	5,60	
		Índice de Absorção de Água Inicial - AAI (g/193,55cm ² /min)	18,98	1,13	5,95	
FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 Mpa		14x19x14	Área Bruta - Ab (cm ²)	191,08	0,9	0,48
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	99,19	0,32	0,32	
		Índice de Absorção de Água AA(%)	14,39	0,52	3,61	
		Índice de Absorção de Água Inicial - AAI (g/193,55cm ² /min)	27,32	2,14	7,83	
FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 Mpa		14x19x14	Área Bruta - Ab (cm ²)	196,11	2,6	1,34
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	124,33	0,58	0,46	
		Índice de Absorção de Água AA(%)	13,61	2,93	21,53	
		Índice de Absorção de Água Inicial - AAI (g/193,55cm ² /min)	23,36	4,86	20,80	
FABRICANTE 3 fbk(B) 9,0 Mpa		14x19x14	Área Bruta - Ab (cm ²)	194,17	2,3	1,18
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	98,35	0,50	0,51	
		Índice de Absorção de Água AA(%)	15,36	0,73	4,75	
		Índice de Absorção de Água Inicial - AAI (g/193,55cm ² /min)	31,49	3,05	9,69	
FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 Mp		14x19x14	Área Bruta - Ab (cm ²)	186,01	1,8	0,95
		Área Líquida - Aliq (cm ²)	130,26	1,64	1,26	
		Índice de Absorção de Água AA(%)	11,25	1,15	10,22	
		Índice de Absorção de Água Inicial - AAI (g/193,55cm ² /min)	17,09	2,42	14,16	

Tabela A1.4 – Módulo de Elasticidade dos blocos cerâmicos 14x19x14.

Tipologia	Medida LxHxC (cm)	Eb (GPa)
FABRICANTE 1 fbk(A) 7,0 Mpa	14x19x14	3,6
FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 Mpa	14x19x14	4,3
FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 Mpa	14x19x14	5,6
FABRICANTE 3 fbk(B) 9,0 Mpa	14x19x14	4,2
FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 Mpa	14x19x14	8,3

APÊNDICE B

B1 – Caracterização Blocos de 14x19x14 e 14x19x29 (comprimento x altura x largura – em cm)

Tabela B1.1 – Característica Geométrica dos Blocos 14x19x29cm.





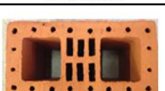

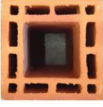


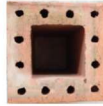
Tipologia	Geometria (foto) Medida LxHxC (cm)			MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)
FABRICANTE 1 fbk(A) 6,0 Mpa	 14x19x29	Espessura mínima das paredes (mm)	Septo	7,08	0,28	3,95
			Parede	7,69	0,75	9,75
			Parede Vazada	29,38	0,65	2,21
			Vazados	77,92	0,64	0,82
		Desvio (mm)	Em relação ao Esquadro	0,73	0,39	53,42
			Flexa	0,58	0,28	48,28
FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 Mpa	 14x19x29	Espessura mínima das paredes (mm)	Septo	6,54	0,88	13,46
			Parede	10,00	0,71	7,10
			Parede Vazada	34,31	0,75	2,19
			Vazados	68,38	0,65	0,95
		Desvio (mm)	Em relação ao Esquadro	1,27	0,48	37,80
			Flexa	0,46	0,14	30,43
FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 Mpa	 14x19x29	Espessura mínima das paredes (mm)	Septo	18,15	0,99	5,45
			Parede	24,00	0,58	2,42
			Parede Vazada	59,77	0,44	0,74
			Vazados	89,46	0,66	0,74
		Desvio (mm)	Em relação ao Esquadro	0,88	0,46	52,27
			Flexa	0,50	0	0,00
FABRICANTE 3 fbk(B) 6,0 Mpa	 14x19x29	Espessura mínima das paredes (mm)	Septo	7,70	0,73	9,48
			Parede	8,54	0,78	9,13
			Parede Vazada	29,39	0,96	3,27
			Vazados	80,23	0,83	1,03
		Desvio (mm)	Em relação ao Esquadro	1,00	0,58	58,00
			Flexa	0,54	0,14	25,93
FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 Mpa	 14x19x29	Espessura mínima das paredes (mm)	Septo	8,62	0,65	7,54
			Parede	28,23	0,73	2,59
			Parede Vazada	76,62	0,77	1,00
			Vazados	81,69	0,95	1,16
		Desvio (mm)	Em relação ao Esquadro	0,81	0,33	40,74
			Flexa	0,69	0,48	69,57

Tabela B1.2 – Característica Geométrica dos Blocos 14x19x14cm.

Tipologia	Geometria (foto) Medida LxHxC (cm)			MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)
FABRICANTE 1 fbk(A) 7,0 Mpa	 14x19x14	Espessura mínima das paredes (mm)	Septo	6,46	0,78	12,07
			Parede	7,31	0,78	10,67
			Parede Vazada	28,69	0,63	2,20
			Vazados	78,15	0,69	0,88
		Desvio (mm)	Em relação ao Esquadro	1,27	0,63	49,61
			Flexa	0,88	0,22	25,00
FABRICANTE 2 fbk(E) 7,0 Mpa	 14x19x14	Espessura mínima das paredes (mm)	Septo	7,62	0,65	8,53
			Parede	9,38	0,77	8,21
			Parede Vazada	33,31	0,75	2,25
			Vazados	71,54	1,33	1,86
		Desvio (mm)	Em relação ao Esquadro	1,31	0,33	25,19
			Flexa	0,42	0,19	45,24
FABRICANTE 2 fbk(C) 15,0 Mpa	 14x19x14	Espessura mínima das paredes (mm)	Septo	-	-	-
			Parede	23,08	1,38	5,98
			Parede Vazada	-	-	-
			Vazados	93,31	0,85	0,91
		Desvio (mm)	Em relação ao Esquadro	1,12	0,55	49,11
			Flexa	0,69	0,25	36,23
FABRICANTE 3 fbk(B) 9,0 Mpa	 14x19x14	Espessura mínima das paredes (mm)	Septo	7,46	0,52	6,97
			Parede	9,08	1,04	11,45
			Parede Vazada	28,92	0,76	2,63
			Vazados	80,23	0,6	0,75
		Desvio (mm)	Em relação ao Esquadro	1,08	0,45	41,67
			Flexa	0,65	0,32	49,23
FABRICANTE 3 fbk(D) 15,0 Mpa	 14x19x14	Espessura mínima das paredes (mm)	Septo	-	-	-
			Parede	30,31	0,95	3,13
			Parede Vazada	-	-	-
			Vazados	75,77	0,73	0,96
		Desvio (mm)	Em relação ao Esquadro	0,65	0,24	36,92
			Flexa	0,58	0,19	32,76