

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PRISMAS GRAUTEADOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA

Por

Leandro Zampieri Grohmann

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

Orientador: José Mário Doleys Soares

Santa Maria, RS, Brasil

2006

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

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

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PRISMAS
GRAUTEADOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA**

elaborada por
Leandro Zampieri Grohmann

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Professor Eduardo Rizzatti, Dr. (UFSM)

Professor Marcus Vinícius Veleza Ramires, Dr. (UNISINOS)

Santa Maria, 24 de fevereiro de 2006.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais,
Reinaldo e Evanir, minhas irmãs,
Sandra e Márcia, e à meus demais
familiares.

EPÍGRAFE

"O único homem que está isento de erros,
é aquele que não arrisca acertar."
(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Ao professor José Mario Doleys Soares pela orientação na realização deste trabalho e dedicação às atividades do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria.

Ao professor Odilon Pancaro Cavalheiro pelas importantes colaborações e orientações, fundamentais para a realização deste trabalho, e principalmente pela amizade demonstrada.

Aos professores Eduardo Rizzatti e Marcus Vinícius Veleda Ramires pela participação na banca da comissão examinadora.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural: Marcus Daniel dos Santos, Marco Antônio Pozzobon, Evandro Buriol, Rodrigo dos Santos e Fabiana Rezende.

Aos colegas do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, em especial Rodrigo Tomazetti, Fabiano Missau e Rodrigo Silveira, pelo auxílio e amizade durante o transcorrer do curso.

Ao diretor do Laboratório de Materiais de Construção Civil, Paulo Inácio Obregon do Carmo, e a seus funcionários: Emerson, João, Vitor, Marialva e Mauro.

À Cerâmica Pauluzzi pela doação dos blocos utilizados na pesquisa, demonstrando o interesse desta empresa em difundir a pesquisa tecnológica de seus produtos.

RESUMO

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

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PRISMAS GRAUTEADOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA

Autor: Leandro Zampieri Grohmann
Orientador: Prof. Dr. José Mário Doleys Soares
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 24 de fevereiro de 2006.

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o comportamento de prismas de blocos cerâmicos – grauteados, parcialmente grauteados e não-grauteados – sob a ação de cargas de compressão para que se possa analisar a influência e o desempenho do graute e buscar sua otimização. Para tanto, foram realizados ensaios experimentais de prismas com diferentes tipos de grautes e porcentagens de grauteamento.

O método de pesquisa compreendeu o ensaio de compressão axial simples de 120 prismas contrafiados de blocos cerâmicos com a utilização de dois tipos de argamassa (A1 e A2), três tipos de grautes (G1, G2 e G3) e quatro diferentes porcentagens de células grauteadas (0%, 33%, 66% e 100%), onde todos os materiais e componentes empregados foram previamente caracterizados.

Com base nos dados experimentais foi realizada uma análise dos resultados obtidos, por tipo de argamassa, tipo de graute e porcentagem de grauteamento utilizados. Para comprovar a existência de diferenças significativas entre as várias combinações de prismas ensaiados, foi feita a análise de variância da amostra ensaiada. De posse destes resultados, foram feitas comparações com resultados obtidos por outros autores.

Também observou-se, neste trabalho, os modos de ruptura dos prismas e foi constatada a influência das interações entre bloco, argamassa e graute neste comportamento.

Através da análise dos resultados pôde-se chegar a conclusões sobre o comportamento dos prismas, como: a importância da resistência da argamassa na resistência à compressão dos prismas; um aumento não significativo de resistência dos prismas ao aumentar a resistência do graute; e um ganho efetivo de resistência dos prismas somente ao terem a totalidade de suas células grauteadas.

De modo geral, conclui-se que a utilização do grauteamento parcial em painéis de alvenaria é eficiente desde que seja utilizado de forma adequada, havendo compatibilização da dosagem de traços de grautes e argamassas com as características mecânicas dos blocos utilizados.

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

ABSTRACT

Master's Thesis
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF GROUTED CLAY PRISMS FOR STRUCTURAL MASONRY

Author: Leandro Zampieri Grohmann
Advisor: Professor Dr. José Mário Doleys Soares
Place and Date: Santa Maria, February, 24th, 2006.

The main purpose of this thesis is to evaluate the behavior of clay prisms – grouted, partially grouted and ungrouted – under compression loads in order to analyze the influence and performance of the grout, as well as to seek how to optimize its applicability. For that, testing was done with different grouts and grouting ratios.

The testing was done in 120 prisms under simple axial compression load, where sets of prisms had two different types of mortar (A1 and A2), three different grouts (G1, G2 e G3) and four different ratios of grouted cavities (0%, 33%, 66% e 100%). For this testing, all the materials and components were previously characterized.

Based on experimental data, the analysis of the results was done taking into account the different sets of prisms – grouping them according to their mortar, grout and grouting ratio. The variance analysis for the sample was done in order to prove the existence of significant differences among the various group combinations. It was also performed a comparison among the data found and results gathered by other researchers.

Another investigation was done regarding the fracture behavior of prisms and the influence of interactions among block, mortar and grout was observed.

Through the analysis of the results, some of the conclusions regarding the behavior of prisms were: the importance of the mortar's strength for the compression strength of the prisms; the increase in the strength of the grout does not indicate a significant increase in the prisms' strength; the significant increase in the prisms' strength is noticed only when the totality of the prisms cavities are grouted.

Overall, the use of masonry walls with partially grouted cavities is efficient if properly used. For that, the types of grout and mortar must be suitable to and in accordance with the mechanical behavior of the blocks used.

Key words: structural masonry, clay blocks and grout .

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.01 – Modelos de prismas que podem ser utilizados experimentalmente.....	35
Figura 2.02 – Distribuições de tensões no prisma conforme o modelo de Hilsdorf....	41
Figura 2.03 – Distribuições de tensões segundo a teoria de Atkinson e Noland.....	43
Figura 2.04 – Estado de tensões segundo o modelo de Hamid e Drysdale.....	44
Figura 2.05 – Comparativo da resistência de prismas e blocos (BS 5682/78).....	49
Figura 2.06 – Resultados das resistências dos prismas (MOHAMAD, 1998).....	54
Figura 2.07 – Resultados dos prismas (SCRIVENER e BAKER, 1988).....	57
Figura 2.08 – Resultados das resistências dos prismas (KHALAF, 1996).....	59
Figura 2.09 – Resultados das resistências dos prismas (MENDES, 1998).....	60
Figura 2.10 – Resultados das resistências dos prismas (ROMAGNA, 2000).....	63
Figura 2.11 – Resultados das resistências dos prismas (ARANTES, 2003).....	64
Figura 2.12 – Resultados dos prismas (HAMID e CHANDRAKEERTHY, 1992).....	66
Figura 2.13 – Resultados de resistência à compressão (ARANTES, 2003).....	67
Figura 3.01 – Modelos de prismas com diferentes porcentagens de grauteamento..	73
Figura 3.02 – Curva granulométrica do agregado miúdo (NBR 7217/82).....	75
Figura 3.03 – Curva granulométrica do agregado graúdo (NBR 7217/82).....	77
Figura 3.04 – Bloco estrutural: largura (L), comprimento (C) e altura (H).....	79
Figura 3.05 – Seção transversal do bloco utilizado nesta pesquisa.....	80
Figura 3.06 – Modelo do prisma adotado nesta pesquisa.....	89
Figura 3.07 – Seções transversais dos prismas adotados.....	90
Figura 3.08 – Execução dos prismas.....	91
Figura 3.09 – Série de prismas após grauteamento.....	92
Figura 3.10 – Prensa hidráulica utilizada nos ensaios.....	93
Figura 3.11 – Prisma na prensa para ensaio (perfil).....	93
Figura 3.12 – Prisma na prensa para ensaio.....	94
Figura 3.13 – Prisma na prensa, após rompimento.....	94
Figura 4.01 – Comparativo de resistência dos prismas por tipo de argamassa.....	98
Figura 4.02 – Comparativo em relação ao tipo de argamassa e tipo de graute.....	99
Figura 4.03 – Comparativo de resistência dos prismas por tipo de graute.....	100
Figura 4.04 – Crescimento da resistência dos prismas em função do graute.....	101
Figura 4.05 – Comparativo dos prismas totalmente grauteados.....	102

Figura 4.06 – Comparativo dos prismas em função da resistência do graute.....	103
Figura 4.07 – Aumento de resistência em relação ao tipo de grauteamento.....	104
Figura 4.08 – Comparativo de resistências dos prismas por tipo de grauteamento.	105
Figura 4.09 – Comparativo em relação ao tipo de grauteamento utilizado.....	106
Figura 4.10 – Comparativo em relação ao tipo de graute utilizado.....	107
Figura 4.11 – Comparativo em relação à argamassa e ao tipo de grauteamento...	107
Figura 4.12 – Comparativo dos resultados deste trabalho com Arantes (2003).....	109
Figura 4.13 – Blocos utilizados nesta pesquisa e na pesquisa de Arantes (2003)..	110
Figura 4.14 – Ruptura lenta do prisma, argamassa A1.....	112
Figura 4.15 – Detalhe do fendilhamento do bloco e esmagamento da argamassa..	113
Figura 4.16 – Ruptura explosiva do prisma, argamassa A2.....	113
Figura 4.17 – Ruptura do prisma oco, fissura vertical.....	114
Figura 4.18 – Fissura vertical, prisma 100% grauteado.....	115
Figura 4.19 – Ação do graute sobre o prisma.....	116
Figura 4.20 – Detalhe da ação do graute sobre o prisma.....	116
Figura 4.21 – Graute, interface bloco/argamassa.....	117
Figura 4.22 – Prisma com graute forte, formação de pilaretes.....	118
Figura 4.23 – Ruptura de prisma com graute fraco, ruptura do graute.....	118
Figura 4.24 – Detalhe da interface bloco/graute.....	119
Figura 4.25 – Detalhe da aderência do graute com o bloco.....	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.01 – Condições mínimas de dosagem não experimental (NBR 8798/85)..	30
Quadro 2.02 – Classes de argamassa segundo a norma britânica (BS 5628/78).....	31
Quadro 2.03 – Resultados de resistência à compressão (ROMAGNA, 2000).....	62
Quadro 2.04 – Resultados de resistência à compressão (ARANTES, 2003).....	67
Quadro 2.05 – Resultados de resistência dos prismas (ROMAGNA, 2000).....	68
Quadro 2.06 – Fator parcial de segurança da norma britânica (BS 5682/78).....	71
Quadro 3.01 – Número de prismas a serem ensaiados (seis prismas por série).....	73
Quadro 3.02 – Composição granulométrica do agregado miúdo (NBR 7217/82).....	74
Quadro 3.03 – Composição granulométrica do agregado graúdo (NBR 7217/82)....	76
Quadro 3.04 – Resistência à compressão axial do cimento (NBR 7215/91).....	78
Quadro 3.05 – Resultados da resistência à compressão dos prismas (área bruta)...	95
Quadro 3.06 – Resultados da resistência à compressão dos prismas (área líquida)	95
Quadro 4.01 – Relação de resistência à compressão com a série do prisma A1.....	97
Quadro 4.02 – Fatores de eficiência dos prismas grauteados e não grauteados.....	97
Quadro 4.03 – Resultados de resistência à compressão dos prismas.....	109
Quadro 4.04 – Resultados de resistência à compressão (ARANTES, 2003).....	109
Quadro 4.05 – Valores teóricos e experimentais para os prismas.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.01 – Classe de resistência dos blocos estruturais (NBR 7171/92).....	28
Tabela 2.02 – Resultados de fatores de eficiência (GOMES, 1983).....	36
Tabela 2.03 – Resultados médios de resistência (GARCIA, 2000).....	37
Tabela 2.04 – Resultados médios de fatores de eficiência (GARCIA, 2000).....	37
Tabela 2.05 – Resultados de resistência à compressão (GARCIA, 2000).....	37
Tabela 2.06 – Fatores de eficiência dos prismas (GARCIA, 2000).....	38
Tabela 2.07 – Resultados de resistência à compressão. (ROMAGNA, 2000).....	38
Tabela 2.08 – Resultados de fatores de eficiência (ROMAGNA, 2000).....	38
Tabela 2.09 – Fatores de eficiência encontrados em outras pesquisas.....	39
Tabela 2.10 – Resultados de resistência à compressão (ROMAGNA, 2000).....	50
Tabela 2.11 – Resultados de resistência à compressão (CALÇADA, 1998).....	50
Tabela 2.12 – Resultados de resistência dos blocos (MOHAMAD, 1998).....	51
Tabela 2.13 – Resultados de resistência dos blocos (MENDES, 1998).....	51
Tabela 2.14 – Resultados médios dos blocos e prismas (RIZZATTI, 2003).....	52
Tabela 2.15 – Resultados de resistência à compressão (GOMES, 1983).....	53
Tabela 2.16 – Resultados de resistência à compressão (MOHAMAD, 1998).....	54
Tabela 2.17 – Resultados de resistência à compressão (MENDES, 1998).....	55
Tabela 2.18 – Resultados de resistência à compressão (ARANTES, 2003).....	55
Tabela 2.19 – Resultados dos prismas (CHEEMA e KLINGNER, 1986).....	56
Tabela 2.20 – Resultados dos prismas (SCRIVENER e BAKER, 1988).....	57
Tabela 2.21 – Resultados dos prismas (DHANASEKAR e KUMAR, 1994).....	58
Tabela 2.22 – Resultados de resistência dos prismas (KHALAF, 1996).....	59
Tabela 2.23 – Resultados médios de resistências à compressão (GOMES, 1983).....	59
Tabela 2.24 – Resultados médios de resistências (MENDES, 1998).....	60
Tabela 2.25 – Resultados médios de resistências (CALÇADA, 1998).....	61
Tabela 2.26 – Resultados dos prismas (CAMACHO e RODRIGUES, 1999).....	62
Tabela 2.27 – Resultados de resistência dos prismas (ARANTES, 2003).....	64
Tabela 2.28 – Resultados dos prismas (HAMID e CHANDRAKEERTHY, 1992).....	65
Tabela 2.29 – Resultados médios de resistência (GARCIA, 2000).....	66
Tabela 2.30 – Resultados médios de resistências (CHEEMA e KLINGNER, 1986).....	69
Tabela 2.31 – Resultados médios de resistências (MOHAMAD, 1998).....	69

Tabela 2.32 – Resultados médios de resistências dos blocos (MOHAMAD, 1998)..	70
Tabela 3.01 – Características físicas da areia.....	75
Tabela 3.02 – Características físicas do pedrisco.....	77
Tabela 3.03 – Características físicas do cimento.....	78
Tabela 3.04 – Massa unitária da cal.....	78
Tabela 3.05 – Dimensões do bloco estrutural.....	79
Tabela 3.06 – Dimensões médias dos blocos.....	80
Tabela 3.07 – Desvio de esquadro e flecha na face do bloco.....	80
Tabela 3.08 – Demais dimensões estudada do bloco estrutural.....	81
Tabela 3.09 – Resistências à compressão dos blocos.....	81
Tabela 3.10 – Absorção média e área líquida dos blocos.....	81
Tabela 3.11 – Índice de absorção inicial dos blocos.....	82
Tabela 3.12 – Traços adotados para as argamassas.....	82
Tabela 3.13 – Valores das massas unitárias dos materiais dos traços.....	83
Tabela 3.14 – Correção do traço da argamassa A1.....	84
Tabela 3.15 – Correção do traço da argamassa A2.....	84
Tabela 3.16 – Traços de argamassa utilizados na pesquisa.....	85
Tabela 3.17 – Parâmetros para o índice de consistência das argamassas.....	85
Tabela 3.18 – Parâmetros para a resistência à compressão das argamassas.....	85
Tabela 3.19 – Traços adotados para os grautes.....	86
Tabela 3.20 – Correção do traço do graute G1.....	87
Tabela 3.21 – Correção do traço do graute G2.....	87
Tabela 3.22 – Correção do traço do graute G3.....	87
Tabela 3.23 – Traços de graute utilizados na pesquisa.....	88
Tabela 3.24 – Parâmetros para o abatimento dos grautes.....	88
Tabela 3.25 – Traços e resistências médias à compressão dos grautes.....	89
Tabela 4.01 – Resistências à compressão utilizadas em ambas pesquisas.....	108
Tabela 4.02 – Resultados da análise de variância para prismas com diferentes tipos de argamassas e mesmas porcentagens de grauteamento.....	121
Tabela 4.03 – Resultados da análise de variância para prismas com diferentes tipos de argamassas e mesmas porcentagens de grauteamento e tipo de graute.....	121

Tabela 4.04 – Resultados da análise de variância para prismas com diferentes tipos de grautes e mesmas porcentagens de grauteamento.e tipo de argamassa.....	122
Tabela 4.05 – Resultados da análise de variância para prismas com diferentes tipos de porcentagens de grauteamento e mesmo tipo de graute e de argamassa.....	123
Tabela 4.06 – Resultados da análise de variância na comparação de prismas sem grauteamento com prismas com diferentes porcentagens de grauteamento.....	124

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – *American Society for Testing Materials*

BS – *British Standard*

BSI – *British Standard Institute*

CP-I – Cimento Portland – tipo I

CP-IV – Cimento Portland – tipo IV

CP-V – Cimento Portland – tipo V

GPDAE – Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural

IC – Índice de Consistência

IPT-SP – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

IRA – *Initial Rate of Absorption*

LMCC – Laboratório de Materiais e Construção Civil

NBR – Norma Brasileira Registrada

PPGEC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

UBC – *Uniform Building Code*

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

LISTA DE SÍMBOLOS

- a – relação da área líquida e da área bruta
- b – relação entre a área grauteada e área bruta
- F – Coeficiente de Fischer
- fa – resistência à compressão da argamassa
- falv,c – tensão máxima admissível de cálculo para a parede
- fb – resistência à compressão do bloco
- fcp – resistência à compressão de prismas
- fd – resistência de cálculo da parede
- fg – resistência à compressão do graute
- fk – resistência característica da parede
- fp – resistência à compressão do prisma
- fpg – resistência à compressão do prisma parcialmente grauteado
- ftg – resistência à compressão do prisma totalmente grauteado
- h – altura da parede
- ha – altura da junta de argamassa
- hb – altura do bloco
- L – proporção volumétrica de cal (*lime*)
- p – percentual de sólidos do bloco
- S – proporção volumétrica de areia (*sand*)
- s – espaçamento entre o centro das células grauteadas
- t – espessura da parede
- β – fator de redução de capacidade resistente
- γ_m – fator parcial de segurança
- $\bar{\delta}_c$ – massa unitária do cimento
- $\bar{\delta}_l$ – massa unitária da cal
- $\bar{\delta}_s$ – massa unitária da areia
- σ_a – tensão na argamassa
- σ_b – tensão no bloco
- σ_g – tensão no graute
- γ – massa unitária

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Propriedades dos materiais e componentes	135
APÊNDICE B – Resistências à compressão dos prismas	148
APÊNDICE C – Relações de resistências à compressão dos prismas	155

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1	Considerações iniciais	19
1.2	Objetivo geral	20
1.3	Objetivos específicos	21
1.4	Hipóteses	21
1.5	Justificativa	22
1.6	Estrutura do trabalho	23

CAPÍTULO 2 – REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

2.1	Considerações iniciais	25
2.2	Componentes e elementos da alvenaria estrutural	26
	2.2.1 Bloco estrutural	26
	2.2.2 Argamassa de assentamento	28
	2.2.3 Graute	32
	2.2.4 Prisma	34
2.3	Resistência à compressão na alvenaria	36
	2.3.1 Fator de eficiência	36
	2.3.2 Dimensionamento na alvenaria.....	40
	2.3.3 Modelos de ruptura.....	41
	2.3.4 Equações propostas para determinar a resistência na alvenaria	46
2.4	Fatores que influenciam na resistência da alvenaria	49
	2.4.1 Resistência à compressão do bloco	49
	2.4.2 Resistência à tração do bloco	51
	2.4.3 Geometria do bloco	52
	2.4.4 Resistência à compressão da argamassa	53
	2.4.5 Resistência à compressão do graute	56
	2.4.6 Porcentagem de grauteamento	65
	2.4.7 Tipo de assentamento	68
	2.4.8 Espessura da junta de argamassa	69
	2.4.9 Tipo de capeamento	70
	2.4.10 Mão-de-Obra	71

CAPÍTULO 3 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1	Considerações iniciais	72
3.2	Metodologia empregada	72
3.3	Materiais e componentes utilizados	73
3.3.1	Areia	74
3.3.2	Brita	75
3.3.3	Cimento pozolânico	77
3.3.4	Cal hidratada	78
3.3.5	Bloco estrutural	79
3.3.6	Argamassa de assentamento	82
3.3.7	Graute	86
3.4	Prismas	89
3.4.1	Execução dos prismas	91
3.4.2	Resistência à compressão	92

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1	Considerações iniciais	96
4.2	Análise dos resultados experimentais	96
4.2.1	Comparação entre argamassas	98
4.2.2	Comparação entre grautes	100
4.2.3	Comparação entre porcentagens de grauteamento	104
4.2.4	Comparação com o trabalho de Arantes (2003)	108
4.2.5	Comparação com equações propostas por outros autores.....	111
4.3	Formas de ruptura	112
4.4	Análise estatística	120
4.4.1	Comparação entre argamassas	120
4.4.2	Comparação entre grautes	122
4.4.3	Comparação entre porcentagens de grauteamento	123

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

5.1	Considerações iniciais	125
5.2	Conclusões sobre o programa experimental	125
5.3	Conclusões gerais	126
5.4	Sugestões para trabalhos futuros	127

Capítulo 1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A alvenaria foi, até o final do século XIX, o principal material utilizado na construção, em uma época em que os métodos empregados eram empíricos, intuitivos e baseados nas experiências anteriores.

Com a evolução dos estudos e aumento das necessidades de construções, no início do século passado, surgiram novos materiais para a confecção de estruturas como o concreto e o aço. Estes novos materiais apresentaram como principal vantagem a possibilidade de criação de estruturas altas e esbeltas, fato que levou a sua utilização maciça.

Estruturas de alvenaria eram utilizadas somente em construções de pequeno porte e a alvenaria, propriamente dita, tornou-se mais um elemento de fechamento do que estrutural. Como decorrência da pouca utilização, as pesquisas sobre alvenaria estrutural praticamente pararam.

A retomada dos estudos e da utilização das estruturas em alvenaria estrutural ocorreu na década de 50 quando o engenheiro suíço Paul Haller construiu um edifício de 13 pavimentos em alvenaria não armada. Um marco importante na história da alvenaria estrutural aconteceu no ano de 1966, pelo fato de ter surgido o primeiro código americano de alvenaria estrutural, o *Recommended Building Code Requirements for Engineered Brick Masonry* (POZZOBON, 2003).

No Brasil, a alvenaria estrutural começou a ser utilizada no centro do país na década de 60, alastrando-se para todas as regiões na década de 70 e consolidando-se como uma nova forma construtiva com bom desempenho. Camacho (1995) afirma que as pesquisas sobre este assunto só iniciaram-se no país no final da década de 70; no estado de São Paulo e no Rio Grande do Sul as mesmas começaram em 1983. Segundo Garcia (2000), apesar destas pesquisas terem começado tarde, muitos esforços estão sendo realizados para o perfeito domínio dessa tecnologia.

Este sistema construtivo dispensa a utilização da estrutura convencional de concreto armado e, com isto, várias vantagens são observadas: a racionalização do processo construtivo; a redução de utilização de mão-de-obra; a redução do tempo de execução; minimização das improvisações e desperdícios e, conseqüentemente, a redução de custos. Desta forma é possível racionalizar a indústria da construção civil, aumentando sua qualidade, produtividade e gerando uma economia significativa.

Estas vantagens vão ao encontro de uma grande necessidade brasileira: a diminuição do *deficit* habitacional. No país, a indústria da Construção Civil encontra-se atrelada aos mecanismos de financiamento e às condições econômicas dos consumidores potenciais. Observa-se que, devido à instabilidade econômica, os financiamentos encontram-se cada vez mais escassos e o poder de compra da população diminuiu, o que dificultou a aquisição de imóveis e aumentou o *deficit* habitacional.

Paralelamente, as pesquisas sobre o assunto também aumentaram tornando cada vez mais importante o aperfeiçoamento de ensaios de laboratório que visam determinar o comportamento mecânico da alvenaria estrutural, buscando aprimorar os critérios de dimensionamento e a técnica construtiva.

É neste contexto que este trabalho se insere. Nele será avaliado o comportamento de prismas grauteados, parcialmente grauteados e não-grauteados, de blocos cerâmicos. Através da caracterização dos materiais empregados, de ensaios de compressão axial dos prismas e análise dos resultados obtidos, busca-se otimizar a utilização do graute, visando contribuir para o aprimoramento da alvenaria estrutural como sistema construtivo.

1.2 Objetivo geral

Através da realização deste trabalho, busca-se realizar um estudo sobre a influência do graute em prismas de blocos cerâmicos, e analisar o comportamento destes prismas sob ação de cargas de compressão.

1.3 Objetivos específicos

Na avaliação do desempenho dos prismas de blocos cerâmicos busca-se, mais especificamente, atingir os seguintes objetivos:

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre a alvenaria estrutural, seu comportamento à compressão e aplicação do graute nesse sistema construtivo;
- Caracterizar os diversos materiais e componentes empregados na confecção de prismas;
- Realizar e observar o comportamento dos ensaios dos prismas de blocos cerâmicos com diferentes tipos e porcentagens de grauteamento;
- Verificar a influência da utilização do graute nos primas estudados;
- Analisar o comportamento mecânico dos prismas, sob ação de cargas de compressão;
- Analisar os resultados, comparando-os com os estudos teóricos e resultados de outros autores e buscar adequar tais resultados às teorias propostas.

1.4 Hipóteses

As hipóteses que se pretende comprovar, após a parte empírica deste estudo, são:

- As cargas de compressão que atuam sobre o prisma grauteado são distribuídas entre o graute e o conjunto bloco/argamassa, segundo leis da estática;
- Argamassa é a principal responsável pela absorção das deformações, sendo sua resistência responsável pela capacidade resistiva e modo de ruptura na alvenaria;
- Na alvenaria sob ação de cargas de compressão, os blocos encontram-se sob tensões biaxiais e o graute e a argamassa sob tensões triaxiais;
- O aumento da resistência à compressão do graute não gera um aumento proporcional na resistência da alvenaria;

- O aumento de células grauteadas não causa um aumento proporcional de resistência na alvenaria;
- A forma geométrica do bloco interfere na resistência à compressão da alvenaria;
- Necessidade de compatibilização da dosagem do graute para cada conjunto bloco/argamassa;
- Necessidade de compatibilização das deformações dos componentes (bloco, argamassa e graute), pois suas deformações diferenciais são responsáveis pela ruptura dos prismas;
- Equações utilizadas para a determinação da resistência em alvenaria não podem ser generalizadas, pois o comportamento da alvenaria depende dos módulos de elasticidade dos componentes empregados.

1.5 Justificativa

A alvenaria estrutural apresenta-se como uma grande alternativa para a redução de custos das edificações e, conseqüentemente, para a diminuição do *deficit* habitacional. Com isto, sua utilização aumentou e, nos últimos anos, várias pesquisas foram realizadas sobre o assunto.

Entre os métodos construtivos em alvenaria estrutural, é comumente usado o método da alvenaria grautada, que consiste em preencher os vazios dos blocos de concreto das paredes para aumentar a resistência da mesma.

Desta forma, este estudo justifica-se pela importância do tema e pela carência de estudos que busquem descrever a influência do graute em prismas de blocos cerâmicos, elemento este que é responsável por inúmeros benefícios a este sistema construtivo. Assim, será possível otimizar a utilização do graute e facilitar o trabalho dos calculistas, permitindo-lhe maior flexibilidade de ação, principalmente, nos seguintes casos:

- Não obrigatoriedade de utilizar em todo um andar, ou mais andares um bloco de maior resistência e maior custo em função de poucas paredes, onde o cálculo exige maior capacidade de carga, quando se teria como alternativa o grauteamento, total ou parcial, de tais paredes mais solicitadas, utilizando-se, então, um bloco de menor resistência;

- Possibilitar uma correção de deficiência de resistência à compressão dos blocos já assentados numa obra em andamento, grauteando os pontos de deficiência da capacidade de carga;
- Permitir aumentar a capacidade de suporte da alvenaria, evitando o uso de paredes mais espessas (ganho de área útil);
- Permitir a possibilidade de reforço estrutural em obras já acabadas;
- Maior flexibilidade nos projetos, permitindo maiores vãos nas peças.

Várias pesquisas já foram realizadas na verificação da influência do graute na alvenaria estrutural, entre elas destacam-se Gomes (1983), Scrivener e Baker (1988), Dhanasekar e Kumar (1994), Khalaf (1996), Mendes (1998), Calçada (1998), Camacho e Rodrigues (1999), Garcia (2000) e Romagna (2000). Hilsdorf (1967); Atckinson e Noland (1985); Hamid e Drysdale (1979); e Cheema e Klingner (1986) estudaram modelos de ruptura na alvenaria já autores como: Colville e Wolde-Tinasea (1991b), Priestley e Yuk (1984), e Hamid e Chandrakeerthy (1992) propuseram equações para a determinação da capacidade resistente de prismas. Kingsley, Tulin e Noland (1984) realizaram um vasto estudo sobre as propriedades do graute e sua aplicação.

Destaca-se, contudo, que poucos estudos como Hamid e Chandrakeerthy (1992) e Arantes (2003) foram realizados buscando uma melhor compreensão da influência do uso de diferentes tipos de graute e porcentagens de grauteamento na resistência à compressão da alvenaria estrutural. Desta forma, um dos principais elementos que se pretende pesquisar neste trabalho é exatamente o graute e sua aplicação na alvenaria com blocos cerâmicos estruturais.

1.6 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos, que procuram descrever diferentes etapas do processo de elaboração desta dissertação.

Nesta introdução, Capítulo 1, é feita uma breve introdução sobre alvenaria estrutural, descrevendo seu histórico, definindo os objetivos (geral e específicos), as hipóteses e justificando a importância deste estudo.

A revisão bibliográfica para a elaboração desta pesquisa encontra-se no Capítulo 2, que apresenta os componentes e elementos da alvenaria estrutural que

foram utilizados nessa pesquisa; aborda questões sobre a resistência na alvenaria, como seu dimensionamento e mecanismo de ruptura; e apresenta os fatores que influenciam na resistência de prismas.

O Capítulo 3 apresenta o procedimento experimental realizado, com a caracterização dos materiais e componentes utilizados e a execução de ensaios à compressão axial de primas de blocos cerâmicos. Também são apresentados nesse capítulo os resultados obtidos na pesquisa empírica.

No Capítulo 4 é feita uma análise detalhada dos resultados obtidos, observado o comportamento dos ensaios dos prismas de bloco de cerâmicos com diferentes tipos e porcentagens de grauteamento, verificando a influência da utilização do graute nos prismas estudados, analisando seu comportamento mecânico, sob ação de cargas de compressão e, por fim, comparando os resultados com os estudos teóricos e resultados de outros autores, tentando adequar tais resultados às teorias propostas.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões deste estudo e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais

Como já foi destacado na introdução deste trabalho, a alvenaria estrutural é uma forma construtiva antiga, mas no Brasil sua utilização, em maior escala, iniciou-se apenas na década de setenta e, 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.

A alvenaria estrutural tem um comportamento complexo, exigindo que se façam estudos para otimizar o emprego dos diversos materiais e componentes. Estes estudos servem para garantir a diminuição do desperdício financeiro e de recursos naturais, bem como assegurar a qualidade das edificações. Assim, para conhecer as características do elemento estrutural básico da alvenaria – a parede – é necessário fazer um estudo detalhado de suas propriedades para assegurar a qualidade, segurança e sustentabilidade das edificações.

Este capítulo tem por objetivo fazer uma revisão da literatura sobre os componentes utilizados na alvenaria estrutural, definir o que são prismas e quais os fatores que afetam na sua estrutura, apresentar as especificações técnicas que garantem resistência às edificações e tecer comentários sobre o comportamento da alvenaria a ações de cargas de compressão.

O capítulo encontra-se estruturado em três etapas: a) componentes e elementos da alvenaria estrutural, que apresenta as explicações sobre bloco estrutural, argamassa de assentamento, graute e prisma; b) resistência à compressão na alvenaria, que aborda os fatores sobre o dimensionamento de paredes de alvenaria e os mecanismos de ruptura da mesma; e c) fatores que influenciam na resistência à compressão de prismas.

2.2 Componentes e elementos da alvenaria estrutural

Os termos, materiais, componentes e elemento são definidos conforme a NBR 10837/89, onde materiais são as partes elementares da alvenaria estrutural, como a argila, a areia, a pedra, o cimento, a cal e a água; componentes são formados a partir dos materiais básicos, como blocos, argamassas e grautes; já os elementos são partes mais elaboradas constituídas da união de um ou mais componentes, como prismas, paredes, etc.

2.2.1 Bloco estrutural

Os blocos são um dos principais componentes da alvenaria estrutural, sendo conhecido como sua unidade básica, pois são eles que formam as paredes que servirão de estrutura para a edificação. Assim, sua resistência possui relação direta com a resistência das paredes e, conseqüentemente, com a resistência da construção.

Segundo a NBR 7171/92, 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. Tais características foram definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e encontram-se normatizadas e dizem respeito, principalmente, às questões relacionadas com sua forma geométrica e capacidade resistiva.

Neste trabalho foram utilizadas as normas técnicas em vigor nos anos de 2004 e 2005, período em que se realizou o procedimento experimental. Vale lembrar que em agosto de 2005 foram publicadas novas normas de alvenaria estrutural para componentes cerâmicos, a NBR 15270/05 partes 2 e 3, que, respectivamente, se referem a blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos – e blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – método de ensaio.

A realização dos ensaios de caracterização visam a padronização dos blocos utilizados em alvenaria estrutural e são feitos conforme as normas nacionais ou internacionais (na falta de normas nacionais que regulamentem o assunto).

Propriedades como: formas, dimensões, absorção de água, teor de umidade, índice de absorção inicial (IRA), resistência à tração e, principalmente, resistência à compressão são de suma importância para a qualidade e desempenho de obras em alvenaria estrutural.

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

Quanto à forma os blocos devem possuir a forma de um paralelepípedo-retângulo, podem apresentar ou não furos e suas dimensões podem variar de acordo com o que está definido na NBR 8042/92. Ainda no que se refere à forma, os blocos podem ser classificados em blocos vazados e blocos maciços, os primeiros devem possuir área vazada igual ou superior a 25% da área total.

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.

Existem vários tipos de blocos estruturais para cumprir as mais diversas funções, tanto na variação de suas formas como dos materiais com que são feitos. Em relação aos materiais, os blocos podem ser de diversos tipos, como: concreto, cerâmico, sílico-calcário e concreto celular auto-clavado.

Neste trabalho os blocos estruturais que foram utilizados nos ensaios são cerâmicos, definidos pela NBR 7171/92 como: “o bloco cerâmico é fabricado basicamente com argila, conformado por extrusão e queimado a uma temperatura que permita ao produto final atender às condições determinadas na norma”.

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

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

Assim, serão abordadas as características físicas e mecânicas para blocos cerâmicos e, conseqüentemente, utilizadas as normas para tal material. Destaca-se ainda que as normas sobre os blocos de concreto são mais completas e atuais do que as dos blocos cerâmicos; por isso, em muitos casos adota-se itens das normas de blocos de concreto para complementar a normatização de blocos cerâmicos.

Além disso, na falta de normas nacionais sobre o tema, utilizam-se as normas internacionais.

As principais características definidas nas normas, para garantir a qualidade dos blocos cerâmicos, dizem respeito a: dimensões, absorção de água, teor de umidade, índice de absorção inicial (IRA), resistência à tração e principalmente resistência à compressão.

Quanto à resistência à compressão, a NBR 7171/92 divide os blocos em sete classes, que variam de 1,0 MPa a mais de 10,0 MPa, conforme demonstra a Tabela 2.01.

Tabela 2.01 – Classe de resistência dos blocos estruturais (NBR 7171/92).

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

Observação: resistência na área bruta

2.2.2 Argamassa de assentamento

A argamassa de assentamento é, segundo a NBR 8798/85 o "elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto, garantindo distribuição uniforme de esforços". A utilização da argamassa na alvenaria estrutural tem por objetivo unir os blocos, facilitando seu assentamento através da acomodação dos mesmos às suas amarrações e, segundo Cavalheiro (1995), tem-se como função básica da junta de argamassa, a distribuição uniforme das cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos.

O *British Standards Institute* (1973) destaca que as principais funções da junta de argamassa são: unir as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais; distribuir as cargas atuantes na parede de forma uniforme, por toda a área resistente dos blocos; absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver

sujeita; selar as juntas contra a penetração de água da chuva. (SABBATINI, 1986, p.10).

Quanto aos materiais utilizados na confecção da argamassa, a NBR 8798/85 define que a argamassa deve ser composta por cimento, agregado miúdo, água e cal (ou outro material que confira plasticidade e retenção de água à mistura). Da mesma forma que nos blocos cerâmicos foram utilizadas neste trabalho as normas técnicas em vigor nos anos de 2004 e 2005, período em que se realizou o procedimento experimental.

Ainda sobre os materiais que a constituem, Müller (1989) afirma que a função do cimento Portland é fundamental já que dá resistência à argamassa e acelera seu endurecimento ao passo que a cal hidratada atua como plastificante da mistura e, assim, variando-se as quantidades de cimento e cal é possível obter argamassas com características muito diferentes.

Em relação à dosagem da argamassa, que tem como finalidade de estabelecer um traço que tenha resistência e trabalhabilidade previstas, ela pode ser feita de duas formas. Na dosagem experimental deve-se levar em conta alguns fatores como a utilização de uma relação água/cimento adequada para suprir as necessidades de resistência à compressão e durabilidade, trabalhabilidade compatível com as características dos materiais e teor de cal em relação ao cimento não deve ultrapassar o limite de 0,25. 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 na área bruta. Esta dosagem deve obedecer a proporção de materiais estabelecida no Quadro 2.01.

Pozzobon (2003) destaca que não é correto fazer uma analogia entre o concreto e a argamassa. Muito embora sejam produzidas basicamente pelos mesmos materiais, suas funções e empregos são bem diferentes, pois o concreto é por si só um elemento estrutural, enquanto a argamassa é utilizada para unir elementos que formarão a estrutura.

A argamassa pode encontrar-se em estado plástico ou em estado endurecido. No estado plástico, as propriedades mais importantes da argamassa são a trabalhabilidade, a retenção de água e a condição de assentamento. No estado endurecido são a resiliência e a resistência à compressão as características mais importantes. Assim, vários aspectos devem ser levados em conta para a qualidade

da argamassa, como: espessura, preenchimento, mão-de-obra, interface argamassa/bloco.

	Traço	Materiais				Água
		Cimento	Cal hidratada	Agregado miúdo		
				Seco	Úmido	
Argamassa	Massa	1	$\leq 0,12$	$\leq 4,0$	-	$< 0,8$
	Volume	1 saco	$\leq 10 \text{ dm}^3$	$\leq 133 \text{ dm}^3$	-	$\leq 40 \text{ dm}^3$
				-	$\leq 166 \text{ dm}^3$	$\leq 32 \text{ dm}^3$
	Por m^3 de argamassa	$\geq 400 \text{ kg}$ $\leq 600 \text{ kg}$	$\leq 60 \text{ kg}$	$\leq 1000 \text{ dm}^3$	-	$\leq 320 \text{ dm}^3$
				-	$\leq 1250 \text{ dm}^3$	$\leq 240 \text{ dm}^3$

Observação: $\gamma_{\text{cimento}} = 1350 \text{ kg/m}^3$, $\gamma_{\text{areia}} = 1450 \text{ kg/m}^3$, $\gamma_{\text{cal}} = 650 \text{ kg/m}^3$

Quadro 2.01 – Condições mínimas de dosagem não experimental (NBR 8798/85).

Sabbatini (1986) salienta que não só os materiais são importantes para a qualidade da mão-de-obra e que as argamassas de assentamento fabricadas em obra dependem muito da boa qualidade e cuidado da mão-de-obra e que quanto maior o período de mistura, melhor será a sua plasticidade.

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, tanto para mais como para menos, causam perdas na resistência da parede ou de capacidade de acomodar deformações.

O preenchimento das juntas também afeta a resistência final da parede. 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 e conforto térmico e acústico das paredes. Mesmo com o acréscimo de custo, principalmente em função da mão-de-obra, recomenda-se o preenchimento de todas as juntas de argamassa.

A aderência insuficiente entre a argamassa e o bloco prejudica todas as outras propriedades da parede resistente, tais como: resistência à compressão,

resistência ao cisalhamento, resistência à flexão, estabilidade dimensional, propriedades térmicas, resistência à transmissão sonora, resistência ao fogo, resistência à penetração de água e resistência a agentes agressivos, de modo geral (SABBATINI, 1984).

Conforme Cavalheiro (1995), as recomendações de traços podem servir de base para a definição da argamassa a ser empregada, desde que seja feita a devida adequação, através de ensaios básicos.

O emprego de traços consagrados, em volume, de normas internacionais, pode conduzir a argamassas de resistências indesejáveis à compressão, quando utilizado cimento pozolânico nas mesmas proporções de volume. Já a utilização de cimento pozolânico com traço corrigido, resultará em valores praticamente iguais aos obtidos com cimento comum para o mesmo traço em volume (PEDROSO, 2001).

Pela 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, pois a mesma tem importante função estrutural na confecção das paredes. Os aspectos mais importantes da argamassa a serem analisados são: a consistência, a retenção de água, o teor de ar incorporado e a resistência à compressão.

A norma britânica BS 5628/78 classifica a argamassa em quatro classes distintas, de acordo com a resistência que possuem, conforme pode ser visto no Quadro 2.02.

Designação	Tipos de argamassa (em volume)			Resistência média à compressão aos 28 dias (MPa)	
	ci:cal:ar	ci(alv):ar	ci:ca l:plast	Laboratório	Obra
i	1 : 0 a ¼ : 3	-	-	16	12
ii	1 : ¼ : 4 a 4½	1 : 2½ a 3½	1 : 3 a 4	6,5	4,5
iii	1 : 1 : 5 a 6	1 : 4 a 5	1 : 5 a 6	3,6	2,5
iv	1 : 2 : 8 a 9	1 : 5½ a 6½	1 : 7 a 8	1,5	1,0

Quadro 2.02 – Classes de argamassa segundo a norma britânica (BS 5628/78).

2.2.3 Graute

O graute é um concreto fluído e sua utilização é muito importante para uma obra de alvenaria estrutural, seja ela armada ou não, e um dos principais componentes que se pretende pesquisar neste trabalho.

Segundo a NBR 8798/85, o graute é um elemento que tem por finalidade preencher os vazios dos blocos e caneletas, possibilitando solidarização da armadura a estes elementos e aumento da capacidade portante. Ainda segundo a 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).

Quanto à dosagem, de acordo com a mesma norma, o graute pode ser feito com dosagem empírica ou experimental. A dosagem experimental deve ser feita por qualquer um dos métodos desenvolvidos para concreto convencional. Já a dosagem empírica só deve ser realizada nos 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 proporcionamento especificado; e a proporção entre agregados graúdos e miúdos deve ser otimizada experimentalmente com os materiais da obra.

O graute pode ser classificado de duas formas conforme a presença ou não de agregado graúdo. O graute fino é 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 4,8 mm. Recomenda-se que a escolha pelo tipo de graute seja de acordo com o tamanho dos furos a serem preenchidos, isto é, 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 transmissão de esforços graute/bloco, nos casos de alvenaria armada; absorver um pouco dos esforços verticais; e aumentar a rigidez do conjunto, principalmente quanto às cargas horizontais (GOMES, 1983).

A NBR 8798/85 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. Sobre esse assunto, Kingsley, Tulin e Noland (1984) realizaram pesquisa empírica e concluíram que a vibração mecânica é mais eficiente que a manual, mas não é suficiente para evitar fissuras por retração. Concluem também que a revibração é inútil e até mesmo indesejável.

Poucos estudos são devotados a este componente, um deles foi realizado por Gomes (1983) o qual, em ensaios realizados com paredes com e sem graute, concluiu que, para que haja uma colaboração eficaz do graute na resistência à compressão da parede, a sua resistência deve ser igual ou superior à do bloco.

Para que o graute cumpra suas funções é necessário tomar alguns cuidados no que se refere à: retração do graute, absorção (bloco/graute e graute/argamassa), altura do grauteamento, adensamento e adições. Tais cuidados são conclusões de pesquisas já realizadas sobre o assunto.

Kingsley, Tulin e Noland (1984) realizaram uma vasta pesquisa com alvenaria grauteada de blocos cerâmicos e analisaram vários parâmetros que influenciam estes fatores. Quanto à retração do graute, pela necessidade de fluidez para o preenchimento de todos os vazios da alvenaria, o graute muitas vezes apresenta água em excesso, o que aumenta a necessidade de cuidados com sua retração. Este processo pode gerar a formação de fissuras no graute, prejudicando sua capacidade de resistência à compressão.

No que se refere à absorção ente bloco e graute, os autores constataram que a perda de água do graute para o bloco, depende muito das características de absorção do bloco e do fator água/cimento do graute. Esta perda pode prejudicar as reações de hidratação do cimento no graute, gerando a formação de fissuras e vazios na interface bloco/graute. A perda de água para o bloco pode provocar o aparecimento de fissuras no graute devido a sua redução de volume. Quanto à absorção entre graute e argamassa, os pesquisadores destacam a formação de fissuras e vazios formados na interface graute/argamassa, em decorrência da alta absorção deste local. Além disto, observa-se que estes pontos são considerados frágeis na alvenaria, pela possibilidade de penetração de umidade. Por fim, na relação entre água e cimento deve-se utilizar baixas relações água/cimento, pois altas relações, além de aumentar a retração, diminui a aderência e resistência à

compressão. Um graute com baixa quantidade de água é superior a um graute com alta quantidade, em quase todas as suas propriedades.

Quanto aos agregados, na pesquisa de Kingsley, Tulin e Noland (1984), percebeu-se que grautes com agregados graúdos têm menor retração e maior aderência graute/bloco, porém em termos de resistência à compressão não foram constatadas diferenças significativas.

Por fim, no que se refere às adições, as pesquisas identificaram que o uso de superplastificante proporciona uma considerável redução no teor água/cimento e, conseqüentemente, redução da retração do graute e aumento também da sua resistência à compressão e trabalhabilidade. Além disso, concluiu-se que se torna interessante utilizar a combinação de um aditivo com ação expansiva ao superplastificante, reduzindo o aparecimento de fissuras internas do graute que são geradas pela retração.

E quanto ao acréscimo da cal, os autores argumentam que ela deve ser utilizada na argamassa para melhor hidratação do cimento, aproveitando sua capacidade de retenção de água. Sendo assim, deve também ser incluída no graute pra evitar a retração. Porém, este material deve ser usado em pequena quantidade para não afetar a armadura na alvenaria armada.

2.2.3 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 8215/83). A norma ASTM E 447-84 recomenda que os prismas devem ser formados por três blocos assentados a prumo, com duas juntas de argamassa.

Além disso, pesquisadores que já realizaram trabalhos com prismas (SABBATINI, 1984; FRANCO, 1987; MÜLLER, 1989) recomendam que as pesquisas em alvenaria empreguem os corpos de prova com 3 blocos de altura, esta recomendação foi seguida na parte empírica deste estudo.

Os estudos empíricos para verificar a resistência da alvenaria estrutural geralmente ocorrem através da análise de prismas, que são a base dos projetos estruturais, uma vez que a correlação prisma/parede é mais próxima do que a relação bloco/parede. 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”.

Segundo a NBR 8215/83 há a possibilidade de se preparar prismas de duas formas diferentes. Os prismas podem ser moldados em laboratório com diferentes tipos de argamassas, grautes e blocos. Eles também podem ser moldados em obra com os mesmos materiais e mão-de-obra que estão sendo utilizados na estrutura. Neste estudo foi utilizada a primeira forma para a preparação dos prismas.

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.

Quanto ao tamanho, os prismas podem ser confeccionados com junta a prumo, ou seja, com largura equivalente a um bloco ou com amarração, ou seja, mínimo de um bloco e meio de largura. No que se refere aos modos de assentamento, os prismas podem ter argamassa de assentamento em toda a superfície ou somente nas faces. Também podem ser ocós ou grauteados.

São vários os fatores que influenciam na resistência à compressão dos prismas, conforme será abordado no decorrer do trabalho. Deve-se tomar cuidado especial a estes fatores para que não seja feita uma análise distorcida de seus resultados.

A Figura 2.01 mostra os diferentes tipos de prismas que podem ser utilizados experimentalmente.

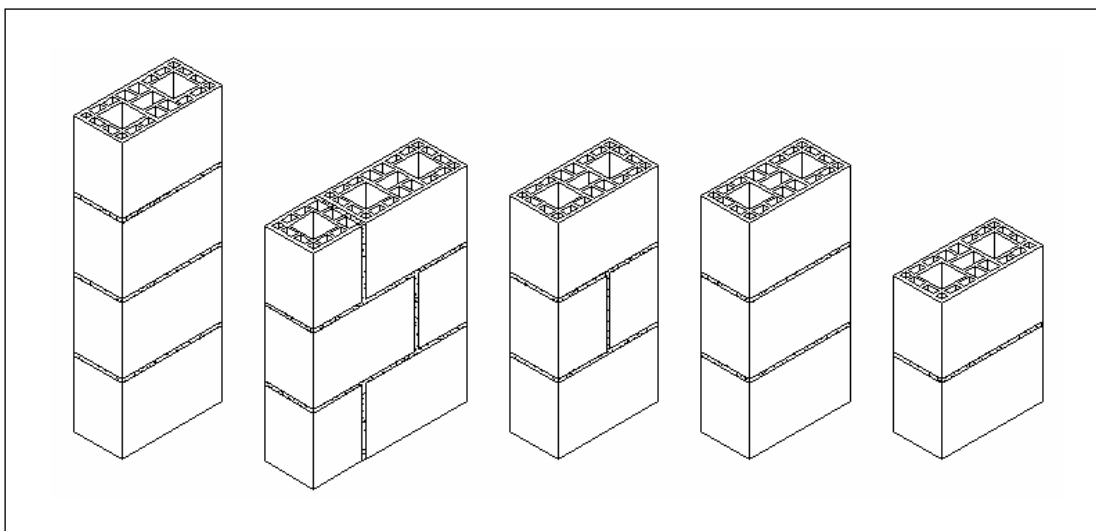


Figura 2.01 – Modelos de prismas que podem ser utilizados experimentalmente.

2.3 Resistência à compressão na alvenaria

Este item se propõe a discutir a resistência à compressão na alvenaria, comentando as relações de resistência entre blocos, prismas e paredes; estudando os critérios de cálculo adotados em estruturas de alvenaria, estipulados pelas normas brasileira e britânica; analisando os modelos de ruptura propostos por autores como: Hilsdorf (1967); Atkinson e Noland (1985); Hamid e Drysdale (1979); e Cheema e Klingner (1986); e apresentando equações formuladas para determinar a resistência à compressão de prismas, como as de Colville e Wolde-Tinasea (1991b), Priestley e Yuk (1984) e Hamid e Chandrakerthy (1992).

2.3.1 Fator de eficiência

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

Sahlin *apud* Gomes (1983) especifica que a resistência da alvenaria é cerca de 25 a 50% da resistência dos tijolos, sendo o limite inferior para ensaios realizados com argamassa de baixa resistência e o limite superior para os ensaios com argamassa de alta resistência.

Para Gomes (1983) um fator de eficiência de 0,30 é desejável para paredes de alvenaria cerâmica. Os resultados encontrados pelo autor acima, com paredes de blocos cerâmicos, são apresentados na Tabela 2.02.

Tabela 2.02 – Resultados de fatores de eficiência (GOMES, 1983).

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

Segundo Garcia (2000), através de ensaios desenvolvidos em alvenaria cerâmica pela Escola de Engenharia de São Carlos, onde foram testados blocos, prismas de dois e três blocos e paredes de 120 x 240 cm (largura x altura), pôde-se chegar aos valores dos fatores de eficiência para os componentes de acordo com os dois tipos de argamassas utilizadas. As Tabelas 2.03 e 2.04 apresentam os valores de resistência à compressão e fatores de eficiência, respectivamente.

Tabela 2.03 – Resultados médios de resistências (GARCIA, 2000).

Resistência à compressão (MPa) – área bruta				
Argamassa	Bloco	Prisma (2 blocos)	Prisma (3 blocos)	Parede (120 x 240 cm)
22,98	12,56	6,39	5,55	4,24
12,83	12,56	7,23	5,21	4,16

Tabela 2.04 – Resultados médios de fatores de eficiência (GARCIA, 2000).

Fatores de eficiência			
Bloco	Prisma (2 blocos)	Prisma (3 Blocos)	Paredes
1	0,51	0,44	0,34
1	0,58	0,41	0,33

Garcia (2000), através de sua dissertação de mestrado, determinou também as relações de resistências entre paredes, prismas e blocos para alvenaria grauteada, onde foi adotado graute de resistência média de 28,78 MPa e argamassa de 12,11 MPa, e são apresentados nas Tabelas 2.05 e 2.06.

Tabela 2.05 – Resultados de resistência à compressão (GARCIA, 2000).

Resistência à compressão (MPa) – área bruta				
Bloco oco	Bloco grauteado	Prisma (2 blocos)	Prisma (3 blocos)	Parede oca (120 x 240 cm)
15,89	17,80	11,55	10,49	4,02

Tabela 2.06 – Resultados de fatores de eficiência (GARCIA, 2000).

Fatores de eficiência – em relação ao bloco oco				
Bloco oco	Bloco grauteado	Prisma (2 blocos)	Prisma (3 blocos)	Parede oca (120 x 240 cm)
1	1,12	0,73	0,66	0,25

Em se tratando de blocos de concreto, Colville e Wolde-Tinsea (1991b) realizaram uma revisão sobre dados sobre resistência da alvenaria grauteada, e chegaram à conclusão que, devido à influência do confinamento exercido pelos pratos da prensa, os prismas com dois blocos de altura apresentaram resistência 28% superior aos de três blocos que, pela mesma causa, apresentaram resistência 8% superior aos prismas com cinco blocos.

Romagna (2000) ensaiou séries de prismas de blocos de concreto com três blocos de altura e utilizando argamassa com resistência média de 4,42 MPa e grautes com resistências de 13,88 MPa e 35,90 MPa obtendo os resultados que constam nas Tabela 2.07 e 2.08.

Tabela 2.07 – Resultados de resistência à compressão (ROMAGNA, 2000).

Resistência à compressão (MPa)			
Bloco	Prisma oco	Prisma (graute G1)	Prisma (graute G2)
10,23	7,22	12,92	18,20
15,86	9,10	14,40	19,09
16,77	9,87	15,77	20,27

Tabela 2.08 – Resultados de fatores de eficiência (ROMAGNA, 2000).

Fator de eficiência em relação ao bloco oco			
Bloco	Prisma oco	Prisma (graute G1)	Prisma (graute G2)
1	0,71	1,26	1,78
1	0,57	0,91	1,20
1	0,59	0,94	1,21

Outros autores como Arantes (2003), Mendes (1998), Calçada (1998) e Mohamad (1998) também estudaram as relações de fatores de eficiência pra prismas com blocos cerâmicos e de concreto. A Tabela 2.09 apresenta um resumo dos resultados encontrados por estes pesquisadores.

Tabela 2.09 – Fatores de eficiência encontrados em outras pesquisas.

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

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

Analisando prismas sem grauteamento com três blocos de altura, pela comparação dos resultados dos autores apresentados, notam-se valores diferenciados para os fatores de eficiência de prismas com blocos cerâmicos e de concreto. Enquanto em prismas de blocos cerâmicos os valores giram em torno de 0,35 e 0,59 nos blocos de concreto ficam entre 0,56 e 0,75, o que caracteriza uma maior eficiência dos blocos de concreto para a confecção de prismas e paredes.

De forma geral o fator de eficiência dos prismas com blocos de concreto para blocos e argamassas com resistências semelhantes aos prismas com blocos cerâmicos é aproximadamente 45% superior.

2.3.2 Dimensionamento na alvenaria

A norma brasileira para dimensionamento de paredes de alvenaria em blocos de concreto, NBR 10873/89, que é comumente utilizada também na utilização de blocos cerâmicos (pela falta de normatização para o mesmo), é baseada no método das tensões admissíveis. Utiliza a resistência característica de prismas e fatores de forma da parede para a determinação da tensão máxima de cálculo admissível da alvenaria, que é expressa pela Equação 2.1, para alvenaria não armada.

$$f_{alv,c} = 0,20 \times f_{cp} \times \{ 1 - [h / (40 \times t)]^3 \} \quad (2.1)$$

onde:

$f_{alv,c}$ – tensão máxima admissível de cálculo para a parede;

f_{cp} – resistência à compressão de prismas (2 blocos);

h – altura da parede;

t – espessura da parede.

A norma britânica BS 5628/78, que usa o método dos estados limites últimos, calcula a resistência característica à compressão da alvenaria de blocos cerâmicos baseada em tabelas pré-determinadas, que trazem as resistências características da paredes de acordo com o tipo de argamassa e blocos utilizados em sua confecção. A norma britânica leva em consideração fatores de forma da parede, como a esbeltez, e fatores de controle de qualidade dos componentes empregados e da execução da construção. A resistência da parede para cargas verticais por unidade de comprimento pode ser calculada pela Equação 2.2.

$$f_d = (\beta \times t \times f_k) / \gamma_m \quad (2.2)$$

onde:

f_d – resistência de cálculo da parede;

f_k – resistência característica da parede (tabelada);

t – espessura da parede;

β – fator de redução de capacidade resistente (tabelado);

γ_m – fator parcial de segurança (tabelado);

2.3.3 Modelos de ruptura

Para que a alvenaria desempenhe função estrutural, sua resistência à compressão é muito importante, por isso vários pesquisadores estudam modelos de ruptura. Dentre as pesquisas que analisaram a resistência dos componentes sob estado multiaxial de tensão, salienta-se os trabalhos de: Hilsdorf (1967); Atkinson e Noland (1985); Hamid e Drysdale (1979); e Cheema e Klingner (1986). Estes estudos são apresentados a seguir:

a) Modelo de Hilsdorf

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

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

A Figura 2.02 apresenta o estado de tensões gerados em prismas de alvenaria segundo o modelo estabelecido por Hilsdorf.

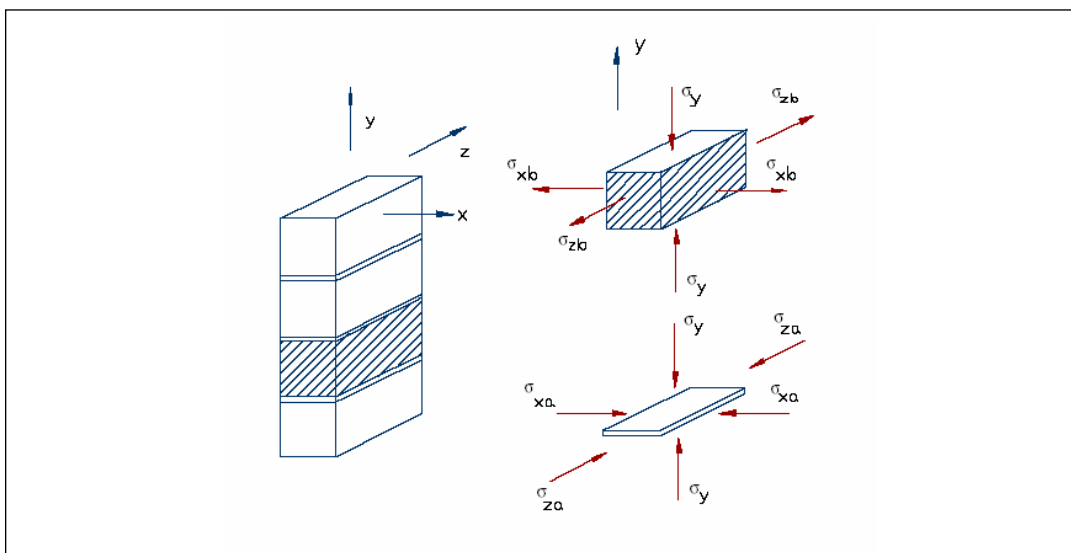


Figura 2.02 – Distribuições de tensões no prisma conforme o modelo de Hilsdorf.

Segundo Hilsdorf (1967) *apud* Gomes (1983), com a aplicação de cargas de compressão, a argamassa, com um módulo de deformação menor que o bloco, tem a tendência de se expandir lateralmente. Como há aderência entre bloco e argamassa surgem tensões de compressão triaxiais na argamassa e tensões de tração no bloco. Quando as tensões de tração no bloco ultrapassarem a sua resistência à tração ocorre fissuração na peça.

b) Modelo de Atckinson e Noland

A teoria de Atckinson e Noland (1985) foi desenvolvida relacionando propriedades de resistência e deformação de prismas submetidos a esforços de compressão. O comportamento da alvenaria é baseado na compatibilidade de deformação dos blocos e argamassas. Esta teoria é baseada no critério de Hilsdorf (1967) que considera a relação linear entre a tensão de compressão local e a resistência à tração lateral biaxial.

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

Atckinson e Noland (1985) consideram o prisma como o conjunto bloco/argamassa sujeito a uma tensão de compressão vertical uniforme, gerando tensões laterais de tração e compressão também uniformes em ambos os componentes. Este estado de tensões é mostrado na Figura 2.03.

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

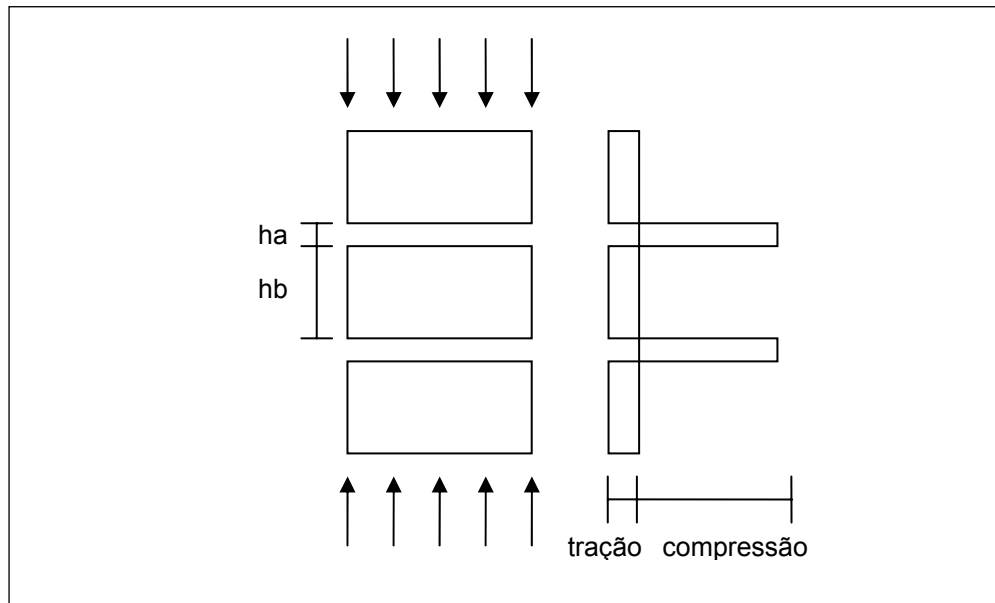


Figura 2.03 – Distribuições de tensões segundo a teoria de Atcinkson e Noland.

Os autores concluíram que, como a argamassa tem a tendência de expandir lateralmente, como é ligada mecanicamente ao bloco, ela é restringida lateralmente, surgindo tensões laterais de tração no bloco e de compressão na argamassa. A resistência dos prismas é governada pela resistência à tração dos blocos e pelas propriedades de deformação da argamassa.

Argamassas mais fortes têm um comportamento na curva tensão x deformação essencialmente linear, seus prismas fissuraram subitamente e romperam explosivamente no carregamento último, já as argamassas mais fracas apresentam um comportamento na curva tensão x deformação não-linear, têm comportamento mais dúctil ocorrendo fissuração lenta nos prismas, ou seja, de acordo com esta teoria, considerando a não linearidade da argamassa, pode ocorrer o fendilhamento do bloco ao invés do esmagamento da argamassa.

c) Modelo de Hamid e Drysdale

Hamid e Drysdale (1979) estudaram prismas grauteados de blocos de concreto e o comportamento de interação de seus componentes – o bloco a argamassa e o graute – sob estado multiaxial de tensões e desenvolveram um modelo de ruptura para a alvenaria.

Para o desenvolvimento de sua teoria os autores basearam-se nas seguintes hipóteses: aderência na interface bloco/argamassa/graute; distribuição proporcional de esforços verticais entre os componentes; distribuição uniforme de tensões ao longo da altura; teoria de ruptura de Mohr; e adoção das características do graute como sendo um concreto convencional.

Segundo os autores, ao aplicar carga à alvenaria o graute atinge sua capacidade resistente de compressão não confinado, expandindo, devido as suas deformações inelásticas ocasionadas pela microfissuração. O bloco tende a restringir estas deformações e a confinar o graute, gerando, assim, tensões de tração nas paredes dos blocos. No caso do graute não atingir a sua capacidade resistiva antes do conjunto bloco/argamassa, as faces do bloco são tracionadas ao restringirem as deformações da argamassa. Nestes casos, o bloco sempre romperá por tensões de tração geradas pela deformação dos demais componentes.

Em seus estudos empíricos Hamid e Drysdale (1979) observaram que, quando os prismas eram submetidos à compressão axial, surgiam fissuras verticais nos blocos que aumentavam em função da carga aplicada. As fissuras eram formadas devido a maior deformação lateral do graute e da argamassa em relação ao bloco.

Na Figura 2.04 é possível observar o estado de tensão gerado em um prisma grauteado no momento em que se aplica uma carga uniaxial de compressão.

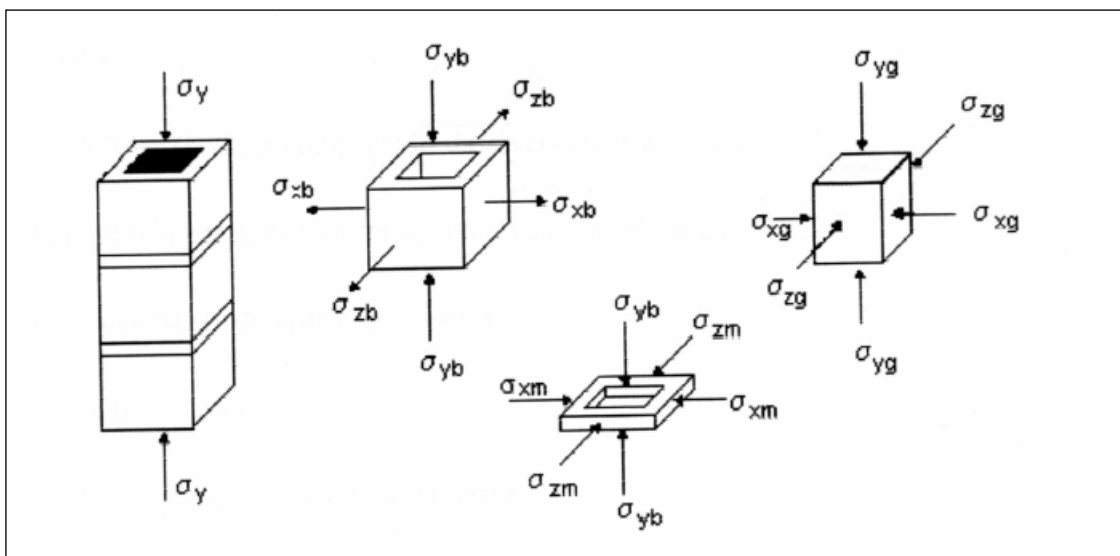


Figura 2.04 – Estado de tensões segundo o modelo de Hamid e Drysdale.

O método utilizado pelos pesquisadores para analisar a ruptura dos prismas foi o de igualar elasticamente as deformações do graute e do conjunto bloco/argamassa. Além disso, os autores partiram do pressuposto que a resistência à compressão da alvenaria grauteada ou não grauteada está em função de vários fatores como: resistência à compressão uniaxial do bloco, resistência à compressão não confinada da argamassa e do graute, módulos de deformação do graute e do bloco, proporção entre a área líquida e a área bruta do bloco, altura do bloco e espessura da junta de argamassa.

Ao final de suas pesquisas Hamid e Drysdale (1979) chegaram as seguintes conclusões: a resistência do prisma (considerando a área líquida) diminui para prismas grauteados; a influência do tipo do bloco e da argamassa diminui para prismas grauteados; a ruptura do prisma grauteado ocorre pela ruptura à tração do bloco induzida pela deformação lateral do graute; grandes aumentos na resistência dos grautes têm pouco efeito na resistência dos prismas; e a ruptura do graute governa a ruptura dos prismas.

d) Modelo de Cheema e Klingner

Cheema e Klingner (1986) realizaram ensaios com prismas de blocos de concreto, grauteados e não-grauteados, e modelagem por elementos finitos para prever a resistência e o tipo de ruptura dos prismas, baseando seu modelo na relação dos módulos de deformação da argamassa e do bloco. O objetivo principal de tal pesquisa era determinar se os prismas romperiam por tração dos blocos ou pela resistência à compressão dos demais componentes.

Em seus experimentos, os pesquisadores identificaram que os prismas não-grauteados usualmente rompem pelas tensões de tração na interface bloco/argamassa, onde há ruptura por tração no bloco, ou pelo esmagamento da argamassa, quando a máxima tensão atuante na argamassa atinge a resistência à compressão da argamassa confinada. Os prismas grauteados também rompem pela ação das tensões de tração geradas na interface bloco/argamassa e, em menor escala, pelo esmagamento dos componentes gerado pelas tensões de compressão a eles imposta pela carga aplicada.

Dessa forma, os autores constataram que a resistência à compressão para os prismas grauteados era menor do que para os prismas não-grauteados

(considerando área líquida) e, segundo eles, isso pode ser justificado pelo maior nível de tensões de tração geradas nos prismas grauteados em relação aos não-grauteados, causando ruptura prematura devido ao acréscimo de deformações laterais.

Para Cheema e Klingner (1986) existem cinco tipos de ruptura que podem ocorrer na alvenaria grauteada. Em ordem decrescente de ocorrência, os tipos de ruptura são: a) fendilhamento lateral do bloco: ocorre quando a resistência à tração do bloco é alcançada; b) esmagamento da argamassa: acontece quando a máxima tensão de confinamento é atingida pela tensão atuante na argamassa; c) esmagamento do bloco: ocorre quando é atingida a resistência à compressão do bloco; d) fendilhamento da argamassa: se dá quando é atingida a resistência à tração máxima da argamassa; e e) esmagamento do graute: acontece quando a máxima tensão atuante no graute atinge a tensão à compressão confinada no graute.

2.3.4 Equações propostas para determinar a resistência na alvenaria

Com o intuito de determinar a capacidade de resistência à compressão de prismas, vários pesquisadores desenvolveram equações baseadas em resultados de experimentos práticos. Todas as equações fazem referência às propriedades físicas e mecânicas dos componentes da alvenaria estrutural.

a) Equação de Colville e Wolde-Tinsea

Os pesquisadores Colville e Wolde-Tinsea (1991b) realizaram uma revisão sobre alvenaria grauteada de blocos de concreto e analisaram parâmetros que influenciam sua resistência à compressão, como: altura dos prismas, resistência dos blocos, tipo de argamassa e resistência do graute.

Segundo os autores a resistência à compressão na alvenaria grauteada de blocos de concreto pode ser estimada pela seguinte equação:

$$f_p = 0,60 \times \{ [(f_b \times (\%sólidos/100))] + [f_g \times (1 - \%sólidos/100)] \} \quad (2.3)$$

onde:

f_p – resistência à compressão do prisma;

f_b – resistência à compressão do bloco (área líquida);

f_g – resistência à compressão do graute;

%sólidos – porcentagem da área sólida dos blocos.

Percebe-se, na equação, que os autores não levaram em consideração a influência da resistência à compressão da argamassa, sendo que a mesma leva em consideração apenas as resistências do bloco (área líquida) e do graute, e nas áreas efetivas de atuação destes componentes.

b) Equação de Priestley e Yuk

Atkinson, Kingsley e Yan (1990) realizaram um vasto estudo com objetivo de analisar as características dos componentes da alvenaria de blocos de concreto, grauteada e não-grauteada, em relação à sua resistência à compressão. Compararam as resistências de seu banco de dados com os valores teóricos, obtidos a partir da equação de Priestley e Yuk (1984), apresentada abaixo:

$$f_p = \{ (p/1,5) \times [(0,1 \times f_b) + (\alpha \times f_a)] / (0,1 + \alpha) \} + \{ (1-a) \times 0,9375 \times f_g \} \quad (2.4)$$

sendo: $\alpha = h_a / (4,1 \times h_b)$

onde:

f_p – resistência à compressão do prisma;

f_b – resistência à compressão do bloco (área líquida);

f_g – resistência à compressão do graute;

f_a – resistência à compressão da argamassa;

p – percentual de sólidos do bloco;

h_a – altura da junta de argamassa;

h_b – altura do bloco

Priestley e Yuk (1984), incluíram em sua equação, além da resistência à compressão da argamassa, do graute e do bloco (área líquida), fatores de forma como a altura da junta de argamassa e a altura do bloco.

c) Equação de Hamid e Chandrakerthy

Hamid e Chandrakerthy (1992) realizaram ensaios de compressão axial em prismas com blocos de concreto com diferentes porcentagens de grauteamento, utilizando um único tipo de argamassa e graute. O objetivo principal do trabalho foi avaliar a capacidade de carga dos diferentes prismas contrafiados.

A partir deste estudo, para determinar a resistência teórica à compressão na alvenaria grauteada, foi proposta a seguinte equação:

$$f_{tg} = [0,64 \times f_b \times (a-b)] + [1,07 \times b \times f_g] \quad (2.5)$$

onde:

f_{tg} – resistência à compressão do prisma totalmente grauteado;

f_b – resistência à compressão do bloco (área líquida);

f_g – resistência à compressão do graute;

a – relação da área líquida e da área bruta;

b – relação entre a área grauteada e área bruta.

Segundo a equação de Hamid e Chandrakerthy a resistência à compressão do prisma é baseada na resistência do bloco (área líquida), na resistência do graute e no percentual de sólidos dos componentes.

De acordo com os resultados obtidos experimentalmente os autores formularam uma segunda equação que determina a relação dos prismas parcialmente grauteados com os totalmente grauteados, que é apresentada a seguir:

$$(f_{pg} / f_{tg}) = 1,08 - (0,01 \times s) \quad (2.6)$$

onde:

f_{tg} – resistência à compressão do prisma totalmente grauteado;

f_{pg} – resistência à compressão do prisma parcialmente grauteado;

S – espaçamento entre o centro das células grauteadas (em polegadas).

2.4 Fatores que influenciam na resistência da alvenaria

Existem vários fatores que influenciam na resistência à compressão da alvenaria, dentre os principais a serem analisados neste estudo podem ser citados: a resistência à compressão, a resistência à tração e a geometria dos blocos; a resistência à compressão da argamassa e do graute; e a porcentagem de células grauteadas. Outros fatores também influenciam no comportamento à compressão da alvenaria, como: o tipo de assentamento, a espessura da junta de argamassa, o tipo de capeamento e a mão-de-obra. A seguir são vistos um a um estes fatores.

2.4.1 Resistência à compressão do bloco

A resistência à compressão do bloco é o principal fator de influência na resistência da alvenaria, no entanto o ganho de resistência da alvenaria não é proporcional ao acréscimo de resistência ao bloco. A norma britânica BS 5628/78 estabelece parâmetros de resistência da alvenaria para o uso de diferentes tipos de blocos, como pode ser visto na Figura 2.05, onde são apresentados os valores da resistência à compressão dos prismas de acordo com os blocos (com relação largura/espessura entre dois e quatro) de diferentes resistências.

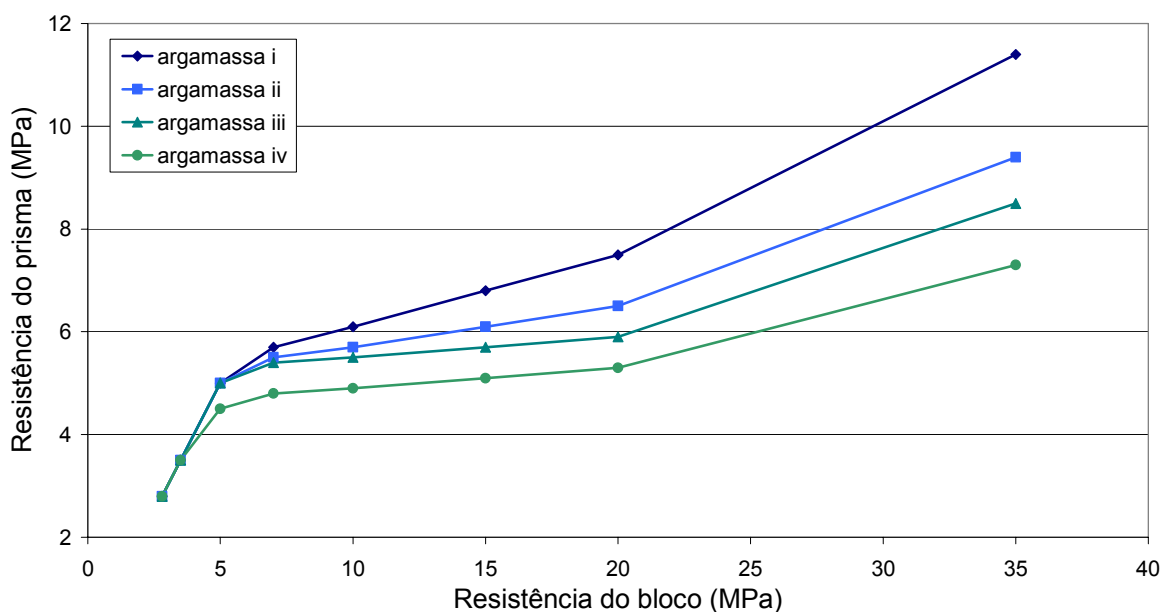


Figura 2.05 – Comparativo da resistência de prismas e blocos (BS 5682/78).

De acordo com a Figura 2.05, que apresenta o desempenho dos quatro tipos de argamassas padronizadas pela norma britânica BS 5682/78, nota-se que o aumento de resistência do bloco em 12,5 vezes gera um ganho médio de resistência no prisma de 3,25 vezes.

Romagna (2000) ao ensaiar prismas ocios com blocos de concreto com três diferentes resistências, com argamassa de resistência média de 4,42 MPa, obteve os valores mostrados na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 – Resultados de resistência à compressão (ROMAGNA, 2000).

Resistências	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3
Resistência do bloco (MPa)	10,23	15,86	16,77
Resistência do prisma (MPa)	7,22	9,10	9,87

De acordo com o experimento de Romagna (2000), ao aumentar a resistência do bloco em 64%, obteve-se um aumento na resistência dos prismas de 37%.

Calçada (1998) ensaiou prismas com seis diferentes tipos de blocos cerâmicos, com argamassa de resistência de 5,22 MPa. Os valores encontrados pela autora estão na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Resultados de resistências à compressão (CALÇADA, 1998).

	Bloco	Prisma
Bloco 1 – PF	6,89	8,91
Bloco 1 – PG	11,70	11,05
Bloco 2 – PF	11,51	12,82
Bloco 2 – PG	16,21	13,81
Bloco 3 – PF	12,61	12,51
Bloco 3 – PG	19,54	18,71

Observação: PF = parede fina, PG = parede grossa.

O aumento extremo de 183% na resistência dos blocos gerou um ganho de resistência nos prismas de 110%. Deve-se levar em conta que os diferentes tipos de blocos utilizados pela autora tem diferentes composições geométricas e relações área líquida/área bruta, fatores estes que também influenciam na resistência dos prismas.

2.4.2 Resistência à tração do bloco

Conforme exemplificado no comportamento de ruptura da alvenaria, o bloco absorve as tensões geradas pelos outros componentes da alvenaria. Estas tensões provocam tração nas paredes do bloco. Com base nisto, quanto maior for a resistência à tração do bloco, maior será a capacidade da parede de alvenaria a resistir a tensões de compressão.

Vários ensaios são realizados para determinar a resistência à tração dos blocos cerâmicos, entre eles se destaca o método de ensaio indireto de tração por compressão diametral, padronizado pela norma americana ASTM C 1006/84. Mohamad (1998) em sua dissertação de mestrado utilizou este método para a determinação da resistência à tração de blocos de concreto, mesmo método utilizado por Mendes (1998) em sua pesquisa com prismas com blocos cerâmicos. Os resultados obtidos pelos autores são apresentados nas Tabelas 2.12 e 2.13, respectivamente.

Tabela 2.12 – Resultados de resistência dos blocos (MOHAMAD, 1998).

Resistências	Bloco 1	Bloco 2
Resistência à compressão (MPa) – área bruta	10,70	15,70
Resistência à compressão (MPa) – área líquida	18,20	27,00
Resistência à tração	1,19	1,50

Tabela 2.13 – Resultados de resistência dos blocos (MENDES, 1998).

Resistências	Bloco Cerâmico
Resistência à compressão (MPa) – área bruta	22,89
Resistência à compressão (MPa) – área líquida	43,73
Resistência à tração	1,19

Sahlin *apud* Gomes (1983) sugere que a resistência à tração nos blocos cerâmicos seja em torno de 3 a 5% da sua resistência à compressão. Para os blocos de concreto adota-se a NBR 6118/04 que sugere uma resistência à tração no concreto de 10% de sua resistência à compressão.

2.4.3 Geometria do bloco

Além da forma geométrica do bloco a relação da área bruta com a área líquida do mesmo é de fundamental importância pois ambos os fatores colaboram para absorção de tensões no bloco.

Gomes (1983) constata a importância da geometria dos blocos para a resistência das paredes e observou que a ruptura começa pelas nervuras em contato com as faces externas do bloco, tal fato exemplifica uma das influências da geometria dos blocos no comportamento das paredes. Blocos com paredes mais robustas têm melhores condições de absorverem as tensões de tração geradas no mesmo.

Rizzatti (2003) salienta que, em blocos vazados, a disposição e tipos de furos podem acarretar grandes concentrações de tensões, reduzindo a resistência e conduzindo a falhas frágeis. Através de sua tese de doutorado o pesquisador determinou relações entre a forma de quatro tipos distintos de blocos e as resistências à compressão de prismas por eles formadas. A Tabela 2.14 apresenta um resumo dos resultados obtidos em sua pesquisa.

Tabela 2.14 – Resultados médios dos blocos e prismas (RIZZATTI, 2003).

Tipos de blocos	A	B	C	D
Área líquida (cm ²)	18,70	20,92	17,50	20,87
Resistência à compressão (MPa)	29,43	32,95	30,31	33,57
Resistência à tração (MPa)	1,81	1,57	1,67	1,80
Resistência dos prismas (MPa)*	10,56	13,61	11,18	11,67
Resistência dos prismas (MPa)**	12,64	15,31	12,64	13,22

Observação: Valores de resistências considerando área bruta dos prismas.

Argamassas utilizadas: * tipo ii, ** tipo iii.

Os resultados do autor comprovam que não só a distribuição geométrica dos blocos, mas também sua área líquida influenciam na resistência dos prismas. Nota-se que as séries de blocos com maiores relações de área líquida/área bruta apresentam, mesmo que sem significância estatística, maiores valores de resistência a compressão dos prismas.

2.4.4 Resistência à compressão da argamassa

A argamassa de assentamento tem importante função estrutural. Sua maior resistência possibilitará a construção de paredes mais resistentes, no entanto, estas paredes apresentarão uma ruptura excessivamente frágil e não acompanharão os eventuais movimentos da estrutura. As argamassas de baixa resistência não absorvem as imperfeições existentes nos blocos, não distribuem as tensões corretamente, apresentam menor resistência à tração, menor aderência, e sofrem desgaste se as paredes externas não são revestidas. (GOMES, 1983).

Gomes (1983) em sua dissertação de mestrado também concluiu que a resistência à compressão da argamassa de assentamento deve ser superior a 70% da resistência à compressão dos blocos, mas não deve ultrapassar a resistência à compressão dos mesmos. O mesmo autor realizou ensaios com parede de alvenaria analisando a influência do aumento da resistência da argamassa no comportamento das mesmas. A Tabela 2.15 mostra os resultados obtidos pelo pesquisador para paredes executadas com um mesmo bloco e dois diferentes tipos de argamassas.

Tabela 2.15 – Resultados de resistência à compressão (GOMES, 1983).

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

Os resultados obtidos pelo pesquisador mostram um aumento de 14% na resistência das paredes ao se aumentar a resistência da argamassa em 135%.

A própria norma britânica BS 5628/78 ao adotar tabelas para obtenção da resistência da alvenaria, leva em conta a resistência da argamassa, dividindo-a em quatro diferentes grupos (argamassas i, ii, iii e iv). A Figura 2.05 (página 49) mostra o comportamento de resistência dos painéis de alvenaria para os quatro diferentes tipos de argamassas e de acordo com a variação de resistência dos blocos utilizados.

Outros pesquisadores brasileiros estudaram a influência da argamassa na resistência à compressão de prismas. Mohamad (1998) realizou ensaios com

prismas de blocos de concreto com três blocos de altura, utilizando blocos com duas diferentes resistências e três tipos de argamassas, com resistências à compressão de 4,20 MPa, 8,63 MPa e 19,90 MPa. Os resultados obtidos pelo autor encontram-se na Tabela 2.16 e na Figura 2.06.

Tabela 2.16 – Resultados de resistência à compressão (MOHAMAD, 1998).

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

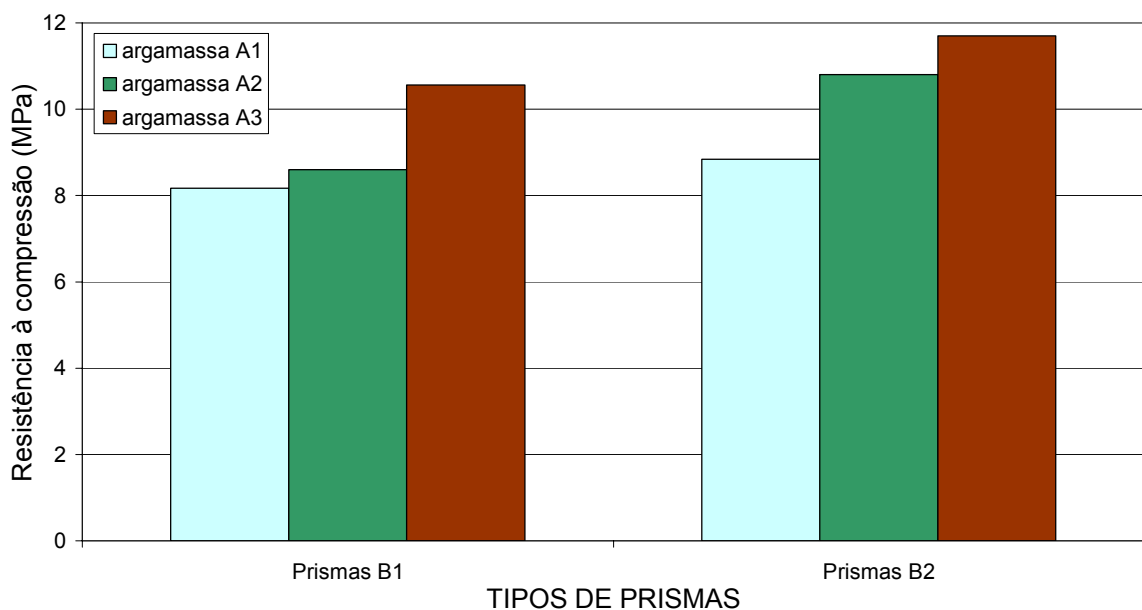


Figura 2.06 – Resultados das resistências dos prismas (MOHAMAD, 1998).

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

Mendes (1998) ensaiou prismas de blocos cerâmicos, grauteados e não grauteados, com três blocos de altura, utilizando blocos de 22,89 MPa e argamassas de 6,64 MPa e 20,18 MPa.

Uma das principais constatações do autor foi a influência do aumento da resistência da argamassa no comportamento dos prismas grauteados, otimizando a

capacidade resistente dos grautes. Seus resultados experimentais, tanto para prismas ocos como para prismas grauteados, são apresentados na Tabela 2.17.

Tabela 2.17 – Resultados de resistência à compressão (MENDES, 1998).

	Resistência à compressão (MPa)		
	Graute	Prisma A1	Prisma A2
Oco	-	8,11	12,56
G1	13,16	17,94	21,33
G2	26,70	14,66	19,53
G3	49,72	12,68	20,81

Arantes (2003) realizou pesquisa em prismas com três blocos de altura por um e meio de largura, com e sem grauteamento, utilizando bloco cerâmico com resistência de 13,08 MPa e argamassas de 6,50 MPa e 18,80 MPa. Os resultados obtidos pelo autor para prismas sem grauteamento e com a utilização de três diferentes tipos de grautes, são apresentados na Tabela 2.18.

Tabela 2.18 – Resultados de resistência à compressão (ARANTES, 2003).

	Resistência à compressão (MPa)		
	Graute	Prisma A1	Prisma A2
Oco	-	7,35	7,66
G1	8,93	11,58	13,30
G2	15,36	12,61	13,70
G3	26,66	13,59	15,25

Os resultados obtidos por Mendes (1998) para prismas ocos diferem dos resultados de Arantes (2003), enquanto o primeiro obteve um aumento de resistência dos prismas 55% ao aumentar a resistência da argamassa em 204%, o segundo obteve um ganho de 4% com o aumento da argamassa de 189%. Para prismas grauteados o ganho médio de resistência obtido por Mendes (1998) foi de 39% enquanto o de Arantes (2003) foi de 12%. Essas diferenças nos resultados obtidos pelos dois autores pode ser explicada em parte pela diferença de resistência dos blocos utilizados.

2.4.5 Resistência à compressão do graute

A utilização de grauteamento em estruturas de alvenaria estrutural se justifica por vários motivos, um deles é o aumento da capacidade de resistência à compressão dos painéis.

Vários pesquisadores estudaram a utilização de grauteamento em prismas de alvenaria e a influência do acréscimo de resistência do graute na resistência à compressão de prismas. A seguir são apresentadas algumas destas pesquisas, realizadas por autores nacionais e internacionais, que analisaram o comportamento de prismas grauteados quando submetidos a ação de cargas de compressão.

Cheema e Klingner (1986) estudaram prismas de blocos de concreto com dois blocos de altura, utilizando blocos com 25,8 MPa (área líquida) e argamassa de 12,4 MPa de resistência à compressão. Os resultados obtidos pelos autores estão na Tabela 2.19.

Tabela 2.19 – Resultados dos prismas (CHEEMA e KLINGNER, 1986).

	Resistência à compressão MPa (área líquida)	
	Graute	30,0
Prisma	13,1	15,6

Analisando os resultados obtidos percebe-se um melhor desempenho nos prismas com graute mais fraco, prismas com graute 18% inferior atingiu resistência à compressão 19% superior. Segundo os autores, isto ocorre porque o nível de tensões de tração geradas pelo graute nos prismas com graute mais forte é maior do que nos prismas com o graute mais fraco, causando ruptura prematura devido ao acréscimo de deformações laterais. Também concluíram que os prismas grauteados geralmente atingem a ruptura quando as tensões de tração na interface bloco/argamassa fendilham o bloco.

Scrivener e Baker (1988) realizaram sua pesquisa com prismas com quatro blocos de altura e utilizaram blocos cerâmicos com resistência de 15,3 MPa (área bruta) e blocos de concreto com resistências de 15,1 MPa (área bruta) e 6,6 MPa (área bruta). A argamassa adotada foi a de traço 1:1:6 com resistência de 7,0 MPa. A Tabela 2.20 apresenta os resultados obtidos pelos pesquisadores.

Tabela 2.20 – Resultados dos prismas (SCRIVENER e BAKER, 1988).

Prismas	Resistências à compressão MPa (área bruta)			
	Graute	Prisma BCe	Prisma BC1	Prisma BC2
Oco	-	10,5	8,3	5,2
G1	0,3	8,6	5,9	4,6
G2	3,0	11,8	8,1	7,3
G3	16,4	10,8	14,0	8,0
G4	22,0	13,9	11,4	7,8

Os autores constataram a influência do tipo e resistência dos blocos no comportamento à compressão dos prismas grauteados e há uma queda de resistência dos prismas grauteados com graute muito fraco em relação aos prismas ocos, em decorrência do desenvolvimento de tensões de tração nas faces dos blocos. Os resultados à compressão dos prismas estudados por Scrivener e Baker (1988) podem ser vistos na Figura 2.07.

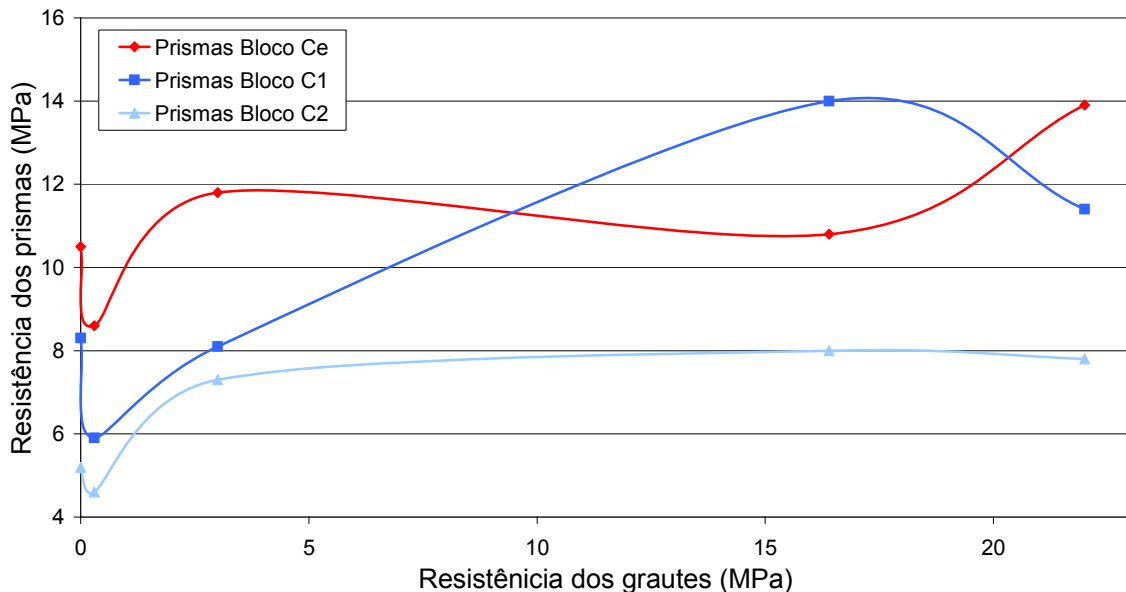


Figura 2.07 – Resultados dos prismas (SCRIVENER e BAKER, 1988).

Dhanasekar e Kumar (1994) ensaiaram prismas de blocos cerâmicos com resistência de 21,15 MPa (área bruta) com quatro blocos de altura e argamassa de traço 1:1:6 e constataram a queda de desempenho dos prismas com graute de resistência superior a resistência dos blocos na área líquida. Os resultados encontrados pelos pesquisadores estão na Tabela 2.21.

Tabela 2.21 – Resultados dos prismas (DHANASEKAR e KUMAR, 1994).

Prismas	Resistências à compressão MPa (área bruta)	
	Graute	Prisma
Oco	-	15,8
G1	16,1	14,5
G2	18,5	18,2
G3	29,0	24,4
G4	42,0	18,9

A Figura 2.08 demonstra a variação da resistência à compressão dos prismas estudados por Dhanasekar e Kumar (1994) em função do aumento de resistência dos grautes.

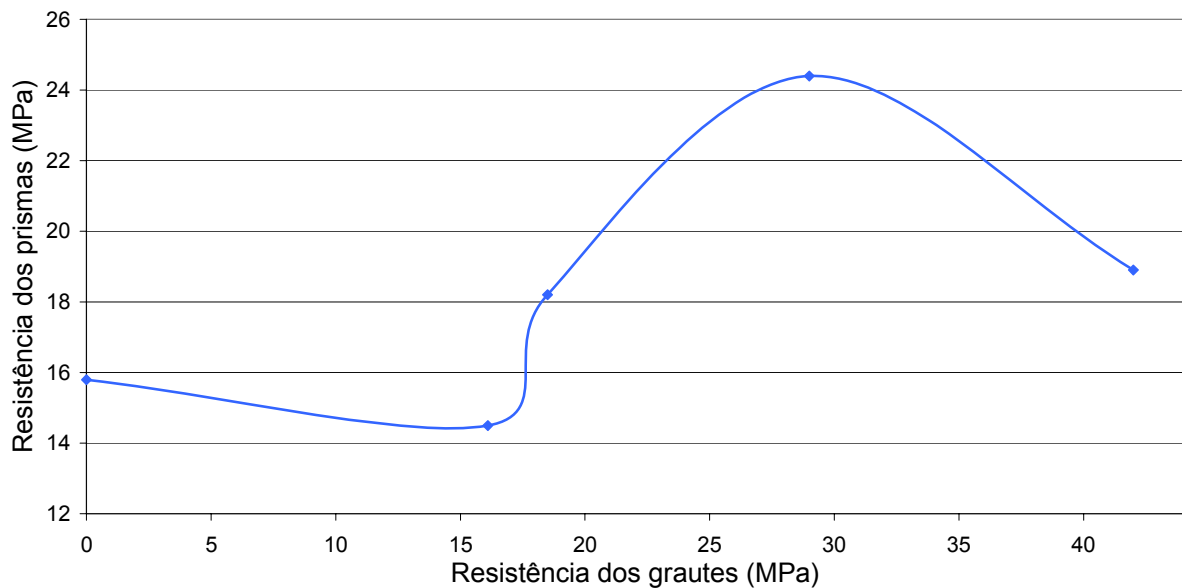


Figura 2.08 – Resultados das resistências dos prismas (KHALAF, 1996).

Khalaf (1996) pesquisou prismas de blocos de concreto. Os blocos apresentavam resistência à compressão de 20,1 MPa e utilizou argamassa de 15,4 MPa de resistência.

O autor concluiu que, em termos gerais, há um ganho, mesmo que não proporcional, na resistência à compressão do prisma com o aumento da resistência do graute. O melhor desempenho foi alcançado pelos prismas com resistências de graute próximas a do bloco, ou seja, os blocos e os grautes devem ter propriedades

de deformação semelhantes. A Tabela 2.22 apresenta os resultados do trabalho do autor.

Tabela 2.22 – Resultados de resistência dos prismas (KHALAF, 1996).

Prismas	Resistências à compressão MPa (área bruta)	
	Graute	Prisma
Oco	-	9,8
G1	8,6	13,8
G2	10,0	13,9
G3	15,7	11,4
G4	28,8	14,5
G5	32,0	17,9

Entre os pesquisadores brasileiros destaca-se o trabalho de Gomes (1983) que realizou um estudo em alvenaria armada de blocos cerâmicos. O referido autor procurou estabelecer a influência da resistência do graute nas paredes, além de analisar a utilização de emendas na armadura e o módulo de deformação dos painéis. Na parte específica de comparação entre grautes foram utilizados blocos cerâmicos de resistência à compressão de 15,3 MPa e argamassa de 4,83 MPa. Os resultados obtidos para paredes grauteadas com taxa de armadura igual a 0,2% são apresentados na Tabela 2.23.

Tabela 2.23 – Resultados médios de resistência à compressão (GOMES, 1983).

Tipo	Resistência à compressão (MPa)	
	Graute	Parede
A	-	2,47
B	3,13	2,77
C	11,23	3,08
D	14,83	3,68

Gomes (1983) concluiu que, para o graute colaborar no aumento da resistência das paredes, é necessário que sua resistência seja, no mínimo, igual a dos blocos. Nota-se que, se a resistência do graute se situa entre 3,0 e 11,0 MPa, o

aumento de resistência destas paredes é pequeno, podendo se tornar desprezível. A norma americana *Uniform Building Code* (UBC) da Califórnia, genericamente, recomenda que a resistência do graute não deva ser inferior a 13,7 MPa; para o bloco cerâmico e para o tipo de parede ensaiada. Esta recomendação se justificou experimentalmente.

Mendes (1998) descreve o comportamento mecânico de prismas grauteados e não grauteados de blocos cerâmicos com três blocos de altura. O pesquisador utilizou blocos com 22,89 MPa, dois tipos de argamassa, com 6,64 MPa e 20,18 MPa e três tipos de grautes. Os resultados obtidos no trabalho estão na Tabela 2.24 e na Figura 2.09.

Tabela 2.24 – Resultados médios de resistências (MENDES, 1998).

Prisma	Resistência à compressão (MPa)		
	Graute	Prisma A1	Prisma A2
Oco	-	8,11	12,56
G1	13,16	17,94	21,33
G2	26,70	14,66	19,53
G3	49,72	12,68	20,81

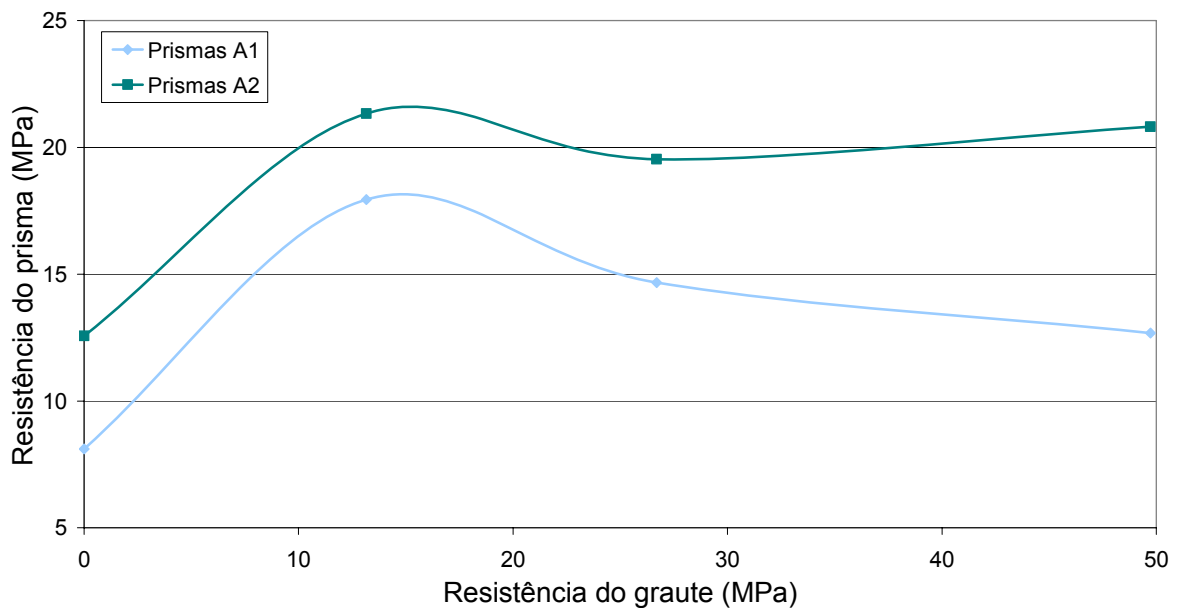


Figura 2.09 – Resultados das resistências dos prismas (MENDES, 1998).

Observando os resultados obtidos nota-se que, com a argamassa mais fraca, os prismas apresentam um melhor desempenho com grautes mais fracos; já na utilização da argamassa mais forte os prismas não apresentam resultados significativamente distintos com a variação dos grautes.

Através da análise dos resultados Mendes (1998) concluiu que os prismas que apresentaram o melhor desempenho são aqueles que são preenchidos com grautes com módulos de deformação próximos ao módulo de deformação da argamassa e próximos ao módulo de deformação dos prismas não grauteados. Foi observada uma relação de resistência ótima entre argamassa e graute de 0,5, razões menores parecem levar à diminuição de resistência à compressão e maiores não implicam em aumento da mesma.

Calçada (1998) realizou um experimento com prismas de blocos de concreto com três blocos de altura utilizando seis diferentes tipos de blocos com diferentes resistências e formas geométricas (paredes finas e grossas). Em seu trabalho foi adotada argamassa com resistência de 5,22 MPa e grautes com duas resistências, 14,95 MPa e 28,67 MPa. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.25 e descrevem o comportamento dos prismas com diferentes blocos e grautes. Através destes resultados pode-se concluir que há um crescimento da capacidade de resistência para todos os tipos de prismas com o aumento da resistência do graute. O ganho médio de resistência dos prismas para um aumento de resistência de 92% do graute foi de 27%.

Tabela 2.25 – Resultados médios de resistências (CALÇADA, 1998).

	Resistência à compressão (MPa)			
	Bloco	Prisma Oco	Prisma G1	Prismas G2
B1 – PF	6,89	8,91	16,06	22,19
B1 – PG	11,70	11,05	15,51	20,50
B2 – PF	11,51	12,82	19,66	22,66
B2 – PG	16,21	13,81	18,94	24,33
B3 – PF	12,61	12,51	16,71	23,26
B3 – PG	19,54	18,71	21,98	25,24

Camacho e Rodrigues (1999) realizaram pesquisa com prismas de blocos de concreto com três blocos de altura, utilizando blocos com resistência à compressão de 15,94 MPa e argamassa de 5,45 MPa de resistência. Observaram para um aumento de resistência do graute de 73% um ganho na resistência dos prismas de 56%. Os valores experimentais do trabalho estão na Tabela 2.26.

Tabela 2.26 – Resultados dos prismas (CAMACHO e RODRIGUES, 1999).

Prisma	Resistência à compressão (MPa)	
	Graute	Prisma
Oco	-	6,08
G1	13,08	8,00
G2	15,59	9,92
G3	22,60	12,48

Através da análise dos resultados os autores concluíram que o aumento de resistência dos grautes não gera um ganho de resistência nos prismas na mesma razão, ou seja, grautes com elevadas resistências não conduzem a um ganho de resistência da alvenaria na mesma proporção.

Romagna (2000) realizou um experimento com prismas de blocos de concreto, grauteados e não grauteados, com três blocos de altura. Os resultados encontrados estão no Quadro 2.03.

Prisma	Resistência à compressão (MPa)						
	Graute	Prisma B1		Prisma B2		Prisma B3	
		A1	A2	A1	A2	A1	A2
Oco	-	7,22	4,63	9,10	10,35	9,87	12,76
G1	7,10	9,17	5,56	11,01	10,92	11,61	11,35
G2	14,61	12,92	11,15	14,40	17,05	15,77	16,71
G3	26,85	15,50	12,90	16,48	17,84	17,12	17,07
G4	38,08	18,20	15,76	19,09	21,11	20,27	17,14

Quadro 2.03 – Resultados de resistência à compressão (ROMAGNA, 2000).

Com o intuito de estudar a influência dos componentes na resistência à compressão da alvenaria, Romagna (2000) utilizou três diferentes tipos de blocos com resistências de 8,73 MPa, 14,89 MPa e 18,08 MPa, duas argamassas, com 4,42 MPa e 7,62 MPa, e quatro diferentes tipos de grautes. Com a análise dos resultados, constatou que os melhores resultados foram obtidos para blocos e grautes com resistências aproximadamente iguais. A Figura 2.10 mostra o desempenho dos prismas estudados pelo pesquisador.

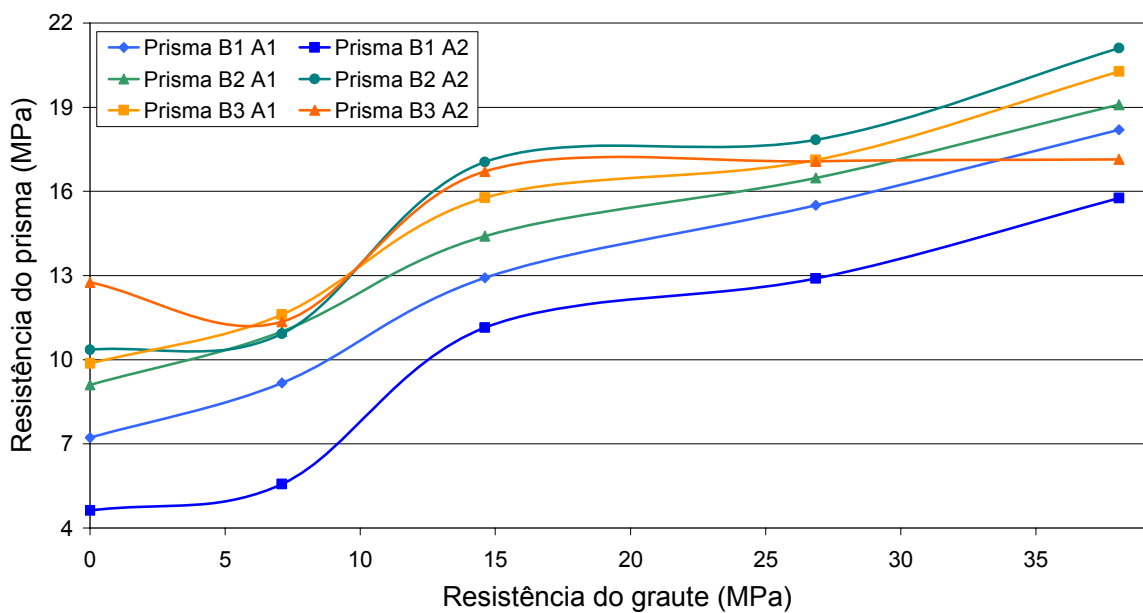


Figura 2.10 – Resultados das resistências dos prismas (ROMAGNA, 2000).

Arantes (2003) realizou sua pesquisa com o objetivo de estudar a influência do graute no aumento da capacidade de carga da alvenaria, através de ensaios de compressão de prismas contrafiados de alvenaria cerâmica, grauteados, parcialmente grauteados e não-grauteados. Os prismas foram executados com um bloco e meio de largura por três blocos de altura, utilizando bloco de 13,08 MPa de resistência à compressão, dois tipos de argamassa, com 6,50 MPa e 18,80 MPa, e três tipos de grautes.

Os resultados encontrados pelo autor, para prismas grauteados e não grauteados são mostrados na Tabela 2.27.

Tabela 2.27 – Resultados de resistência dos prismas (ARANTES, 2003).

Prisma	Resistência à compressão (MPa)		
	Graute	Prisma A1	Prisma A2
Oco	-	7,35	7,66
G1	8,93	11,58	13,30
G2	15,36	12,61	13,74
G3	26,66	13,59	15,25

Através dos resultados de Arantes (2003), percebe-se um aumento médio na resistência dos prismas de 6% quando a resistência do graute é aumentada em 72%, e um aumento médio de 16% quando se aumenta a resistência do graute em 199%, indicando que a resistência do prisma é influenciada pela resistência do graute, de forma relativamente proporcional. A Figura 2.11 mostra o desempenho dos prismas estudados pelo autor.

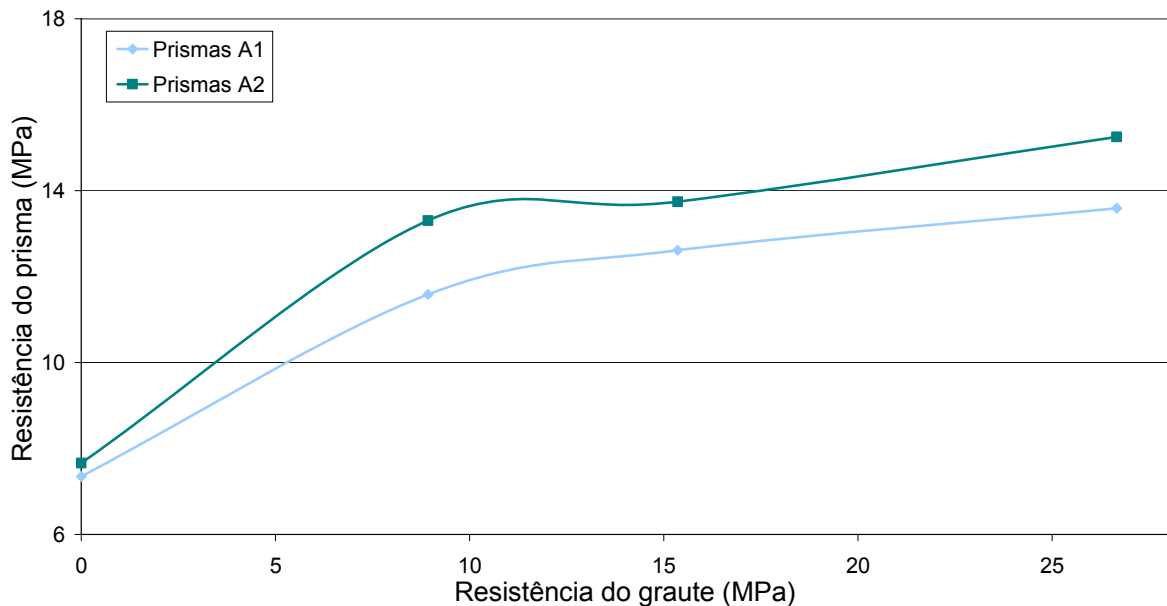


Figura 2.11 – Resultados das resistências dos prismas (ARANTES, 2003).

Com a análise dos resultados o pesquisador concluiu que o melhor desempenho foi obtido para prismas com graute de resistência aproximadamente igual a do bloco. Concluiu também que é perfeitamente viável a utilização da técnica do grauteamento da alvenaria cerâmica para ganho de resistência das estruturas.

2.4.6 Porcentagem de grauteamento

A porcentagem de células grauteadas tem influência direta no comportamento de painéis de alvenaria, alterando, entre outras coisas, a capacidade de resistência à compressão nos mesmos.

Hamid e Chandrakeerthy (1992) realizaram ensaios de compressão axial em prismas com blocos de concreto com diferentes porcentagens de grauteamento, utilizando um único tipo de argamassa e graute. O objetivo principal do trabalho foi avaliar a capacidade de carga dos diferentes prismas contrafiados. A Tabela 2.28 mostra os valores obtidos pelos pesquisadores.

Tabela 2.28 – Resultados dos prismas (HAMID e CHANDRAKEERTHY, 1992).

Grauteamento	Resistências à compressão MPa	
	Área líquida	Área bruta
Oco	15,61	5,82
25%	24,50	13,23
33%	24,93	14,79
50%	22,94	16,19
100%	17,67	17,67

No caso de grauteamento parcial, os autores acharam mais adequado analisar as cargas de ruptura em termos de área bruta, pois os esforços de compressão não se distribuem uniformemente na área líquida.

Hamid e Chandrakeerthy (1992) concluíram que a resistência à compressão dos prismas de alvenaria cresce à medida que aumenta o percentual de células grauteadas.

Analisando os resultados obtidos pelos pesquisadores percebe-se um ganho de resistência no prisma de 202% ao grauteá-lo totalmente, e que o prisma com 50% de suas células grauteadas tem uma resistência 178% maior do que o prisma oco. Outro aspecto importante percebido é a aumento não proporcional de resistência à compressão em função da porcentagem de células grauteadas. A Figura 2.12 apresenta um gráfico comparativo dos resultados experimentais da pesquisa.

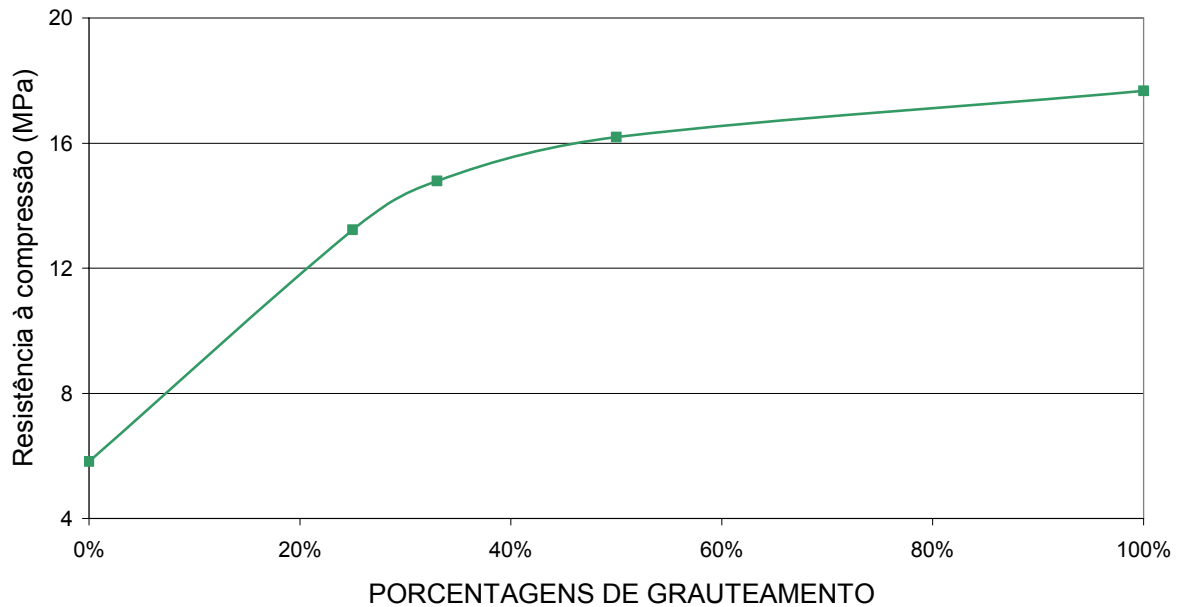


Figura 2.12 – Resultados dos prismas (HAMID e CHANDRAKEERTHY, 1992).

Garcia (2000) realizou ensaios com paredes de alvenaria cerâmica e também constatou o ganho de capacidade de resistência à compressão destes painéis com o aumento de porcentagem de células grauteadas. A pesquisadora ensaiou paredes com dimensões de 120 x 240 (altura x comprimento), utilizando blocos com resistência à compressão de 15,89 MPa, argamassa e graute com 12,10 MPa e 28,77 MPa, respectivamente. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 2.29.

Tabela 2.29 – Resultados médios de resistências (GARCIA, 2000).

Resistências à compressão (MPa)			
Bloco	Parede Oca	Parede 50%	Parede 75%
15,89	4,02	6,71	7,39

Através da análise dos resultados encontrados por Garcia (2000) conclui-se que as paredes com 50% de suas células grauteadas apresentam uma resistência 67% maior do que as paredes ocas, e que as paredes com 75% de grauteamento têm resistência 83% maior do que as paredes ocas. Estes valores sugerem uma certa linearidade na relação porcentagem de células grauteadas x resistência à compressão da parede.

Arantes (2003), em sua dissertação de mestrado, ensaiou prismas contrafiados de blocos cerâmicos com três blocos de altura, utilizando diversos tipos de porcentagens de grauteamento. Em sua pesquisa utilizou blocos de 13,08 MPa de resistência à compressão, dois tipos de argamassas, com 6,50 MPa e 18,80 MPa, e três tipos de grautes, com 8,93 MPa, 15,36 MPa e 26,66 MPa. Os resultados obtidos pelo autor são apresentados no Quadro 2.04.

grautes	Resistências à compressão dos prismas (MPa)							
	oco		33%		50%		100%	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
G1	7,35	7,66	8,07	8,65	8,04	9,34	11,58	13,30
G2			8,85	8,48	8,81	9,47	12,61	13,74
G3			8,67	8,93	8,33	10,06	13,59	15,25

Quadro 2.04 – Resultados de resistência à compressão (ARANTES, 2003).

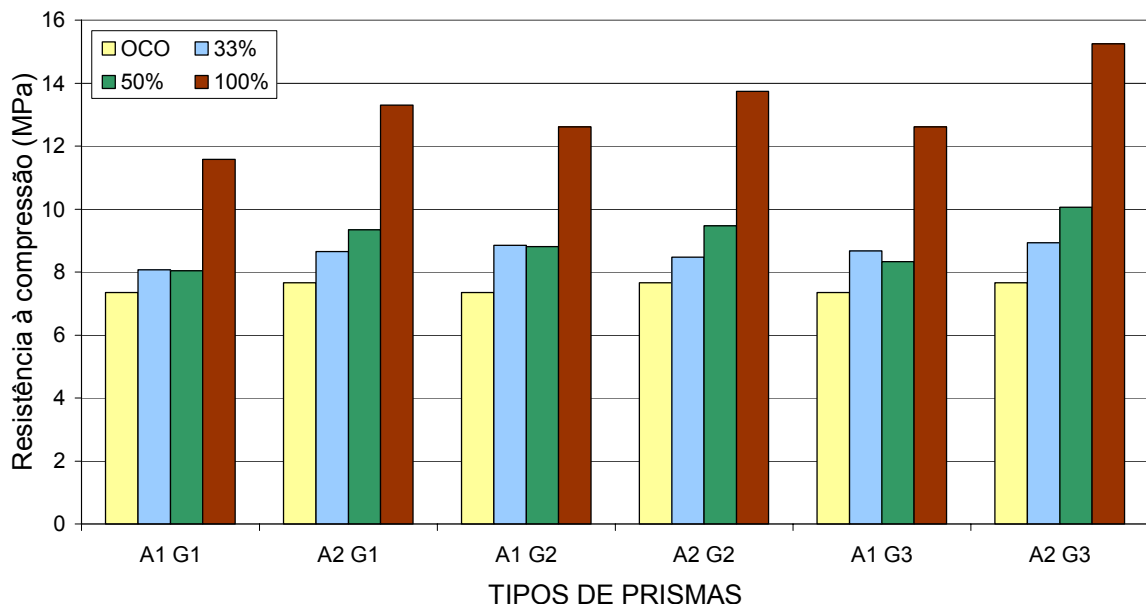


Figura 2.13 – Resultados de resistência à compressão (ARANTES, 2003).

Através de seu estudo, Arantes (2003) identificou um desempenho médio dos prismas totalmente grauteados é 75% superior aos prismas ocios, sendo os prismas com 50% das células grauteadas 20% mais eficientes que os prismas ocios, conforme pode ser visto na Figura 2.13.

2.4.7 Tipo de assentamento

A utilização de juntas de argamassa tanto verticais como horizontais, transversais e longitudinais alteram, além de outras propriedades da alvenaria, a resistência à compressão. No caso de prismas, a ausência de argamassa nas paredes transversais da face de assentamento do bloco, provoca concentração de tensões nas paredes laterais dos blocos, causando redução na capacidade resistiva.

Romagna (2000) realizou um experimento em prismas com blocos de concreto utilizando a junta totalmente argamassada (assentamento total) e somente com as paredes longitudinais do bloco argamassada (assentamento lateral). Os resultados obtidos pelo autor são apresentados no Quadro 2.05. O autor utilizou dois tipos de argamassas, com resistências de 4,42 e 7,62 MPa e três tipos de blocos com resistência de 8,73, 14,89 e 18,08 MPa.

Bloco	Argamassa	Resistência à compressão dos prismas (MPa) – área bruta	
		Assentamento Total	Assentamento Lateral
B1	A1	7,22	4,24
	A2	4,63	5,13
B2	A1	9,10	6,69
	A2	10,35	7,26
B3	A1	9,87	8,65
	A2	12,76	9,92

Quadro 2.05 – Resultados de resistência dos prismas (ROMAGNA, 2000).

De acordo com a tabela apresentada percebe-se uma redução média de 22% na resistência à compressão dos prismas quando adotado o assentamento lateral em detrimento do total.

2.4.8 Espessura da junta de argamassa

A espessura da junta de argamassa é um fator que altera a capacidade de resistência e de acomodar tensões da alvenaria. A NBR 8215/83 especifica a espessura da junta de 10 mm, com tolerância de mais ou menos 3 mm; valores fora deste padrão prejudicam o desempenho das paredes.

Cheema e Klingner (1986) realizaram ensaios com prismas de blocos de concreto com resistência de 25,8 MPa e argamassa com resistência de 14,9 MPa, utilizando duas espessuras de junta de argamassa, uma com 10,0 mm e outra com 12,7 mm. Os autores perceberam uma redução de resistência nos prismas de 39% quando utilizada a junta mais espessa, conforme pode se visto na Tabela 2.30.

Tabela 2.30 – Resultados médios de resistências (CHEEMA e KLINGNER, 1986).

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

Mohamad (1998) também ao ensaiar prismas, com diferentes espessuras de juntas de argamassa, com blocos de concreto de resistência de 15,67 MPa e argamassa com resistência média de 5,15 MPa, obteve prismas com os valores de resistência à compressão que se encontram na Tabela 2.31.

Tabela 2.31 – Resultados médios de resistências (MOHAMAD, 1998).

Espessura da junta (mm)	Resistência do prisma (MPa)
7	11,70
10	8,84

Mesmo com o aumento de resistência do prisma com juntas de menores espessuras, a capacidade da argamassa de acomodar tensões pode ficar comprometida.

2.4.9 Tipo de capeamento

O capeamento de prismas de alvenaria se torna importante na medida que ele propicia uma melhor distribuição de tensões, tornando suas superfícies regulares. Segundo a NBR 6461/83 as faces devem estar devidamente regularizadas e, tanto quanto possível, paralelas. O capeamento deve ser feito com pasta de cimento com resistência superior à do bloco e com espessura de 2 a 3 mm.

Outro fator importante é a influência do confinamento dos pratos da prensa, que pode ser minimizado de acordo com o tipo de capeamento. Mohamad (1998), para comparar a influência do tipo de capeamento na resistência à compressão de blocos de concreto, realizou um experimento utilizando quatro tipos distintos de capeamento: à base de cimento, à base de cimento com aplicação de molicote, à base de cimento com camada de grafite e sem capeamento. Os resultados encontrados pelo autor são apresentados na Tabela 2.32. O autor utilizou em sua pesquisa blocos com resistência à compressão de 10,70 e 15,70 MPa.

Tabela 2.32 – Resultados médios de resistências dos blocos (MOHAMAD, 1998).

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

Podem-se notar valores muito próximos se compararmos a utilização do capeamento com base de cimento em relação aos blocos sem capeamento. Já a aplicação do molicote a base de cimento ou de camada de grafite prejudica a resistência dos blocos, pois minimizam os efeitos de confinamento dos pratos da prensa.

2.4.10 Mão-de-obra

A mão-de-obra é um fator muito importante na resistência à compressão da alvenaria. O despreparo da mão-de-obra pode ocasionar problemas de execução como: execução incorreta de mistura de grautes e argamassas, erros no preenchimento e espessuras das juntas, perda de alinhamento, nível e prumo, entre outros

Segundo Monk *apud* Gomes (1983) devido a melhora da mão-de-obra pode-se chegar a um aumento de 100% na resistência das paredes. Já o *National Bureau of Standards* realizou experiências construindo paredes por pedreiros diferentes, com e sem fiscalização. Houve um ganho de 30 a 60% na resistência das paredes construídas com fiscalização (GOMES, 1983).

A própria norma britânica BS 5682/78 ao incluir o fator parcial de segurança, adota critérios de controle de execução no dimensionamento de paredes de alvenaria. O Quadro 2.06 apresenta estes fatores parciais de segurança.

		Controle de execução das unidades	
		especial	normal
Controle da construção	especial	2,5	2,8
	normal	3,1	3,5

Quadro 2.06 – Fator parcial de segurança da norma britânica (BS 5682/78).

De acordo com a norma, como estes fatores são inversamente proporcionais à resistência dos painéis, pode-se concluir que um controle adequado tanto na produção quanto na execução da alvenaria pode aumentar em até 40% a eficiência das paredes.

Capítulo 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Considerações iniciais

Conforme descrito no Capítulo 1, com a finalidade de analisar a influência do graute na resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos, este trabalho aborda ensaios de resistência à compressão axial simples de prismas de blocos cerâmicos contrafiados com diferentes tipos de argamassas e grautes, bem como diferentes porcentagens de grauteamento. Para tanto, foram realizados ensaios experimentais com quatro diferentes tipos de porcentagens de grauteamento (0%, 33%, 66% e 100% grauteado) combinados com três diferentes tipos de grautes (G1, G2 e G3) e dois diferentes tipos de argamassas (A1 e A2).

Além da metodologia adotada para a execução destes ensaios, este capítulo descreve também sobre os procedimentos adotados na moldagem e execução dos prismas e sobre os ensaios realizados para caracterização física e mecânica dos materiais e componentes utilizados em sua confecção. Também são descritos critérios para a conversão de traços e métodos de produção das argamassas e grautes.

Os resultados da caracterização dos materiais e componentes também são apresentados neste capítulo, e aqueles dos ensaios de resistência à compressão dos prismas bem como o seu modo de ruptura, por constituírem na parte mais importante deste trabalho, serão apresentados em um capítulo a parte onde será realizada uma análise detalhada de seus resultados.

3.2 Metodologia empregada

Na realização desta pesquisa foram ensaiados, à compressão axial simples, 120 prismas de blocos cerâmicos, contrafiados, de três fiadas de altura, com diferentes porcentagens de grauteamento e diferentes tipos de argamassas e grautes. O Quadro 3.01 apresenta o número de prismas ensaiados por tipo de

prisma e a Figura 3.01 mostra o modelo dos prismas com suas diferentes porcentagens de grauteamento.

Argamassa	Sem graute	Graute	33% grauteado	66% grauteado	100% grauteado
A1	6	G1	6	6	6
		G2	6	6	6
		G3	6	6	6
A2	6	G1	6	6	6
		G2	6	6	6
		G3	6	6	6

Quadro 3.01 – Número de prismas a serem ensaiados (seis prismas por série).

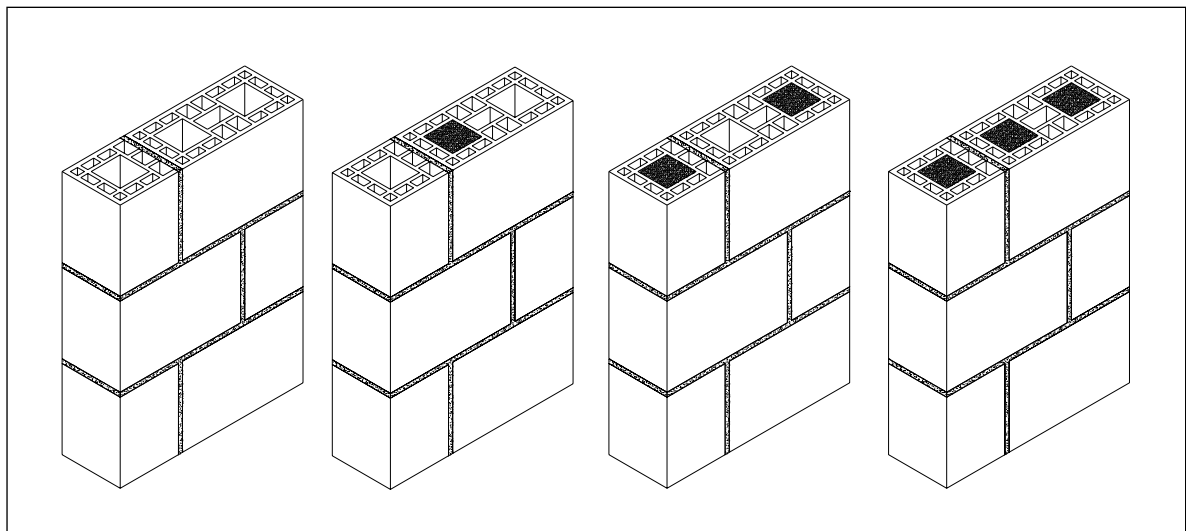


Figura 3.01 – Modelos de prismas com diferentes porcentagens de grauteamento.

3.3 Materiais e componentes utilizados

A seguir, são caracterizados separadamente os materiais (areia, pedrisco cimento e cal), os componentes (bloco, argamassa e graute), e os elementos (prismas) empregados nesta pesquisa, para que fiquem melhor definidas as suas propriedades na alvenaria estrutural.

3.3.1 Areia

A areia utilizada neste trabalho é comercialmente denominada de areia média, de origem natural, e extraída do rio Vacacaí-Mirim, na região central do Rio Grande do Sul. O material foi recebido em um único lote e ensacado. Para a sua aplicação nos ensaios, a areia foi seca em estufa e devidamente armazenada em sacos plásticos. O material foi caracterizado de acordo com as normas brasileiras específicas para este agregado. Dentre as principais propriedades estudadas deste material estão a composição granulométrica, o módulo de finura, o diâmetro máximo, a massa unitária solta e a massa específica.

A determinação da composição granulométrica foi feita de acordo com a NBR 7217/82, conforme mostra o Quadro 3.02 e a Figura 3.02. Esta areia é classificada como agregado miúdo, encontrando-se na Zona 2 (areia fina) próxima ao limite inferior da Zona 3 (areia média), conforme sua curva granulométrica.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR 7217								
Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		% Retida Média	% Retida Média	
Nº	mm	Retido (g)	% Retida	Retido (g)	% Retida			
3/8"	9,5	0,0	0%	0,0	0%	0%	0%	
1/4"	6,3	4,5	0%	2,5	0%	0%		0%
4	4,8	25,0	2%	3,0	0%	1%	2%	
8	2,4	18,5	2%	17,5	2%	2%	3%	
16	1,2	66,5	6%	64,5	6%	6%	9%	
30	0,6	245,0	21%	268,0	24%	23%	31%	
50	0,3	479,5	42%	435,0	39%	40%	71%	
100	0,15	205,5	18%	237,0	21%	19%	91%	
Fundo	<0,15	106,5	9%	102,0	9%	9%		
Total		1.151,0	100%	1.129,5	100%	100%	100%	

Quadro 3.02 – Composição granulométrica do agregado miúdo (NBR 7217/82).

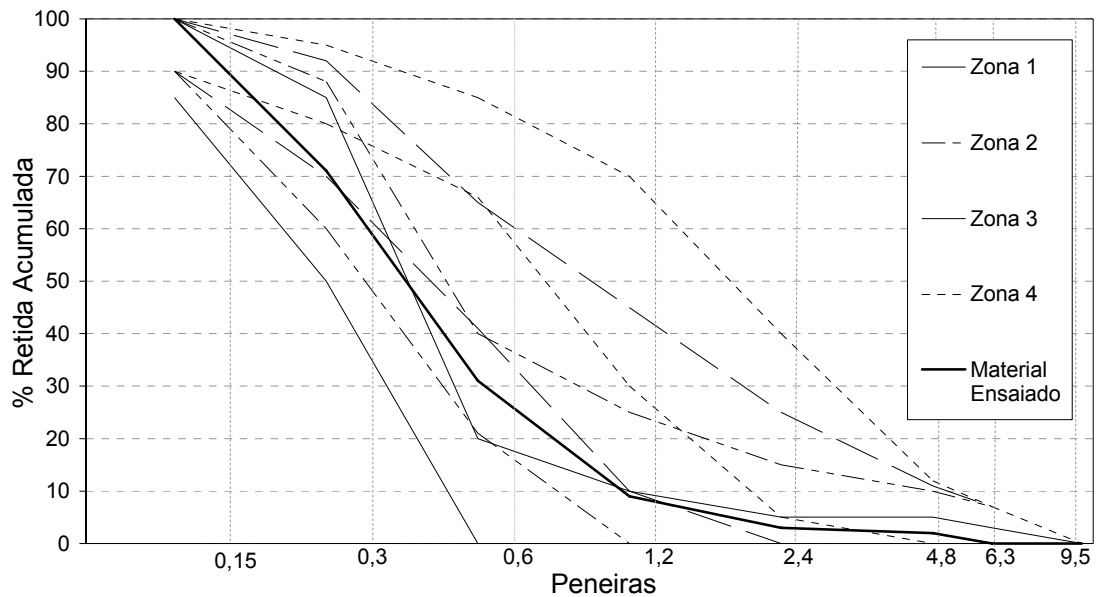


Figura 3.02 – Curva granulométrica do agregado miúdo (NBR 7217/82).

A Tabela 3.01 apresenta, além da massa unitária solta e da massa específica, que foram determinadas respectivamente de acordo com a NBR 7251/82 e a NBR 9776/87; o diâmetro máximo e o módulo de finura, que foram calculados de acordo com a NBR 7211/83, a partir dos dados retirados do Quadro 3.02.

Tabela 3.01 – Características físicas da areia.

Módulo de finura	1,64
Diâmetro máximo	1,20 mm
Massa unitária	1,59 kg/dm ³
Massa específica	2,60 g/cm ³

3.3.2 Brita

A pedra britada utilizada é de origem basáltica, e foi classificada como brita zero. Da mesma forma que a areia empregada neste trabalho, o pedrisco foi recebido em um único lote, secado em estufa e devidamente armazenado em sacos plásticos. Sua caracterização foi realizada de acordo com as normas brasileiras pertinentes onde foram determinados, além de sua composição granulométrica, seu módulo de finura, diâmetro máximo, massa unitária solta e massa específica.

Para a composição de sua curva granulométrica, definição do módulo de finura e diâmetro máximo, foi utilizada a NBR 7212/82 e a NBR 7217/82, como mostram o Quadro 3.03, a Figura 3.03 e a Tabela 3.02. Já a massa unitária solta e a massa específica são apresentadas na Tabela 3.02 e foram calculadas a partir da NBR 7251/82 e da NBR 9776/87.

Esta brita é classificada basicamente como agregado graúdo apesar de apresentar algumas propriedades de agregado miúdo, conforme a NBR 7217/82, pois 33% da amostra passa pela peneira de malha 4,8 mm. De acordo com sua curva granulométrica esta brita se enquadra na Zona 0.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR 7217								
Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		% Retida Média	% Retida Acumulada	
nº	mm	Retido (g)	% Retida	Retido (g)	% Retida			
3/8"	9,5	5,0	0%	4,5	0%	0%	0%	
1/4"	6,3	505,0	43%	472,0	42%	42%		43%
4	4,8	386,0	33%	389,0	34%	34%	76%	
8	2,4	221,0	19%	211,0	19%	19%	95%	
16	1,2	20,0	2%	19,5	2%	2%	97%	
30	0,6	9,0	1%	9,0	1%	1%	98%	
50	0,3	7,0	1%	7,5	1%	1%	98%	
100	0,15	9,0	1%	9,0	1%	1%	99%	
Fundo	<0,15	9,5	1%	11,0	1%	1%		
Total		1.171,5	100%	1.132,5	100%	100%	100%	

Quadro 3.03 – Composição granulométrica do agregado graúdo (NBR 7217/82).

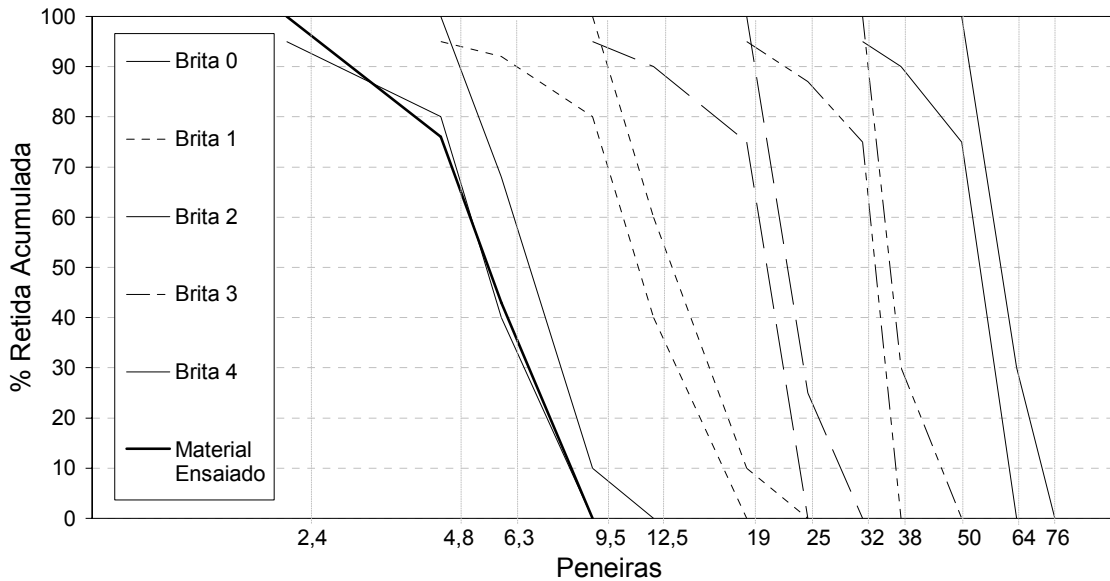


Figura 3.03 – Curva granulométrica do agregado graúdo (NBR 7217/82).

Tabela 3.02 – Características físicas do pedrisco.

Módulo de finura	5,52
Diâmetro máximo	9,50 mm
Massa unitária	1,23 kg/dm ³
Massa específica	2,56 g/cm ³

3.3.3 Cimento pozolânico

O cimento utilizado neste trabalho é o cimento Portland pozolânico CP-IV 32 (Cimbagé). A escolha deste cimento justifica-se por ser este o mais facilmente encontrado na região central do Rio Grande do Sul, portando o de maior utilização. Este material foi recebido em sacos de 50 kg e adequadamente armazenado. Dentre as principais propriedades estudadas estão: a massa específica, a resistência à compressão axial e a massa unitária, que é de fundamental importância para a conversão dos traços de argamassas e grautes.

A determinação da resistência à compressão do cimento foi realizada de acordo com a NBR 5736/86 e a NBR 7215/91, onde foram moldados quatro corpos-de-prova para cada idade de ensaio. O Quadro 3.04 apresenta os valores obtidos na

determinação da resistência à compressão do cimento Portland pozolânico CP-IV 32.

Resistência à compressão axial (MPa)	Idades (dias)		
	3	7	28
Valores obtidos – cimento CP-IV 32	18,2	25,6	34,3
Valores mínimos exigidos por norma	10	20	32

Quadro 3.04 – Resistência à compressão axial do cimento (NBR 7215/91).

Na caracterização do cimento utilizado nesta pesquisa, além da resistência à compressão, foram estudadas outras propriedades deste material como a massa unitária e a massa específica, respectivamente de acordo com a NBR 7251/82 e a NBR 6474/82, os valores obtidos são apresentados na Tabela 3.03.

Tabela 3.03 – Características físicas do cimento.

Massa unitária	0,89 kg/dm ³
Massa específica	2,78 g/cm ³

3.3.4 Cal hidratada

A cal adotada neste trabalho, para a composição das argamassas e dos grautes, foi a Cal Hidratada (Fida) da classe CH-III, tipo C. Este material foi recebido em sacos de 25 kg e armazenado. Não foi dado nenhum tratamento especial à cal, como a sua queima, para a utilização nesta pesquisa.

A principal propriedade da cal estudada foi a massa unitária, que teve a realização de seu ensaio baseado na NBR 7251/82. A Tabela 3.04 apresenta o resultado obtido.

Tabela 3.04 – Massa unitária da cal.

Massa unitária	0,59 kg/dm ³
----------------	-------------------------

3.3.5 Bloco estrutural

Para a realização da pesquisa foi recebido um único lote de 600 blocos, fornecidos pela Cerâmica Pauluzzi, localizada no município de Sapucaia do Sul/RS.

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

As características dimensionais dos blocos foram determinadas conforme a NBR 7171/92 e a NBR 8042/92, sendo medidas as dimensões como: altura, largura e comprimento, além do desvio de esquadro e flecha das faces do bloco, sendo que a variação de todas as medidas realizadas se encontraram dentro da tolerância especificada em norma. A Figura 3.04 mostra um desenho do bloco utilizado, e as Tabelas 3.05 a 3.07 apresentam de forma resumida as dimensões do bloco estudado.

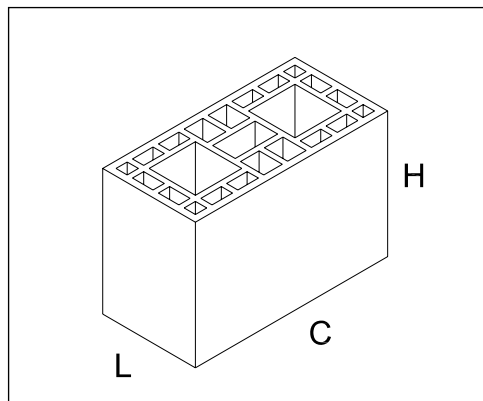


Figura 3.04 – Bloco estrutural: largura (L), comprimento (C) e altura (H).

Tabela 3.05 – Dimensões do bloco estrutural.

	Altura (H)	Largura (L)	Comprimento (C)
Dimensão modular (cm)	20	15	30
Dimensão nominal (mm)	190,0	140,0	290,0
Dimensão média (mm)	189,5	139,5	289,6
Dimensão real (mm)	190,2	140,8	290,2

Tabela 3.06 – Dimensões médias dos blocos.

	Dimensão média (mm)	Coefficiente de Variação (%)
Altura	189,5	0,33
Largura	139,5	0,88
Comprimento	289,6	0,27

Tabela 3.07 – Desvio de esquadro e flecha na face do bloco.

	Dimensão média (mm)	Coefficiente de Variação (%)
Desvio de esquadro	1,8	55,00
Flecha	1,7	43,38

Além das dimensões especificadas nas normas citadas, foram realizadas medições para a determinação das dimensões das paredes internas e externas do bloco, assim como do tamanho dos furos. A Tabela 3.08 apresenta as demais dimensões verificadas, que são demonstradas na Figura 3.05.

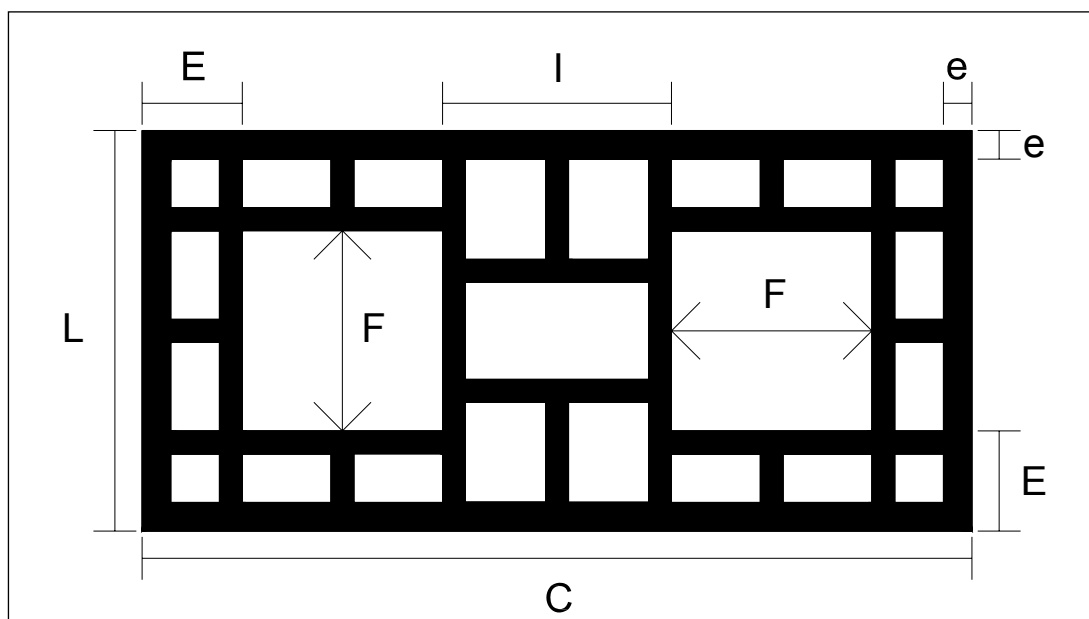


Figura 3.05 – Seção transversal do bloco utilizado nesta pesquisa.

Tabela 3.08 – Demais dimensões estudada do bloco estrutural.

	Dimensão média (mm)	Coefficiente de Variação (%)
Espessura da parede (e)	9,5	4,34
Parede interna (I)	78,8	0,52
Parede externa (E)	33,6	1,53
Furo (F)	68,5	0,93

A determinação da resistência à compressão dos blocos foi realizada de acordo com a NBR 6461/83, onde foram ensaiados treze blocos, estando eles saturados e devidamente capeados.

Foi calculada, além da resistência média dos treze blocos ensaiados, a resistência característica estimada do lote, de acordo com a NBR 6163/94, os valores obtidos são mostrados na Tabela 3.09.

Tabela 3.09 – Resistências à compressão dos blocos.

	Resistência à compressão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
Bloco de menor resistência (fb1)	9,91	-
Resistência característica estimada (fbk,est)	9,22	-
Resistência média do lote (fbm)	13,25	17,04

De acordo com a NBR8947/85 e a NBR8043/83 foram feitos os ensaios de absorção de água e determinação da área líquida dos blocos. Os resultados podem ser vistos na Tabela 3.10, juntamente com os valores de área bruta e de sua relação com a área líquida.

Tabela 3.10 – Absorção média e área líquida dos blocos.

	Valor médio	Coefficiente de Variação (%)
Absorção (%)	11,94	6,03
Área líquida (cm ²)	161,14	0,78
Área bruta (cm ²)	403,99	0,98
Relação Al/Ab	0,40	-

O ensaio de índice de absorção inicial (IRA) foi realizado de acordo com a norma americana ASTM C 67-78 – *Sampling and testing brick and structural clay tile*, onde é determinada a quantidade de água absorvida pelo bloco em um minuto, estando ele em contato com uma lâmina de água com 3,18 mm de altura. Os resultados do índice de absorção inicial são apresentados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Índice de absorção inicial dos blocos.

	IRA (g/193,55.cm ² .min)	Coefficiente de Variação (%)
Face de assentamento	42,08	10,51
Face de revestimento	20,78	9,02

3.3.6 Argamassa de assentamento

A argamassa utilizada nesta pesquisa é mista de cimento, cal e areia (materiais estes já descritos neste trabalho), servindo como elemento de ligação na confecção dos prismas, garantido uma melhor distribuição de esforços.

a) Traços utilizados

Foram adotados dois traços de argamassas com resistências muito diferentes, para ampliar a possibilidade de comparação e análise dos resultados. Os traços foram definidos em função de traços consagrados já pré-estabelecidos por normas internacionais, como a norma britânica BS 5628/78, *Code of practice for structural use of masonry – Part 1. Unreinforced masonry*, onde a relação, em volume de materiais, agregado/aglomerante deve ficar entre 2,25 e 3,00.

Para a argamassa mais fraca (argamassa A1) adotou-se o traço, em volume, de 1:1:5 (cimento:cal:areia) e para a argamassa mais forte (argamassa A2) o traço, também em volume, de 1:0,25:3 (cimento:cal:areia), como mostra a Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Traços adotados para as argamassas.

Argamassa	Traço (c:ca:a)
A1	1:1:5
A2	1:0,25:3

Como, na utilização destes traços são consideradas as suas proporções em volume e a utilização do cimento comum e, sendo adotado na elaboração desta pesquisa, por critérios já relatados, o cimento Portland pozolânico CP-IV 32, foi necessária uma correção dos traços inicialmente apresentados. Esta correção, proposta por Pedroso (2001), baseia-se na diferença de massa unitária entre o cimento Portland comum (CP I-32) e o cimento Portland pozolânico (CP IV-32). A seguir segue um roteiro para a correção dos traços.

b) Roteiro para correção do traço

Parte-se do traço inicial em volume para o cimento CP-I (1:L:S), corrigindo pela diferença da massa unitária de cimento em relação à massa unitária dos diferentes materiais, tem-se a Equação 3.1 que representa o traço em massa para o cimento que será utilizado.

$$1 : L \times (\delta l / \delta c) : S \times (\delta s / \delta c) \quad (3.1)$$

onde:

L – proporção volumétrica de cal (*lime*); S – proporção volumétrica de areia (*sand*).

δc – massa unitária do cimento; δl – massa unitária da cal; δs – massa unitária da areia.

A seguir, é apresentado um exemplo numérico para a correção do traço da argamassa A1 de volume em cimento Portland comum CP-I para massa de cimento Portland pozolânico CP-IV.

Na correção dos traços é necessário lembrar os valores das massas unitárias dos materiais, já apresentadas anteriormente, que são novamente apresentadas na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 – Valores das massas unitárias dos materiais dos traços.

Materiais	Massa unitária (kg/dm ³)
Cimento Portland comum CP-I	1,163*
Cimento Portland pozolânico CP-IV	0,891
Cal hidratada	0,589
Areia	1,595
Pedrisco	1,228

* Adotado com base no trabalho de Pedroso (2001).

A partir do traço pré-determinado em volume, considerando cimento Portland comum CP-I (1:L:S), que neste caso é 1:1:5, calcula-se o traço em massa, considerando o mesmo tipo de cimento utilizado e a relação de sua massa unitária com a massa unitária dos demais materiais empregados, conforme a Equação 3.1, onde se obtém a expressão $1:1,000 \times (0,589/1,163):5,000 \times (1,595/1,163)$, resultando em 1:0,661:3,304, que é o traço em massa a ser empregado utilizando o cimento Portland comum CP-I.

De forma análoga, pode-se transformar o traço em volume de cimento Portland comum CP-I para massa em cimento Portland pozolânico CP-IV, mas, nesse caso, deve-se utilizar a massa unitária deste cimento na Equação 3.1 onde, para a argamassa A1, a expressão $1:1,000 \times (0,589/0,891):5,000 \times (1,595/0,891)$ é formada, resultando em 1:0,506:6,858 que é o traço em massa a ser empregado utilizando o cimento Portland pozolânico CP-IV.

As Tabelas 3.14 e 3.15 apresentam os valores da correção dos traços das argamassas A1 e A2, utilizando o método acima descrito.

Tabela 3.14 – Correção do traço da argamassa A1.

c	ca	A	Traço em
1	1,000	5,000	volume com CP-I
1	0,661	3,304	massa com CP-I
1	0,506	6,858	massa com CP-IV

Tabela 3.15 – Correção do traço da argamassa A2.

c	ca	A	Traço em
1	0,250	3,000	volume com CP-I
1	0,165	1,982	massa com CP-I
1	0,127	4,115	massa com CP-IV

A Tabela 3.16 apresenta os traços as argamassas A1 e A2 em volume com cimento CP-I 32 e já corrigidos em massa utilizando-se o cimento CP-IV 32.

Tabela 3.16 – Traços de argamassa utilizados na pesquisa.

Argamassa	Traço em volume cimento CP-I 32	Traço em massa cimento CP-IV 32
A1	1:1,000:5,000	1:0,506:6,858
A2	1:0,250:3,000	1:0,127:4,115

c) Execução da argamassa

Na confecção das argamassas, toda areia utilizada foi seca em estufa. Para a realização da mistura, foi adicionada água à areia e, posteriormente, os aglomerantes. Foi utilizada argamassadeira mecânica de eixo horizontal, com capacidade de 120 litros e tempo de mistura de 3 a 5 minutos. O índice de consistência adotado, medido a partir da NBR 13276/95, foi de 220 mm com tolerância de mais ou menos 10 mm (210 a 230 mm). Os valores dos índices de consistência e dos respectivos teores de água das argamassas ensaiadas são mostrados na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 – Parâmetros para o índice de consistência das argamassas.

Argamassa	Fator água/cimento	Teor de água	IC (mm)
A1	1,184	14,15%	217,5
A2	0,726	13,85%	223,3

d) Resistência à compressão da argamassa

Para verificar a resistência à compressão axial da argamassa, foram moldados corpos-de-prova, em formas cilíndricas metálicas com altura de 10 cm e 5 cm de diâmetro. As moldagens seguiram as recomendações da NBR 13279/95. Foram moldados quatro corpos-de-prova de cada argamassada, para avaliação da resistência à compressão aos 28 dias. Os valores obtidos das resistências médias das argamassas A1 e A2, são apresentados na Tabela 3.18.

Tabela 3.18 – Parâmetros para a resistência à compressão das argamassas.

Argamassa	Traço (c:ca:a)	fa,média (MPa)
A1	1:1:5	8,31
A2	1:¼:3	18,35

3.3.7 Graute

O graute utilizado neste trabalho é misto, com cimento, cal, areia e brita, sem a utilização de qualquer tipo de aditivo, e serve como componente estrutural na execução dos prismas, tendo como principal objetivo aumentar sua capacidade de resistência à compressão.

a) Traços utilizados

Os traços adotados na pesquisa basearam-se na suas resistências à compressão, sendo que se optou por uma variação de grautes com resistências bem diferentes, de forma a poder analisar a influência da variação da resistência do graute no comportamento de ruptura e resistência final dos prismas. Como o objetivo desta pesquisa não é o estudo da dosagem de grautes, seus traços foram escolhidos baseando-se em proporções pré-definidas que usualmente podem ser utilizadas em obras de construção civil.

Os traços foram inicialmente adotados em volume, utilizando-se cimento CP-I 32 e, posteriormente, de forma similar à das argamassas, foram convertidos para o traço com cimento CP-IV 32. Os traços resultantes apresentaram um teor de argamassa de aproximadamente 60% e uma relação de adição de cal hidratada em relação ao cimento de 2,5%

A Tabela 3.19 apresenta os traços dos grautes adotados na pesquisa em proporção de cimento, cal, areia e pedra.

Tabela 3.19 – Traços adotados para os grautes.

Graute	Traço
G1	1:0,05:3,25:3,50
G2	1:0,05:2,25:2,50
G3	1:0,05:1,25:1,75

b) Roteiro para correção do traço

De forma análoga às argamassas, conforme proposto por Pedroso (2001), foram utilizadas as massas unitárias dos materiais como critério para a conversão de traço dos grautes com cimento CP-I 32 para cimento CP-IV 32.

A seguir, é apresentado um exemplo numérico para a correção do traço do graute G1 de volume em cimento Portland comum CP-I para massa de cimento Portland pozolânico CP-IV.

Partindo do traço em volume, considerando cimento Portland comum CP-I (1:L:S), que neste caso é 1:0,05:3,250:3,500, calcula-se o traço em massa, considerando este mesmo tipo de cimento, conforme a Equação 3.1, onde se obtém a expressão $1:0,050 \times (0,589/1,163):3,250 \times (1,595/1,163):3,500 \times (1,228/1,163)$, que resulta em 1:0,033:2,148:3,313, traço em massa a ser empregado utilizando o cimento Portland comum CP-I. Da mesma forma, transforma-se o traço em volume de cimento Portland comum CP-I para massa em cimento Portland pozolânico CP-IV, mas, nesse caso, deve-se utilizar a massa unitária deste cimento na Equação 3.1, resultando em $1:0,050 \times (0,589/0,891):3,250 \times (1,595/0,891):3,500 \times (1,228/0,891)$, que origina o traço 1:0,025:4,458:3,695, que é empregado utilizando o cimento Portland pozolânico CP-IV.

As Tabelas 3.20 a 3.22 apresentam os valores da correção dos traços dos grautes G1, G2 e G3, respectivamente, utilizando o método acima descrito.

Tabela 3.20 – Correção do traço do graute G1.

c	ca	a	P	Traço em
1	0,050	3,250	3,500	volume com CP-I
1	0,033	2,148	3,313	massa com CP-I
1	0,025	4,458	3,695	massa com CP-IV

Tabela 3.21 – Correção do traço do graute G2.

c	ca	a	P	Traço em
1	0,050	2,250	2,500	volume com CP-I
1	0,033	1,487	1,652	massa com CP-I
1	0,025	3,086	2,639	massa com CP-IV

Tabela 3.22 – Correção do traço do graute G3.

c	ca	a	P	Traço em
1	0,050	1,250	1,750	volume com CP-I
1	0,033	0,826	1,156	massa com CP-I
1	0,025	1,714	1,847	massa com CP-IV

A Tabela 3.23 apresenta o traço dos grautes G1, G2 e G3 em volume, com cimento CP-I 32, e já corrigidos em massa, utilizando-se o cimento CP-IV 32.

Tabela 3.23 – Traços de graute utilizados na pesquisa.

Graute	Traço em volume cimento CP-I 32	Traço em massa cimento CP-IV 32
G1	1:0,05:3,250:3,500	1:0,025:4,458:3,695
G2	1:0,05:2,250:2,500	1:0,025:3,086:2,639
G3	1:0,05:1,250:1,750	1:0,025:1,714:1,847

c) Execução do graute

Na produção do graute, todos os materiais utilizados foram devidamente armazenados. Os grautes foram confeccionados em betoneira de queda livre de 120 litros e adensados de maneira manual no moldes cilíndricos para a moldagem de corpos-de-prova, conforme a NBR 5738/84.

O fator água/cimento dos grautes foi determinado em função do seu abatimento, que deveria ficar em 200 mm com uma tolerância de mais ou menos 10mm (de -190 mm a 210 mm). Este ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7223/82, sendo o graute adensado manualmente. A relação dos valores de fator água/cimento e abatimento médio de cada tipo de graute são apresentados na Tabela 3.24.

Tabela 3.24 – Parâmetros para o abatimento dos grautes.

Graute	Fator água/cimento	Abatimento (mm)
G1	1,06	195
G2	0,78	200
G3	0,57	202

d) Resistência à compressão do graute

A verificação da resistência à compressão axial dos grautes foi feita de acordo com a NBR 5739/80, onde foram moldados corpos-de-prova, em formas cilíndricas metálicas com altura de 20 cm e 10 cm de diâmetro. Foram moldados 3 corpos-de-prova por betonada para a avaliação da resistência à compressão aos 28 dias. Os

valores obtidos das resistências médias das betonadas dos grautes G1, G2 e G3, são apresentados na Tabela 3.25.

Tabela 3.25 – Traços e resistências médias à compressão dos grautes.

Graute	Traço (c:ca:a)	fg,média (MPa)
G1	1:0,05:3,25:3,50	7,98
G2	1:0,05:2,25:2,50	16,47
G3	1:0,05:1,25:1,75	24,38

3.4 Prismas

De forma a analisar influência do graute na resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos, foram moldados prismas com diferentes tipos de argamassas e grautes, bem como diferentes porcentagens de grauteamento.

Na elaboração desta pesquisa foi adotado um modelo básico de prisma de blocos cerâmicos, com três fiadas de altura e um bloco e meio de largura, apresentando dimensões médias de 44 cm de comprimento, 14 cm de largura e 59 cm de altura. O assentamento dos blocos é contrafiado, portanto com amarração, e com argamassamento total, tanto na junta vertical como na junta horizontal. A Figura 3.06 mostra o modelo do prisma adotado.

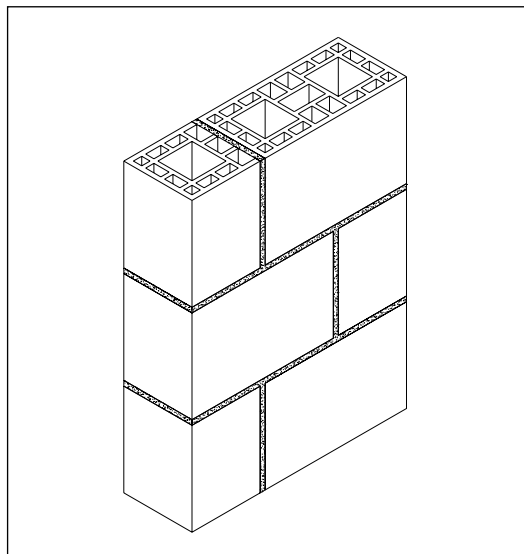


Figura 3.06 – Modelo do prisma adotado nesta pesquisa.

O grauteamento dos prismas se deu em diferentes porcentagens, 33%, 66% e 100%, como é mostrada na Figura 3.07. Estes valores representam as porcentagens de células grauteáveis efetivamente grauteadas, em cada modelo de prismas. Em todos os modelos de grauteamento é respeitada a simetria do prisma, evitando assim excentricidades durante a aplicação das cargas ao longo do ensaio de compressão axial.

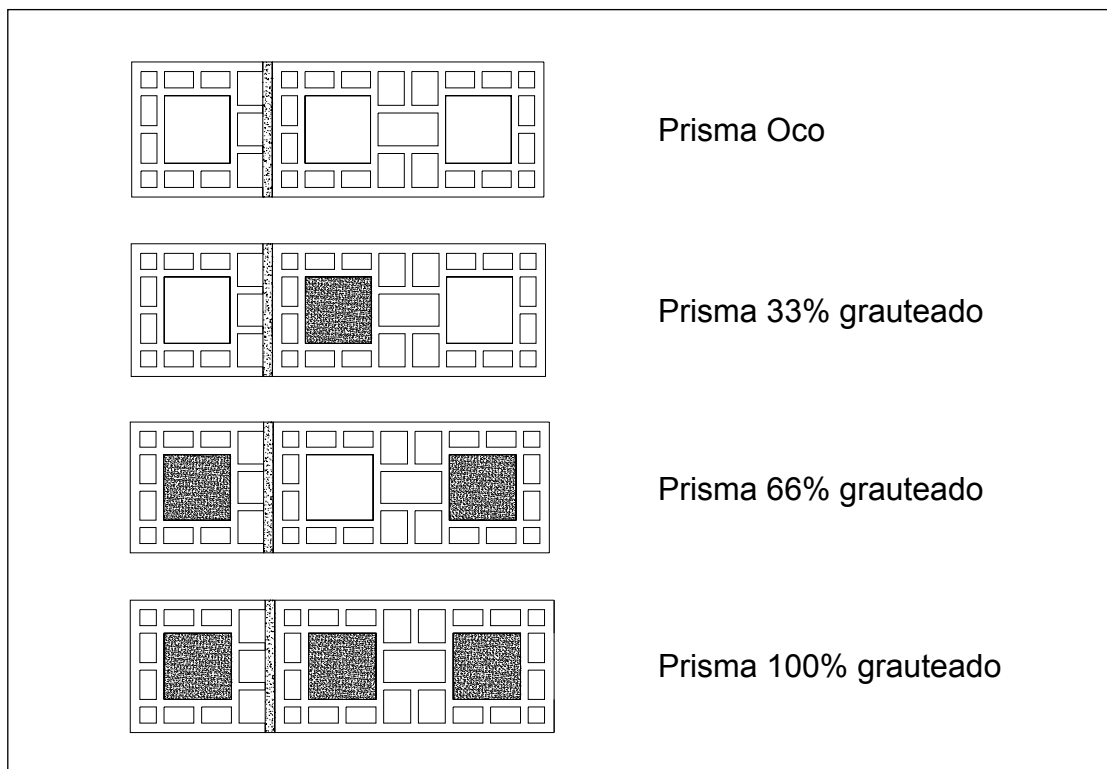


Figura 3.07 – Secções transversais dos prismas adotados

Para facilitar a compreensão deste trabalho foi adotado um sistema de notação dos prismas ensaiados, onde A1 e A2 fazem referência às argamassas utilizadas e G1, G2 e G3 aos grautes adotados. Também utiliza-se 33%, 66% e 100% fazendo referência a porcentagem de células grauteadas da cada tipo de prisma. Sendo assim, a denominação “Prisma A1 G1 100%”, refere-se à série de prismas onde foi utilizada a argamassa A1 e o graute G1, com sua totalidade de células grauteadas. Já a denominação “Prisma A2 G3 33%” refere-se à série de prismas com argamassa A2, graute G3 e um 1/3 de suas células grauteadas. Os prismas ocos são tratados como “Prisma A1” e “Prisma A2”, conforme a argamassa utilizada.

3.4.1 Execução dos prismas

Os prismas, executados conforme orientação da NBR 8215/83, com os materiais e componentes já descritos no decorrer deste trabalho, foram montados sobre lona plástica diretamente sobre o piso do laboratório. As juntas de argamassa foram executadas com uma canaleta de assentamento que garantiu que a espessura fosse de aproximadamente 10 mm. Como mão-de-obra foi utilizado somente um pedreiro na confecção dos prismas, de modo a minimizar a influência desta variável no desempenho à compressão dos mesmos. Após sua confecção, os prismas tiveram furos limpos, com a retirada do excesso de argamassa depositada.

As Figuras 3.08 e 3.09, respectivamente, mostram fotos da execução dos prismas e de uma série de prismas já grauteados.



Figura 3.08 – Execução dos prismas.

O grauteamento dos prismas ocorreu 24 horas após sua moldagem, sendo o graute lançado em três camadas, sendo que a cada camada foi adensado com 30 golpes, utilizando-se uma haste metálica. O capeamento dos prismas começou a ser realizados duas semanas após seu grauteamento, sendo feito com argamassa de

traço 1:1 (cimento:areia peneirada) e com espessura de aproximadamente 5 mm, sobre chapas metálicas devidamente niveladas. A cura dos prismas ocorreu em ambiente coberto do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSM.



Figura 3.09 – Série de prismas após grauteamento.

3.4.2 Resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão dos prismas foi realizada de acordo com a NBR 8215/83. Os prismas foram ensaiados aos 28 dias em séries de seis prismas para cada combinação graute/argamassa, para que se obtivesse uma maior amplitude de amostragem, sendo que a norma determina três prismas por ensaio. Na execução dos ensaios foi utilizada uma prensa hidráulica de 3 MN da marca WPM.

As Figuras 3.10 a 3.13 apresentam detalhes, através de fotos, dos ensaios de resistência à compressão realizados em laboratório.



Figura 3.10 – Prensa hidráulica utilizada nos ensaios.



Figura 3.11 – Prisma na prensa para ensaio (perfil).



Figura 3.12 – Prisma na prensa para ensaio.



Figura 3.13 – Prisma na prensa, após rompimento.

Os Quadros 3.05 e 3.06 apresentam respectivamente, de forma simplificada, os resultados médios da resistência à compressão axial dos prismas estudados, primeiramente em relação a sua área bruta e posteriormente em relação a sua área líquida.

	Oco		33%		66%		100%	
	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35
G1 7,98	5,56 (14,50)	6,44 (11,76)	5,26 (12,72)	5,92 (22,06)	5,43 (13,47)	6,70 (8,22)	7,03 (6,35)	8,29 (13,13)
G2 16,47			5,49 (13,21)	7,23 (13,82)	5,48 (20,86)	7,15 (20,78)	6,29 (12,01)	8,25 (12,94)
G3 24,38			6,26 (9,85)	7,50 (16,30)	6,16 (14,42)	7,89 (17,20)	6,21 (17,41)	8,44 (18,37)

Observação: Os valores apresentados na tabela são as resistências médias (MPa) para a série de prismas e os valores entre parênteses são os coeficientes de variação (%).

Quadro 3.05 – Resultados da resistência à compressão dos prismas (área bruta).

	Oco		33%		66%		100%	
	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35
G1 7,98	15,35 (14,50)	17,78 (11,76)	10,54 (12,72)	11,87 (22,06)	8,54 (13,47)	10,64 (8,22)	9,11 (6,35)	10,74 (13,13)
G2 16,47			11,02 (13,21)	14,51 (13,82)	8,61 (20,86)	11,24 (20,78)	8,15 (12,01)	10,68 (12,94)
G3 24,38			12,56 (9,85)	15,05 (16,30)	9,68 (14,42)	12,41 (17,20)	8,04 (17,41)	10,93 (18,37)

Observação: Os valores apresentados na tabela são as resistências médias (MPa) para a série de prismas e os valores entre parênteses são os coeficientes de variação (%).

Quadro 3.06 – Resultados da resistência à compressão dos prismas (área líquida).

Capítulo 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresenta a análise e interpretação dos resultados dos ensaios realizados neste trabalho. A análise foi feita separadamente por tipo de argamassa, tipo de graute e porcentagem de células grauteadas. Também é feita a comparação dos resultados encontrados neste estudo com aqueles obtidos por outros pesquisadores e com simulações realizadas através de equações teóricas.

Além da discussão dos resultados experimentais dos prismas é realizada uma análise do comportamento de ruptura dos prismas, avaliando os fatores que influenciam a resistência à compressão dos mesmos.

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

4.2 Análise dos resultados experimentais

Na análise dos dados experimentais dos prismas é necessário que se faça uma distinção entre suas resistências à compressão na área bruta e na área líquida. A resistência à compressão na área líquida é obtida dividindo a carga aplicada no prisma para a sua ruptura pela área efetiva do mesmo, ou seja, sem contar os vazios dos blocos. A análise baseada na área líquida é comumente utilizada quando é necessário verificar o comportamento elástico dos prismas, adotando este parâmetro para se traçar a curva de tensão x deformação na área líquida.

Considerando a resistência à compressão na área líquida dos prismas, pode-se constatar que, mesmo com o aumento da carga de ruptura, há decréscimo de resistência dos prismas grauteados em relação aos prismas não grauteados, devido ao aumento de área efetiva dos prismas. Estes valores podem ser constatados no Quadro 3.05 (página 95) onde são apresentados os valores da resistência à compressão na área líquida dos prismas estudados. O Quadro 3.06 (página 95) mostra os valores obtidos para a resistência à compressão dos prismas na área

bruta, método mais utilizado no país, onde a carga de ruptura é dividida pela área total dos prismas. Adotando a área bruta, o aumento de resistência dos prismas, mesmo grauteados, é proporcional ao aumento de sua carga de ruptura.

O Quadros 4.02 apresenta a razão da variação de resistência, na área bruta, dos diferentes tipos de prismas em relação aos prismas ocios com argamassa A1.

	Oco		33%		66%		100%	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
G1	1,00	1,16	0,95	1,06	0,98	1,21	1,26	1,49
G2			0,99	1,30	0,99	1,29	1,13	1,48
G3			1,13	1,35	1,11	1,42	1,12	1,52

Quadro 4.01 – Relação de resistência à compressão com a série do prisma A1.

Considerando os prismas de forma geral, obtém-se um ganho máximo de 52% na comparação dos prismas ocios da série A1 com os prismas da série A2 G3 100%. Já na série de prismas A1 33% há uma perda de resistência de 5%.

O fator de eficiência dos prismas é calculado dividindo-se o valor da resistência à compressão do prisma pela do bloco. Neste caso, foi calculado para os prismas ocios com a utilização de argamassa A1 e A2. Mesmo considerando a diferença de dimensões dos prismas estudados, estes valores encontram-se dentro dos padrões para blocos cerâmicos, que giram em torno de 0,50 (prismas de dois blocos) (CAVALHEIRO e GOMES, 2002).

O Quadro 4.02 apresenta os valores de fatores de eficiência para os prismas grauteados e não-grauteados. Para prismas grauteados, considerando os diferentes tipos de grautes, argamassas e porcentagens de grauteamento, os fatores de eficiência variam de 0,40 a 0,64.

	Oco		33%		66%		100%	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
G1	0,42	0,49	0,40	0,45	0,41	0,51	0,53	0,62
G2			0,41	0,55	0,41	0,54	0,47	0,62
G3			0,47	0,56	0,46	0,60	0,47	0,64

Quadro 4.02 – Fatores de eficiência dos prismas grauteados e não grauteados.

4.2.1 Comparação entre argamassas

Sendo a resistência à compressão da argamassa A2, de 18,35 MPa, mais do que o dobro (120,82%) da argamassa A1, de 8,31 MPa, a influência da argamassa na resistência dos prismas pode ser considerada pequena, já que o aumento médio de resistência foi de 24,67%. O aumento máximo de resistência ocorreu na série G3 100% e foi de 35,91%, já o mínimo, de 12,55%, ocorreu na série G1 33%.

Baseado nos dados apresentados na Figura 4.01, onde há uma comparação de valores para cada série de prismas ensaiados, pode-se considerar que há um aumento significativo, na resistência dos prismas com grautes G2 e G3, Estes prismas apresentam um ganho médio de 29,52% na utilização da argamassa mais forte, sendo que a série de prismas onde foram utilizado o graute G1 tem um ganho médio de apenas 17,91%.

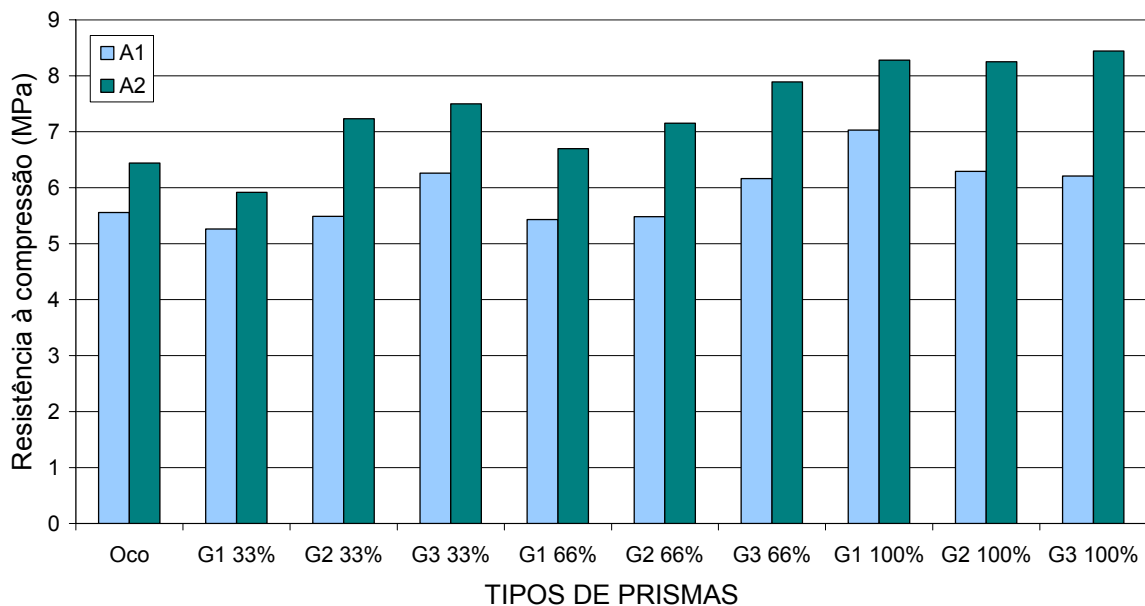


Figura 4.01 – Comparativo de resistência dos prismas por tipo de argamassa.

Considerando a influência do aumento da resistência à compressão da argamassa na resistência dos prismas, os valores encontrados neste trabalho são satisfatórios, aproximando-se de valores encontrados por outros autores.

Na análise de prismas não-grauteados obteve-se, com o aumento de resistência da argamassa em aproximadamente 121%, um aumento médio de 16% na resistência final das séries de prismas. A norma britânica BS 5682/78 sugere um ganho de resistência de 12% para um aumento na resistência da argamassa de

147%, considerando blocos com resistência semelhante ao adotado neste trabalho. Gomes (1983) encontrou um ganho de 11% na resistência de paredes ao aumentar a resistência da argamassa em 135%. Existem autores que encontraram valores que extrapolam esta margem, como Arantes (2003), que ao aumentar a resistência da argamassa em 190% chegou a um ganho médio na resistência dos prismas de apenas 4% e Mendes (1998) que obteve um ganho de resistência em seus prismas na ordem de 55% ao aumentar a resistência de sua argamassa em 207%.

Muitos fatores prejudicam a comparação direta com outros pesquisadores em relação ao aumento de resistência de prismas com o acréscimo de resistência de suas argamassas, entre eles: o módulo de deformação e capacidade de resistência dos componentes utilizados, as formas e dimensões dos blocos adotados, as dimensões dos prismas ensaiados, entre outros.

Quando analisados os prismas totalmente grauteados percebe-se que as proporções também não são precisas. Neste trabalho encontra-se um ganho de 28% na capacidade resistente destes prismas em relação ao mesmo aumento de resistência da argamassa dos prismas ocos, mencionado anteriormente. Já para Arantes (2003) o ganho foi de 12% e para Mendes (1998) de 38%.

A Figura 4.02 mostra a variação de resistência de prismas com as argamassas A1 e A2 e tipos de graute, tendo os prismas com argamassa mais forte uma resistência média 24,67% superior.

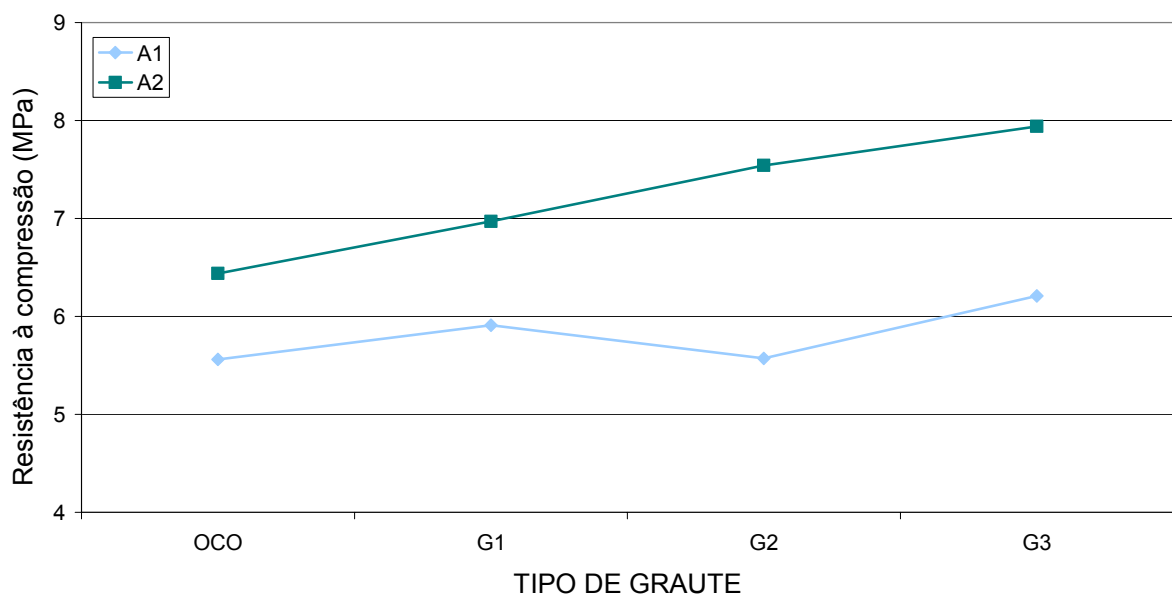


Figura 4.02 – Comparativo em relação ao tipo de argamassa e tipo de graute.

4.2.2 Comparação entre grautes

Com o aumento da resistência do graute de 7,98 MPa (G1) 16,47 MPa (G2) e 24,38 MPa (G3), nota-se um aumento de 106,39% na resistência do graute G1 para o graute G2 e de 48,03% do graute G2 para o graute G3, totalizando um aumento de 205,51% ao comparar-se o graute G1 com o graute G3, o que torna o graute G3 aproximadamente três vezes mais forte que o graute G1.

Mesmo com todo o acréscimo de resistência aplicado ao graute pode-se considerar pequena a influência desta variável na resistência à compressão dos prismas. Considerando a utilização dos grautes G1 e G3, a maior diferença pode ser constatada na série A2 33% onde houve um ganho médio de resistência de 26,69%; já a menor diferença é encontrada na série A2 100%, que é de 1,93%.

A Figura 4.03 apresenta os valores médios da resistência à compressão das séries de prismas ensaiados para cada tipo de graute.

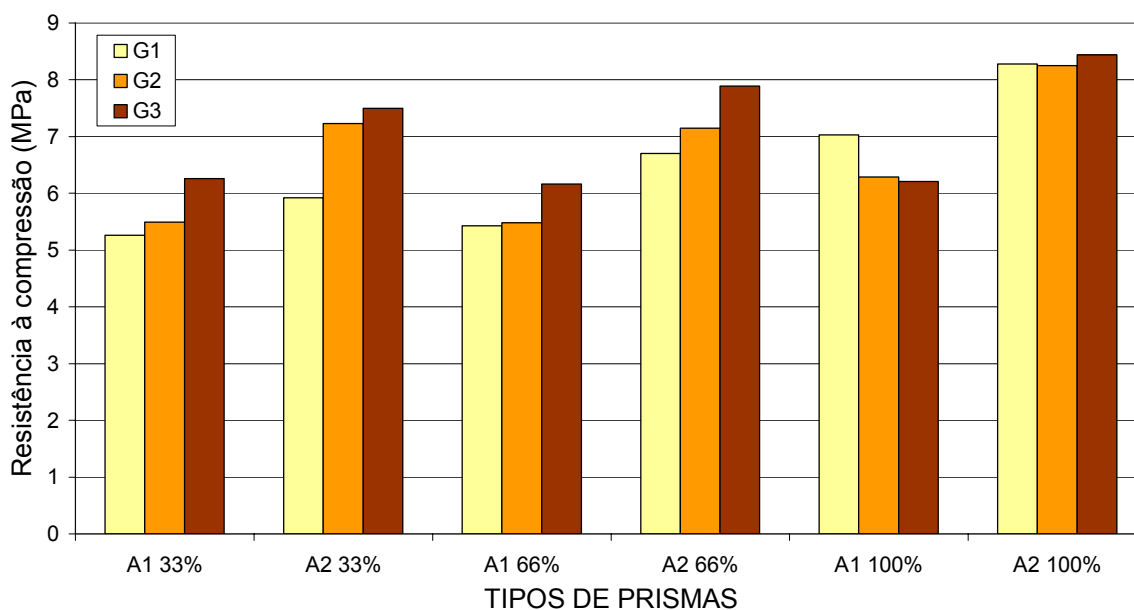


Figura 4.03 – Comparativo de resistência dos prismas por tipo de graute.

Em média, considerando todos os tipos de prismas grauteados, o ganho de resistência à compressão dos prismas, se compararmos o uso do graute G1 com o graute G2 (que tem aproximadamente o dobro da resistência do graute G1), é de 3,87%. Fazendo a comparação da utilização do graute G2 com o graute G3 (que tem uma vez e meia a resistência do graute G2) constata-se um ganho médio de resistência de 6,92%. Já na comparação dos extremos, o graute G1 com o graute

G3, nota-se um aumento de resistência de 11,20% em média. A Figura 4.04 mostra esta variação de resistência.

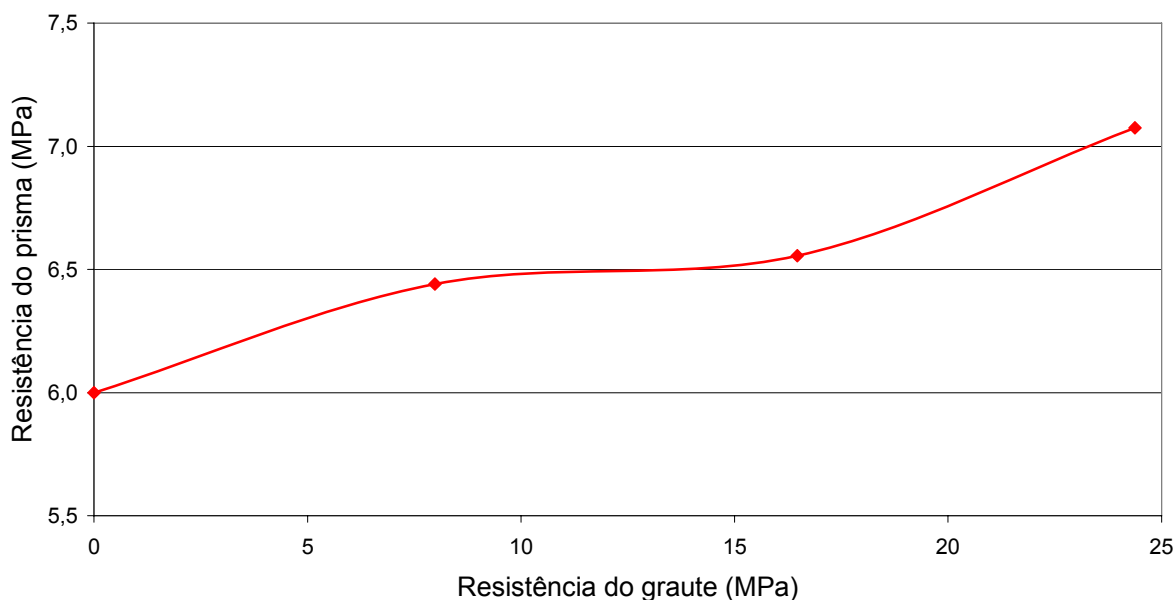


Figura 4.04 – Crescimento da resistência dos prismas em função do graute.

Na análise dos prismas com a totalidade de células grauteadas, comparando a utilização dos grautes G1 e G3, que têm uma diferença de resistência de 205,51%, percebe-se um decréscimo de resistência de 11,66% para os prismas com argamassa mais fraca e um acréscimo de apenas 1,93% para a série com a argamassa mais forte. O gráfico da Figura 4.05 mostra o comportamento à compressão dos prismas totalmente grauteados.

Os resultados obtidos para os prismas totalmente grauteados se aproximam aos de Mendes (1998) que ao aumentar a resistência do graute em 278%, de 13,16 MPa para 49,72 MPa, obteve um decréscimo de resistência dos prismas de 29%, de 17,94 MPa para 12,68 MPa, quando utilizou uma argamassa mais fraca; e um acréscimo de apenas 2%, de 21,33 MPa para 20,81 MPa, quando na utilização de uma argamassa mais forte. A comparação dos gráficos das Figuras 2.06 (página 54) e 4.05 nos mostra a similaridade de comportamento dos prismas estudados, sendo que os resultados variam em função das diferenças dos componentes utilizados.

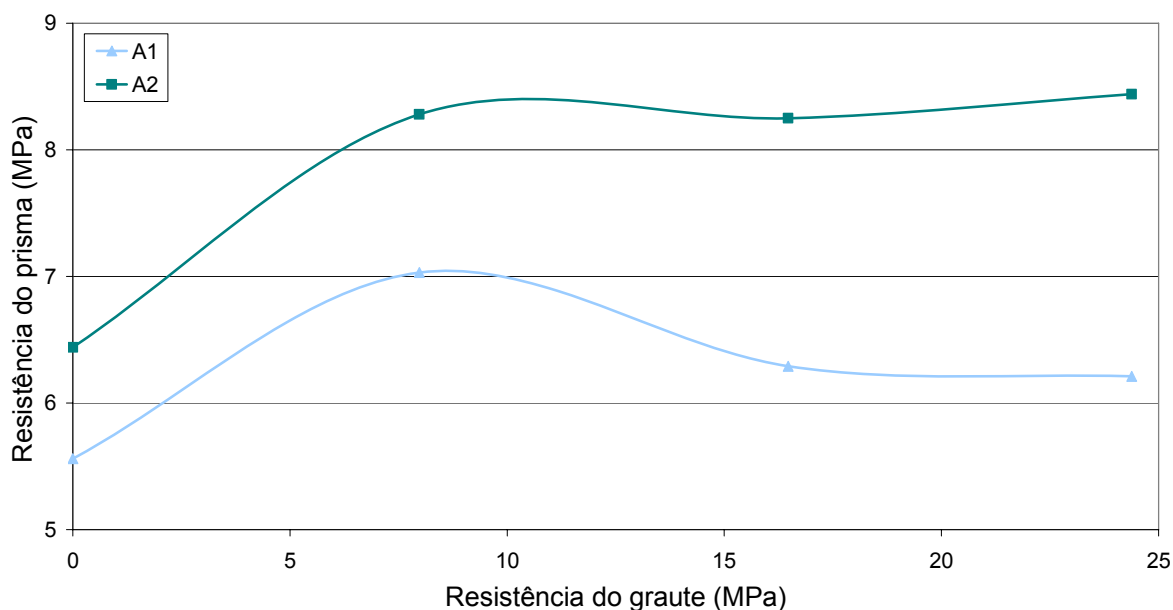


Figura 4.05 – Comparativo dos prismas totalmente grauteados.

A perda de resistência em prismas, mesmo onde há o aumento de resistência do graute, também foi constatada por outros autores. Cheema e Klingner (1986) ao aumentarem a resistência do graute utilizado de 24,5 MPa para 30,0 MPa, ou seja em 22%, obtiveram uma redução de 16% nos resultados de resistência à compressão dos prismas, que caíram de 15,6 MPa para 13,1 MPa. Dhanasekar e Kumar (1994) ao variarem a resistência do graute de 29,0 MPa para 42,0 MPa, um acréscimo de 44%, conseguiram em uma variação de resistência no prismas de 24,4 MPa para 18,9 MPa, uma perda de 23%. Khalaf (1996) obteve uma redução de 18% na resistência de seus prismas, de 13,9 MPa para 11,4 MPa, ao aumentar a resistência do graute utilizado em 57% de 10,0 MPa para 15,7 MPa.

A perda de eficiência de prismas, mesmo com o aumento da resistência dos grautes utilizados, ocorre porque o nível de tensões de tração geradas pelo graute nos prismas com graute mais forte é maior do que nos com o graute mais fraco, causando ruptura prematura devido ao acréscimo de deformações laterais (CHEEMA e KLINGNER, 1986).

No comportamento de prismas totalmente grauteados, conforme pesquisas publicadas por diversos autores, conforme relatado no Capítulo 2 deste trabalho, há um ganho de resistência dos prismas com o aumento da resistência do graute. Variações de comportamento dos prismas são influenciadas por vários fatores, como: as resistências dos blocos, argamassas e grautes utilizados, assim como

seus módulos de deformação, e tipo e geometria dos blocos. Pesquisadores como Camacho e Rodrigues (1999) concluíram que há um ganho mesmo que não proporcional na resistência à compressão do prisma, com o aumento da resistência do graute e que os melhores desempenhos são alcançados pelos prismas com resistências de graute próximas a do bloco, ou seja, os blocos e os grautes devem ter propriedades de deformação semelhantes.

Fazendo uma análise isolada de cada série de prismas, comparando a utilização dos grautes G1 e G3, pode-se perceber que o ganho de resistência médio para os prismas com argamassa A1 é de 6,93% e para os prismas com A2 é de 15,46%. A Figura 4.06 mostra o comportamento dos prismas com argamassas A1 e A2, sujeitos a variação da resistência do graute.

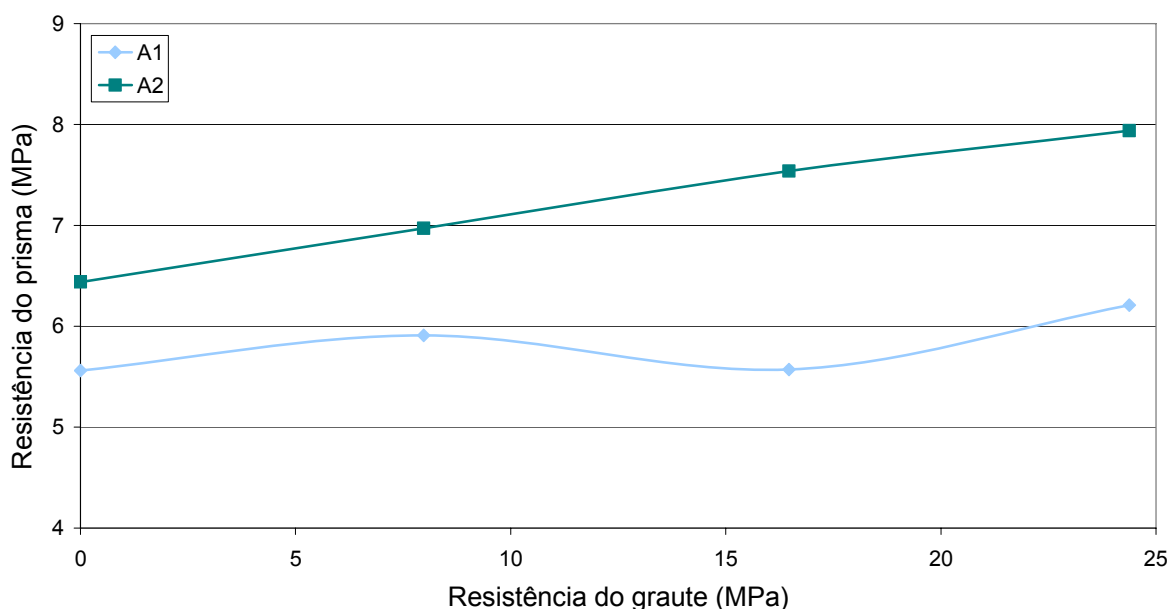


Figura 4.06 – Comparativo dos prismas em função da resistência do graute.

A análise do gráfico da Figura 4.06 demonstra a importância da dosagem conjunta entre graute e argamassa, sendo que a argamassa mais forte não aumenta apenas a resistência dos prismas, mas também a eficiência do grauteamento. Mendes (1998) concluiu que os prismas que apresentaram o melhor desempenho são aqueles preenchidos com grautes com módulos de deformação próximos ao módulo de deformação da argamassa e próximos ao módulo de deformação dos prismas não grauteados.

4.2.3 Comparação entre porcentagens de grauteamento

O aumento da porcentagem das células grauteadas apresenta também um ganho pouco significativo de resistência à compressão nos prismas. Em média, o ganho de resistência dos prismas com 1/3 de suas células grauteadas em relação aos prismas ociosos é de 4,43%, já dos prismas com 2/3 de suas células grauteadas é de 7,43%. Analisando a série de prismas totalmente grauteados em relação os prismas não grauteados nota-se um aumento médio da resistência de 23,67%.

A Figura 4.07 apresenta o ganho de resistência médio dos prismas em função da porcentagem de células grauteadas.

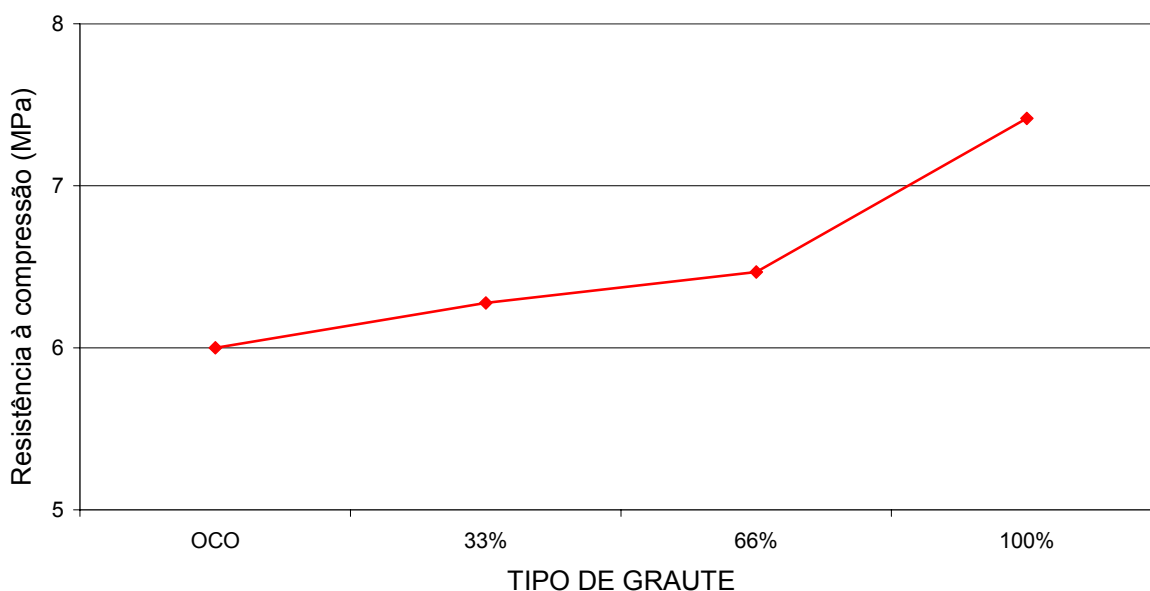


Figura 4.07 – Aumento de resistência em relação ao tipo de grauteamento.

De forma geral, quando comparados todos os prismas ensaiados em relação ao aumento de resistência, percebe-se um ganho mais evidente de resistência à compressão nos prismas totalmente grauteados. Existem alguns fatores que fazem com que o grauteamento total possa ser realmente eficiente, como a utilização de grautes e argamassas adequados às necessidades dos prismas.

Comparado com os resultados de Arantes (2003) o desempenho dos prismas totalmente grauteados fica abaixo do esperado. Enquanto no trabalho do citado autor prismas com 100% de células grauteadas obtiveram um ganho médio 75,00% em relação aos prismas ociosos, neste trabalho o valor obtido foi de 23,67%. Para os

prismas parcialmente grauteados há uma certa proporcionalidade no aumento de resistência, o que também foi observado por Arantes (2003) e Garcia (2000).

Analisando as séries isoladamente, pode-se constatar que o maior aumento relativo encontra-se na série de prismas A1 G1 onde o ganho médio de resistência é de 29,47% ao compararmos os prismas com 2/3 de suas células grauteadas com os totalmente grauteados. Já a menor variação de resistência está na série A1 G2 onde há um decréscimo de 0,18% na comparação da série com 1/3 de células grauteadas com a série com 2/3 de células grauteadas.

A Figura 4.08 apresenta os valores médios de resistência à compressão de cada série de prismas estudados, divididos por porcentagem de grauteamento.

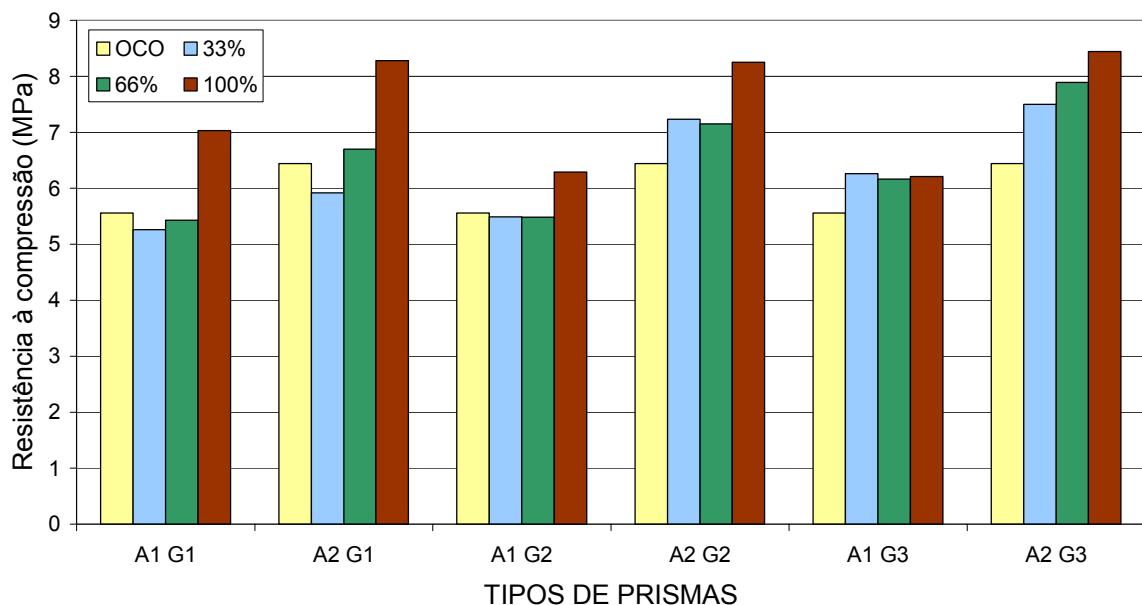


Figura 4.08 – Comparativo de resistências dos prismas por tipo de grauteamento.

Fazendo uma análise geral dos tipos de grautes utilizados em relação à porcentagem de grauteamento nota-se que é com a utilização do graute G1 que há um ganho significativo de resistência dos prismas de 27,51%, já com a utilização dos grautes G2 e G3 o aumento de resistência é menor, de 20,62% e 21,37%, respectivamente.

Mesmo sendo o graute G1 o mais eficiente, curiosamente ele apresenta uma característica de perda de resistência de 6,83% quando comparados os prismas ocios com os da série com 1/3 de células grauteadas; fato este que, de forma geral, só ocorre no graute mais fraco. Esta variação pode ser considerada insignificante, e a relação entre os prismas ocios até a utilização de 2/3 de células grauteadas pode

ser considerada constante. A Figura 4.09 apresenta o gráfico comparativo com estas diferenças.

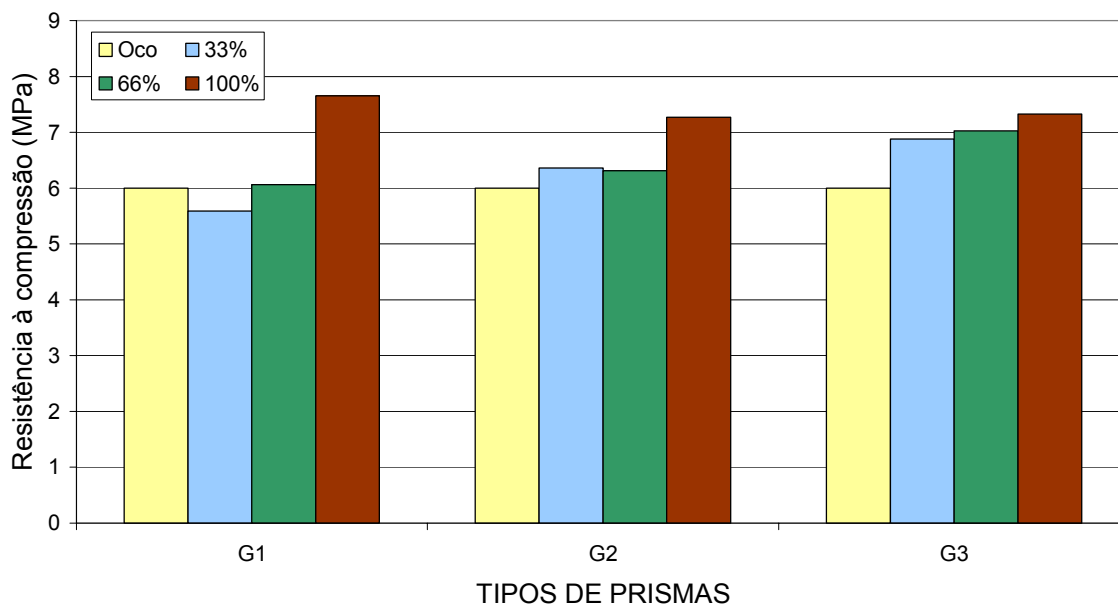


Figura 4.09 – Comparativo em relação ao tipo de grauteamento utilizado.

A maior eficiência na utilização do graute G1 para os prismas com células totalmente grauteadas pode ser explicada pelas forças geradas pelos grautes mais fortes nas paredes dos blocos e na interface bloco/argamassa. Já nos prismas parcialmente grauteados este efeito é minimizado pelo não confinamento da totalidade das células, permitindo maior possibilidade de deformação.

Este efeito pode ser visualizado também na análise dos prismas com diferentes porcentagens de grauteamento, tomando por base o tipo de graute, conforme pode ser visto na Figura 4.10.

Comparando as porcentagens de grauteamento, também na utilização dos grautes G1 e G3, nota-se que há um aumento significativo de resistência média nos prismas com 33% de células grauteadas, que é de 22,85%. Isto ocorre com menor intensidade nas séries com 66% de células grauteadas, que têm um ganho médio de 15,60%. Já os prismas com 100% de suas células grauteadas chegam a ter em média um decréscimo de resistência de 4,98% em função da adoção do graute mais forte.

O decréscimo de resistência para prismas em que foram utilizados grautes com elevadas resistências, fato este observado por diversos autores já citados, é

gerado, basicamente, pelas tensões do graute que agem sobre a interface bloco/argamassa.

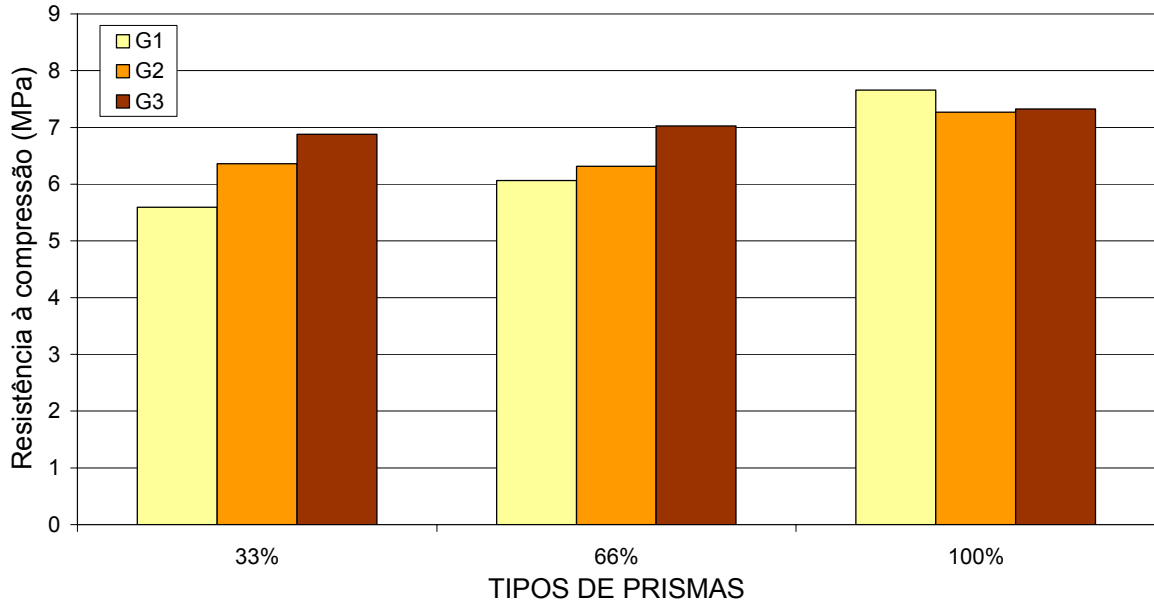


Figura 4.10 – Comparativo em relação ao tipo de graute utilizado.

O trabalho de Arantes (2003) não apresentou esta perda de resistência dos prismas quando da utilização de grautes com resistências mais elevadas, tampouco, o autor observou uma diferença de eficiência significativa na utilização dos grautes para as diferentes porcentagens de grauteamento.

As variações de resistências dos prismas para diferentes porcentagens de grauteamento, em função da argamassa utilizada, estão na Figura 4.11.

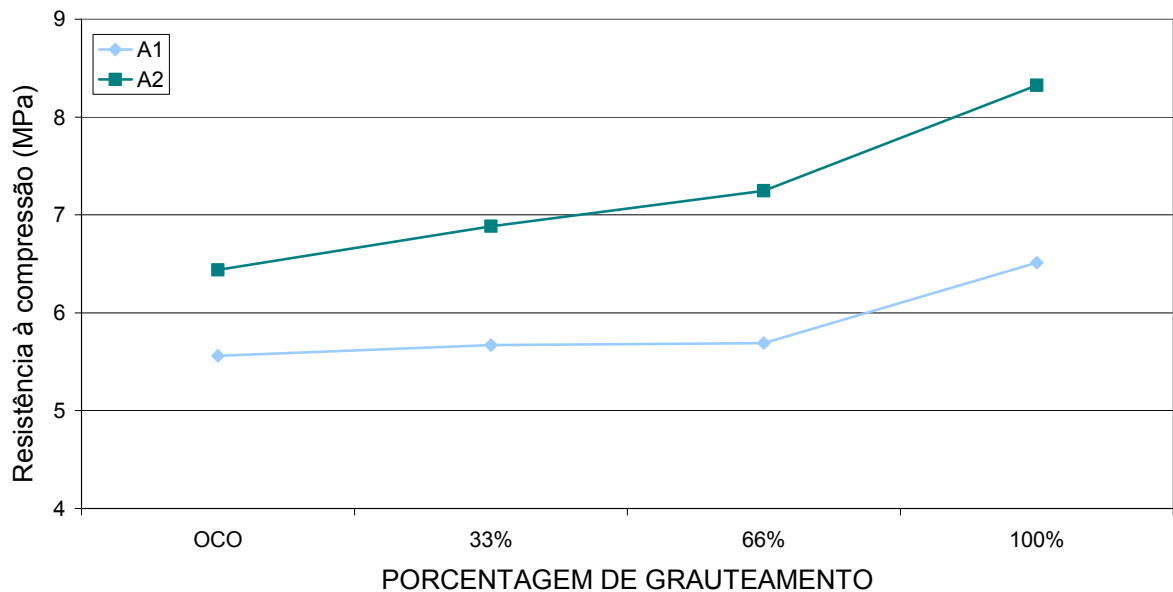


Figura 4.11 – Comparativo em relação à argamassa e ao tipo de grauteamento.

Nota-se que a argamassa A2 apresenta maior eficiência em relação ao aumento das células grauteadas se comparada com a argamassa A1. Na utilização da argamassa A2 o ganho de resistência dos prismas totalmente grauteados, se comparados com os prismas ocos, é de 29,27% contra 17,09% da argamassa A1.

Nesta análise o aumento de resistência à compressão dos prismas pode ser considerado significativo somente para a argamassa A2 e quando comparados os prismas ocos com os totalmente grauteados. Mais um vez se prova a importância da argamassa de assentamento e de sua dosagem conjunta com o graute, baseada nas propriedades dos prismas.

4.2.4 Comparação com o trabalho de Arantes (2003)

A seguir será realizada uma comparação dos resultados obtidos entre esta pesquisa e a pesquisa de Arantes (2003), sendo que as duas possuem metodologias similares. Na realização dos experimentos foram utilizados os componentes com as resistências à compressão da Tabela 4.02.

Tabela 4.01 – Resistências à compressão utilizadas em ambas pesquisas.

	Resistência à compressão (MPa)	
	Valores experimentais	Arantes (2003)
Bloco (área bruta)	13,25	13,08
Argamassa A1	8,31	6,50
Argamassa A2	18,35	18,80
Graute G1	7,98	8,93
Graute G2	16,47	15,36
Graute G3	24,38	26,66

Através da metodologia de procedimentos experimentais descrita nesta pesquisa, salientando a diferença de porcentagem de grauteamento para uma série de prismas parcialmente grauteados, sendo que Arantes (2003), em uma das séries de prismas, utilizou 50% das células grauteadas e nesta pesquisa foi utilizada 66% das células grauteadas, chega-se aos Quadros 4.03 e 4.04, que mostram um resumo dos resultados obtidos nesta e na pesquisa de Arantes (2003).

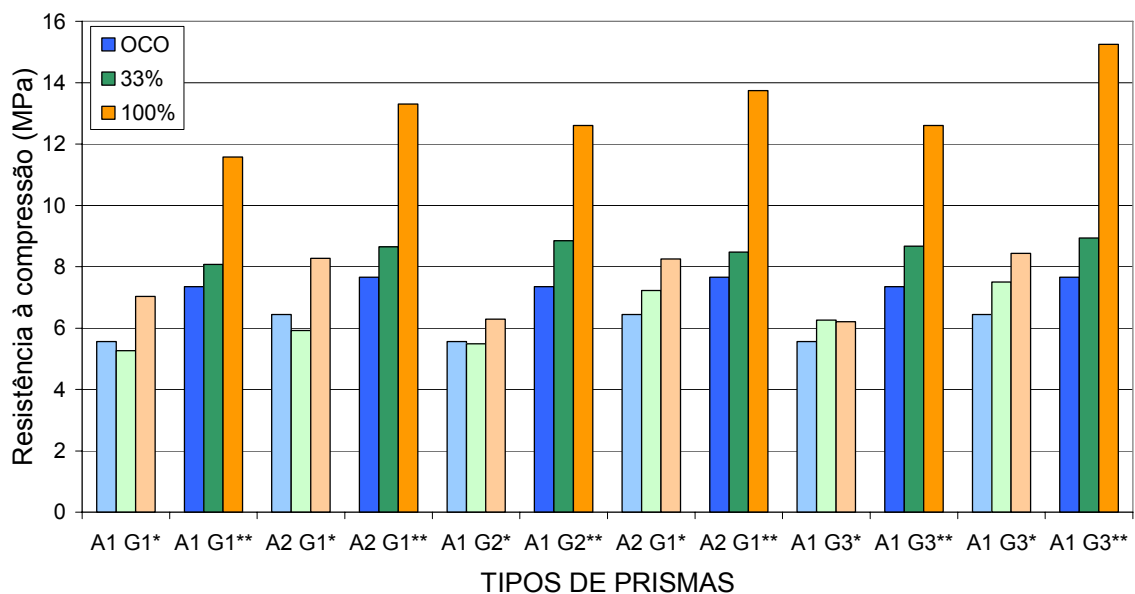
grautes	Resistências à compressão dos prismas (MPa)							
	oco		33%		66%		100%	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
G1	5,56	6,44	5,26	5,92	5,43	6,70	7,03	8,29
G2			5,49	7,23	5,48	7,15	6,29	8,25
G3			6,26	7,50	6,16	7,89	6,21	8,44

Quadro 4.03 – Resultados de resistência à compressão dos prismas.

grautes	Resistências à compressão dos prismas (MPa)							
	oco		33%		50%		100%	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
G1	7,35	7,66	8,07	8,65	8,04	9,34	11,58	13,30
G2			8,85	8,48	8,81	9,47	12,61	13,74
G3			8,67	8,93	8,33	10,06	13,59	15,25

Quadro 4.04 – Resultados de resistência à compressão (ARANTES, 2003).

Através da Figura 4.12 pode-se fazer uma comparação dos resultados desta pesquisa e do trabalho de Arantes (2003).



Observação: *valores desta pesquisa, **valores obtidos por Arantes (2003).

Figura 4.12 – Comparativo dos resultados deste trabalho com Arantes (2003).

Os resultados obtidos por Arantes (2003), em geral, estão acima dos resultados obtidos nesta pesquisa, onde além de maiores fatores de eficiência para prismas ocós e parcialmente grauteados, em média 65% contra 48%, também obteve valores muito superior para os prismas totalmente grauteados, que foram, em média, de 102% contra 57% desta pesquisa. Percebe-se uma perda de desempenho dos prismas ensaiados e uma mudança de comportamento do graute, principalmente nos prismas totalmente grauteados.

Considerando que as duas pesquisas foram realizadas com componentes de resistências similares conclui-se que, basicamente, o que difere para a obtenção de resultados adversos é a composição e geometria dos blocos cerâmicos utilizados. Os blocos utilizados nas diferentes pesquisas foram fabricados em diferentes indústrias cerâmicas, fabricados com argilas distintas. Além da espessura das paredes, o bloco utilizado neste trabalho tem a relação área/área bruta menor, 0,40, contra 0,47 do bloco utilizado por Arantes (2003). Em uma análise considerando as resistências dos prismas na área líquidas, mais apropriada para prismas com área líquidas diferentes, as diferenças encontradas entre as duas pesquisas diminuiriam

Outro fator que influencia o comportamento do graute e dos prismas grauteados, principalmente nos totalmente grauteados, é a área efetivamente grauteada, que também é maior nos blocos utilizados por Arantes (2003), aproximadamente 72% superior a dos blocos utilizados nesta pesquisa.

A Figura 4.13 mostra os blocos utilizados neste trabalho e no trabalho de Arantes (2003).

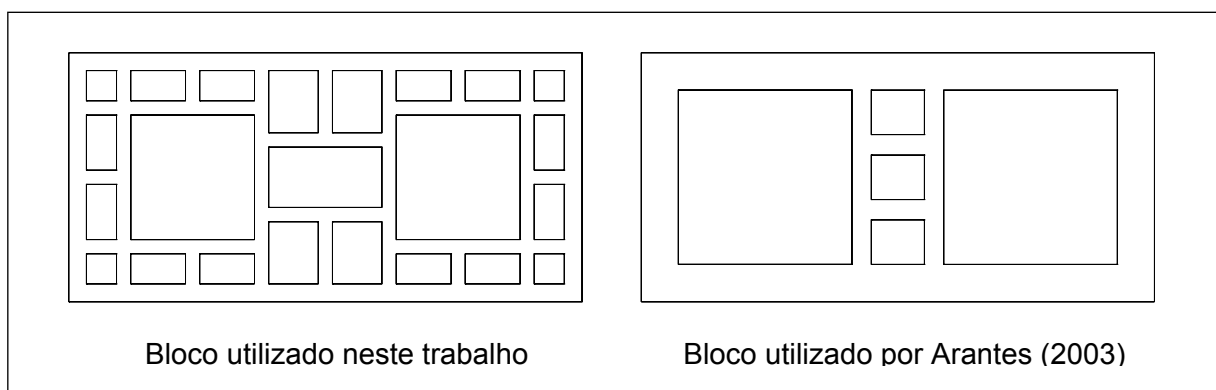


Figura 4.13 – Blocos utilizados nesta pesquisa e na pesquisa de Arantes (2003).

4.2.5 Comparação com equações propostas por outros autores

Para comparar valores experimentais obtidos nesta pesquisa com valores de simulações teóricas, foram utilizadas as equações de propostas por Colville e Wolde-Tinasea (1991b) Priestley e Yuk (1984), Hamid e Chandrakeerthy (1992), apresentadas no Capítulo 2 deste trabalho. Esses pesquisadores, ao formularem suas equações, basearam-se nas principais propriedades dos componentes da alvenaria estrutural, tais como: resistência à compressão uniaxial do bloco (área líquida), resistência à compressão axial da argamassa e do graute, relação da área líquida e bruta do bloco, relação da área efetivamente grauteada dos blocos, altura do bloco e altura da junta de argamassa.

O Quadro 4.05 apresenta os valores encontrados substituindo os dados experimentais nas equações dos referidos autores.

	Resistência à compressão (MPa) por tipo de prisma			
	Oco	Graute G1	Graute G2	Graute G3
Valores experimentais – A1	5,56	7,03	6,29	6,21
Valores experimentais – A2	6,44	8,29	8,25	8,44
Colville e Wolde-Tinasea	7,93	9,04	10,22	11,33
Priestley e Yuk – A1	8,06	9,08	11,65	13,37
Priestley e Yuk – A2	8,36	10,10	11,95	13,67
Hamid e Chandrakeerthy	3,53	5,52	7,63	9,59

Quadro 4.05 – Valores teóricos e experimentais para os prismas.

Os valores obtidos através da aplicação das equações teóricas foram em média superiores aos encontrados experimentalmente. Isto se deve basicamente ao fato das equações terem sido formuladas para alvenaria com blocos de concreto, que apresentam um fator de eficiência superior ao encontrado na alvenaria cerâmica. Por este motivo, fica prejudicada a comparação entre os resultados experimentais e teóricos não sendo possível fazer uma análise satisfatória dos resultados.

4.3 Modos de ruptura

Neste item procura-se analisar o comportamento e as causas da ruptura dos prismas sob ação de cargas de compressão. Assim, são apresentadas fotos e descrição da ruptura dos prismas ensaiados.

Os prismas com argamassa mais fraca apresentam ruptura com fissuração lenta. Sendo esta argamassa mais dúctil, ela tem maior capacidade de absorver as deformações do prisma. Já os prismas com argamassa mais forte têm uma ruptura explosiva, com os prismas fissurando e rompendo subitamente.

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

As Figuras 4.14 a 4.16 apresentam, respectivamente: a ruptura de um prisma com argamassa A1, onde ocorre deformação da argamassa e fendilhamento do bloco; o detalhe desta deformação da argamassa e da ação da mesma no bloco; e a ruptura explosiva do prisma com argamassa A2.



Figura 4.14 – Ruptura lenta do prisma, argamassa A1.



Figura 4.15 – Detalhe do fendilhamento do bloco e esmagamento da argamassa.



Figura 4.16 – Ruptura explosiva do prisma, argamassa A2.

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

Os prismas ocos apresentam, de forma geral, fissuração vertical na fiada intermediária entre as juntas verticais da argamassa, parecendo ser este um ponto de concentração de tensões. Esta fissuração é mostrada na foto da Figura 4.17.



Figura 4.17 – Ruptura do prisma oco, fissura vertical.

Outro fato a ser analisado é a ocorrência das primeiras fissuras na fiada intermediária de blocos, o que evidencia a influência do confinamento dos pratos da prensa na fiada superior e inferior dos blocos. Geralmente, em uma observação a olho nu (sem a medição de deformações), o início da fissuração dos prismas ocorreu em torno de 85% a 95% da carga de ruptura.

Os prismas totalmente grauteados apresentam fissuras verticais nas faces transversais dos blocos, que aumentaram em função da carga aplicada. As fissuras surgiram devido a maior deformação lateral do graute e da argamassa em relação ao bloco. A foto da Figura 4.18 mostra a formação deste tipo de fissura.



Figura 4.18 – Fissura vertical, prisma 100% grauteado.

A ruptura dos prismas grauteados ocorre devido à expansão do graute que, ao atingir sua capacidade de resistência à compressão, deforma devido à microfissuração interna. Com esta deformação, o graute transmite tensões aos demais componentes do prisma, bloco e junta de argamassa, que tendem a confinar o graute. A ação do graute sobre o prisma gera tensões de tração na interface bloco/argamassa, zona mais frágil do prisma, levando-o a ruína. Quando o graute não atinge a sua capacidade resistiva antes do conjunto bloco/argamassa, as faces do bloco são tracionadas ao restringirem as deformações da argamassa. O bloco sempre romperá por tensões de tração geradas pela deformação dos demais componentes.

Na parte do graute em contato com a junta de argamassa ocorre a formação de uma zona frágil do graute em decorrência da alta absorção deste local. Para grautes mais fracos esta zona costuma ser o ponto de ruptura do graute.

As Figuras 4.19 e 4.20 mostram a ação do graute sobre o prisma, ocasionando o deslocamento das paredes dos blocos. Na foto da Figura 4.21 pode ser visto a formação desta zona frágil do graute.



Figura 4.19 – Ação do graute sobre o prisma.



Figura 4.20 – Detalhe da ação do graute sobre o prisma.



Figura 4.21 – Graute, interface bloco/argamassa.

Em prismas com grautes de maior resistência à compressão e geralmente com a totalidade das células grauteadas, costuma ocorrer, após a ruína do conjunto bloco/argamassa, a formação de pilaretes de concreto, que são as cavidades grauteadas dos blocos que ficam intactas após a falência dos prismas. A foto da Figura 4.22 mostra a formação destes pilaretes. Já prismas com grautes de menor resistência e menor número de células grauteadas apresentam o rompimento da estrutura do graute. A foto da Figura 4.23 destaca esta situação.

Na interface bloco/graute a perda de água do graute para o bloco pode gerar a formação de fissuras e vazios, prejudicando a aderência desses dois componentes. Ainda, a perda de água para o bloco pode provocar o aparecimento de fissuras no graute devido à sua redução de volume.

As Figuras 4.24 e 4.25 mostram detalhes da interface bloco/graute onde, de modo geral, percebe-se um bom adensamento do graute e uma boa aderência entre os componentes.



Figura 4.22 – Prisma com graute forte, formação de pilaretes.



Figura 4.23 – Ruptura de prisma com graute fraco, ruptura do graute.



Figura 4.24 – Detalhe da interface bloco/graute.



Figura 4.25 – Detalhe da aderência do graute com o bloco.

4.4 Análise estatística

Com o objetivo de avaliar a existência de diferenças significativas entre as várias combinações de prismas ensaiados foi realizada a análise de variância. Este método estatístico, desenvolvido por Fischer que, através de testes de igualdade das médias, verifica, com o uso do coeficiente F, se os fatores produzem mudanças sistemáticas em alguma variável de interesse. Quando o quociente F calculado é menor que o valor de F crítico, não há diferença entre os valores analisados, enquanto que quando o F calculado for maior que o F crítico, há diferença entre os valores analisados. O nível de confiança adotado para este teste foi de 95%, sendo, portanto, utilizado um nível de significância de 5%.

Na aplicação da análise de variância por este modelo há três suposições básicas que devem ser satisfeitas: as amostras aleatórias devem ser independentes; as amostras devem ser extraídas de populações normais; e as populações devem ter variâncias iguais. Devido a limitações do tamanho amostral e dadas as restrições experimentais, o número de prismas ensaiados pode não ser o ideal para garantir a total observações destas hipóteses.

4.4.1 Comparação entre argamassas

Na realização da análise de prismas com diferentes argamassas e com mesmas porcentagens de grauteamento foram utilizadas seis classes de seis elementos cada. Com estes elementos utilizou-se as tabelas de Fischer e obteve-se graus de liberdade de 5,31 e F crítico igual a 2,53. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 4.03.

Em uma análise mais específica, onde foram comparados prismas com diferentes argamassas para cada combinação e graute e porcentagem de grauteamento, foram utilizadas duas classes de seis elementos cada, portanto, graus de liberdade de 1,10 e F crítico igual a 4,96 (conforme tabela de Fischer). A Tabela 4.04 apresenta os resultados encontrados para esta análise.

Tabela 4.02 – Resultados da análise de variância para prismas com diferentes tipos de argamassas e mesmas porcentagens de grauteamento.

Argamassa A1	Argamassa A2	Conclusão F _{calculado}
A1 33%	A2 33%	Há diferença 7,52
A1 66%	A2 66%	Há diferença 5,52
A1 100%	A12100%	Há diferença 6,58

Tabela 4.03 – Resultados da análise de variância para prismas com diferentes tipos de argamassas e mesma porcentagem de grauteamento e tipo de graute.

Argamassa A1	Argamassa A2	Conclusão F _{calculado}
A1 (5,56)	A2 (6,44)	Não há diferença 3,83
A1 G1 33% (5,26)	A2 G1 33% (5,92)	Não há diferença 1,22
A1 G2 33% (5,49)	A2 G2 33% (7,23)	Há diferença 11,94
A1 G3 33% (6,26)	A2 G3 33% (7,50)	Não há diferença 4,90
A1 G1 66% (5,43)	A2 G1 66% (6,70)	Há diferença 11,54
A1 G2 66% (5,48)	A2 G2 66% (7,15)	Não há diferença 4,75
A1 G3 66% (6,16)	A2 G3 66% (7,89)	Há diferença 6,88
A1 G1 100% (7,03)	A2 G1 100% (8,28)	Há diferença 6,86
A1 G2 100% (6,29)	A2 G2 100% (8,25)	Há diferença 13,46
A1 G3 100% (6,21)	A2 G3 100% (8,44)	Há diferença 8,34

Observação: Valores entre parênteses são as resistências médias (MPa) para as séries de prismas.

Pode-se perceber que, em termos gerais, há diferença significativa de aumento de resistência dos prismas grauteados quando na utilização da argamassa

A2 em relação à utilização da argamassa A1, como apresentado na Tabela 4.03. Já, em uma análise mais específica, nota-se que em alguns casos, como os das séries de prismas G1 33%, G3 100% e G2 66%, apresentados na Tabela 4.04, não há um aumento significativo na resistência dos prismas com o aumento da argamassa, resultado este, que também é encontrado nos prismas sem grauteamento.

4.4.2 Comparação entre grautes

A análise de variância para prismas com diferentes tipos de grautes é apresentada na Tabela 4.05. Para tal análise foram utilizados três classes de seis elementos cada, portanto, graus de liberdade de 2,15 e F crítico igual a 3,68 (conforme tabela de Fischer).

Tabela 4.04 – Resultados da análise de variância para prismas com diferentes tipos de grautes e mesma porcentagem de grauteamento e tipo de argamassa.

Graute G1	Graute G2	Graute G3	Conclusão F _{calculado}
A1 G1 33% (5,26)	A1 G2 33% (5,49)	A1 G3 33% (6,26)	Há diferença 3,69
A1 G1 66% (5,43)	A1 G2 66% (5,48)	A1 G3 66% (6,16)	Não há diferença 1,14
A1 G1 100% (7,03)	A1 G2 100% (6,29)	A1 G3 100% (6,21)	Não há diferença 1,91
A2 G1 33% (5,92)	A2 G2 33% (7,23)	A2 G3 33% (7,50)	Não há diferença 3,08
A2 G1 66% (6,70)	A2 G2 66% (7,15)	A2 G3 66% (7,89)	Não há diferença 1,51
A2 G1 100% (8,28)	A2 G2 100% (8,25)	A2 G3 100% (8,44)	Não há diferença 0,04

Observação: Valores entre parênteses são as resistências médias (MPa) para as séries de prismas.

Nota-se, conforme apresentado na Tabela 4.05, que o aumento na resistência do graute não gera um aumento significativo nas resistências dos prismas, com exceção da série de prismas A1 33%. No caso da série de prismas A1 100% há inclusive um decréscimo na resistência.

4.4.3 Comparação entre porcentagem de grauteamento

A comparação dos prismas com diferentes porcentagens de grauteamento foi realizada utilizando-se quatro classes de seis elementos cada, com graus de liberdade de 3,20 e F crítico igual a 3,10 (conforme tabela de Fischer). Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 4.06.

Tabela 4.05 – Resultados da análise de variância para prismas com diferentes tipos de porcentagens de grauteamento e mesmo tipo de graute e de argamassa.

Oco	33%	66%	100%	Conclusão
A1 (5,56)	A1 G1 33% (5,26)	A1 G1 66% (5,43)	A1 G1 100% (7,03)	Há diferença 8,73
A1 (5,56)	A1 G2 33% (5,49)	A1 G2 66% (5,48)	A1 G2 100% (6,29)	Não há diferença 1,20
A1 (5,56)	A1 G3 33% (6,26)	A1 G3 66% (6,16)	A1 G3 100% (6,21)	Não há diferença 0,86
A2 (6,44)	A2 G1 33% (5,92)	A2 G1 66% (6,70)	A2 G1 100% (8,28)	Há diferença 6,65
A2 (6,44)	A2 G2 33% (7,23)	A2 G2 66% (7,15)	A2 G2 100% (8,25)	Não há diferença 2,68
A2 (6,44)	A2 G3 33% (7,50)	A2 G3 66% (7,89)	A2 G3 100% (8,44)	Não há diferença 2,70

Observação: Os valores entre parênteses são as resistências médias (MPa) para a série de prismas.

Após a análise dos resultados encontrados, apresentados na Tabela 4.06, pode-se constatar que a influência da porcentagem de grauteamento, considerando todos os tipos de porcentagens, foi mais intensa nos casos de prismas grauteados com o graute G1, onde houve aumento significativo na resistência à compressão.

Em uma análise mais detalhada, conforme apresentada a seguir na Tabela 4.07, onde foram comparados os prismas sem grauteamento com os prismas com diferentes porcentagens de grauteamento, foi realizada a análise de variância com graus de liberdade de 1,10 e F crítico igual a 4,96 (conforme tabela de Fischer).

Nesta última análise concluiu-se que o ganho efetivo de resistência ocorre quando há um grauteamento de 100% das células do prisma, como pode ser demonstrado na Tabela 4.07, nas séries de prismas A1 G1, A2 G1, A2 G2 e A2 G3.

Tabela 4.06 – Resultados da análise de variância na comparação de prismas sem grauteamento com prismas com diferentes porcentagens de grauteamento.

Prisma Oco x Prisma 33%		Prisma Oco x Prisma 66%		Prisma Oco x Prisma 100%	
33%	Conclusão Fcalculado	66%	Conclusão Fcalculado	100%	Conclusão Fcalculado
A1 G1 (5,26)	= 0,50	A1 G1 (5,43)	= 0,09	A1 G1 (7,03)	≠ 15,25
A1 G2 (5,49)	= 0,02	A1 G2 (5,48)	= 0,02	A1 G2 (6,29)	= 2,59
A1 G3 (6,26)	= 2,88	A1 G3 (6,16)	= 1,49	A1 G3 (6,21)	= 1,39
A2 G1 (5,92)	= 0,73	A2 G1 (6,70)	= 0,44	A2 G1 (8,28)	≠ 11,63
A2 G2 (7,23)	= 2,37	A2 G2 (7,15)	= 1,06	A2 G2 (8,25)	≠ 11,39
A2 G3 (7,50)	= 3,25	A2 G3 (7,89)	≠ 5,22	A2 G3 (8,44)	≠ 8,02

Observação: Os valores entre parênteses são as resistências médias (MPa) para a série de prismas.

Capítulo 5 CONCLUSÃO

5.1 Considerações iniciais

Este capítulo se propõe a apresentar as principais conclusões retiradas ao analisar os resultados experimentais deste trabalho. Também apresenta sugestões para trabalhos futuros nesta área de pesquisa.

5.2 Conclusões sobre o programa experimental

Em relação à comparação da utilização dos dois tipos de argamassa pôde-se constatar uma influência significativa da resistência da argamassa na resistência à compressão dos prismas. Esta influência se torna mais evidente à medida em que se utilizam grautes com maiores resistências à compressão.

Na comparação entre os prismas grauteados com diferentes tipos de grautes, conclui-se que o aumento de resistência dos grautes não gera um aumento significativo na resistência dos prismas. De forma geral, há um pequeno aumento na resistência dos prismas com o aumento da resistência dos grautes, mas em prismas com a totalidade das células grauteadas a utilização de grautes de maior resistência pode gerar um decréscimo de resistência nos prismas. Este fato foi constatado somente nas séries de prismas em que se utilizou a argamassa de resistência mais fraca. Os prismas com 100% das células grauteadas sofrem maior influência das tensões geradas pelo graute em função do estado de confinamento do mesmo.

Para prismas parcialmente grauteados o aumento da porcentagem das células grauteadas gera um aumento proporcional, mas não significativo, na resistência dos prismas. Os prismas totalmente grauteados fogem da proporcionalidade – no aumento de resistência à compressão – apresentada pelos prismas parcialmente grauteados e não grauteados e, na sua maioria, têm um ganho significativo de resistência, principalmente na utilização de argamassas mais fortes.

O tipo de bloco utilizado na composição das paredes de alvenaria tem fundamental importância na sua composição, pois diferenças em suas formas,

dimensões e material utilizado podem gerar um diferente comportamento na estrutura quando na ação de cargas de compressão, esta diferença fica mais evidenciada na alvenaria grauteada, conforme se percebe na comparação dos resultados desta pesquisa com os resultados encontrados por Arantes (2003), onde são empregados diferentes tipos de blocos.

Com a análise do comportamento dos prismas à compressão notou-se que a ruptura da alvenaria grauteada ocorre devido a expansão do graute, que transmite tensões aos demais componentes do prisma, bloco e junta de argamassa, que tendem a confinar o graute. A ação do graute sobre o prisma gera tensões de tração na interface bloco/argamassa, zona mais frágil do prisma, levando-o à ruína. Quando o graute não atingiu a sua capacidade resistiva antes do conjunto bloco/argamassa, as faces do bloco são tracionadas ao restringirem as deformações da argamassa, que tem a tendência de se expandir lateralmente. O bloco sempre rompeu por tensões de tração geradas pela deformação dos demais componentes.

Os prismas com argamassas mais fracas, na maioria das vezes, rompem de forma lenta, pois as argamassas mais fracas são mais dúcteis, com maior capacidade de absorver deformações. Já os prismas com argamassas mais fortes, geralmente, têm ruptura explosiva, fissurando subitamente.

Prismas com grautes de resistência mais elevada são mais influenciados pelas tensões geradas pelo graute nos demais componentes. No caso de prismas totalmente grauteados esta situação se agrava pelo maior confinamento do graute.

5.3 Conclusões gerais

Através dos resultados encontrados neste trabalho conclui-se que a utilização do grauteamento parcial em painéis de alvenaria pode ser eficiente desde que seja utilizado de forma adequada, com uma compatibilização da dosagem de traços de grautes e argamassas com as características mecânicas dos blocos utilizados.

A utilização de argamassas de maiores resistências potencializam, além da utilização de grautes mais fortes, a utilização de prismas com a totalidade das células grauteadas, reduzindo os efeitos maléficos da ação das tensões do graute, quando sob a ação de cargas de compressão, sobre o conjunto bloco/argamassa.

Com base nos resultados experimentais e considerando os componentes utilizados nesta pesquisa, a série de prismas que apresentou melhor desempenho é a que encontra-se com sua totalidade de células grauteadas com o graute G1 e executada com a utilização da argamassa A2.

Na comparação de dados experimentais com resultados obtidos por outros pesquisadores ou com resultados teóricos obtidos através de equações formuladas por outros pesquisadores devem ser guardadas devidas proporções, pois o comportamento da alvenaria sofre influência de vários fatores, como: o comportamento elástico e capacidade resistente dos componentes utilizados, as formas e dimensões dos blocos adotados, as dimensões dos prismas ensaiados, entre outros. Portanto, se torna importante o estudo das metodologias aplicadas levando-se em conta possíveis considerações na comparação destes resultados.

Este estudo pode trazer subsídios para a utilização de grauteamento parcial em projetos em alvenaria estrutural, colaborando para melhorar a resistência à compressão das estruturas, garantido também, maior eficiência à mesma.

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Complementar este estudo realizando ensaios com medições de deformações;
- Realizar simulações em elementos finitos dos modelos estudados nesta pesquisa; para que se tenha uma melhor visualização de todas as tensões que surgem nos prismas e se possa identificar as regiões críticas de rompimento.
- Realizar estudos utilizando diferentes geometrias de blocos;
- Realizar uma pesquisa semelhante utilizando prismas de alvenaria cerâmica de diferentes tamanhos, inclusive paredes;
- Realizar uma pesquisa semelhante utilizando blocos de concreto;
- Fazer uma análise financeira, confrontando a utilização de diferentes blocos e argamassas com a utilização de diferentes tipos de grauteamento;
- Estudar a aderência da interface bloco/argamassa e bloco/graute

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Sampling and testing brick and structurel clay tile**: ASTM C 67-78. Philadelphia. 1978.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária**: Método de ensaio: NBR 7251. Rio de Janeiro. 1982. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto**: Especificação: NBR 7211. Rio de Janeiro. 1983. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**: Método de ensaio: NBR 9776. Rio de Janeiro. 1987. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão**: Método de ensaio: NBR 13279. Rio de Janeiro. 1995. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão**: Método de ensaio: NBR 13276. Rio de Janeiro. 1995. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão**: Método de ensaio: NBR 6461. Rio de Janeiro. 1983. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco cerâmico para alvenaria**: Especificação: NBR 7171. Rio de Janeiro. 1992. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco cerâmico para alvenaria – Formas e dimensões**: Método de ensaio: NBR 8042. Rio de Janeiro. 1992. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco cerâmico portante para alvenaria – Determinação da área líquida**: Método de ensaio: NBR 8043. Rio de Janeiro. 1983. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural**: Especificação: NBR 6136. Rio de Janeiro. 1994. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto**: Procedimento: NBR 8798. Rio de Janeiro. 1985. 29p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland pozolânico**: Especificação: NBR 5736. Rio de Janeiro. 1991. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**: Método de ensaio: NBR 6474. Rio de Janeiro. 1984. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**: Método de ensaio: NBR 7215. Rio de Janeiro. 1991. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone:** Método de ensaio: NBR 7223. Rio de Janeiro. 1982. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da composição granulométrica dos agregados:** Método de ensaio: NBR 7217. Rio de Janeiro. 1982. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto:** Método de ensaio: NBR 5739. Rio de Janeiro. 1980. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de concreto dosado em central:** Procedimentos NBR 7212. Rio de Janeiro. 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução e controle de obras em alvenaria estrutural em blocos de concreto:** Procedimento: NBR 1228. Rio de Janeiro. 1989. 22p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto, cilíndrico ou prismático:** Procedimentos: NBR 5738. Rio de Janeiro. 1984. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Preparo e ensaio à compressão:** Método de ensaio: NBR 8215. Rio de Janeiro. 1983. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Telha cerâmica para alvenaria – Determinação da massa e da absorção de água:** Método de ensaio: NBR 8947. Rio de Janeiro. 1985. 2p.

ATKINSON, R. H.; KINGSLEY, G.R.; YAN, G. G. A database for compressive stress-strain behavior of masonry. **Fifth North American Masonry Conference**, University of Illinois at Urbana-Champaign. 1990.

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

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

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto**. 1998. 167p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

CAMACHO, J. S.; RODRIGUES, R. O. Utilização do graute na alvenaria estrutural. **Anais do 41º Congresso Brasileiro do Concreto**, Salvador, 1999. Artigo técnico. Salvador, BA. p. 142. 1999.

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

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

CAVALHEIRO, O. P. ; GOMES, N. S. Alvenaria estrutural de blocos vazados: resultados de ensaios de elementos e redutores de resistência à compressão. **VII International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries**, Proceedings. Belo Horizonte, Brazil. 2002. p. 411-419.

CAVALHEIRO, O. P.; PEDROSO, G. M. Argamassas de assentamento para alvenaria estrutural: cimento pozolânico x cimento comum com traço em volume. **III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Vitória-ES. 1999. p. 359-368

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

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

DHANASEKAR, M.; KUMAR, M. Parametric studies on the strength and stiffness of reinforced clay block masonry. **10th International Brick/Block Masonry Conference**. 1994. Alberta, Canada. Proceedings, v. 1, p. 97-106. 1994

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

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

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-SP.

HAMID, A. A.; CHANDRAKEERTHY, S. R. **Compressive strength of partially grouted concrete masonry using small scale wall elements**. Drexel University, Philadelphia. 1992.

HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. Suggested failure criteria for grouted masonry under axial compressive. **American Concrete Institute Journal**. 1979. p. 1047-1061.

KHALAF, F. M. Factors influencing compressive strength of concrete masonry prisms. **Magazine of Concrete Research**. June, 1996, 48, n 175, p. 95-101.

KINGSLEY, G. R.; TULIN, L.G.; NOLAND, J.L. **Parameter influencing the properties of grout in hollow clay masonry**. Colorado Masonry Institute, University of Colorado, Colorado, USA, 1984, 110 p.

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

MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais**. 1998. 185p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas blocos de concreto**. 1998. 178p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

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

PEDROSO, G. M. **Estudo de resistência de aderência ao cisalhamento na alvenaria estrutural**. 2001. 105p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria-RS.

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

RIZZATTI, E. **Influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural sob compressão**. 2003. 170p.. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

ROMAGNA, R. H. **Resistência a compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados**. 2000. 195p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

ROMAN, H. R. Argamassas de assentamento para alvenaria. In: **Simpósio de Desempenho de Matérias e Componentes de Construção Civil**, 3, 1991. Florianópolis. UFSC. P. 111-116.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim Técnico - Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, São Paulo. 26 p. 1986.

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

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

SCRIVENER, J.C.; BAKER, L.R. Factors influencing grouted masonry prism compressive strength. **8th International Brick/Block Masonry Conference**. 1988. Dublin, Ireland. Proceedings, v. 2, p. 874-883. 1994.

Corpos-de-prova	Resistência à compressão (MPa) em diferentes idades (dias)		
	3	7	28
1	18,3	25,3	34,8
2	18,0	25,5	35,2
3	18,9	25,6	34,7
4	17,8	26,0	32,5
Média	18,2	25,6	34,3
DRM	3,56	1,56	5,24

Quadro A.1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do cimento.

AMOSTRA NÚMERO	DIMENSÕES NOMINAIS (mm)			ESQUADRO (mm)	PLANEZA (mm)
	L	H	C		
1	140,0	190,0	289,5	1,0	2,0
2	139,5	190,0	290,0	1,0	1,5
3	140,5	190,0	291,0	1,0	1,0
4	140,5	190,0	289,0	2,0	1,0
5	139,0	189,0	288,5	0,5	2,5
6	139,0	188,0	288,0	3,0	0,5
7	140,0	190,5	290,5	4,0	1,0
8	139,5	190,0	289,5	1,5	2,0
9	140,0	189,5	290,0	3,0	3,0
10	140,0	189,0	289,0	1,5	1,5
11	139,5	189,5	290,0	1,5	2,0
12	135,5	189,0	289,5	1,0	1,0
13	140,0	189,5	290,0	2,0	2,5
Média	139,5	189,5	289,6	1,8	1,7
DP	1,23	0,63	0,78	0,97	0,72
CV (%)	0,88	0,33	0,27	55,00	43,38

Quadro A.2 – Resultados do ensaio dimensional dos blocos cerâmicos.

AMOSTRA NÚMERO	PAREDES (mm)			FURO (mm)
	E	interna	externa	
1	9,0	34,0	79,0	69,0
2	9,5	34,0	78,5	69,0
3	10,0	34,0	78,5	69,0
4	10,0	33,0	78,5	68,0
5	9,5	34,0	79,0	68,0
6	10,0	33,0	78,0	68,0
7	10,0	34,0	78,5	69,5
8	10,0	33,0	79,0	68,5
9	9,5	33,0	79,5	69,0
10	9,0	34,5	79,5	67,5
11	9,0	33,5	79,0	68,0
12	9,0	33,0	79,0	67,5
13	9,5	33,5	79,0	69,0
Média	9,5	33,6	78,8	68,5
DP	0,41	0,51	0,41	0,63
CV (%)	4,34	1,52	0,52	0,92

Quadro A.3 – Resultados do ensaio dimensional dos blocos cerâmicos (paredes).

AMOSTRA NÚMERO	DIMENSÕES NOMINAIS (mm)			ÁREA (cm ²)	CARGA (kgf)	TENSÃO (MPa)
	L	H	C			
1	140,0	190,0	289,5	405,30	54.200	13,12
2	139,5	190,0	290,0	404,55	47.500	11,52
3	140,5	190,0	291,0	408,86	40.500	9,72
4	140,5	190,0	289,0	406,05	67.200	16,24
5	139,0	189,0	288,5	401,02	48.200	11,79
6	139,0	188,0	288,0	400,32	59.000	14,46
7	140,0	190,5	290,5	406,70	47.500	11,46
8	139,5	190,0	289,5	403,85	67.750	16,46
9	140,0	189,5	290,0	406,00	55.750	13,47
10	140,0	189,0	289,0	404,60	61.500	14,91
11	139,5	189,5	290,0	404,55	51.500	12,49
12	135,5	189,0	289,5	392,27	66.250	16,57
13	140,0	189,5	290,0	406,00	41.500	10,03
Média	139,5	189,5	289,6	403,85	54.488	13,25
DP	1,23	0,63	0,78	3,98	9.019,23	2,26
CV (%)	0,88	0,33	0,27	0,98	16,55	17,04

Quadro A.4 – Resultados do ensaio de resistência à compressão dos blocos cerâmicos.

AMOSTRA NÚMERO	MASSA (kg)				ABSORÇÃO (%)	A. LÍQUIDA (cm ²)
	RECEBIDA	SECA	SATURADA	APARENTE		
14	6,055	6,050	6,715	3,675	10,99	160,00
15	6,010	5,995	6,770	3,675	12,93	162,89
16	5,990	5,985	6,700	3,650	11,95	160,53
17	6,020	6,015	6,705	3,660	11,47	160,26
18	6,010	6,000	6,770	3,675	12,83	162,89
19	6,020	6,015	6,705	3,660	11,47	160,26
Média	6,018	6,010	6,728	3,666	11,94	161,14
DP	0,02	0,02	0,03	0,01	0,72	1,25
CV (%)	0,32	0,35	0,45	0,27	6,03	0,78

Quadro A.5 – Resultados do ensaio de absorção e área líquida dos blocos cerâmicos.

AMOSTRA NÚMERO	MASSA (kg)				IRA (g/193,55.cm ² .min)	
	SECA	M1	m2	m3	Assent.	Revest.
14	6,050	6,080	6,115	6,175	39,31	21,08
15	5,995	6,025	6,060	6,110	38,62	17,56
16	5,985	6,025	6,055	6,110	42,20	19,32
17	6,015	6,060	6,100	6,165	51,33	22,83
18	6,000	6,035	6,065	6,125	38,62	21,08
19	6,015	6,045	6,085	6,150	42,27	22,83
Média	6,010	6,045	6,080	6,139	42,08	20,78
DP	0,02	0,02	0,02	0,03	4,42	1,87
CV (%)	0,35	0,33	0,36	0,42	10,51	9,02

Quadro A.6 – Resultados do ensaio de índice de absorção inicial dos blocos cerâmicos.

Argamassada	Cimento (kg)	Cal (kg)	Areia (kg)	Água (kg)	IC (mm)	a/c
1 – 95 kg	11,358	5,75	77,892	13,443	215	1,1835
2 – 95 kg	11,358	5,75	77,892	13,443	210	1,1835
3 – 95 kg	11,358	5,75	77,892	13,443	225	1,1835
4 – 95 kg	11,358	5,75	77,892	13,443	220	1,1835
Média	11,358	5,75	77,892	13,443	218	1,1835

Quadro A.7 – Traços utilizados para a argamassa A1.

Argamassada	Cimento (kg)	Cal (kg)	Areia (kg)	Água (kg)	IC (mm)	a/c
1 – 95 kg	18,125	2,295	74,581	13,158	220	0,7259
2 – 95 kg	18,125	2,295	74,581	13,158	230	0,7259
3 – 95 kg	18,125	2,295	74,581	13,158	225	0,7259
4 – 95 kg	18,125	2,295	74,581	13,158	220	0,7259
Média	18,125	2,295	74,581	13,158	224	0,7259

Quadro A.8 – Traços utilizados para a argamassa A2.

Argamassa	Argamassadas – Resistência à compressão (MPa)				
	1	2	3	4	Média
A1	7,77	9,21	8,86	7,41	8,31
A2	18,68	17,68	19,15	17,89	18,35

Quadro A.9 – Resultados médios da resistência à compressão das argamassas A1 e A2.

Argamassa A1			a/c	1,18	29 dias
1ª Argamassada			IC (mm)	215	06/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	5,01	5,02	18,95	1.480	7,66
2	5,01	5,02	18,95	1.620	8,39
3	5,00	5,00	18,84	1.410	7,34
4	5,00	5,02	18,91	1.480	7,68
Média (MPa)					7,77
DP (MPa)					0,44
CV (%)					5,67

Quadro A.10 – Resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa A1 (1ª mistura).

Argamassa A1			a/c	1,18	29 dias
2ª Argamassada			IC (mm)	210	06/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	4,96	5,01	18,73	1.750	9,17
2	4,92	5,00	18,54	1.850	9,79
3	5,00	5,01	18,88	1.700	8,83
4	5,01	5,02	18,95	1.750	9,06
Média (MPa)					9,21
DP (MPa)					0,41
CV (%)					4,44

Quadro A.11 – Resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa A1 (2ª mistura).

Argamassa A1			a/c	1,18	29 dias
3ª Argamassada			IC (mm)	225	06/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	5,00	5,03	18,95	1.750	9,06
2	5,00	5,02	18,91	1.680	8,71
3	5,00	5,00	18,84	1.600	8,33
4	5,01	5,01	18,91	1.800	9,34
Média (MPa)					8,86
DP (MPa)					0,43
CV (%)					4,90

Quadro A.12 – Resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa A1 (3ª mistura).

Argamassa A1			a/c	1,18	29 dias
4ª Argamassada			IC (mm)	220	08/08/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	5,00	5,00	18,84	1.440	7,50
2	5,00	5,01	18,88	1.500	7,80
3	5,01	5,01	18,91	1.350	7,00
4	5,01	5,00	18,88	1.410	7,33
Média (MPa)					7,41
DP (MPa)					0,21
CV (%)					2,83

Quadro A.13 – Resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa A1 (4ª mistura).

Argamassa A2			a/c	0,73	29 dias
1ª Argamassada			IC (mm)	220	05/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	5,01	5,01	18,91	3.670	19,04
2	5,02	5,02	18,99	3.530	18,24
3	5,00	5,00	18,84	3.640	18,96
4	5,02	5,02	18,99	3.520	18,18
Média (MPa)					18,60
DP (MPa)					0,45
CV (%)					2,44

Quadro A.14 – Resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa A2 (1ª mistura).

Argamassa A2			a/c	0,73	29 dias
2ª Argamassada			IC (mm)	230	05/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	5,00	5,00	18,84	3.220	16,77
2	5,00	5,00	18,84	3.570	18,59
3	5,02	5,01	18,95	3.500	18,12
4	5,01	5,02	18,95	3.330	17,24
Média (MPa)					17,68
DP (MPa)					0,83
CV (%)					4,67

Quadro A.15 – Resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa A2 (2ª mistura).

Argamassa A2			a/c	0,73	29 dias
3ª Argamassada			IC (mm)	225	05/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	5,01	5,01	18,91	3.840	19,92
2	5,00	5,00	18,84	3.520	18,33
3	5,00	5,02	18,91	3.700	19,19
4	5,01	5,03	18,99	1.650	-
Média (MPa)					19,15
DP (MPa)					0,79
CV (%)					4,15

Quadro A.16 – Resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa A2 (3ª mistura).

Argamassa A2			a/c	0,73	29 dias
4ª Argamassada			IC (mm)	220	08/08/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	5,02	5,03	19,03	3.500	18,05
2	5,02	5,01	18,95	3.400	17,60
3	5,03	5,02	19,03	3.700	19,08
4	5,01	5,02	18,95	3.250	16,82
Média (MPa)					17,89
DP (MPa)					0,94
CV (%)					5,26

Quadro A.17 – Resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa A2 (4ª mistura).

Betonada	Cim. (kg)	Cal (kg)	Areia (kg)	Pedra (kg)	Água (kg)	Slump (mm)	a/c
1 – 95 kg	10,351	0,262	46,143	38,244	11,075	205	1,07
2 – 95 kg	10,351	0,262	46,143	38,244	10,662	190	1,03
3 – 95 kg	10,351	0,262	46,143	38,244	11,075	195	1,07
4 – 95 kg	10,351	0,262	46,143	38,244	11,075	200	1,07
5 – 95 kg	10,351	0,262	46,143	38,244	10,972	190	1,06
6 – 95 kg	10,351	0,262	46,143	38,244	11,075	190	1,07
Média	10,351	0,262	46,143	38,244	10,989	195	1,06

Quadro A.18 – Traços utilizados para o graute G1.

Betonada	Cim. (kg)	Cal (kg)	Areia (kg)	Pedra (kg)	Água (kg)	Slump (mm)	a/c
1 – 95 kg	14,073	0,356	43,432	37,140	10,133	205	0,72
2 – 95 kg	14,073	0,356	43,432	37,140	11,118	200	0,79
3 – 95 kg	14,073	0,356	43,432	37,140	11,258	190	0,80
4 – 95 kg	14,073	0,356	43,432	37,140	10,836	190	0,77
5 – 95 kg	14,073	0,356	43,432	37,140	11,258	205	0,80
6 – 95 kg	14,073	0,356	43,432	37,140	10,836	210	0,77
Média	14,073	0,356	43,432	37,140	10,906	200	0,78

Quadro A.19 – Traços utilizados para o graute G2.

Betonada	Cim. (kg)	Cal (kg)	Areia (kg)	Pedra (kg)	Água (kg)	Slump (mm)	a/c
1 – 95 kg	20,710	0,524	35,507	38,244	12,012	190	0,58
2 – 95 kg	20,710	0,524	35,507	38,244	12,219	205	0,59
3 – 95 kg	20,710	0,524	35,507	38,244	11,598	210	0,56
4 – 95 kg	20,710	0,524	35,507	38,244	11,390	195	0,55
5 – 95 kg	20,710	0,524	35,507	38,244	11,598	210	0,56
6 – 95 kg	20,710	0,524	35,507	38,244	11,598	200	0,56
Média	20,710	0,524	35,507	38,244	11,736	202	0,57

Quadro A.20 – Traços utilizados para o graute G3.

Graute	Betonadas – Resistência à compressão (MPa)						
	1	2	3	4	5	6	Média
G1	8,99	6,91	9,18	8,65	7,39	6,77	7,98
G2	14,94	18,19	16,70	16,71	16,45	15,82	16,47
G3	23,14	23,38	23,50	25,03	25,22	26,01	24,38

Quadro A.21 – Resultados médios da resistência à compressão dos grautes G1, G2 e G3.

Graute G1			a/c	1,07	28 dias
1ª Betonada			Slump (mm)	205	05/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,05	10,06	76,18	7.600	9,79
2	9,96	9,92	74,45	6.800	8,96
3	10,05	10,05	76,11	7.000	9,02
Média (MPa)					8,99
DP (MPa)					0,46
CV (%)					5,12

Quadro A.22 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G1 (1ª betonada).

Graute G1			a/c	1,03	28 dias
2ª Betonada			Slump (mm)	190	05/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,30	10,46	81,19	6.000	7,25
2	10,38	10,34	80,88	5.950	7,22
3	10,60	10,40	83,08	5.300	6,26
Média (MPa)					6,91
DP (MPa)					0,56
CV (%)					8,15

Quadro A.23 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G1 (2ª betonada).

Graute G1			a/c	1,06	28 dias
3ª Betonada			Slump (mm)	195	06/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,48	10,44	82,45	8.400	9,99
2	10,48	10,62	83,87	7.700	9,01
3	10,44	10,38	81,66	7.100	8,53
Média (MPa)					9,18
DP (MPa)					0,75
CV (%)					8,15

Quadro A.24 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G1 (3ª betonada).

Graute G1			a/c	1,07	28 dias
4ª Betonada			Slump (mm)	200	06/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,50	10,52	83,24	7.200	8,49
2	10,54	10,40	82,60	7.200	8,55
3	10,34	10,18	79,32	7.200	8,90
Média (MPa)					8,65
DP (MPa)					0,23
CV (%)					2,61

Quadro A.25 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G1 (4ª betonada).

Graute G1			a/c	1,06	28 dias
5ª Betonada			Slump (mm)	190	08/08/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,15	10,20	78,01	5.700	7,17
2	10,25	10,15	78,40	5.500	6,88
3	10,40	10,45	81,89	6.600	7,91
Média (MPa)					7,39
DP (MPa)					0,53
CV (%)					7,15

Quadro A.26 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G1 (5ª betonada).

Graute G1			a/c	1,07	28 dias
6ª Betonada			Slump (mm)	190	08/08/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,15	10,20	78,01	5.500	6,92
2	10,10	10,05	76,49	5.250	6,73
3	10,40	10,35	81,11	5.500	6,65
Média (MPa)					6,77
DP (MPa)					0,14
CV (%)					2,00

Quadro A.27 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G1 (6ª betonada).

Graute G2			a/c	0,72	28 dias
1ª Betonada			Slump (mm)	205	05/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,38	10,38	81,19	11.850	14,32
2	10,32	10,28	79,94	13.000	15,95
3	10,44	10,28	80,88	12.000	14,56
Média (MPa)					14,94
DP (MPa)					0,88
CV (%)					5,91

Quadro A.28 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G2 (1ª betonada).

Graute G2			a/c	0,79	28 dias
2ª Betonada			Slump (mm)	200	05/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	9,96	9,94	74,60	13.500	17,75
2	10,34	10,42	81,19	14.400	17,40
3	10,20	10,18	78,24	15.500	19,43
Média (MPa)					18,19
DP (MPa)					1,09
CV (%)					5,97

Quadro A.29 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G2 (2ª betonada).

Graute G2			a/c	0,80	28 dias
3ª Betonada			Slump (mm)	190	06/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	9,96	10,01	75,13	11.900	15,54
2	10,20	10,16	78,09	14.400	18,09
3	10,50	10,46	82,76	13.900	16,48
Média (MPa)					16,70
DP (MPa)					1,29
CV (%)					7,73

Quadro A.30 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G2 (3ª betonada).

Graute G2			a/c	0,77	28 dias
4ª Betonada			Slump (mm)	190	06/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,44	10,48	82,45	13.900	16,54
2	9,98	10,20	76,72	13.000	16,62
3	9,94	9,96	74,60	12.900	16,96
Média (MPa)					16,71
DP (MPa)					0,22
CV (%)					1,34

Quadro A.31 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G2 (4ª betonada).

Graute G2			a/c	0,77	28 dias
1ª Betonada			Slump (mm)	210	08/08/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	9,85	9,90	73,48	12.750	17,02
2	10,50	10,45	82,68	13.400	15,90
3	9,90	9,85	73,48	12.300	16,42
Média (MPa)					16,45
DP (MPa)					0,56
CV (%)					3,42

Quadro A.32 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G2 (5ª betonada).

Graute G2			a/c	0,78	28 dias
2ª Betonada			Slump (mm)	200	08/08/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,35	10,30	80,33	13.200	16,12
2	10,50	10,40	82,29	12.800	15,26
3	10,40	10,35	81,11	13.300	16,09
Média (MPa)					15,82
DP (MPa)					0,49
CV (%)					3,08

Quadro A.33 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G2 (6ª betonada).

Graute G3			a/c	0,58	28 dias
1ª Betonada			Slump (mm)	190	05/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,05	10,00	75,73	17.900	23,19
2	10,16	10,26	78,55	17.700	22,10
3	10,12	10,00	76,26	18.800	24,18
Média (MPa)					23,16
DP (MPa)					1,04
CV (%)					4,49

Quadro A.34 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G3 (1ª betonada).

Graute G3			a/c	0,59	28 dias
2ª Betonada			Slump (mm)	205	05/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	9,94	9,90	74,15	18.900	25,00
2	10,56	10,48	83,39	19.500	22,94
3	10,52	10,50	83,24	18.800	22,16
Média (MPa)					23,37
DP (MPa)					1,47
CV (%)					6,29

Quadro A.35 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G3 (2ª betonada).

Graute G3			a/c	0,56	28 dias
3ª Betonada			Slump (mm)	210	06/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,00	9,96	75,05	18.300	23,92
2	10,40	10,34	81,03	19.900	24,09
3	10,44	10,54	82,92	19.000	22,48
Média (MPa)					23,50
DP (MPa)					0,89
CV (%)					3,77

Quadro A.36 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G3 (3ª betonada).

Graute G3			a/c	0,55	28 dias
4ª Betonada			Slump (mm)	195	06/06/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,52	10,60	84,03	20.000	23,35
2	10,44	10,34	81,35	22.400	27,01
3	9,96	10,00	75,05	18.900	24,70
Média (MPa)					25,02
DP (MPa)					1,85
CV (%)					7,41

Quadro A.37 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G3 (4ª betonada).

Graute G3			a/c	0,56	28 dias
5ª Betonada			Slump (mm)	210	08/08/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,50	10,40	82,29	21.100	25,15
2	10,10	10,10	76,87	20.800	26,55
3	10,05	10,05	76,11	18.600	23,97
Média (MPa)					25,22
DP (MPa)					1,29
CV (%)					5,10

Quadro A.38 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G3 (5ª betonada).

Graute G3			a/c	0,56	28 dias
6ª Betonada			Slump (mm)	200	08/08/05
Diâmetros (cm)					
CP	d1	d2	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
1	10,00	10,00	75,35	19.800	25,78
2	10,40	10,50	82,29	21.100	25,15
3	9,90	9,90	73,85	20.400	27,10
Média (MPa)					26,01
DP (MPa)					0,99
CV (%)					3,81

Quadro A.39 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do graute G3 (6ª betonada).

Argamassa	Sem graute	Graute	33% grauteado	66% grauteado	100% grauteado
A1	Prisma A1	G1	Prima A1 G1 33%	Prima A1 G1 66%	Prima A1 G1 100%
		G2	Prima A1 G2 33%	Prima A1 G2 66%	Prima A1 G2 100%
		G3	Prima A1 G3 33%	Prima A1 G3 66%	Prima A1 G3 100%
A2	Prisma A2	G1	Prima A2 G1 33%	Prima A2 G1 66%	Prima A2 G1 100%
		G2	Prima A2 G2 33%	Prima A2 G2 66%	Prima A2 G2 100%
		G3	Prima A2 G3 33%	Prima A2 G3 66%	Prima A2 G3 100%

Quadro B.1 – Nomenclatura adotada para os diferentes tipos de prismas.

Prisma				Al/Ab	0,399	28 dias	
A1						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,00	44,50	248,58	623,00	46.000	18,15	6,58
2	13,90	44,00	244,03	611,60	38.500	15,48	5,61
3	13,90	44,50	246,80	618,55	29.500	11,73	4,25
4	13,90	44,00	244,03	611,60	42.500	17,09	6,19
5	14,00	44,30	247,46	620,20	36.600	14,51	5,26
6	14,00	44,10	246,34	617,40	38.000	15,13	5,48
Média (MPa)						15,35	5,56
Desvio Padrão (MPa)						2,23	0,81
CV (%)						14,50	14,50

Quadro B.2 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A1.

Prisma				Al/Ab	0,399	28 dias	
A2						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	13,90	44,20	245,14	614,38	49.250	19,71	7,14
2	14,00	44,00	245,78	616,00	40.500	16,16	5,86
3	14,10	44,10	248,10	621,81	51.000	20,17	7,31
4	14,00	44,00	245,78	616,00	45.500	18,16	6,58
5	14,00	44,30	247,46	620,20	37.000	14,67	5,32
6	14,00	44,35	247,74	620,90	45.000	17,82	6,46
Média (MPa)						17,78	6,44
Desvio Padrão (MPa)						2,09	0,76
CV (%)						11,76	11,76

Quadro B.3 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A2.

Prisma				Al/Ab	0,549	28 dias	
A1 G1 33%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	13,90	44,50	339,58	618,55	37.250	10,76	5,37
2	14,00	44,60	342,80	624,40	32.250	9,23	4,60
3	13,90	44,60	340,35	619,94	41.000	11,82	5,89
4	14,10	44,30	342,92	624,63	37.000	10,58	5,28
5	13,80	44,30	335,63	611,34	30.000	8,77	4,37
6	13,90	44,60	340,35	619,94	42.000	12,11	6,04
Média (MPa)						10,54	5,26
Desvio Padrão (MPa)						1,34	0,67
CV (%)						12,72	12,72

Quadro B.4 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A1 G1 33%.

Prisma				Al/Ab	0,549	28 dias	
A1 G2 33%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	13,90	44,70	341,11	621,33	35.000	10,07	5,02
2	13,90	44,00	335,77	611,60	39.000	11,39	5,68
3	13,90	44,20	337,29	614,38	42.000	12,22	6,09
4	13,80	44,10	334,11	608,58	41.000	12,04	6,00
5	13,90	44,60	340,35	619,94	41.200	11,88	5,92
6	13,90	44,60	340,35	619,94	29.500	8,50	4,24
Média (MPa)						11,02	5,49
Desvio Padrão (MPa)						1,45	0,73
CV (%)						13,21	13,21

Quadro B.5 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A1 G2 33%.

Prisma				Al/Ab	0,549	28 dias	
A1 G3 33%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,00	44,40	341,26	621,60	46.500	13,37	6,67
2	14,00	44,20	339,72	618,80	48.000	13,86	6,91
3	13,90	44,10	336,53	612,99	45.000	13,12	6,54
4	14,00	44,50	342,03	623,00	44.600	12,79	6,38
5	14,10	44,10	341,37	621,81	36.500	10,49	5,23
6	14,00	44,00	338,18	616,00	40.500	11,75	5,86
Média (MPa)						12,56	6,26
Desvio Padrão (MPa)						1,24	0,62
CV (%)						9,85	9,85

Quadro B.6 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A1 G3 33%.

Prisma				Al/Ab	0,549	28 dias	
A2 G1 33%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	13,90	44,00	335,77	611,60	44.000	12,86	6,41
2	14,10	44,20	342,15	623,22	46.250	13,26	6,61
3	13,90	44,10	336,53	612,99	45.000	13,12	6,54
4	14,00	44,20	339,72	618,80	51.000	14,73	7,34
5	14,00	44,10	338,95	617,40	32.000	9,26	4,62
6	14,00	44,20	339,72	618,80	27.750	8,01	4,00
Média (MPa)						11,87	5,92
Desvio Padrão (MPa)						2,62	1,31
CV (%)						22,06	22,06

Quadro B.7 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A2 G1 33%.

Prisma				Al/Ab	0,549	28 dias	
A2 G2 33%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,00	44,40	341,26	621,60	53.000	15,24	7,60
2	13,90	44,40	338,82	617,16	59.000	17,08	8,52
3	14,00	44,10	338,95	617,40	42.500	12,30	6,13
4	14,10	44,40	343,70	626,04	42.000	11,99	5,98
5	13,90	44,50	339,58	618,55	50.600	14,62	7,29
6	14,00	44,40	341,26	621,60	55.000	15,81	7,88
Média (MPa)						14,51	7,23
Desvio Padrão (MPa)						2,00	1,00
CV (%)						13,82	13,82

Quadro B.8 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A2 G2 33%.

Prisma				Al/Ab	0,549	28 dias	
A2 G3 33%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,00	44,30	340,49	620,20	67.000	19,30	9,63
2	13,80	44,00	333,35	607,20	56.000	16,48	8,22
3	14,10	43,90	339,83	618,99	50.000	14,43	7,20
4	13,90	44,30	338,06	615,77	47.000	13,64	6,80
5	14,00	44,20	339,72	618,80	43.500	12,56	6,26
6	13,90	44,20	337,29	614,38	47.700	13,87	6,92
Média (MPa)						15,05	7,50
Desvio Padrão (MPa)						2,45	1,22
CV (%)						16,30	16,30

Quadro B.9 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A2 G3 33%.

Prisma				Al/Ab	0,700	28 dias	
A1 G1 66%						08/08/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	13,90	44,00	428,12	611,60	35.000	8,02	5,10
2	14,00	44,00	431,20	616,00	38.000	8,65	5,50
3	14,10	44,00	434,28	620,40	36.250	8,19	5,21
4	13,90	44,00	428,12	611,60	34.550	7,92	5,03
5	14,00	44,70	438,06	625,80	34.200	7,66	4,87
6	14,10	44,70	441,19	630,27	48.500	10,78	6,86
Média (MPa)						8,54	5,43
Desvio Padrão (MPa)						1,15	0,73
CV (%)						13,47	13,47

Quadro B.10 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A1 G1 66%.

Prisma				Al/Ab	0,700	28 dias	
A1 G2 66%						08/08/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	13,90	44,50	432,99	618,55	38.500	8,72	5,55
2	13,90	44,30	431,04	615,77	50.000	11,38	7,23
3	14,00	44,20	433,16	618,80	39.000	8,83	5,62
4	14,10	44,90	443,16	633,09	40.500	8,97	5,70
5	13,90	44,20	430,07	614,38	35.000	7,98	5,08
6	13,80	44,20	426,97	609,96	25.250	5,80	3,69
Média (MPa)						8,61	5,48
Desvio Padrão (MPa)						1,80	1,14
CV (%)						20,86	20,86

Quadro B.11 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A1 G2 66%.

Prisma				Al/Ab	0,700	28 dias	
A1 G3 66%						08/08/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,00	44,50	436,10	623,00	42.000	9,45	6,01
2	14,00	44,40	435,12	621,60	33.000	7,44	4,73
3	14,00	44,60	437,08	624,40	47.000	10,55	6,71
4	14,00	44,20	433,16	618,80	41.500	9,40	5,98
5	13,90	44,00	428,12	611,60	42.000	9,62	6,12
6	14,00	44,50	436,10	623,00	51.750	11,64	7,40
Média (MPa)						9,68	6,16
Desvio Padrão (MPa)						1,40	0,89
CV (%)						14,42	14,42

Quadro B.12 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A1 G3 66%.

Prismas			AI/Ab		0,700	28 dias	
A2 G1 66%						08/08/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,00	44,20	433,16	618,80	53.000	12,00	7,63
2	13,90	44,00	428,12	611,60	44.750	10,25	6,52
3	14,00	44,40	435,12	621,60	41.500	9,36	5,95
4	13,90	44,50	432,99	618,55	45.500	10,31	6,55
5	13,90	44,20	430,07	614,38	46.000	10,49	6,67
6	14,10	44,40	438,23	626,04	48.250	10,80	6,87
Média (MPa)						10,54	6,70
Desvio Padrão (MPa)						0,87	0,55
CV (%)						8,22	8,22

Quadro B.13 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A2 G1 66%.

Prismas			AI/Ab		0,700	28 dias	
A2 G2 66%						08/08/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,00	44,50	436,10	623,00	37.000	8,32	5,29
2	13,90	44,80	435,90	622,72	46.500	10,46	6,65
3	13,90	44,20	430,07	614,38	42.000	9,58	6,09
4	13,90	44,30	431,04	615,77	65.000	14,79	9,41
5	14,00	44,20	433,16	618,80	57.000	12,91	8,21
6	14,00	44,00	431,20	616,00	50.000	11,38	7,23
Média (MPa)						11,24	7,15
Desvio Padrão (MPa)						2,34	1,49
CV (%)						20,78	20,78

Quadro B.14 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A2 G1 66%.

Prisma			AI/Ab		0,700	28 dias	
A2 G3 66%						08/08/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	13,90	44,30	431,04	615,77	61.000	13,88	8,83
2	14,00	44,30	434,14	620,20	58.000	13,11	8,33
3	13,90	44,50	432,99	618,55	67.000	15,18	9,65
4	14,00	44,40	435,12	621,60	41.000	9,24	5,88
5	13,90	44,20	430,07	614,38	53.500	12,20	7,76
6	13,80	44,40	428,90	612,72	47.500	10,86	6,91
Média (MPa)						12,41	7,89
Desvio Padrão (MPa)						2,13	1,36
CV (%)						17,20	17,20

Quadro B.15 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A2 G3 66%.

Prisma				Al/Ab	0,850	28 dias	
A1 G1 100%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,00	44,00	523,60	616,00	52.000	9,74	7,52
2	13,90	44,30	523,40	615,77	45.500	8,53	6,58
3	13,95	44,30	525,29	617,99	45.000	8,40	6,49
4	13,90	44,40	524,59	617,16	47.500	8,88	6,86
5	14,00	44,05	524,20	616,70	50.750	9,50	7,33
6	14,00	44,25	526,58	619,50	51.500	9,59	7,41
Média (MPa)						9,11	7,03
Desvio Padrão (MPa)						0,58	0,45
CV (%)						6,35	6,35

Quadro B.16 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A1 G1 100%.

Prismas				Al/Ab	0,850	28 dias	
A1 G2 100%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,05	44,50	531,44	625,23	35.000	6,46	4,99
2	14,05	44,20	527,86	621,01	44.500	8,27	6,38
3	14,00	44,40	528,36	621,60	50.550	9,39	7,25
4	14,00	44,50	529,55	623,00	44.550	8,25	6,37
5	13,90	44,50	525,77	618,55	46.500	8,68	6,70
6	14,00	44,25	526,58	619,50	42.000	7,82	6,04
Média (MPa)						8,15	6,29
Desvio Padrão (MPa)						0,98	0,76
CV (%)						12,01	12,01

Quadro B.17 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A1 G2 100%.

Prisma				Al/Ab	0,850	28 dias	
A1 G3 100%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	13,95	44,40	526,47	619,38	54.000	10,06	7,77
2	14,05	44,50	531,44	625,23	46.000	8,49	6,56
3	14,00	44,10	524,79	617,40	35.500	6,64	5,12
4	13,95	44,10	522,92	615,20	33.250	6,24	4,82
5	13,90	44,50	525,77	618,55	45.500	8,49	6,55
6	14,00	44,50	529,55	623,00	45.000	8,34	6,44
Média (MPa)						8,04	6,21
Desvio Padrão (MPa)						1,40	1,08
CV (%)						17,41	17,41

Quadro B.18 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A1 G3 100%.

Prisma				Al/Ab	0,850	28 dias	
A2 G1 100%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,00	44,00	523,60	616,00	56.250	10,54	8,14
2	13,90	44,40	524,59	617,16	69.000	12,90	9,96
3	13,90	44,20	522,22	614,38	59.500	11,18	8,63
4	13,90	44,40	524,59	617,16	60.000	11,22	8,66
5	13,90	44,10	521,04	612,99	46.500	8,75	6,76
6	13,90	44,40	524,59	617,16	52.500	9,82	7,58
Média (MPa)						10,74	8,29
Desvio Padrão (MPa)						1,41	1,09
CV (%)						13,13	13,13

Quadro B.19 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A2 G1 100%.

Prisma				Al/Ab	0,850	28 dias	
A2 G2 100%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	14,00	44,50	529,55	623,00	57.500	10,65	8,22
2	13,90	44,10	521,04	612,99	58.000	10,92	8,43
3	13,90	44,30	523,40	615,77	66.500	12,46	9,62
4	14,00	44,30	527,17	620,20	62.800	11,69	9,02
5	13,90	44,00	519,86	611,60	45.300	8,55	6,60
6	13,90	44,00	519,86	611,60	52.000	9,81	7,58
Média (MPa)						10,68	8,25
Desvio Padrão (MPa)						1,38	1,07
CV (%)						12,94	12,94

Quadro B.20 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A2 G2 100%.

Prisma				Al/Ab	0,850	28 dias	
A2 G3 100%						06/06/2005	
CP	Dimensões (mm)		Área (cm ²)		Carga (kgf)	Tensão (MPa)	
	Largura	Comprim.	Líquida	Bruta		Á. Líquida	Á. Bruta
1	13,90	44,10	521,04	612,99	47.000	8,85	6,83
2	14,10	44,50	533,33	627,45	61.000	11,22	8,66
3	13,90	44,00	519,86	611,60	58.500	11,04	8,52
4	13,90	44,00	519,86	611,60	62.500	11,79	9,11
5	14,00	44,00	523,60	616,00	75.000	14,05	10,85
6	13,90	44,20	522,22	614,38	46.000	8,64	6,67
Média (MPa)						10,93	8,44
Desvio Padrão (MPa)						2,01	1,55
CV (%)						18,37	18,37

Quadro B.21 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas A2 G3 100%.

	Prismas A1 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas A2 Resistência à compressão (MPa)
Oco	5,56	15,83%	6,44
G1 33%	5,26	12,55%	5,92
G2 33%	5,49	31,69%	7,23
G3 33%	6,26	19,81%	7,50
G1 66%	5,43	23,39%	6,70
G2 66%	5,48	30,47%	7,15
G3 66%	6,16	28,08%	7,89
G1 100%	7,03	17,78%	8,28
G2 100%	6,29	31,16%	8,25
G3 100%	6,21	35,91%	8,44
Média	5,92	24,67%	7,38
Argamassa	8,31	120,82%	18,35

Quadro C.1 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas em relação à argamassa utilizada.

	Prismas A1 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas A2 Resistência à compressão (MPa)
Oco	5,56	15,83%	6,44
G1	5,91	17,91%	6,97
G2	5,75	31,11%	7,54
G3	6,21	27,93%	7,94
Média	5,92	24,67%	7,38
Argamassa	8,31	120,82%	18,35

Quadro C.2 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de graute, em relação à argamassa utilizada.

	Prismas A1 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas A2 Resistência à compressão (MPa)
Oco	5,56	15,83%	6,44
33%	5,67	21,35%	6,88
66%	5,69	27,32%	7,25
100%	6,51	28,28%	8,32
Média	5,92	24,67%	7,38
Argamassa	8,31	120,82%	18,35

Quadro C.3 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de grauteamento, em relação à argamassa utilizada.

	Prismas G1 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas G2 Resistência à compressão (MPa)
A1 33%	5,26	4,37%	5,49
A2 33%	5,92	22,13%	7,23
A1 66%	5,43	0,92%	5,48
A2 66%	6,70	6,72%	7,15
A1 100%	7,03	-10,53%	6,29
A2 100%	8,28	-0,36%	8,25
Média	6,44	3,87%	6,65
Graute	7,98	106,39%	16,46

Quadro C.4 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas em relação aos grautes G1 e G2.

	Prismas G2 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas G3 Resistência à compressão (MPa)
A1 33%	5,49	14,03%	6,26
A2 33%	7,23	3,73%	7,50
A1 66%	5,48	12,41%	6,16
A2 66%	7,15	10,35%	7,89
A1 100%	6,29	-1,27%	6,21
A2 100%	8,25	2,30%	8,44
Média	6,65	6,92%	7,08
Graute	16,46	48,03%	24,38

Quadro C.5 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas em relação aos grautes G2 e G3.

	Prismas G1 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas G3 Resistência à compressão (MPa)
A1 33%	5,26	19,01%	6,26
A2 33%	5,92	26,69%	7,50
A1 66%	5,43	13,44%	6,16
A2 66%	6,70	17,76%	7,89
A1 100%	7,03	-11,66%	6,21
A2 100%	8,28	1,93%	8,44
Média	6,44	11,20%	7,08
Graute	7,98	205,51%	24,38

Quadro C.6 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas em relação aos grautes G1 e G3.

	Prismas G1 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas G2 Resistência à compressão (MPa)
A1	5,91	-2,60%	5,75
A2	6,97	8,28%	7,54
Média	6,44	3,87%	6,65
Graute	7,98	106,39%	16,46

Quadro C.7 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo argamassa, em relação aos grautes G1 e G2.

	Prismas G2 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas G3 Resistência à compressão (MPa)
A1	5,75	7,94%	6,21
A2	7,54	5,30%	7,94
Média	6,65	6,92%	7,08
Graute	16,46	48,03%	24,38

Quadro C.7 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo argamassa, em relação aos grautes G2 e G3.

	Prismas G1 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas G3 Resistência à compressão (MPa)
A1	5,91	6,93%	6,21
A2	6,97	15,46%	7,94
Média	6,44	11,20%	7,08
Graute	7,98	205,51%	24,38

Quadro C.8 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo argamassa, em relação aos grautes G1 e G3.

	Prismas G1 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas G2 Resistência à compressão (MPa)
33%	5,59	13,77%	6,36
66%	6,07	4,12%	6,32
100%	7,66	-5,03%	7,27
Média	6,44	3,87%	6,65
Graute	7,98	106,39%	16,46

Quadro C.9 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de grauteamento, em relação aos grautes G1 e G2.

	Prismas G2 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas G3 Resistência à compressão (MPa)
33%	6,36	8,18%	6,88
66%	6,32	11,24%	7,03
100%	7,27	0,76%	7,33
Média	6,65	6,92%	7,08
Graute	16,46	48,03%	24,38

Quadro C.10 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de grauteamento, em relação aos grautes G2 e G3.

	Prismas G1 Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas G3 Resistência à compressão (MPa)
33%	5,59	22,85%	6,88
66%	6,07	15,60%	7,03
100%	7,66	-4,87%	7,33
Média	6,44	11,20%	7,08
Graute	7,98	205,51%	24,38

Quadro C.11 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de grauteamento, em relação aos grautes G1 e G3.

	Prismas Ocos Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 33% Resistência à compressão (MPa)
A1 G1	5,56	-5,40%	5,26
A2 G1	6,44	-8,07%	5,92
A1 G2	5,56	-1,26%	5,49
A2 G2	6,44	12,27%	7,23
A1 G3	5,56	12,59%	6,26
A2 G3	6,44	16,46%	7,50
Média	6,00	4,43%	6,28

Quadro C.12 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas em relação ao grauteamento utilizado, Ocos e 33%.

	Prismas Ocos Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 66% Resistência à compressão (MPa)
A1 G1	5,56	-2,34%	5,43
A2 G1	6,44	4,04%	6,70
A1 G2	5,56	-1,44%	5,48
A2 G2	6,44	11,02%	7,15
A1 G3	5,56	10,79%	6,16
A2 G3	6,44	22,52%	7,89
Média		7,43%	

Quadro C.13 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas em relação ao grauteamento utilizado, Ocos e 66%.

	Prismas Ocos Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 100% Resistência à compressão (MPa)
	OCO		100%
A1 G1	5,56	26,44%	7,03
A2 G1	6,44	28,57%	8,28
A1 G2	5,56	13,13%	6,29
A2 G2	6,44	28,11%	8,25
A1 G3	5,56	11,69%	6,21
A2 G3	6,44	31,06%	8,44
Média		23,17%	

Quadro C.14 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas em relação ao grauteamento utilizado, Ocos e 100%.

	Prismas 33% Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 66% Resistência à compressão (MPa)
A1 G1	5,26	3,23%	5,43
A2 G1	5,92	13,18%	6,70
A1 G2	5,49	-0,18%	5,48
A2 G2	7,23	-1,11%	7,15
A1 G3	6,26	-1,60%	6,16
A2 G3	7,50	5,20%	7,89
Média	6,28	3,12%	6,47

Quadro C.15 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas em relação ao grauteamento utilizado, 33% e 66%.

	Prismas 66% Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 100% Resistência à compressão (MPa)
A1 G1	5,43	29,47%	7,03
A2 G1	6,70	23,58%	8,28
A1 G2	5,48	14,78%	6,29
A2 G2	7,15	15,38%	8,25
A1 G3	6,16	0,81%	6,21
A2 G3	7,89	6,97%	8,44
Média	6,47	15,17%	7,42

Quadro C.16 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas em relação ao grauteamento utilizado, 66% e 100%.

	Prismas Ocos Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 33% Resistência à compressão (MPa)
G1	6,00	-6,83%	5,59
G2	6,00	6,00%	6,36
G3	6,00	14,67%	6,88
Média	6,00	4,61%	6,28

Quadro C.17 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de graute, em relação ao grauteamento utilizado, Ocos e 33%.

	Prismas Ocos Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 66% Resistência à compressão (MPa)
G1	6,00	-6,83%	6,07
G2	6,00	6,00%	6,32
G3	6,00	14,67%	7,03
Média	6,00	3,30%	6,47

Quadro C.18 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de graute, em relação ao grauteamento utilizado, Ocos e 66%.

	Prismas Ocos Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 100% Resistência à compressão (MPa)
G1	6,00	-6,83%	7,66
G2	6,00	6,00%	7,27
G3	6,00	14,67%	7,33
Média	6,00	15,20%	7,42

Quadro C.19 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de graute, em relação ao grauteamento utilizado, Ocos e 100%.

	Prismas 33% Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 66% Resistência à compressão (MPa)
G1	5,59	8,50%	6,07
G2	6,36	-0,71%	6,32
G3	6,88	2,11%	7,03
Média	6,28	7,81%	6,47

Quadro C.20 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de graute, em relação ao grauteamento utilizado, 33% e 66%.

	Prismas 66% Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 100% Resistência à compressão (MPa)
G1	6,07	26,22%	7,66
G2	6,32	15,12%	7,27
G3	7,03	4,27%	7,33
Média	6,47	23,61%	7,42

Quadro C.21 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de graute, em relação ao grauteamento utilizado, 66% e 100%.

	Prismas Ocos Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 33% Resistência à compressão (MPa)
A1	5,56	1,98%	5,67
A2	6,44	6,88%	6,88
Média	6,00	4,43%	6,28

Quadro C.22 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de argamassa, em relação ao grauteamento utilizado, Ocos e 100%.

	Prismas Ocos Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 66% Resistência à compressão (MPa)
A1	5,56	1,98%	5,69
A2	6,44	6,88%	7,25
Média	6,00	2,28%	6,47

Quadro C.23 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de argamassa, em relação ao grauteamento utilizado, Ocos e 100%.

	Prismas Ocos Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 100% Resistência à compressão (MPa)
A1	5,56	1,98%	6,51
A2	6,44	6,88%	8,32
Média	6,00	14,63%	7,42

Quadro C.24 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de argamassa, em relação ao grauteamento utilizado, Ocos e 100%.

	Prismas 33% Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 66% Resistência à compressão (MPa)
A1	5,67	0,35%	5,69
A2	6,88	5,28%	7,25
Média	6,28	7,81%	6,47

Quadro C.25 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de argamassa, em relação ao grauteamento utilizado, 33% e 100%.

	Prismas 66% Resistência à compressão (MPa)	Percentual de aumento	Prismas 100% Resistência à compressão (MPa)
A1	5,69	14,41%	6,51
A2	7,25	14,86%	8,32
Média	6,47	23,61%	7,42

Quadro C.26 – Percentual de aumento da resistência à compressão dos prismas, por tipo de argamassa, em relação ao grauteamento utilizado, 66% e 100%.