



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

RAFAELLA SALVADOR PAULINO

**VERIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NA
COMPATIBILIDADE BLOCO/ARGAMASSA EM PRISMAS DE
BLOCOS DE CONCRETO:
CONTRIBUIÇÃO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL**

Londrina
2018

RAFAELLA SALVADOR PAULINO

**VERIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NA
COMPATIBILIDADE BLOCO/ARGAMASSA EM PRISMAS DE
BLOCOS DE CONCRETO:
CONTRIBUIÇÃO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação, em Engenharia de Edificações e Saneamento, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a Dr^a Berenice Martins
Torales

Londrina
2018

RAFAELLA SALVADOR PAULINO

**VERIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NA
COMPATIBILIDADE BLOCO/ARGAMASSA EM PRISMAS DE
BLOCOS DE CONCRETO:
CONTRIBUIÇÃO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação, em Engenharia de Edificações e Saneamento, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Berenice Martins Toralles
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof^o Dr^o Paulo Sérgio Bardella
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof^o Dr^o Carlos Humberto Martins
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Londrina, 20 de dezembro de 2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Paulino, Rafaella Salvador.

VERIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NA COMPATIBILIDADE BLOCO/ARGAMASSA EM PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO: contribuição para alvenaria estrutural / Rafaella Salvador Paulino. - Londrina, 2018.
157 f. : il.

Orientador: Berenice Martins Toralles.

Dissertação (Mestrado em Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Propriedades das argamassas - Tese. 2. Compatibilidade bloco/argamassa - Tese. 3. Prismas de blocos de concreto - Tese. 4. Eficiência da alvenaria - Tese. I. Toralles, Berenice Martins. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. III. Título.

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela graça da vida e por sempre me manter em pé, sendo minha fortaleza, em meio às adversidades.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Berenice Martins Toralles, por tantos ensinamentos, incentivo, paciência e compressão durante o desenvolvimento deste trabalho. Tu és fonte de inspiração.

Aos meus pais, Jaime Paulino e Ana Maria Salvador Paulino, que são meus exemplos de vida e estiveram ao meu lado em todos os momentos, sempre me apoiando.

À minha querida tia Adenia Aparecida Salvador, por todo carinho e incentivo.

Ao meu irmão, Gustavo Salvador Paulino, pelo amor incondicional.

Ao aluno de iniciação científica, Gustavo Filla, pelo grandioso auxílio no desenvolvimento das atividades em laboratório.

Aos técnicos dos Laboratórios de Materiais e Estruturas, Anderson, André, Luis Gustavo e Carlos, pela paciência e auxílio na execução dos ensaios.

Aos colegas de mestrado, Gersson Sandoval, Geovana Nogueira e Nicole Schwantes, pelo companheirismo e, em especial, ao meu querido amigo, Guilherme Perosso, pelo apoio, auxílio e amizade durante todo o mestrado.

Aos colegas de trabalho da UTFPR-GP, em especial ao coordenador do curso de Engenharia Civil, Prof^o Msc. Edson Florentino, pela compreensão e motivação, e às queridas amigas, Prof^a Msc. Gessica Bilcati e Prof^a Dr^a Mariane Kempka, pelo incentivo.

A todos os amigos, que acreditam em mim e fazem a minha vida imensamente mais feliz.

A CAPES, pela bolsa concedida durante um período do desenvolvimento do mestrado.

À empresa BBL – Artefatos de Concreto, pela doação dos blocos de concreto e à empresa Fida, pela doação das argamassas semi-prontas.

Por fim, a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desse trabalho.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

PAULINO, Rafaella Salvador. **Verificação das propriedades da argamassa na compatibilidade bloco/argamassa em prismas de blocos de concreto:** contribuição para alvenaria estrutural. 2018. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

O uso da alvenaria estrutural de blocos de concreto na construção de edifícios tem se intensificado nos últimos anos em função da economia e racionalização que proporciona aos empreendimentos. No entanto, o seu bom desempenho depende não somente da qualidade dos materiais empregados, mas também das interações físico-químicas que se processam entre a unidade (bloco) e a argamassa, e, quando também usado, do graute. Sendo assim, o presente trabalho busca estudar a influência das diferentes propriedades da argamassa no comportamento de prismas de blocos de concreto, quando submetidos à compressão axial. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram moldados 36 prismas de dois blocos de concreto, com resistências nominais de 8,0 MPa e 10,0 MPa, combinados com seis diferentes tipos de argamassas: mistas e industrializadas. Os resultados apresentados indicam tendências de compatibilização entre as argamassas e os blocos, quando assentados como prismas de dois blocos, reafirmando o intervalo indicado para utilização: resistência da argamassa entre 0,7 e 1,0-1,5 da resistência característica do bloco de concreto. Verificou-se que além resistência à compressão da argamassa ser de extrema importância na resistência à compressão da alvenaria, propriedades como, absorção de água, módulo de elasticidade e retração, entre outras, acarreta em prismas que apresentam, além de diferentes tipos de ruptura, resistências à compressão e fatores de eficiência distintos. Concluiu-se assim que é relevante destacar que a especificação das argamassas não deva ser realizada somente através da resistência à compressão das mesmas, mas também devem ser levadas em consideração a importância das demais propriedades.

Palavras-chave: Alvenaria. Argamassa de assentamento. Eficiência da alvenaria. Prismas

PAULINO, Rafaella Salvador. **Verification of the properties of the mortar in the compatibility block / mortar in prisms of concrete blocks:** contribution to structural masonry. 2018. 157 p. Dissertation (Master in Buildings and Sanitation Engineering) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

The use of structural masonry of concrete blocks in the construction of buildings has intensified in recent years due to the economy and rationalization that it provides to the enterprises. However, its good performance depends not only on the quality of the materials used, but also on the physico-chemical interactions between the unit (block) and the mortar, and, when used, the grout. Therefore, the present work seeks to study the influence of the different properties of the mortar on the behavior of prisms of concrete blocks, when subjected to axial compression. For the development of the research, 36 prisms of two concrete blocks, with nominal strengths of 8.0 MPa and 10.0 MPa, were combined with six different types of mortars: mixed and industrialized. The results presented indicate compatibility trends between mortars and blocks, when seated as two block prisms, reaffirming the range indicated for use: mortar resistance between 0.7 and 1.0-1.5 of the characteristic resistance of the block concrete. It has been verified that besides compressive strength of the mortar is of extreme importance in the compressive strength of the masonry, properties such as water absorption, modulus of elasticity and retraction, among others, entails in prisms that present, besides different types of rupture, compressive strengths and different efficiency factors. It was concluded that it is important to emphasize that the specification of mortars should not only be performed through their compressive strength, but also the importance of other properties should be taken into account.

Keywords: Masonry. Mortar of settlement. Efficiency of masonry. Prisms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Prisma com assentamento total (a), prisma com assentamento lateral (b)	37
Figura 2 - Tipo de ruptura do bloco ocorrido nos prismas em função da argamassa	43
Figura 3 - Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais sob compressão axial	44
Figura 4 - Relação entre f_p / f_a e E_a / E_b	46
Figura 5 - Relação entre f_p / f_{bt} e E_a / E_b	46
Figura 6 - Forma de ruptura dos prismas com argamassa mista	49
Figura 7 - Forma de ruptura dos prismas com argamassa industrializada	49
Figura 8 - Prisma com ruptura por esmagamento da junta	50
Figura 9 - Prisma com rompimento por tração no bloco. (a) junta de argamassa intacta após o rompimento; (b) fissuras no bloco na parte lateral do prisma	50
Figura 10 - Modo de ruptura do prisma	51
Figura 11 - Modo de ruptura do prisma	51
Figura 12 - Relação entre a resistência de cálculo da alvenaria e a resistência à compressão dos materiais constituintes	53
Figura 13 - Blocos de concreto	58
Figura 14 - Geometria dos blocos de concreto – (a) perspectiva; (b) face de assentamento	59
Figura 15 - Geometria dos blocos de concreto - Corte transversal	59
Figura 16 - Curva granulométrica da areia	61
Figura 17 - Fluxograma com as principais etapas desenvolvidas no estudo desenvolvido	63
Figura 18 - Bloco de concreto submetido à compressão axial	64
Figura 19 - Corpo de prova submetido ao ensaio para determinação do módulo de elasticidade	65
Figura 20 - Preparo da argamassa	69
Figura 21 - Corpos de prova cilíndricos	69
Figura 22 - Corpos de prova prismáticos	70

Figura 23 - Execução do ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas (<i>Pundit lab</i>).....	75
Figura 24 - Execução do ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas (<i>Sonelastic</i>)	75
Figura 25 - Prismas de dois blocos de concretos	77
Figura 26 - Quantidade de prismas ensaiados	77
Figura 27 - Prisma submetido ao ensaio de resistência à compressão	78
Figura 28 - Ruptura dos blocos submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial.....	83
Figura 29 - Corpos de prova imersos (a) e pesagem do corpo de prova saturado (b) – Ensaio de absorção de água.....	91
Figura 30 - Execução do ensaio de retração	100
Figura 31 - Ruptura do prisma (M_A1)	110
Figura 32 - Ruptura do prisma (M_A2)	111
Figura 33 - Ruptura do prisma (I_A1)	112
Figura 34 - Ruptura do prisma (I_A2)	113
Figura 35 - Ruptura do prisma (M_B1)	114
Figura 36 - Ruptura do prisma (M_B2)	114
Figura 37 - Ruptura do prisma (I_B1)	115
Figura 38 - Ruptura do prisma (I_B2)	115
Figura 39 - Ruptura do prisma (M_C1)	116
Figura 40 - Ruptura do prisma (M_C2)	117
Figura 41 - Ruptura do prisma (I_C1)	118
Figura 42 - Ruptura do prisma (I_C2)	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Nomenclatura dos blocos de concreto.....	58
Quadro 2 - Especificações do Cimento Portland CP II-F-32.....	59
Quadro 3 - Caracterização física do cimento Portland e da cal.....	60
Quadro 4 - Caracterização física da areia.....	61
Quadro 5 - Especificações das argamassas industrializadas.....	62
Quadro 6 - Valores de Ψ em função da quantidade de blocos.....	66
Quadro 7 - Consumo de materiais para 3,5 kg de argamassa.....	68
Quadro 8 - Nomenclatura das argamassas mistas.....	71
Quadro 9 - Parâmetros para uso das argamassas.....	71
Quadro 10 - Nomenclatura das argamassas industrializadas.....	72
Quadro 11 - Ensaio no estado endurecido.....	74
Quadro 12 - Nomenclatura dos prismas.....	76
Quadro 13 - Tolerância de dimensões dos blocos de concreto.....	81
Quadro 14 - Intervalos para uso das argamassas.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre a resistência à compressão dos prismas prevista pela obtida experimentalmente por diversos autores	47
Tabela 2 - Comportamentos mecânicos e fatores de eficiência	54
Tabela 3 - Eficiências de prismas, paredinhas e paredes em blocos de concreto	57
Tabela 4 - Composição granulométrica da areia	60
Tabela 5 - Resistência à compressão das argamassas mistas	71
Tabela 6 - Análise dimensional dos blocos de concreto	81
Tabela 7 - Absorção de água dos blocos de concreto	82
Tabela 8 - Valores médios de resistência à compressão dos blocos	83
Tabela 9 - Valores característicos estimados de resistência à compressão dos blocos	83
Tabela 10- Valores médios de resistência à compressão dos blocos fornecidos pelo fabricante.....	84
Tabela 11- Valores médios de módulo de elasticidade dinâmicos dos blocos de concreto.....	84
Tabela 12- Valores das relações entre módulo de elasticidade e resistência à compressão média dos blocos na área líquida.....	85
Tabela 13- Densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas.....	87
Tabela 14- Retenção de água das argamassas	89
Tabela 15- Absorção de água das argamassas	92
Tabela 16- Índice de vazios das argamassas.....	93
Tabela 17- Resistência média à compressão das argamassas.....	94
Tabela 18- Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas (<i>Pundit Lab</i>).....	97
Tabela 19- Módulos de elasticidade dinâmico das argamassas.....	98
Tabela 20- Relação entre módulo de elasticidade e resistência à compressão das argamassas	99
Tabela 21- Retração das argamassas.....	101
Tabela 22- Resistência média à compressão dos prismas aos 28 dias	103
Tabela 23- Resistência média à compressão das argamassas e dos prismas.....	104
Tabela 24- Fator de eficiência dos prismas	108
Tabela 25- Estimativas de resistência à compressão e módulo de deformação da alvenaria	119

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Módulo de elasticidade dinâmico e estimativas teóricas segundo NBR 6118:2014, CEB e ACI para BI_1 (a) e BI_2 (b)	86
Gráfico 2 - Densidade de massa das argamassas	88
Gráfico 3 - Teor de ar incorporado das argamassas	88
Gráfico 4 - Retenção de água das argamassas	89
Gráfico 5 - Absorção de água das argamassas.....	92
Gráfico 6 - Índice de vazios das argamassas	93
Gráfico 7 - Resistência média à compressão das argamassas	95
Gráfico 8 - Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.....	97
Gráfico 9 - Correlação entre resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico das argamassas	99
Gráfico 10 - Retração das argamassas	101
Gráfico 11 - Resistência média à compressão dos prismas aos 28 dias.....	103
Gráfico 12 - Resistência média à compressão das argamassas e dos prismas	105
Gráfico 13 - Relação entre resistências da argamassa, bloco e prismas	106
Gráfico 14 - Relação entre resistências da argamassa, bloco e prismas	107
Gráfico 15 - Fator de eficiência dos prismas	109

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	47
Equação 2	47
Equação 3	53
Equação 4	54
Equação 5	54
Equação 6	55
Equação 7	55
Equação 8	56
Equação 9	65
Equação 10	66
Equação 11	67
Equação 12	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
E_a	Módulo de elasticidade da argamassa
E_{alv}	Módulo de deformação da alvenaria
E_b	Módulo de elasticidade do bloco
f_a	Resistência à compressão da argamassa
f_{alv}	Resistência à compressão da alvenaria
f_{bm}	Resistência média à compressão
f_{bk}	Resistência característica à compressão
f_{bt}	Resistência à tração do bloco
f_p	Resistência à compressão do prisma
f_{p2}	Resistência à compressão de prismas de dois blocos
f_{p3}	Resistência à compressão de prismas de três blocos
h/e	Relação altura/espessura
W_b	Massa unitária do bloco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	JUSTIFICATIVA	20
1.2	QUESTÃO DE PESQUISA	21
1.3	OBJETIVOS	21
1.3.1	<i>Objetivo Geral</i>	21
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i>	21
1.4	DELIMITAÇÃO DE PESQUISA	21
1.5	CONTRIBUIÇÃO ESPERADA.....	22
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	COMPONENTES DA ALVENARIA NÃO-GRAUTEADA.....	23
2.1.1	<i>Bloco de Concreto</i>	23
2.1.2	<i>Argamassas de Assentamento</i>	25
2.1.2.1	Tipos de Argamassa.....	26
2.1.2.1.1	Argamassas Mistas	26
2.1.2.1.2	Argamassas Industrializadas.....	27
2.1.2.2	Propriedades da Argamassa	28
2.1.2.2.1	Consistência.....	28
2.1.2.2.2	Retenção de Água.....	29
2.1.2.2.3	Teor de Ar Incorporado e Massa Específica	30
2.1.2.2.4	Resistência à Compressão.....	31
2.1.2.2.5	Módulo de Elasticidade	33
2.1.2.2.6	Retração.....	34
2.2	PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO.....	35
2.2.1	<i>Ensaios em Prismas de Blocos de Concreto</i>	35
2.2.2	<i>Fatores que Influenciam nas Características Mecânicas dos Prismas</i>	36
2.2.2.1	Espessura da Junta de Argamassa.....	36
2.2.2.2	Tipo de Assentamento de Argamassa.....	37
2.2.2.3	Relação altura/espessura.....	39

2.2.2.4	Resistência da Argamassa	39
2.2.2.5	Capacidade da Argamassa de absorver Deformações	40
2.2.2.6	Características e Propriedades do Bloco de Concreto	41
2.2.3	<i>Modos de Ruptura dos Prismas</i>	43
2.2.3.1	Estudos sobre Mecanismos de Ruptura	48
2.3	PROPRIEDADES E DESEMPENHO DA ALVENARIA	52
2.3.1	<i>Resistência da Parede de Alvenaria</i>	52
2.3.2	<i>Módulo de Elasticidade da Alvenaria</i>	55
2.3.3	<i>Eficiência da Alvenaria</i>	56
3	MATERIAIS E MÉTODOS	57
3.1	MATERIAIS	58
3.1.1	<i>Blocos de Concreto</i>	58
3.1.2	<i>Argamassas Mistas</i>	59
3.1.3	<i>Argamassas Industrializadas</i>	61
3.2	MÉTODOS	62
3.2.1	<i>Caracterização dos Blocos de Concreto</i>	63
3.2.1.1	Ensaios.....	63
3.2.1.2	Estimativas teóricas.....	65
3.2.1.2.1	Resistência característica à compressão	65
3.2.1.2.2	Módulo de elasticidade teórico	66
3.2.2	<i>Estudo das Argamassas Mistas</i>	67
3.2.2.1	Estudo Preliminar das Argamassas Mistas	67
3.2.2.2	Preparo das Argamassas Mistas.....	68
3.2.2.3	Critério para Escolha das Argamassas Mistas	70
3.2.3	<i>Seleção das Argamassas Industrializadas</i>	72
3.2.3.1	Preparo das Argamassas Industrializadas	72
3.2.4	<i>Propriedades Avaliadas nas Argamassas</i>	73
3.2.5	<i>Prismas de Blocos de Concreto</i>	76
3.2.5.1	Moldagem dos Prismas	76
3.2.5.2	Resistência à Compressão dos Prismas	78
3.2.5.3	Mecanismos de Ruptura dos Prismas	78

3.2.6	<i>Análise Estatística</i>	79
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
4.1	BLOCOS DE CONCRETO	81
4.1.1	<i>Análise Dimensional</i>	81
4.1.2	<i>Absorção de Água e Área Líquida</i>	82
4.1.3	<i>Resistência à Compressão</i>	83
4.1.4	<i>Módulo de Elasticidade</i>	84
4.2	ARGAMASSAS	87
4.2.1	<i>Propriedades da Argamassa no Estado Fresco</i>	87
4.2.1.1	Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado	87
4.2.1.2	Retenção de Água	89
4.2.2	<i>Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido</i>	91
4.2.2.1	Absorção de Água e Índice de Vazios	91
4.2.2.2	Resistência à Compressão	94
4.2.2.2.1	Relação entre resistência à compressão da argamassa e do bloco	96
4.2.2.3	Módulo de Elasticidade Dinâmico	96
4.2.2.3.1	Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão das argamassas	99
4.2.2.4	Retração	100
4.3	PRISMAS DE DOIS BLOCOS DE CONCRETO	102
4.3.1	<i>Resistência à Compressão dos Prismas</i>	102
4.3.1.1	Relação entre resistência à compressão das argamassas e dos prismas	104
4.3.1.2	Relação entre resistência à compressão das argamassas, dos blocos e dos prismas	106
4.3.2	<i>Eficiência dos Prismas</i>	108
4.3.3	<i>Modo de Ruptura dos Prismas</i>	110
4.3.3.1	Prismas Moldados com Argamassas do Tipo A	110
4.3.3.2	Prismas Moldados com Argamassas do Tipo B	113
4.3.3.3	Prismas Moldados com Argamassas do Tipo C	116

4.3.4	<i>Estimativa do Desempenho da Parede de Alvenaria</i>	119
5	CONCLUSÃO	121
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	122
6	REFERÊNCIAS	124
	ANEXOS	132
	ANEXOS A – PROPRIEDADES DOS BLOCOS DE CONCRETO.....	132
	ANEXOS B – PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS	136
	ANEXOS C – PROPRIEDADES DOS PRISMAS DE DOIS BLOCOS	145
	ANEXO D – ANÁLISE ESTATÍSTICA	146

1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, a alvenaria estrutural tem sido largamente utilizada pelo ser humano em suas habitações e na construção de monumentos e templos religiosos (JUSTE, 2001). Os blocos de pedras naturais considerados os principais materiais pelas civilizações antigas, foram utilizados em grande escala até o fim do século XIX em castelos medievais, palácios, igrejas, e até casas, muitas em uso, ainda hoje, pela Europa. Contudo, as construções daquela época eram executadas segundo regras puramente empíricas e intuitivas, baseadas nos conhecimentos adquiridos ao longo dos tempos (ACCETTI, 1998).

Somente no século XX foram desenvolvidas teorias racionais para a alvenaria estrutural e a partir de então, com o advento do concreto e do aço, que possibilitaram a construção de edifícios com peças de reduzidas dimensões, a utilização da alvenaria dirigiu-se, prioritariamente, às edificações de pequeno porte e passou a ser tratada com menos importância em relação às construções em concreto armado (JUSTE, 2001). Em consequência, as pesquisas e o desenvolvimento neste sentido se estagnaram (SILVA, 2007), ganhando novo impulso, somente a partir da década de 1950 (ACCETTI, 1998).

No Brasil, o preconceito por parte de construtores e projetistas também contribuíram para que a alvenaria estrutural fosse pouco utilizada, desde o seu advento, em 1972, com a construção de quatro edifícios com doze pavimentos, no conjunto habitacional do “Central Parque da Lapa”, em São Paulo (SABBATINI, 1984), culminando em um reduzido número de publicações sobre o assunto em português (JUSTE, 2001).

Desse modo, os projetistas de estruturas, em geral, necessitam lançar mão da intuição ou adaptar tabelas presentes em normas técnicas internacionais, produzidas para materiais e condições construtivas diferentes dos utilizados no Brasil, ao optarem pela utilização deste sistema construtivo (JUSTE, 2001). Aliado a isto, pode ocorrer então, o emprego inadequado dos materiais, acarretando prejuízos à estrutura, visto que as argamassas de assentamento, juntamente com as unidades, são os componentes que formam as paredes da alvenaria não-armada.

Contudo, as características mecânicas dos blocos de concreto, como resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade

(ROMAGNA, 2000), também possuem importante contribuição no comportamento da estrutura, visto que os blocos de concreto representam de 80 a 95% do volume da alvenaria. Destaca-se, porém, que a escolha dos blocos, não deve ser baseada unicamente em sua resistência à compressão, mas especial atenção deve-se dar à sua geometria e principalmente, à sua compatibilidade com argamassa (STEIL E PRUDÊNCIO, 2002).

Nesse sentido, um ponto de grande importância a ser estudado é exatamente as propriedades físicas e mecânicas dos elementos que compõe a alvenaria estrutural – bloco e argamassa - priorizando a compatibilização de ambos para um bom desempenho da estrutura.

1.1 JUSTIFICATIVA

Pesquisas apontam controvérsias a respeito do comportamento estrutural dos sistemas construtivos em alvenaria. Enquanto alguns autores afirmam que o bloco de concreto é o principal componente, responsável pela definição das características resistentes da estrutura, outros relatam que é a combinação da resistência da argamassa com os blocos que promove o resultado da resistência à compressão das paredes, tendo em vista que o mecanismo de ruptura da alvenaria tem relação direta com a interação entre a unidade e a junta de argamassa. Sendo assim, o conhecimento do comportamento mecânico dos materiais empregados é essencial.

Além do mais, nos últimos anos, o grande número de relatos a cerca da incidência de manifestações patológicas em alvenarias de blocos de concreto, confirma a importância do aprofundamento do estudo sobre as características e as propriedades das argamassas utilizadas para o assentamento, uma vez que, além da resistência, propriedades como o módulo de elasticidade e a retração, também podem influenciar diretamente as características da estrutura final.

Neste âmbito, ressalta-se ainda, a escassez de normalização nacional referente ao assunto em questão, assim como a carência de informações. Quanto às pesquisas internacionais utilizadas como embasamento teórico, uma dificuldade adicional deve ser considerada: os sistemas construtivos adotados são ligeiramente diferentes do ideal para o Brasil. Portanto, o desejo pela expansão de

estudos vinculados a este tema também justifica a importância da elaboração do presente trabalho.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

As propriedades das argamassas utilizadas no assentamento dos blocos de concreto influenciam no comportamento dos prismas?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Estudar a influência das propriedades das argamassas (mista e industrializada) no comportamento de prismas de blocos de concreto de resistências nominais de 8,0 e 10,0 MPa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Quantificar o fator de eficiência dos prismas de blocos de concreto;
- Verificar os modos de ruptura dos prismas quando submetidos à compressão axial e analisar as possíveis causas;
- Obter correlações confiáveis entre blocos, argamassas e prismas, de modo que os mesmos possam ser utilizados para estimar as características mecânicas da alvenaria.

1.4 DELIMITAÇÃO DE PESQUISA

A pesquisa delimitou-se a avaliar o comportamento de prismas de dois blocos de concreto, cujas resistências nominais são de 8,0 e 10,0 MPa, quando assentados com seis diferentes tipos de argamassas, compreendidas em mistas e industrializadas.

1.5 CONTRIBUIÇÃO ESPERADA

Espera-se com esse trabalho apresentar dados que poderão servir como subsídio para estudos gerais relacionados à melhoria da resistência à compressão da alvenaria e garantir, através disso, um melhor desempenho da mesma.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. O capítulo 1 contempla a introdução, a justificativa, o objetivo, a questão de pesquisa, a delimitação de pesquisa e a contribuição esperada.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, abordando a definição, o histórico e propriedades físicas e mecânicas dos componentes da alvenaria não-grauteada: bloco e argamassa. Além disso, descreve-se o comportamento geral da alvenaria quando submetida a esforços de compressão.

Os materiais empregados e os métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho se encontram no terceiro capítulo, sendo que os métodos adotados na pesquisa estão fundamentados na normatização técnica nacional.

No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios realizados nas argamassas, nos blocos de concreto e nos prismas de dois blocos.

Por fim, o capítulo 5 é dedicado às conclusões do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo está apresentada a conceituação e um breve histórico dos elementos da alvenaria não-grauteada, bem como suas caracterizações. São descritos também, os fatores que influenciam nas características mecânicas dos prismas de blocos de concreto quando submetidos a esforços de compressão, além das propriedades e do comportamento da alvenaria.

2.1 COMPONENTES DA ALVENARIA NÃO-GRAUTEADA

Os elementos básicos da alvenaria devem apresentar características mínimas de desempenho, conformidade com as especificações de norma e propriedades que possibilitem o cumprimento de requisitos requeridos. Os principais elementos constituintes da alvenaria não-grauteada são apresentados a seguir.

2.1.1 Bloco de Concreto

Os blocos de concreto surgiram nos Estados Unidos, no final do século XIX e, em 1905, o governo norte-americano os adotou para construção de hospitais, armazéns, depósitos e quartéis nas obras do Canal do Panamá e nas Filipinas (MEDEIROS, 1993). Um pouco mais tarde, na década de 1950, chegaram ao Brasil, quando se importou dos Estados Unidos uma máquina para produção desses componentes. Entretanto, somente na década de 1970 eles consolidaram-se no mercado brasileiro, principalmente devido à divulgação das primeiras obras de alvenaria armada em blocos de concreto (BUTTLER, 2007).

A ABNT NBR 6136:2016 o define bloco de concreto como elemento de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta, sendo que área bruta é a área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios, e área líquida, a área média da seção perpendicular aos eixos dos furos descontadas as áreas máximas dos vazios. Medeiros e Sabbatini (1993) o define como unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo,

conformada através de vibração e prensagem possuindo dimensões superiores a 250 x 120 x 55 mm (comprimento x largura x altura).

Usualmente, para a fabricação de blocos, são utilizados cimento Portland de alta resistência inicial, agregado miúdo (areia natural/artificial e/ou pó-de-pedra), agregado graúdo (pedrisco) e aditivo plastificante. A utilização do cimento de alta resistência inicial é recomendada, pois acelera a desmoldagem do material. A ABNT NBR 6136:2016 limita a zona de graduação zero para os agregados graúdos na produção dos blocos, uma vez que o agregado não pode possuir grãos com diâmetro superior à metade da espessura da menor parede do bloco (BUTTLER, 2007).

As principais características mecânicas dos blocos são: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson (ROMAGNA, 2000). Segundo a BS 5628: Part 1 (1992), a resistência à compressão da alvenaria é determinada principalmente pela resistência à compressão do bloco. De acordo com Parsekian e Soares (2010), eles representam de 80 a 95% do volume da alvenaria e suas características dependem fundamentalmente dos seguintes fatores: natureza dos materiais constituintes, umidade do material usado na moldagem, proporcionamento dos materiais, grau de compactação e método de cura empregado. Estes fatores estão intimamente relacionados ao processo produtivo dos blocos e deles depende, também, o desempenho final da parede de alvenaria estrutural (SABBATINI, 1986).

Além disso, outras propriedades físicas são relevantes quando se estuda blocos de concreto, como por exemplo a absorção de água pela unidade, visto que a aderência da ligação bloco/argamassa é influenciada pelos fenômenos de transporte da água da argamassa para o bloco, o qual consolida as fases sólidas na interface, pois quando a água é absorvida pelo substrato, ela carrega materiais cimentícios que, após a hidratação, garantem a aderência da ligação e também restringem a perda de água.

Por outro lado, o fenômeno limita a água para hidratação da argamassa e cria uma matriz com grande quantidade de ar (BARBOSA et al., 2003). Esta capacidade de absorção de água é utilizada como um indicador da quantidade de vazios e da permeabilidade do bloco e, conseqüentemente, de sua durabilidade. De acordo com a ABNT NBR 6136:2016, o limite de absorção de água de um bloco de concreto confeccionado com agregados normais é de, no máximo, 10%.

Outro aspecto físico do bloco, o teor de umidade, por sua vez, indica qual o grau de dilatação ou retração que a unidade sofrerá quanto em contato com meio úmido. Como essa variação deve ser evitada, recomenda-se que os blocos de concreto não sejam molhados antes do assentamento, pois isso acarretaria em uma expansão da área de assentamento, que após a secagem, resultaria em retração do bloco e conseqüentemente da parede assentada, o que causa o aparecimento de fissuras que podem conduzir a obra a um estado limite de serviço (CARASEK, 1996).

2.1.2 Argamassas de Assentamento

O uso de argamassas para o assentamento de unidades de alvenaria data dos primórdios da civilização. Nas primeiras experiências com alvenaria de pedras, buscava-se um material que unisse e promovesse coesão aos elementos. A primeira argamassa de assentamento utilizada pelo homem foi a de barro, na qual a argila era o material ligante (CARASEK, 1996).

A ABNT NBR 13281:2005 define argamassa de assentamento como o elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto, garantindo distribuição uniforme de esforços, composto de: cimento, agregado miúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir plasticidade e retenção de água de hidratação à mistura. Segundo Penteado (2003), a argamassa é um adesivo que une as unidades de alvenaria e que serve para transferir esforços entre elas, bem como para acomodar pequenas deformações inerentes à própria alvenaria, além de isolar a edificação, selando as juntas, contra penetração da água das chuvas e ventos.

Para que a argamassa tenha capacidade de prover as funções citadas ela deve apresentar características como (SABBATINI, 1998):

- Ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) suficiente para que o pedreiro produza, com rendimento otimizado, um trabalho satisfatório, rápido e econômico;
- Ter capacidade de retenção de água suficiente para que uma elevada sucção do bloco não prejudique as suas funções primárias;
- Adquirir rapidamente alguma resistência após assentada para resistir a esforços; e desenvolver resistência adequada com o passar do tempo para não comprometer a

alvenaria de que faz parte. Não deve, no entanto, ser mais resistente que os blocos que ela une;

- Ter adequada aderência aos blocos a fim de que a interface possa resistir a esforços cisalhantes e de tração e prover a alvenaria de juntas estanques;
- Ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo;
- Ter suficiente resiliência, ou seja, seu módulo de elasticidade não deve ser alto, para que acomode as deformações da parede sem fissurar.

Basicamente, o mecanismo de funcionamento da argamassa consiste na penetração da pasta de aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação, ocasionando fenômenos de precipitação, seja de géis de silicato do cimento, seja hidróxido de cálcio da cal; transcorrido algum tempo, com a cura, esses precipitados intra-capilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base (CARASEK, 1996). Desse modo, as argamassas, junto com as unidades, são os componentes que formam a parede resistente da alvenaria não-armada.

2.1.2.1 Tipos de Argamassa

As argamassas utilizadas para o assentamento de unidades de alvenaria estrutural podem ser classificadas segundo os materiais presentes, como: argamassas de cal, argamassas de cimento, argamassas mistas de cimento e cal e argamassas industrializadas. Esta pesquisa se restringirá ao estudo de argamassas mistas e industrializadas.

2.1.2.1.1 Argamassas Mistas

As argamassas mistas são constituídas de cal, cimento, agregado miúdo e água. A presença de cal melhora a trabalhabilidade das argamassas, a extensão de aderência, a retenção de água e a deformabilidade, diminuindo os efeitos de retração nas mesmas. O cimento, por sua vez, confere um aumento de resistência à compressão nas idades iniciais e uma elevada resistência de aderência, mas pode diminuir a durabilidade da argamassa, uma vez que possui maior tendência de desenvolver fissuras (CARASEK e CASCUDO, 1994; MOHAMAD et al., 2002).

A ABNT NBR 15961-2:2011 recomenda que a quantidade de cal, em volume, não deve ultrapassar 10% da quantidade de cimento. Entretanto, não é comum o uso dessa quantidade de cal recomendada pela norma, sendo usual o traço de 1:1:5-6 (cimento:cal:areia). Segundo Parsekian e Soares (2010), um traço com muito cimento, como por exemplo, 1:0,25:3 (cimento:cal:areia), é muito suscetível ao aparecimento de fissuras, não sendo desejado em nenhuma situação.

2.1.2.1.2 Argamassas Industrializadas

A crescente exigência no meio técnico quanto a ritmo, velocidade e organização da produção tem deixado as argamassas tradicionais produzidas em canteiro (cimento, cal e areia) em segundo plano, pela dificuldade de manuseio e controle dos materiais. Isso incentivou o emprego das argamassas industrializadas, cujos materiais chegam à obra prontos e apenas se adiciona água à mistura (MOHAMAD et al., 2002).

Carvalho Jr. (2007) enumera uma série de vantagens da utilização da argamassa industrializada, em relação às preparadas de maneira convencional, tais como: simplificação e organização do canteiro, possibilidade de ser acomodada próxima ao local onde será utilizada, garantia de qualidade e assistência técnica por parte do fabricante, e maior uniformidade e precisão da quantidade dos materiais constituintes, adicionados em massa e não em volume como é comumente realizado em obras.

As argamassas industrializadas geralmente são formadas por agregados inertes de granulometria fina, cimento Portland, aditivos e, em alguns casos, cal hidratada em pequenas proporções. São comercializadas pré-misturadas, necessitando somente a adição de água cuja quantidade é recomendada pelo fabricante (SILVA, 2007). Ressalta-se, porém, que a presença de aditivos incorporadores de ar nas argamassas causa efeitos preocupantes, uma vez que a mistura fica fortemente influenciada pelo tipo de misturador, velocidade e tempo de mistura.

Recentemente, foram lançadas no mercado argamassas industrializadas para uso específico em assentamento de alvenarias estruturais, com diversos níveis de resistência à compressão (entre 5 e 14 MPa). Contudo, poucos estudos foram realizados para avaliar experimentalmente o desempenho das alvenarias confeccionadas com esse tipo de argamassa, principalmente daquelas

produzidas com blocos de resistência elevada. Diante do exposto, apesar da argamassa industrializada possuir vantagens de manuseio e aplicação, e da perceptível opção das construtoras pelo seu uso para racionalizar o processo construtivo, ainda existem muitos problemas em relação ao seu desempenho, o que torna imprescindíveis pesquisas que aprimorem o seu estudo.

2.1.2.2 Propriedades da Argamassa

O desenvolvimento das funções comentadas depende das propriedades da argamassa, que podem ser divididas em dois grupos: propriedades no estado plástico e propriedades no estado endurecido. A primeira acontece quando a argamassa é trabalhável ou deformável plasticamente sob ação de pequenas solicitações; a segunda, quando a argamassa já ultrapassou a idade necessária para lhe conferir resistência mecânica suficiente para resistir aos esforços atuantes.

2.1.2.2.1 Consistência

Consistência é uma das propriedades da argamassa no estado fresco, que exprime o quão dura ou mole ela está. Sua determinação geralmente é feita por meio da mesa de consistência (flow table), segundo a ABNT NBR 13276:2016 e o valor medido é o diâmetro da base de um tronco de cone de argamassa submetido a impactos sucessivos (30 golpes da mesa de uma altura padrão). Para argamassas de assentamento estrutural, a ABNT NBR 15961-1:2011 recomenda uma consistência de 230 ± 10 mm.

De acordo com Prudêncio Jr. et al. (2003), em testes realizados em argamassas utilizadas em diferentes obras, o valor de consistência varia de 230 a 280 mm, que é uma faixa muito ampla, tendo em vista que elas são extremamente dependentes do teor de materiais finos, granulometria dos agregados, quantidade de água, etc. que possuem em sua composição. Os autores ainda salientam que, o fato da argamassa apresentar consistência dentro desses limites não é garantia de uma boa trabalhabilidade, uma vez que, empregando misturas ásperas e sem coesão,

mas com consistência dentro da faixa, o resultado será argamassas inadequadas para o uso em alvenaria.

Yoshida e Barros (1995) estudaram argamassas industrializadas e perceberam que a melhora em relação às argamassas convencionais concentra-se somente na trabalhabilidade, pois o ar incorporado através de aditivos serve como “lubrificante” entre os grãos sólidos da argamassa, resultando em um aumento da trabalhabilidade e capacidade de retenção de água.

2.1.2.2.2 Retenção de Água

Retenção de água é a propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação, seja pela absorção de água pela base. Assim, essa propriedade torna-se mais categórica quando a argamassa é aplicada sobre substratos com alta sucção de água ou quando as condições climáticas são mais desfavoráveis (CARASEK, 1996).

A incorreta retenção de água pode gerar um comprometimento na aderência bloco-argamassa e uma diminuição na capacidade de absorver deformações na argamassa, pelo fato da mesma tornar-se mais rígida com a perda de água, aumentando seu módulo de elasticidade. Além disso, a resistência da argamassa pode diminuir, pois a perda de água prejudica a hidratação do cimento e a carbonatação da cal. No bloco, a absorção excessiva de água pode ocasionar sua expansão, aumentando o potencial de retração na secagem (SABBATINI, 1984).

Desta forma, pode-se afirmar que, nas argamassas de assentamento, a capacidade de retenção de água varia largamente com o potencial de sucção do bloco. Davison (1961), citado em Sabbatini (1986), observou que, para diferentes tipos de argamassa, a perda de água por sucção é crescente em função do IRA (Initial Rate Absorption – Taxa Inicial de Absorção) dos blocos, apresentando sucção geralmente entre 30 e 50 g por minuto por 194 cm². De acordo com Prudêncio Jr. et al. (2003), a retenção elevada também prejudica a manutenção da espessura da junta após o assentamento e depois da confecção das fiadas subsequentes.

Freitas (2010) salienta que a retenção de água influencia na retração por secagem, que é uma das principais causas de fissuração das argamassas no

estado endurecido, prejudicando a estanqueidade e a durabilidade da alvenaria. Franco (1987) também observa que problemas causados por uma argamassa com deficiência na sua capacidade de retenção de água podem comprometer o desempenho da parede em relação à penetração de água da chuva, à diminuição da durabilidade e da resistência mecânica.

Segundo Sabbatini (1986), a capacidade de retenção de água está intimamente relacionada com a tensão superficial da pasta aglomerante. Portanto, aumenta-se a capacidade de retenção de água aumentando-se a superfície específica dos constituintes ou utilizando aditivos para esse fim. A cal apresenta boas características de retenção de água não só em razão de sua elevada superfície específica, mas também devido à grande capacidade adsortiva de seus cristais.

Estudos realizados por Casali et al. (2005) mostraram que a retenção de água de argamassas mistas é muito influenciada pela quantidade de cal presente na mistura. Nos ensaios realizados, observou-se que um aumento de 85% de cal resultou em um aumento de 44% da retenção de água das argamassas. Casali e Prudêncio Jr. (2008), em seus estudos, observaram que um traço pobre em cal, 1:0,7:5 (cimento : cal : areia) apresentou retenção de água de 39,9%, enquanto que um traço mais rico, 1:1,3:5, apresentou 56,2%. Isso significa que um aumento no teor de cal pode aumentar o tempo em aberto destinado ao assentamento dos blocos.

2.1.2.2.3 Teor de Ar Incorporado e Massa Específica

Os vazios presentes na argamassa são, na realidade, ar aprisionado ou incorporado, ou espaços deixados após a evaporação da água. O fenômeno da incorporação de ar é ocasionado, principalmente, pelo processo de mistura mecânica que introduz ar na argamassa, especialmente quando se utilizam aditivos incorporadores de ar. Entretanto, algumas vezes, o processo de mistura (ou vibração) também favorece a remoção do ar incorporado, na medida em que ele promove a fusão das pequenas bolhas formando bolhas maiores que apresentam maior tendência à flutuação sendo, então, carregadas para a superfície da argamassa onde se rompem (MANSUR e MANSUR, 2006).

Além do tipo, velocidade e tempo de mistura, o teor de ar incorporado de uma argamassa plástica depende de uma série de outros fatores:

relação água/cimento, tipo de aglomerante, granulometria do agregado, viscosidade e presença de aditivo incorporador de ar. O teor de ar incorporado nas argamassas, apesar de favorecer a sua trabalhabilidade, atua de forma desfavorável em relação às resistências mecânicas e pode reduzir os pontos de contato da argamassa com o substrato e, conseqüentemente, resultar em baixa resistência de aderência.

Segundo Nakakura (2004), durante a mistura o ar incorporado atinge, no máximo, 3 a 4%, mas pode ser aumentado com o emprego de aditivos incorporadores. Segundo Beall (1987), o teor de ar incorporado com o uso de aditivos deve ser estipulado entre 12 a 15% para não reduzir a resistência de aderência. Em argamassas mistas, o teor de ar incorporado dificilmente ultrapassa a 4%, mesmo com tempos de misturas de até 5 minutos. Entretanto, em algumas argamassas industrializadas (que contêm aditivos), o teor de vazios pode chegar a 47% em 5 minutos (CASALI et al., 2005).

A massa específica das argamassas, por sua vez, é um indicativo da compacidade da mesma e varia com o teor de ar presente na mistura (principalmente quando incorporado por meio de aditivos) e com a massa específica dos materiais constituintes, prioritariamente do agregado. Cabe destacar que a massa específica da argamassa endurecida é cerca de 9% menor do que seu valor no estado fresco, devido à saída de parte da água (CARASEK, 1996).

2.1.2.2.4 Resistência à Compressão

O desenvolvimento da resistência à compressão das argamassas ocorre da mesma forma que para o concreto, iniciando-se com o enrijecimento e aumentando continuamente com o tempo em função da hidratação do cimento e pela carbonatação da cal, quando se faz uso desse material. Argamassas somente com cal e areia apresentam pequenas resistências que evoluem de maneira lenta em função da necessidade de absorção de gás carbônico do ar, o que depende da sua porosidade. As argamassas de cimento Portland apresentam uma velocidade maior no desenvolvimento da resistência, pois são menos suscetíveis às condições ambientais (ISHIKAWA, 2003).

Na argamassa de assentamento é necessário que a resistência à compressão seja supervisionada para que não ocorra um valor muito abaixo da resistência dos blocos, o que poderia prejudicar o desempenho da alvenaria (SILVA,

2007). Hendry (1981) e Sabbatini (1986) salientam que argamassas muito fracas podem provocar a ruptura da alvenaria por esmagamento da junta.

A ABNT NBR 15961-2:2011 estabelece que a resistência à compressão da argamassa para alvenaria estrutural de blocos de concreto deve ser superior à 9 MPa. Entretanto, Prudêncio Jr. et al. (2003) consideram inadequado o estabelecimento de um valor mínimo para resistência, pois o ensaio realizado para obtenção da resistência à compressão (com moldes cilíndricos de 5x10 cm) não reproduz o real estado de tensões que o material está sujeito quando compoendo uma junta de alvenaria e também devido aos fatores de retenção de água e absorção inicial dos blocos.

É importante notar que, uma grande resistência à compressão da argamassa não é necessariamente sinônimo de uma melhor solução estrutural. A argamassa deve resistir aos esforços que a parede está submetida, mas não deve exceder a resistência do bloco na área líquida, de maneira que as fissuras que venham a ocorrer no conjunto ocorram na junta. Desta forma, Mohamad (1998) recomenda que a resistência à compressão da argamassa fique entre 0,7 a 1 vez a resistência do bloco na área bruta. A ABNT NBR 15961-2:2011 sugere que a resistência da argamassa não deve exceder 70% da resistência do bloco em área líquida.

Aliado a isso, Prudêncio Jr. et al. (2003) destacam que um incremento da resistência à compressão da argamassa normalmente não implica em um aumento significativo da resistência da alvenaria. Isso ocorre porque o módulo de elasticidade da argamassa não aumenta na mesma proporção que a sua resistência à compressão, fazendo com que o estado de tensões da unidade, que geralmente causa o colapso da alvenaria sob compressão, mantenha-se quase inalterado.

Silva (2007) testou argamassas mistas com blocos de duas resistências (12 e 22 MPa) e observou que um aumento de 116% na resistência da argamassa, resultou em um aumento de 21,9% na resistência dos prismas confeccionados com blocos de menor resistência, e um aumento de 2,2% nos prismas moldados com blocos de maior resistência. Outros autores observaram (MOHAMAD, 1998; CUNHA, 2001; SILVA, 2007) que, quanto maior a resistência da argamassa, mais frágil se dá a ruptura da alvenaria, ou seja, as primeiras fissuras se apresentam somente instantes antes de sua carga de ruptura.

Ressalta-se, porém que, embora a resistência à compressão da argamassa ser uma característica muito discutida quanto a sua importância na resistência à compressão da alvenaria, Steil (2003) observou, em seus estudos, que as argamassas com praticamente a mesma resistência e rigidez, diferindo na capacidade de retenção de água e composição, podem produzir prismas que apresentem, além de diferentes tipos de ruptura, resistências à compressão e fatores de eficiência distintos. Dessa forma, sugere que a especificação das argamassas não deva ser somente através da resistência a compressão, mas que se dê mais importância às demais propriedades, como aderência e retenção de água.

2.1.2.2.5 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade é uma propriedade que avalia o comportamento/deformação de um elemento sujeito à aplicação de um carregamento. Segundo Solórzano (1994), uma argamassa adequada é aquela que, dentre outras características, permite a dissipação dos esforços atuantes sem a ocorrência das fissuras prejudiciais e sem perder a aderência com as unidades de alvenaria. Essa função das argamassas de absorver deformações na parede está ligada, principalmente, à sua composição, dosagem e capacidade de aderência.

Nos prismas não-grauteados, a proporção de rigidez entre a argamassa e o bloco é um fator importante na resistência da alvenaria e também na determinação do tipo de ruptura que irá ocorrer devido ao surgimento destas tensões de confinamento na argamassa e tração do bloco. Estas tensões estão diretamente relacionadas à capacidade da argamassa se deformar e a aderência na interface bloco/argamassa. Em razão disso, o módulo resiliente da argamassa é uma propriedade importante que determina a capacidade da mesma endurecida deformar-se sem romper macroscopicamente (MOHAMAD et al., 2002).

Steil et al. (2001) estudaram a influência do tipo de argamassa na deformabilidade de alvenarias estruturais com blocos de concreto de resistência média de 6,9 MPa, e observaram que argamassas muito rígidas (módulo de elasticidade entre 7 e 9 GPa), tornaram os prismas muito rígidos (módulo de elasticidade entre 8 e 10 GPa), o que é prejudicial ao funcionamento da alvenaria.

Os autores sugerem que argamassas com alto módulo de elasticidade sejam usadas somente combinadas com blocos de alta resistência.

2.1.2.2.6 Retração

Segundo Carasek (1996), a retração é resultado de um mecanismo complexo, relacionado à variação de volume das pastas. A importância do estudo desse fenômeno está ligada à qualidade e durabilidade das edificações, pois uma vez aplicada sobre um substrato, a argamassa é impedida de retrair-se livremente, gerando tensões de tração e/ou cisalhamento, que podem resultar em fissuras (BASTOS et al., 2005).

A retração nas argamassas ocorre após o lançamento no substrato evoluindo após o endurecimento, sendo ocasionada por diversos fatores, tais como: absorção da água por substratos, evaporação da água, sedimentação, segregação, hidratação do cimento, condições de temperatura, incidência solar, umidade relativa e velocidade do ar (COSTA et al., 2004). Quando retrai, a argamassa da junta de assentamento de alvenaria pode desprender-se da superfície, geralmente na interface da junta com o bloco superior, diminuindo a resistência da parede e constituindo-se num caminho para a entrada de água da chuva (GALLEGOS, 1989).

Com relação à influência de seus constituintes, é possível afirmar que argamassas ricas em cimento e que possuam agregados com granulometria uniforme (maior índice de vazios intergranulares) apresentam maior pré-disposição de ocorrência da retração. Isso acontece porque a retração ocorre na pasta, portanto quanto maior o volume de vazios, maior o teor de pasta necessário e maior o teor de cimento utilizado (CARASEK, 1996).

Bastos et al. (2005) estudaram a retração de argamassas mistas e verificaram que o valor da retração medida, tanto 24 horas após a moldagem dos corpos-de-prova como aos 28 dias, aumenta com a quantidade de finos. Para os autores, o aumento do teor de finos, embora melhore a capacidade de retenção de água, diminui o diâmetro médio dos capilares da argamassa, gerando maior tensão na saída de água durante a secagem.

2.2 PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO

A resistência e o módulo de elasticidade dos prismas são afetados pelas características mecânicas dos seus materiais constituintes: bloco, argamassa e graute. Contudo, o presente trabalho se restringirá ao estudo da alvenaria de blocos de concreto não-grauteados.

2.2.1 Ensaio em Prismas de Blocos de Concreto

Devido ao elevado custo e à demora de construção e execução de ensaios de parede em escala real, estes tiveram de ser correlacionados em escalas cada vez menores, como os prismas e paredinhas de menores dimensões, a fim de se obter correlações que permitissem ao projetista obter parâmetros para o dimensionamento utilizando análise numérica (FONSECA, 2002). Mendes (1998) esclarece que os prismas são simulações mais simples e econômicas para verificação das propriedades mecânicas de uma parede, que não exigem estrutura laboratorial muito sofisticada.

Todavia, diversos pesquisadores têm ressaltado que os ensaios de prismas fornecem resultados que normalmente não reproduzem as condições reais daquelas a que estão submetidos às paredes. Segundo Oliveira (2002), assim como para o concreto armado o corpo de prova cilíndrico não simula o comportamento de um pilar ou de uma viga, os resultados têm representatividade quanto ao índice da qualidade do elemento estrutural. Ramalho e Corrêa (2003) atestam, porém, que a utilização de ensaios de prismas para a estimativa da resistência dos elementos de alvenaria estrutural é um método avançado, pois pode ser usado para todas as combinações de blocos, argamassas e grautes.

Juste (2001) estudou a resistência de prismas confeccionados com juntas de argamassas industrializadas e observou que a sua utilização na moldagem de prismas não permitiu que os mesmos apresentassem o comportamento esperado durante os ensaios, pelo comprometimento da resistência de aderência entre bloco e argamassa. Segundo a autora, séries assentadas com argamassa industrializada apresentaram ruptura por esfacelamento precoce da junta com cargas ainda baixas (cerca de 15 a 40% da carga de ruptura), independentemente da resistência da unidade.

Steil et al. (2001) verificaram que argamassas mistas (cimento, cal e areia) e industrializadas apresentaram comportamentos distintos em prismas de alvenaria de blocos de concreto, mesmo quando possuíam a mesma resistência e rigidez. Estudos realizados pelos autores e também por Casali (2003), com alvenaria de blocos de concreto, mostraram que as argamassas mistas possuíam desempenho superior às argamassas industrializadas, tanto no estado fresco quanto endurecido.

2.2.2 Fatores que Influenciam nas Características Mecânicas dos Prismas

2.2.2.1 Espessura da Junta de Argamassa

É consenso entre diversos pesquisadores que a variação na espessura da junta de argamassa influencia na resistência à compressão da alvenaria. Hamid e Drysdale (1979) observaram uma diminuição de 16% na resistência de prismas de blocos de concreto não-grauteados e de apenas 3% para prismas grauteados, com o aumento da espessura da junta de argamassa de 10 para 19mm. Cheema e Klingner (1986) testaram a resistência à compressão de prismas de dois blocos não-grauteados, utilizando duas alturas de juntas, a padrão de 1,0 cm e outra de 1,3cm e os resultados mostraram uma redução de 39% na resistência dos prismas com a junta de maior espessura.

Por meio dos resultados obtidos pelos ensaios realizados por Mohamad (1998), foi possível mostrar um aumento de 32% na resistência do prisma ao diminuir a espessura da junta de argamassa de 10mm para 7mm. Porém, o autor salienta que juntas com espessura inferior a 10mm não tem capacidade acomodar as fissurações na alvenaria. Sabbatini (1984), por sua vez, afirma que o aumento da espessura das juntas provoca uma deformação maior na argamassa, aumentando o diferencial de deformação em relação ao bloco, o qual pode ser o responsável pelo acréscimo de tensões no bloco, diminuindo a resistência da alvenaria.

Sahlin (1971, apud CAMACHO, 1986), verificou em sua pesquisa que, a cada incremento de 3 mm de espessura da argamassa, a resistência da alvenaria reduzia em torno de 15%. Os estudos de Francis (1971, apud RAMALHO e CORRÊA, 2003) provaram que há um decréscimo da resistência da parede com o aumento da espessura da junta horizontal, devido ao menor confinamento desta

pelas unidades das paredes. Este confinamento é que garante a resistência da argamassa, mesmo que ela tenha baixa resistência medida em ensaios com corpos-de-prova cilíndricos (HENDRY, 1981; ROMAN et al. 1999; PRUDÊNCIO JR. et al., 2003).

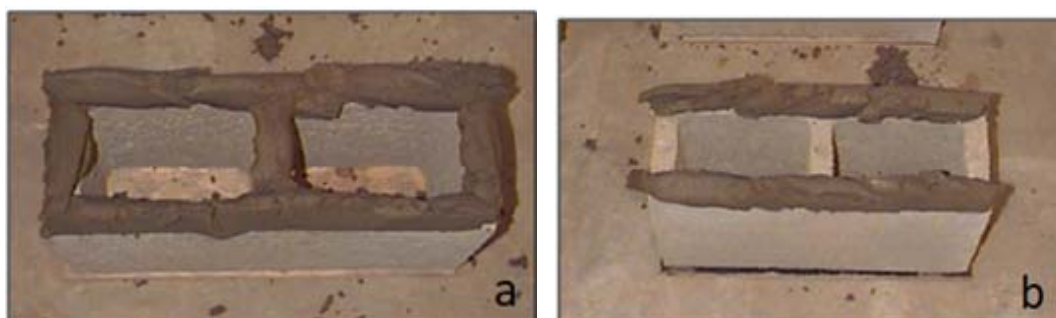
Carvalho (2001) cita que diversos trabalhos, códigos e normas recomendam 10 mm de altura para a espessura da junta. A ABNT NBR 15961-1:2011 especifica que a junta de assentamento da argamassa também deve ser de 10 mm, a menos que se justifique a adoção de outro valor. Portanto, neste trabalho, padronizou-se a espessura da junta de assentamento da argamassa nos prismas de blocos de concreto em 10mm.

2.2.2.2 Tipo de Assentamento de Argamassa

A área argamassada do bloco é um dos fatores que influencia a resistência do prisma, os quais podem ser moldados com argamassa em toda a superfície de assentamento do bloco ou somente nas faces externas longitudinais. As técnicas distintas de assentamento dos blocos refletirão em diferentes valores de resistência à compressão, produtividade de mão-de-obra, desperdício de argamassa e qualidade de assentamento.

As duas formas de assentamento são mostradas na Figura 1. A primeira é chamada de tradicional e consiste em espalhar a argamassa com a colher de pedreiro em toda superfície do bloco, enquanto na segunda são formados dois filetes de argamassa nas partes resistentes da seção transversal dos blocos. Neste caso, cria-se uma interrupção física na junta de argamassa, o que melhora o desempenho da parede em relação à penetração da água de chuva.

Figura 1 – Prisma com assentamento total (a), prisma com assentamento lateral (b)



Fonte: Juste (2001)

O argamassamento parcial (ou em cordão) nas juntas horizontais vem sendo muito utilizado, pois promove uma maior produção e rendimento da obra (DA MATA, 2009). Segundo Panarese et al. (1991), a argamassa aplicada somente nas paredes longitudinais dos blocos é empregada usualmente nos Estados Unidos, por aumentar consideravelmente a produtividade no assentamento.

Maas (2004), em seu estudo sobre a influência da área argamassada sobre a resistência de prisma e de parede, verificou que a resistência à compressão dos prismas diminuiu bastante em relação à resistência do bloco para a argamassa aplicada apenas longitudinalmente, colocando como fator principal para este resultado o efeito de confinamento existente no ensaio de prisma. Entretanto, nas paredes, registrou-se o aumento da resistência de até 10% com a argamassa aplicada dessa forma. Assim, o autor concluiu que a influência da área de aplicação da argamassa pouco difere na resistência da alvenaria; o único inconveniente é a verificação da ocorrência de ruptura frágil com a argamassa longitudinal.

Segundo Drysdale et al. (1994), para os prismas executados com preenchimento completo de argamassa, o aumento da carga de ruptura é menor que o proporcional aumento na área argamassada. Assim, com base na área efetiva, pode-se dizer que a resistência de prismas com argamassa apenas na face longitudinal é maior se comparada aos prismas com argamassamento total das juntas horizontais. Santos (2001) confirmou este indicativo de perda de resistência à compressão devido ao não preenchimento das juntas verticais, tendo-se observado em relação aos prismas uma redução de até 24% em elementos grauteados sem juntas verticais preenchidas.

Da Mata et al. (2007), em seus estudos, observaram que a carga de ruptura média dos prismas com argamassamento parcial foi cerca de 20% inferior à do prisma com argamassamento total. Sendo assim, os autores não recomendam a utilização de argamassamento parcial em paredes de alvenaria de blocos de concreto. Com base nestas constatações, optou-se, neste trabalho pela utilização do argamassamento total.

2.2.2.3 Relação altura/espessura

Segundo Prudêncio Jr. (1986), prismas são normalmente ensaiados entre pratos de aço de prensas, os quais são muito mais rígidos que a alvenaria, sendo que estes pratos restringem por fricção a expansão lateral. Esta ação prejudica a forma de ruptura normal de um prisma, aumentando a carga necessária para rompê-lo. Com o aumento da razão altura/espessura (h/e) este confinamento passa a ter uma influência cada vez menor nas resistências obtidas nos ensaios.

Pelos estudos em prismas grauteados de blocos de concreto, realizados por Colville & Wolde-Tinsae (1990 apud ROMAGNA, 2000), aqueles moldados utilizando-se de 3 a 5 blocos representam de maneira bem mais significativa o comportamento da alvenaria quando comparados aos prismas de dois blocos de altura. Contudo, Juste (2001) avalia que o uso de prismas com altura de dois blocos é um limite prático para o controle de qualidade e leva em consideração o transporte e os limites de altura dos equipamentos utilizados para os ensaios.

Portanto, nesta pesquisa, devido ao limite de altura imposto pela prensa utilizada para a realização dos ensaios aos quais os prismas foram submetidos, fez-se necessário a confecção de prismas de dois blocos de concreto.

2.2.2.4 Resistência da Argamassa

A resistência à compressão da argamassa é uma característica muito discutida quanto a sua importância na resistência à compressão da alvenaria. Garcia (2000) verificou em seus estudos a importância da argamassa no desenvolvimento da resistência da alvenaria e concluiu que ela não deve ter a resistência muito menor que a do bloco, para não comprometer a resistência do conjunto.

Segundo Mendes (1998), o uso de argamassa mais rígida e resistente aumenta a parcela de carga absorvida pela alvenaria de blocos cerâmicos, devido ao aumento do módulo de elasticidade do conjunto bloco/argamassa. O autor concluiu, em sua dissertação, que para um mesmo bloco cerâmico, os melhores resultados de resistência à compressão são obtidos com o aumento da resistência da argamassa. As argamassas utilizadas por Mendes (1998), no entanto, eram menos resistentes que o bloco pesquisado.

Segundo citações feitas por Tango (1981), a argamassa utilizada na alvenaria estrutural deve apresentar uma resistência adequada, de modo a garantir a durabilidade e a impermeabilidade da parede, além de contribuir com sua estabilidade. Porém, o autor também ressalta que, o controle da resistência à compressão da argamassa feita em moldes cilíndricos trata-se de um parâmetro de qualidade, já que a resistência à compressão não é a mesma desenvolvida na parede, devido às diferenças nas condições de adensamento e cura, ao estado de tensão a que fica submetida a argamassa e a fatores circunstanciais, como a absorção de água pelo bloco.

Mohamad (1998), pesquisando prismas não grauteados, verificou que quando usou uma argamassa fraca, menos resistente do que o bloco, ocorreu um descolamento na parte externa das paredes com blocos de concreto, e a ruptura foi dúctil. Quando utilizou argamassa com a mesma resistência do bloco na área líquida, a ruptura foi essencialmente frágil, ocorrendo no sentido da seção transversal do prisma. O autor conclui ainda que deve haver uma compatibilidade entre a argamassa e o tipo de bloco, recomendando que a resistência à compressão da argamassa seja entre 0,7 e 1 vez a resistência á compressão do bloco na área bruta.

2.2.2.5 Capacidade da Argamassa de absorver Deformações

De acordo com Sabbatini (1998), a capacidade de absorver deformações é uma propriedade equacionada pela resistência à tração e módulo de deformação do revestimento. Esta propriedade permite ao revestimento deformar-se sem ruptura ou através de microfissuras imperceptíveis, quando os esforços atuantes ultrapassam o limite de resistência à tração do material. Elasticidade é, portanto, uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento, dessa forma, influi decisivamente sobre o grau de aderência da argamassa à base e, conseqüentemente, sobre a estanqueidade e sua durabilidade (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

Argamassas devem possuir módulo de elasticidade adequado de forma a acomodar as deformações provenientes de movimentos da estrutura e intrínsecas, ou seja, aquelas provocadas por retração na secagem e de origem térmica, sem que ocorra o aparecimento de fissuras (SABBATINI, 1984). Esta

capacidade de se deformar ajuda na distribuição de esforços e na vedação, uma vez que a argamassa pode absorver uma parte destes esforços e dissipá-los através de microfissuras não prejudiciais à estanqueidade e à resistência da parede. Este fato não acontece em argamassas muito rígidas, ou seja, com elevado módulo de elasticidade, pois dissipam os esforços atuantes mediante microfissuras, provocando infiltrações e perda de aderência (SOLÓRZANO, 1994).

Diversos autores afirmam que raramente a fissuração da alvenaria é resultante de cargas aplicadas diretamente na estrutura, e sim, de movimentos diferenciais entre várias partes da mesma, que podem ser causados por recalque da fundação ou por movimentos térmicos e de retração. Dessa forma, uma argamassa desnecessariamente forte possibilita a concentração dos efeitos de qualquer deformação diferencial em um pequeno número de fissuras com grandes aberturas. Já uma argamassa fraca acomoda-se com pequenos movimentos e qualquer fissura tende a distribuir-se por fissuras capilares nas juntas, que são imperceptíveis (JUSTE, 2001).

Em prismas não-grauteados, a proporção da rigidez entre a argamassa e a unidade é um fator muito importante na determinação da resistência final dos prismas e também do tipo de ruptura que irá ocorrer devido ao surgimento de tensões de confinamento na argamassa e tração na unidade. Estas tensões estão relacionadas à capacidade da argamassa de se deformar e a aderência na interface bloco/argamassa (MOHAMAD, 1998).

Quanto mais deformável for a argamassa (menor o módulo de elasticidade e maior o coeficiente de Poisson) em relação ao bloco, maiores serão as tensões de tração neste geradas e, como consequência, haverá queda na resistência à compressão do prisma (LA ROVERE, 1997). Entretanto, a argamassa deve apresentar uma deformabilidade tal que permita a acomodação de pequenas deformações da alvenaria evitando sua fissuração.

2.2.2.6 Características e Propriedades do Bloco de Concreto

Prado (1995 apud CARVALHO, 2001) investigou a resistência à compressão de alvenarias executadas com cinco tipos diferentes de unidades e dois tipos de argamassas e concluiu que o principal fator que influenciou na resistência à compressão dos prismas foi a resistência da unidade. Entretanto, é fato que o modo

de ruptura do bloco, individualmente, não reproduz a realidade do estado de tensão a que fica submetida a alvenaria.

A geometria do bloco também é um fator que interfere no desempenho da alvenaria. Hendry (1981) afirma que a geometria do bloco, sua forma, a orientação e espessura das paredes, influenciam na capacidade resistente das paredes de alvenaria. O fator de forma (definido pela relação entre a altura do componente e a menor dimensão horizontal) também é considerado como um parâmetro de grande influência na resistência, tanto que são considerados nos dimensionamentos das normas britânicas e da comunidade européia.

Steil e Prudêncio (2002) notaram que blocos de mesma resistência e rigidez, diferindo apenas na geometria dos furos, podem produzir prismas que apresentem resistências à compressão e fatores de eficiências distintos. Eles salientam que a especificação de blocos de concreto para alvenaria estrutural não deve ser baseada unicamente em sua resistência à compressão, mas especial atenção deve-se dar à geometria do bloco e a compatibilidade entre a argamassa e bloco.

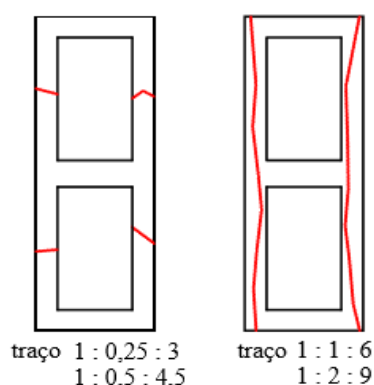
Drysdale et al. (1994) apontam que tanto a resistência à compressão quanto a resistência à tração dos blocos tenham papel significativo na resistência da alvenaria. Segundo os autores, ensaios com grupos de blocos de mesma resistência apresentaram dispersões significativas quando era utilizado o assentamento lateral dos blocos, indicando a possibilidade da ruptura estar relacionada com as diferenças de resistência à tração dos blocos (JUSTE, 2001).

Segundo Prudêncio Jr. et al. (2003), para um mesmo material constituinte e uma mesma geometria, quanto maior a resistência à compressão da unidade, geralmente maior será a resistência à compressão da alvenaria, isso porque um aumento da resistência à compressão da unidade faz com que sua resistência à tração transversal cresça, aumentando diretamente a resistência da parede. Hendry (1981) ressalta, contudo, que o aumento do valor da resistência do bloco não significa um aumento proporcional da resistência da alvenaria.

A revista Prisma (2002) cita que é comum relacionar as resistências à compressão dos blocos e prismas. Devido à influência da esbelteza dos prismas, da resistência da argamassa e da espessura da junta de argamassa de assentamento, a resistência dos prismas varia de 70% a 90% da resistência característica dos blocos de concreto (FONSECA, 2002).

Mohamad (1998) verificou que, para qualquer argamassa utilizada, os blocos de concreto apresentam deformações com comportamentos lineares a carregamentos inferiores à 50% da resistência última à compressão dos prismas (FONSECA, 2002). Como a rigidez da argamassa é diretamente proporcional ao consumo de cimento, apresentam-se na Figura 2, os dois tipos de fissuras que podem ocorrer no bloco.

Figura 2 - Tipo de ruptura do bloco ocorrido nos prismas em função da argamassa



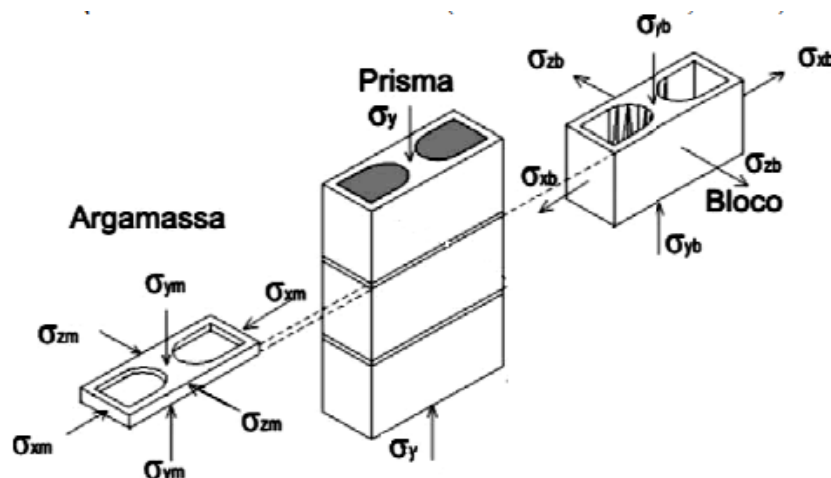
Fonte: Mohamad (1998)

Desta forma, o mesmo autor sugere que a resistência da argamassa varie de 70% a 100% da resistência à compressão do bloco na área bruta, para haver a compatibilidade entre argamassa e o tipo de bloco, otimizando, desta forma, a resistência de cada componente.

2.2.3 Modos de Ruptura dos Prismas

A alvenaria, quando submetida à compressão, está sujeita a tensões triaxiais de carga. A Figura 3 apresenta o esquema das distribuições de tensões nos materiais.

Figura 3 - Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais sob compressão axial



Fonte: Mohamad et al. (2002)

A aderência e o atrito entre o bloco e a argamassa, impedem a deformação lateral da argamassa, criando um estado de tensão de compressão triaxial na argamassa e tração axial lateral nos septos longitudinais dos blocos. Ao reagirem, as tensões laterais superam a resistência de tração do bloco, provocando a ruína por desenvolvimento de fissuras paralelas ao eixo de carregamento. A ruptura da alvenaria ocorre quando sucessivas e localizadas rupturas causam instabilidade do conjunto (JUSTE, 2001).

Quando solicitada à compressão no sentido vertical, a alvenaria, pelo efeito de Poisson, deforma-se lateralmente. A junta por ser mais flexível que o bloco tende a expandir-se mais no sentido perpendicular à aplicação do carregamento. Assim, aparecem tensões de compressão lateral na argamassa e, para que seja mantido o equilíbrio de tensões, o bloco fica sujeito a tensões de tração. Uma vez que a resistência à tração da unidade é pequena, a ruptura da alvenaria ocorre geralmente na unidade, sob estado biaxial de tração-compressão, caracterizada pela fissuração vertical do bloco, perpendicular às tensões de tração lateral (MOHAMAD, 1998).

O estudo proposto por Cheema e Klinger (1986) teve como objetivo apresentar modelos que resultassem em relações simplificadas para prever a resistência à compressão e o tipo de ruptura em prismas de blocos de concreto. Para tanto, os autores desenvolveram um modelo em elementos finitos e uma série

de ensaios em prismas grauteados e não-grauteados e seus materiais constituintes (argamassa, bloco e graute).

Este modelo baseia-se em gráficos que relacionam, para diferentes proporções entre módulo de elasticidade da argamassa e bloco, as tensões de tração induzidas no bloco por unidade de tensão aplicada nos prismas, a resistência da argamassa confinada em relação à compressão uniaxial, as tensões principais na argamassa por unidade de tensão aplicada e também, a resistência do graute confinado para diferentes níveis de resistência à compressão uniaxial.

As conclusões deste estudo, a respeito dos tipos de ruptura foram:

- Tração no bloco, quando a tensão de tração principal no bloco é maior que a resistência à tração do bloco;
- Esmagamento do bloco, quando a tensão principal de compressão no bloco é maior que a resistência à compressão do bloco;
- Esmagamento da argamassa, quando a tensão de compressão axial na argamassa é maior que a resistência à compressão da argamassa confinada.

Passos et al. (2009) descrevem os modos de ruptura de forma semelhante à Cheema e Klingner (1986), mas adicionam a observação visual de cada caso:

- Ruptura dos blocos, nos quais se manifesta pelo surgimento de uma fissura vertical que passa pelos blocos e juntas de argamassa;
- Ruptura da argamassa, na qual ocorre o esmagamento das juntas, sendo frequente a constatação do “esfacelamento” da argamassa presente na junta;
- Ruptura do conjunto, que é a mais desejável, uma vez que a ruptura se dá pelo surgimento de fissura vertical no conjunto, porém precedida de indícios de ruptura conjunta da argamassa.

Com o objetivo de desenvolver uma teoria que previsse a resistência da alvenaria baseada nos módulos de elasticidade do bloco e argamassa, resistência à compressão dos prismas e argamassa e a resistência à tração dos blocos, Mohamad (1998) realizou alguns ensaios de prismas utilizando diferentes resistências e de argamassa.

A partir dos resultados obtidos experimentalmente, Mohamad (1998) utilizou dois gráficos: o primeiro relacionando a razão entre a resistência à compressão do prisma e a resistência da argamassa (f_p/f_a) com a razão entre os

módulos de elasticidade da argamassa e do bloco (E_a/E_b) (Figura 4) e o segundo, (E_a/E_b) com a razão entre a resistência à compressão do prisma e a resistência à tração do bloco (f_p/f_{bt}) (Figura 5).

Figura 4 - Relação entre f_p/f_a e E_a/E_b

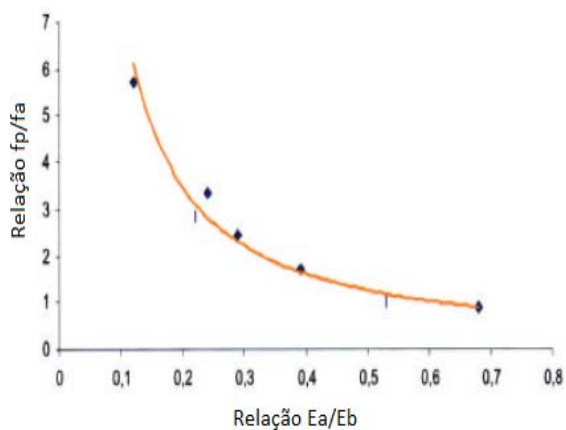
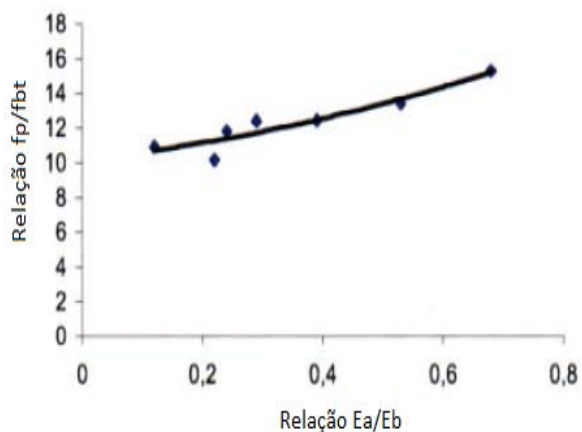


Figura 5 - Relação entre f_p/f_{bt} e E_a/E_b



Fonte: Mohamad (1998)

Dessa forma, obtiveram-se as Equações 1 e 2, apresentando a resistência última do prisma de acordo com o tipo de ruptura, na argamassa ou por tração do bloco, respectivamente. Estas equações são mostradas a seguir:

$$f_p = f_a \cdot 0,5794 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right)^{-1,1098} \quad \text{(Equação 1)}$$

$$f_p = f_{bt} \left(5,45 \left(\frac{E_a}{E_b}\right)^2 + 3,64 \left(\frac{E_a}{E_b}\right) + 10,22 \right) \quad \text{(Equação 2)}$$

Com as equações apresentadas acima, o autor comparou os resultados experimentais obtidos por diversos autores com os valores propostos teoricamente. A partir daí, estabeleceu a forma de ruptura dos prismas. Esta comparação pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação entre a resistência à compressão dos prismas prevista pela obtida experimentalmente por diversos autores

	E_a/E_b	f_a	f_{bt}	$f_{p\text{ prevista}}$		$f_{p\text{ obtida experim.}}$	$f_{p\text{ prevista}}/f_{p\text{ experimen.}}$	Tipo de ruptura
				Eq. (2.10)	Eq. (2.11)			
KHALAF & FAIRBAIN (1992)	0,29	9,2	1,5	21,04	17,6	17,8	0,99	Tração no bloco
	0,54	15,4		17,70	20,66	17,4	1,02	Na argamassa
	0,74	26,5		21,44	23,85	21,4	1,00	Na argamassa
HAMID & DRYSDALE (1979)	0,21	5,7	1,37	18,65	15,2	15,4	1,00	Tração no bloco
	0,56	14,7		16,2	13,13	16,4	0,99	Na argamassa
	0,70	18,2		15,7	21,15	16,3	0,96	Na argamassa
CHEEMA & KLINGER (1986)	0,48	14,9	1,56	19,48	20,63	19,26	1,01	Na argamassa
HEGBMEIR (1978)	03,7	22,8	2,25	39,7	27,7	31,7	0,87	Tração no bloco
	0,47	22,8	1,87	30,5	25,5	24,6	0,96	Tração no bloco

Notas: Resistência dos prismas obtida na área líquida.

Resistência à tração dos blocos calculadas através da equação $f_{bt} = 0,41\sqrt{f_b}$.

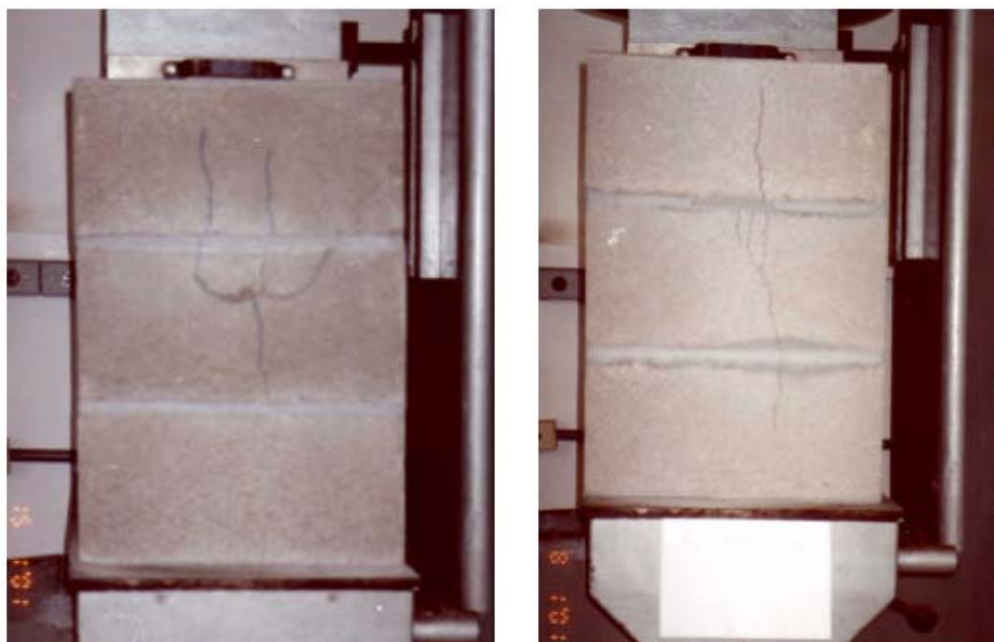
Fonte: Mohamad (1998)

Através da Tabela 1 o autor sugere a validade do método proposto para determinação do tipo de ruptura ocorrida, a partir da comparação dos resultados obtidos experimentalmente por diversos autores e os calculados utilizando as equações 5 e 6. Dessa forma, pode-se perceber que os valores experimentais aproximaram-se muito dos valores obtidos ao utilizar uma das duas expressões apresentadas. Isto possibilitou ao autor sugerir os tipos de ruptura ocorridos durante estes ensaios, por tração no bloco ou por esmagamento da argamassa (JUSTE, 2001).

2.2.3.1 Estudos sobre Mecanismos de Ruptura

Steil (2003) ao estudar a influência da geometria do bloco e do tipo de argamassa no comportamento mecânico de prismas de blocos de concreto, confeccionados com cinco distintas geometrias de blocos de concretos com mesma resistência nominal e três argamassas de assentamento, duas mistas de cimento, cal e areia e uma industrializada, verificou que a ruptura dos prismas ocorreu, praticamente em todos os casos em que se utilizou argamassa mista, por tração no bloco, causando o desenvolvimento de fissuras verticais ao longo da parede longitudinal do prisma, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Forma de ruptura dos prismas com argamassa mista



Fonte: Steil (2003)

Para os casos em que se utilizou a argamassa industrializada, a ruptura dos prismas aconteceu por esmagamento da junta de argamassa e esfacelamento do bloco nas proximidades da junta, como exemplificado na Figura 7.

Figura 7 – Forma de ruptura dos prismas com argamassa industrializada



Fonte: Steil (2003)

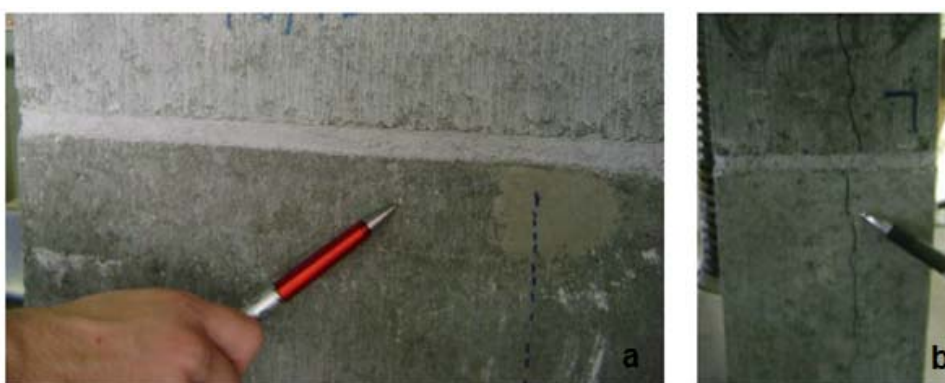
Schankoski (2012) estudou o desempenho de argamassas industrializadas ofertadas no mercado bem como traços de argamassas mistas empregadas usualmente, com a adição de retentores de água, polímeros e/ou desincorporadores de ar para alvenarias estruturais de blocos de concreto para edifícios altos. Para cada argamassa selecionada, foram construídos quatro prismas de três fiadas para ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e fator de eficiência; e quatro prismas de quatro fiadas para ensaios de tração na flexão. Foram moldados, no total, 56 prismas, sendo 28 de três fiadas e 28 de quatro fiadas. A forma de ruptura dos prismas pode ser visualizada nas Figuras 8 e 9, que mostram os dois diferentes tipos de ruptura: esmagamento da junta e tração no bloco.

Figura 8 – Prisma com ruptura por esmagamento da junta



Fonte: Schankoski (2012)

Figura 9 – Prisma com rompimento por tração no bloco. (a) junta de argamassa intacta após o rompimento; (b) fissuras no bloco na parte lateral do prisma



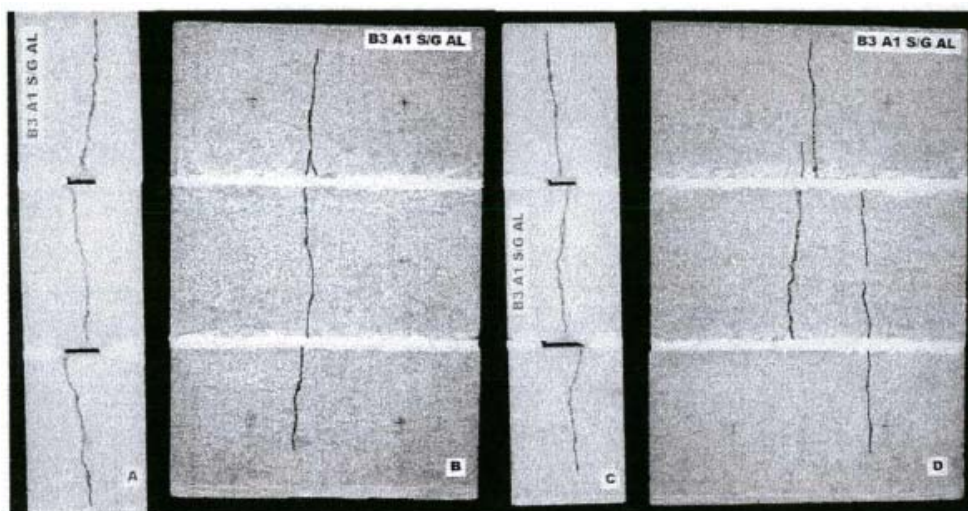
Fonte: Schankoski (2012)

Romagma (2000) estudou as propriedades mecânicas e o modo de ruptura de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados submetidos à compressão axial. Para isso, foram moldados 60 tipos de prismas, com três blocos de diferentes resistências à compressão, dois tipos de argamassas (1:1:6) e

(1:0,5:4,5), quatro grautes com diferentes resistências à compressão e dois tipos de assentamento, assentamento total e lateral.

A partir do ensaio de resistência à compressão ao qual os prismas foram submetidos, foi possível verificar que os prismas sem graute e com argamassamento lateral, começavam a romper nas faces laterais dos blocos, iniciando no bloco central e após expandindo para os blocos das extremidades, como mostra a Figura 10.

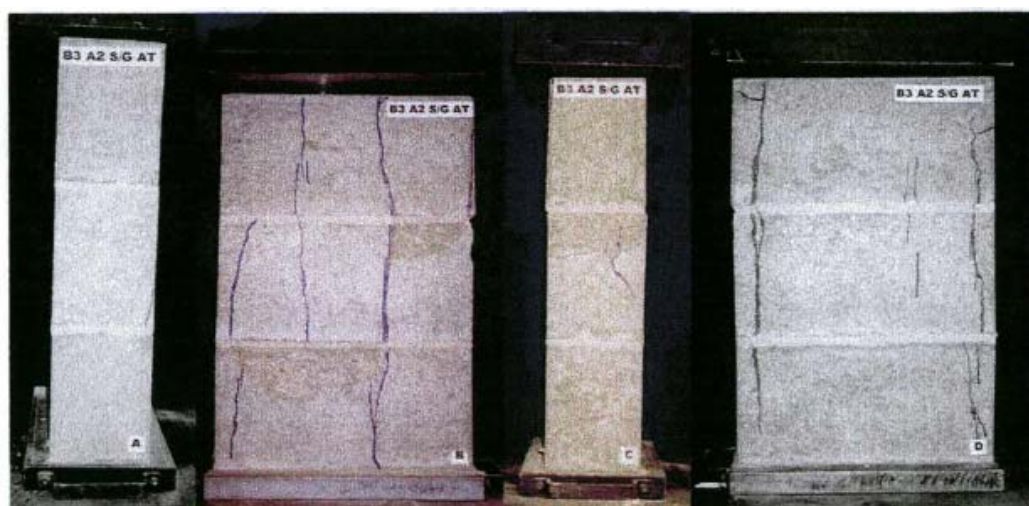
Figura 10 – Modo de ruptura do prisma



Fonte: Romagma (2000)

A Figura 11 mostra o tipo de ruptura para argamassa mais resistente e assentamento total. Geralmente, esta ruptura era brusca. Pode ser observado o esfacelamento do bloco, sugerindo que a ruptura ocorreu devido aos esforços de tração induzidos no bloco.

Figura 11- Modo de ruptura do prisma



Fonte: Romagma (2000)

2.3 PROPRIEDADES E DESEMPENHO DA ALVENARIA

O desempenho da parede de alvenaria não depende apenas de sua resistência mecânica, mas também de outras propriedades, como o módulo de elasticidade do elemento, que possibilita prever as deformações da estrutura.

2.3.1 Resistência da Parede de Alvenaria

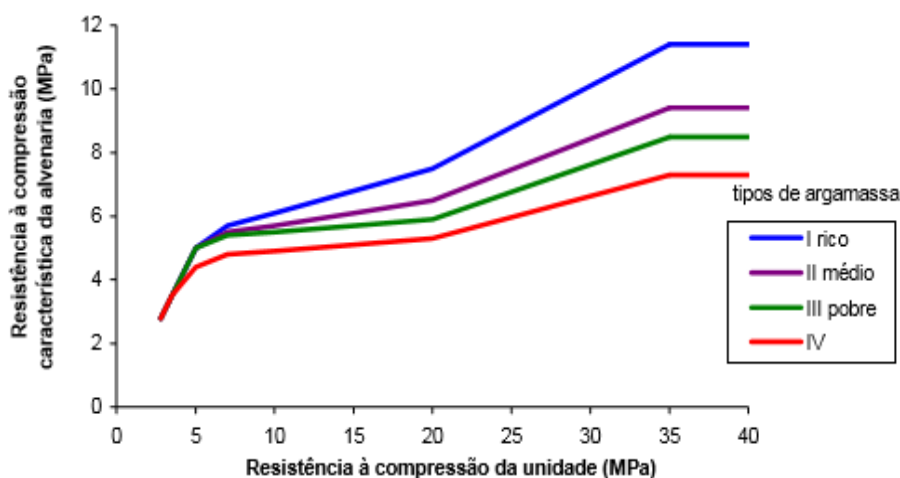
Muitos fatores influenciam na ruptura da alvenaria à compressão, sendo que os mais importantes são (HENDRY, 1981; SABBATINI, 1984; STEIL, 2003; SILVA, 2007):

- Fatores provenientes dos blocos: resistência mecânica, módulo de elasticidade, estabilidade dimensional, geometria, porcentagem de vazios e absorção;
- Fatores provenientes das argamassas: resistência, módulo de elasticidade, retenção de água, espessura e disposição das juntas;
- Resistência de aderência do conjunto bloco/argamassa.

De acordo com a BS-5628 part 1:1992, a resistência característica à compressão da alvenaria depende principalmente da resistência à compressão da unidade. Para baixos níveis de resistência à compressão do bloco, a argamassa não tem uma influência significativa na resistência da alvenaria, mas, à medida que se aumenta a resistência da unidade começa a existir uma diferença significativa na resistência característica da alvenaria.

A Figura 12 expõe as relações entre as resistências de cálculo da alvenaria e a resistência característica do bloco e do tipo de argamassa, possibilitando ao projetista estimar a solicitação a ser suportada pela parede de alvenaria (FONSECA, 2002).

Figura 12 - Relação entre a resistência de cálculo da alvenaria e a resistência à compressão dos materiais constituintes



Fonte: BS 5628 part 1 (1992)

Os tipos de argamassas mistas com cimento, cal e agregado miúdo, da figura acima variam em função do consumo de cimento, mantendo a relação aglomerantes/agregado igual a 1:3.

O EUROCÓDIGO 6 (1995) possibilita determinar a resistência característica à compressão da alvenaria (f_k), não apenas em função do elemento estrutural, mas também da influência da resistência da argamassa, de acordo com a Equação 3.

$$f_k = k \cdot f_b^{0,75} \cdot f_a^{0,25} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

k = coeficiente;

f_a = resistência à compressão média da argamassa;

f_b = resistência à compressão média do bloco.

$$k = 0,4 \cdot j$$

$$\text{para } f_b > \frac{15N}{m \cdot m^2}; j = \left(\frac{15}{f_b}\right)^0,33$$

$$\text{para } f_b < \frac{15N}{m \cdot m^2}; j = 1$$

Ao se analisar o comportamento de paredes produzidas com blocos vazados de concreto de meio bloco e inteiros, variando a argamassa de assentamento e a resistência característica dos blocos, Medeiros (1993) obteve os

seguintes resultados dos ensaios de compressão e módulos de elasticidade dos blocos com seus respectivos fatores de eficiência (FE), conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Comportamentos mecânicos e fatores de eficiência

traço da argamassa	Ensaio	resistência do bloco (MPa)		
		8,4	10,8	14,9
1 : 1 : 6 4,55MPa	Resistência da parede (MPa)	4,28	4,83	4,97
	FE Parede/bloco	0,51	0,45	0,33
	Módulo de deformação (MPa)	3.900	4.200	5.500
	FE E/Parede	911	870	1107
	Resistência da paredinha (MPa)	4,63	5,11	6,07
	FE paredinha/Parede	1,08	1,06	1,22
1 : 0,5 : 4 5,89MPa (1,30)	Resistência da parede (MPa)	4,64	5,26	6,52
	FE Parede/Bloco	0,55	0,51	0,44
	Módulo de deformação (MPa)	4.300	5.100	7.300
	FE E/Parede	926	970	1119
	Resistência da paredinha (MPa)	4,75	5,41	5,90
	FE paredinha/Parede	1,02	1,03	0,90

parede (120x280x15) cm
paredinha (45x60x15) cm
bloco de concreto (30x19x15) cm

Fonte: Medeiros (1993)

Nos blocos de menor resistência característica à compressão (8,4MPa), o incremento de resistência da argamassa de 130% correspondeu um aumento da resistência da parede de apenas 8%. Para blocos de maior resistência (14,9 MPa), o mesmo correspondeu a um acréscimo de 31% na resistência da parede (FONSECA, 2002).

Colville & Wolde-Tinsae (1990 apud ROMAGNA, 2000), sugerem estimativas de resistência à compressão da alvenaria de acordo com a resistência do prisma, dadas segundo as seguintes equações:

$$f_{alv} = 0,66 \cdot f_{p2} \quad (\text{Equação 4})$$

$$f_{alv} = 0,90 \cdot f_{p3} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

f_{alv} = resistência à compressão da alvenaria;

f_{p2} = resistência à compressão do prisma de 2 blocos;

f_{p3} = resistência à compressão do prisma de 3 blocos.

Uma característica dos prismas é resultarem resistências maiores que as encontradas nas paredes, fato previsível devida à redução do efeito das juntas e da esbeltez.

2.3.2 Módulo de Elasticidade da Alvenaria

O desempenho da parede de alvenaria não depende apenas de sua resistência mecânica. Outra propriedade no estado endurecido, como elasticidade do elemento, possibilita prever as deformações em regime elástico, através do “módulo de elasticidade longitudinal” (deformação). É comum relacionar o módulo de deformação da alvenaria com os valores da resistência última à compressão das paredes, possibilitando ao projetista de estruturas de alvenaria, estimar o módulo de deformação de paredes.

A BS 5628 part 2 (1992) possibilita estimar, empiricamente, o módulo de deformação da parede de alvenaria (E_{alv}) em função da tensão máxima à compressão do painel de alvenaria (f_{alv}) de blocos cerâmicos, sílico-calcáreos e de concretos, com ou sem graute, conforme a Equação 6.

$$E_{alv} = 900 \cdot f_{alv} \quad (\text{Equação 6})$$

Porém, o EUROCÓDIGO 6 (1995) possibilita determinar o módulo de deformação da alvenaria a partir de um coeficiente multiplicado à tensão última da alvenaria, pelo modelo expresso pela Equação 7.

$$E_{alv} = 1000 \cdot f_{alv} \quad (\text{Equação 7})$$

Entretanto, vários outros estudos demonstram que os módulos de elasticidade são muito divergentes, pois os resultados experimentais variaram de $700 \cdot f_{alv}$ a $1000 \cdot f_{alv}$.

Knutsson e Nielsen (1995), em seus estudos apresentam um método padronizado para a obtenção do módulo de elasticidade da alvenaria. As curvas do diagrama tensão x deformação dos materiais são aproximadas ou por uma parábola ou por uma curva logarítmica, que são chamadas de curvas de Ritter. O método proposto pelos autores consiste na determinação da inclinação de uma secante entre dois pontos na curva tensão x deformação. Os corpos-de-prova são carregados a uma taxa constante de deformação ou alternativamente em aumentos de carga em tempos iguais até 75 % da resistência estimada. Depois disso, o corpo-de-prova deve ser carregado até a ruptura em um período fixo de tempo (15 ± 3) minutos.

Os resultados do ensaio por este método pode ser usado para determinar o módulo de elasticidade secante da alvenaria, através da Equação 8.

$$E_{alv} = \frac{0,35 \cdot f_c - 0,05 \cdot f_c}{\epsilon_{0,35} - \epsilon_{0,05}}$$

(Equação 8)

Onde:

E_{alv} = inclinação da secante entre os pontos de 0,05 e 0,35 da carga de ruptura;

f_c = resistência da alvenaria;

$\epsilon_{0,05}$ = deformação correspondente a uma tensão de 0,05 da tensão de ruptura;

$\epsilon_{0,35}$ = deformação correspondente a uma tensão de 0,35 da tensão de ruptura.

Este módulo secante é muito próximo do módulo secante da origem até 40% da tensão de ruptura, mas tem a vantagem de que os primeiros 5 % do carregamento são ignorados. Isto é devido à falta de precisão na medida das deformações no início do teste, quando a deformação é determinada pelo movimento da aplicação do carregamento nas faces.

2.3.3 Eficiência da Alvenaria

Chama-se eficiência as relações existentes entre as resistências bloco-prisma e bloco-alvenaria (GARCIA, 2000). Gomes (1983) define o fator de eficiência como a razão entre a resistência à compressão da parede pela resistência à compressão da unidade. Este número, normalmente expresso em percentagem, é a medida de quanto a resistência da unidade é “aproveitada” na resistência da parede.

Segundo Gomes (1983), o fator de eficiência tende a diminuir com o aumento da resistência das unidades e é maior para blocos do que para tijolos; isso porque quanto maior é a resistência da unidade, maior é a diferença entre a resistência do bloco e da argamassa e maior é a influência das características da junta e da interface.

Em relação ao módulo de elasticidade das unidades, pode-se dizer que, quanto maior, menor é o fator de eficiência da alvenaria. Isso ocorre porque o módulo de elasticidade da junta de argamassa é geralmente baixo. Assim, unidades muito rígidas fazem com que a variação entre a deformação da unidade e da junta

seja maior, aumentando assim as tensões na interface bloco/junta (PRUDÊNCIO JR. et al., 2003).

Estudos realizados por Steil e Prudêncio Jr. (2002), demonstraram que blocos com resistência entre 7 e 10 MPa, moldados com argamassa mista, conduziram a fatores de eficiência de 0,92 e 0,75 respectivamente. Casali (2003) obteve similaridade de conclusões com esses autores. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), normalmente os valores adotados para eficiência de prismas variam de 0,5 a 0,9 para os blocos de concreto, e 0,7 a relação entre a resistência dos prismas e da parede. Medeiros (1993) indica que, no Brasil, este fator varia entre 0,25 e 0,70 para a alvenaria de blocos de concreto. Para Sahlin (1971), o fator de eficiência da alvenaria varia entre 0,25 a 0,50.

Aly & Sabbatini (1992) realizaram ensaios de resistência à compressão em prismas, paredinhas e paredes, variando as características dos materiais. As eficiências alcançadas estão transcritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Eficiências de prismas, paredinhas e paredes em blocos de concreto

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

Fonte: Aly e Sabbatini (1992)

É preciso salientar, porém, que o fator de eficiência tem grande variabilidade, sendo dependente de diversos outros fatores inerentes aos materiais e ao processo construtivo da alvenaria (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e os métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. Apresentam-se as caracterizações dos blocos de concreto, das argamassas mistas e de seus materiais constituintes, e das argamassas industrializadas, assim como os ensaios aos quais foram submetidos.

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foram: blocos de concreto, argamassas mista e industrializada. Para a confecção das argamassas mistas, foram utilizados cimento Portland CP II F-32, cal hidratada CH III, areia quartzosa, proveniente do Rio Paraná e, água potável.

3.1.1 Blocos de Concreto

Optou-se pela utilização de blocos de concreto (Figura 13) de resistências nominais de 8,0 MPa e 10,0 MPa neste estudo, por serem representativos da utilização prática no Brasil. As designações utilizadas para os blocos durante os ensaios e suas respectivas classes de resistência são dadas no Quadro 1.

Figura 13 – Blocos de concreto



Quadro 1 - Nomenclatura dos blocos de concreto

Denominação dos Blocos	Classe de Resistência (MPa)
B1	8,0
B2	10,0

Os blocos foram recebidos em dois lotes, contendo cada um 120 blocos de concreto, de acordo com o que especifica a norma ABNT NBR 6136:2016. Ambos os blocos possuíam as mesmas características geométricas - mostrada nas Figuras 14 e 15 - sendo diferenciados apenas por sua classe de resistência.

Figura 14 – Geometria dos blocos de concreto – (a) perspectiva; (b) face de assentamento

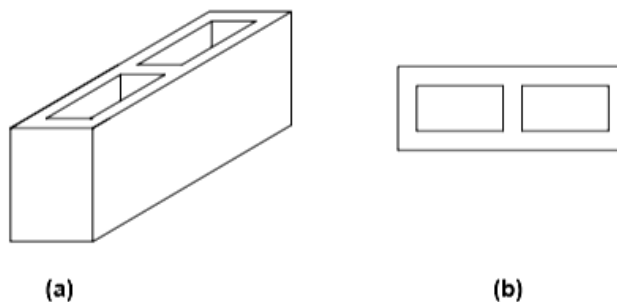
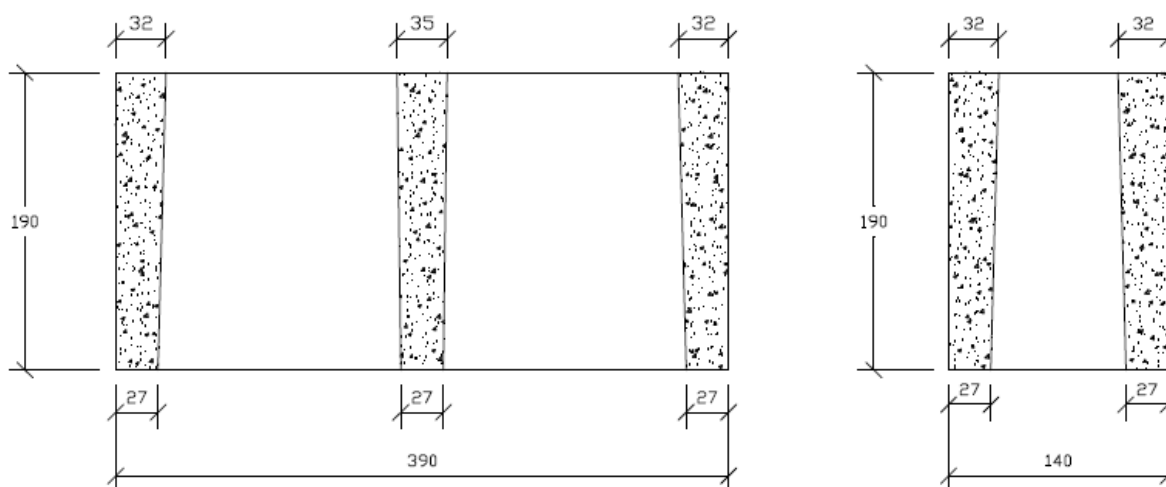


Figura 15 - Geometria dos blocos de concreto - Corte transversal (medidas em mm)



No que diz respeito às características visuais, que podem ocasionar o comprometimento da capacidade portante da estrutura, as amostras apresentaram aspecto homogêneo e as arestas vivas estavam livres de trincas e imperfeições.

3.1.2 Argamassas Mistas

O aglomerante utilizado na produção das argamassas mistas foi o cimento Portland CP II-F-32 e a cal hidratada, CH III. As especificações do cimento Portland foram fornecidas pelo fabricante e estão apresentadas no Quadro 2. Os ensaios de caracterização física do cimento Portland e da cal hidratada, bem como as respectivas normas encontram-se no Quadro 3.

Quadro 2 - Especificações do Cimento Portland CP II-F-32

Parâmetros	
Tempo de início de pega (horas)	> 1
MgO (%)	< 6,5
Perda ao fogo (%)	< 6,5

Resíduo insolúvel (%)	< 2,5
SO ₃ (%)	< 4,0
Resistência à compressão (MPa)	
1 dia	-
3 dias	> 10,0
7 dias	> 20,0
28 dias	> 32,0

Fonte: O fabricante

Quadro 3 - Caracterização física do cimento Portland e da cal

Material	Ensaio realizado	Norma	Valor	Unidade
Cimento Portland	Massa específica	NBR NR 23:2001	3,11	(g/cm ³)
	Finura	NBR 11579:2012	10,5	(%)
Cal	Massa específica	NBR NR 23:2001	3,00	(g/cm ³)
	Finura (Peneira nº 30)	NBR 9289:2000	0,3	(%)
	Finura (Peneira nº 200)	NBR 9289:2000	10,8	(%)

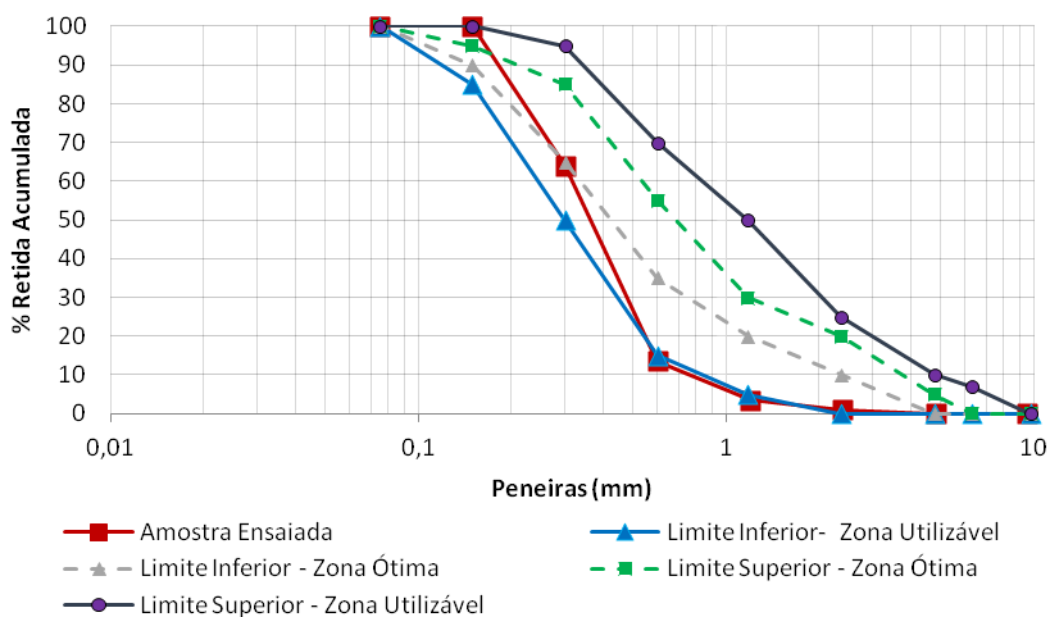
O agregado miúdo utilizado para a confecção das argamassas mistas foi a areia quartzosa, proveniente do Rio Paraná. Durante a realização dos ensaios a areia foi seca, em estufa ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$), por no mínimo 24 horas e acondicionada em tambores plásticos devidamente fechados para não adquirir umidade do ar.

O resultado da análise granulométrica da areia está apresentado na Tabela 4 e na sequência, a curva granulométrica está ilustrada na Figura 16, assim como os limites superiores e inferiores estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2009.

Tabela 4 – Composição granulométrica da areia

Peneira	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)
4,8	0,0	0,0	0,0
2,4	5,0	1,0	1,0
1,2	12,5	2,5	3,5
0,6	50,0	10,0	13,5
0,3	252,5	50,5	64,0
0,15	180,0	36,0	100,0
Fundo	0,0	0,0	100,0

Figura 16 - Curva granulométrica da areia



A análise granulométrica e a caracterização física da areia apresentam-se no Quadro 4.

Quadro 4 - Caracterização física da areia

Ensaio realizado	Norma	Valor	Unidade
Módulo de finura	NBR NM 248:2003	1,820	-
Dimensão máxima característica	NBR NM 248:2003	1,2	(mm)
Classificação	NBR NM 248:2003	Fina	-
Massa unitária – estado solto	NBR NM 45:2006	1,492	(g/cm ³)
Massa unitária – estado compactado	NBR NM 45:2006	1,640	(g/cm ³)
Massa específica	NBR NM 52:2009	2,62	(g/cm ³)
Teor de material pulverulento	NBR NM 46:2003	2,0	(%)
Finura (Peneira nº 30)	NBR 9289:2000	0,3	(%)
Finura (Peneira nº 200)	NBR 9289:2000	10,8	(%)

3.1.3 Argamassas Industrializadas

As características das argamassas industrializadas utilizadas neste estudo estão apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Especificações das argamassas industrializadas

Composição	Areia Calcária Cimento Portland CII-Z-32 Cal Hidratada CH-II
Forma	Granulado
Estado Físico	Sólido
pH	10
Densidade Seca	1,60 a 1,65 ton/m ³
Densidade úmida	2,02 a 2,08 ton/m ³

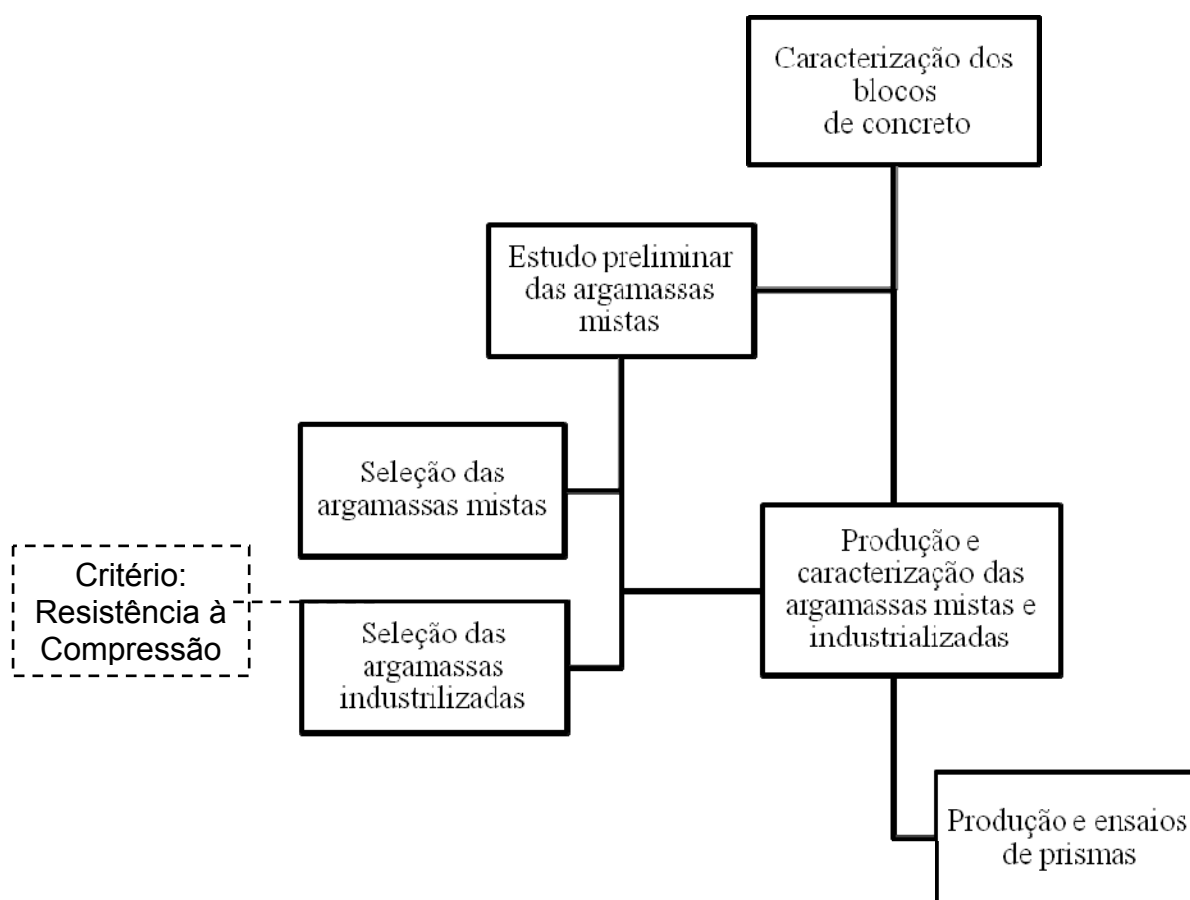
Fonte: O fabricante

Segundo a ficha técnica do produto, fornecida pelo fabricante, um saco de 25 kg rende $13,5 \pm 0,5$ litros de argamassa úmida. Desse modo, recomendou-se utilizar a quantidade de água, entre 4,4 e 5,1 litros por saco de 25kg, para que o produto apresentasse a consistência estipulada no trabalho (260 ± 1 mm).

3.2 MÉTODOS

O programa experimental foi realizado conforme fluxograma apresentado na Figura 17 e explanado nos itens subsequentes. Ressalta-se que todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil, da Universidade Estadual de Londrina- UEL.

Figura 17 - Fluxograma com as principais etapas desenvolvidas no estudo desenvolvido



3.2.1 Caracterização dos Blocos de Concreto

3.2.1.1 Ensaios

O primeiro ensaio realizado para caracterização dos blocos de concreto foi o de análise dimensional, para o qual se utilizou uma amostra de seis blocos, escolhidos aleatoriamente. Em seguida, a mesma amostra de blocos foi submetida ao ensaio de absorção de água e determinação da área líquida, realizado conforme as prescrições da ABNT NBR 12118:2014.

A caracterização dos blocos, feita em termos de resistência característica (f_{bL}) e resistência média (f_{bm}), seguiu as especificações da ABNT NBR 12118:2014, onde faz-se necessário que seis amostras de cada classe de resistência sejam submetidas à compressão.

Previamente à realização do ensaio, os blocos de concreto foram capeados com pasta de cimento, variando a espessura entre 1 e 3 mm, 48 horas de antecedência. O capeamento foi utilizado para corrigir as imperfeições do bloco e distribuir melhor o carregamento em toda a área da seção atuante.

Os blocos, então, foram submetidos à compressão axial na prensa de sistema hidráulico da marca EMIC, com capacidade de carga até 2000 kN (Figura 18), cuja velocidade de ensaio foi de $0,015 \pm 0,003$ MPa/s, especificada pela ABNT NBR 12118:2014. Ressalta-se que foi utilizada uma placa de aço de espessura 240mm entre o cilindro da prensa e o bloco, de modo a garantir a transferência uniforme do carregamento.

Figura 18 – Bloco de concreto submetido à compressão axial



A determinação do módulo dinâmico de elasticidade foi realizada utilizando o sistema de ensaios da Sonelastic da ATPC (Figura 19), que utiliza a técnica de excitação por impulso. O equipamento consiste em um suporte ajustável para barras no qual foram posicionados os CPs e estimulados mecanicamente por um pulsador, produzindo uma onda sonora que se propagou pelo CP e foi captada por um microfone (captador direcional). As informações obtidas passaram por uma central de processamento e, por meio do software da ATPC foram determinadas as constantes elásticas.

Figura 19 – Corpo de prova submetido ao ensaio para determinação do módulo de elasticidade



Para a execução do ensaio, foi necessário retificar os blocos de concreto em corpos de prova prismáticos maciços, de menor dimensão, devido às limitações impostas pelo equipamento. Desse modo, foram retificados 4 corpos de prova para cada tipo de bloco (BI_1 e BI_2) e repetiu-se três vezes as medições para cada uma das amostras, tendo em vista a confiabilidade do ensaio, que seguiu as prescrições da ASTM E1876:2009.

3.2.1.2 Estimativas teóricas

3.2.1.2.1 Resistência característica à compressão

O valor da resistência característica à compressão do bloco (f_{bk}), referido à área bruta, foi determinado de acordo com a ABNT NBR 6136:2016, seguindo os requisitos para quando se desconhece o desvio padrão da fábrica fornecedora.

Neste caso, estimou-se primeiramente o valor da resistência característica à compressão dos blocos de concreto a partir da Equação 9:

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{bt}$$

(Equação 9)

Sendo:

$$i = \frac{n}{2}, \text{ se } n \text{ for par;}$$

$$t = \frac{n-1}{2}, \text{ se } n \text{ for ímpar.}$$

Onde:

$f_{bk,est}$ = resistência característica estimada da amostra, expressa em megapascals;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{b(n)}$ = valores de resistência a compressão individual dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;

n = quantidade de blocos da amostra.

Para determinação da resistência característica da amostra (f_{bk}), o valor de f_{bk} deve ser igual a $f_{bk,est}$, não sendo admitido valor de f_{bk} inferior à $\Psi * f_{b(1)}$. Então, para resultado inferior, adota-se $f_{bk} = \Psi * f_{b(1)}$. Têm-se que $f_{b(1)}$ é o menor valor de resistência característica da amostra e os coeficientes Ψ estão indicados no Quadro 6.

Quadro 6 - Valores de Ψ em função da quantidade de blocos

Quant. de Blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
Ψ	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016)

3.2.1.2.2 Módulo de elasticidade teórico

Referente ao módulo de elasticidade do concreto e blocos de concreto, vários autores sugerem expressões que o relacionam com a sua resistência à compressão.

A ABNT NBR 6118:2014 sugere que quando não forem realizados ensaios, pode-se estimar o módulo de elasticidade inicial do concreto utilizando a Equação 10.

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

E_{ci} = módulo de elasticidade do concreto (MPa);

α_E = coeficiente em função da composição granulométrica do agregado graúdo.

f_{ck} = resistência característica à compressão (MPa).

Romagna (2000) e Mohamad (1998) utilizaram em seus trabalhos a expressão proposta pelo ACI – Building Code 318 (1990) para calcular o módulo de

elasticidade secante do bloco, a partir do módulo secante do concreto com faixa de valores de massa específica entre 1442 e 2483 kg/m³, como mostra a Equação 11.

$$E_b = 0,0428 \cdot f_b^{\frac{1}{2}} \cdot W_b^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

E_b = módulo de elasticidade do bloco (MPa);

f_b = resistência à compressão média do bloco (MPa);

W_b = massa unitária do bloco (kg/m³).

Para a determinação da massa unitária foi considerada a relação da massa do bloco seco ao ar pelo volume do mesmo. Cabe ressaltar que a Equação 11 utilizada pelos autores citados acima refere-se a uma estimativa originalmente usada para determinar o módulo de elasticidade do concreto e não da alvenaria.

O CEB-FIP Mode Code (1990) (Comité Euro-International du Béton) estima o valor do módulo de elasticidade do bloco de concreto em:

$$E_b = 2,5 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{f_b}{10}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

E_b = módulo de elasticidade do bloco (MPa);

f_b = resistência à compressão média do bloco (MPa).

3.2.2 Estudo das Argamassas Mistas

Após a caracterização dos blocos de concreto, iniciou-se a segunda etapa do programa experimental, referente à escolha das argamassas mistas que seriam utilizadas para assentamento na produção dos prismas.

3.2.2.1 Estudo Preliminar das Argamassas Mistas

Segundo Sabbatini (1984), no início do século passado, os ingleses utilizavam a proporção de 1:3 como traço básico, pois partiam do princípio de que, com esta proporção, os vazios da areia eram preenchidos pela pasta aglomerante, e assim, ao alterarem as proporções relativas de cimento Portland e cal, a trabalhabilidade ficava mais ou menos assegurada, independente das modificações.

Desse modo, partindo-se de traços básicos de proporção 1:3, em massa, foram produzidas sete diferentes argamassas, cujas nomenclaturas, traços, consumos de materiais, relação água/cimento (a/c) e água/materiais secos (a/ms) são apresentados no Quadro 7, a fim de serem submetidas à compressão, segundo a ABNT NBR 15961-2:2011.

Quadro 7 – Consumo de materiais para 3,5 kg de argamassa

Nomenclatura	Traços	Cimento (kg)	Cal (kg)	Areia (kg)	Água (L)	a/c	a/ms
M_1	1:3	0,875	-	2,625	0,578	0,660	0,165
M_2	1:0,25:3,75	0,700	0,175	2,625	0,560	0,800	0,160
M_3	1:0,5:4,5	0,583	0,292	2,625	0,624	1,070	0,178
M_4	1:0,75:5,25	0,500	0,375	2,625	0,665	1,330	0,190
M_5	1:1:6	0,438	0,438	2,625	0,744	1,700	0,213
M_6	1:1,25:6,75	0,389	0,486	2,625	0,731	1,880	0,209
M_7	1:1,75:8,25	0,318	0,557	2,625	0,678	2,130	0,194

A relação a/ms foram definidas em função do ensaio da mesa de consistência, “flow table”, estipulados pela ABNT NBR 13276:2016 em 260 ± 10 mm, sendo mantidos iguais durante todo o estudo. Ressalta-se que, inicialmente, optou-se pela produção dos traços M_1, M_3 e M_5 e a partir destes, foram proporcionados os materiais compondo os demais traços, contudo, sempre mantendo fixa a relação 1:3.

3.2.2.2 Preparo das Argamassas Mistas

Definidos os consumos de materiais, iniciaram-se as confecções das argamassas mistas (Figura 20), seguindo os procedimentos de mistura estabelecidos pela ABNT NBR 13276:2016, descritos a seguir:

- Primeiramente, preparou-se com antecedência de 16 horas a 24 horas da utilização, uma argamassa de cal hidratada, misturando em velocidade baixa, por aproximadamente 4 minutos, no recipiente do misturador, areia, cal hidratada e água em quantidades definidas a partir do proporcionamento utilizado. Após o intervalo de maturação, acrescentou-se a água correspondente à água eventualmente perdida por evaporação. Por fim, acrescentou-se o cimento em quantidades definidas a partir

do traço escolhido e realizou-se uma nova homogeneização por aproximadamente 4 minutos, em velocidade baixa, no recipiente do misturador.

Figura 20 – Preparo da argamassa



Após a produção das argamassas mistas, os corpos de prova cilíndricos foram moldados (Figura 21) sendo adensados em 4 camadas com 30 golpes em cada, conforme prevê a ABNT NBR 7215:1997 e os corpos de prova prismáticos, utilizados para o ensaio de retração (Figura 22) foram adensados com 25 golpes em duas camadas, de acordo com a ABNT NBR 15261:2005.

Figura 21 – Corpos de prova cilíndricos





Figura 22 – Corpos de prova prismáticos



Todos os corpos de prova foram mantidos devidamente protegidos contra a perda de umidade durante as primeiras 24 ± 6 horas, contadas a partir do início da mistura. Após serem desmoldados, foram curados ao ar, em ambiente laboratorial até as idades pré-estabelecidas para a realização do ensaio de compressão axial.

3.2.2.3 Critério para Escolha das Argamassas Mistas

Baseando-se nos estudos desenvolvidos por diversos autores, como Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) que indicam, de maneira geral, a utilização de argamassas com resistência à compressão dentro de uma faixa de 0,7 a 1,5 vezes o valor da resistência característica do bloco e de Gomes (1974) que concluiu, por sua vez, que a resistência da argamassa deve estar entre 0,7 e 1,0 da resistência do

bloco, foram escolhidas três argamassas mistas para serem utilizadas no assentamento dos prismas de blocos de concreto.

Sendo assim, a partir dos resultados apresentados na Tabela 5, para resistência à compressão dos sete tipos de argamassas e tendo em vista as resistências características dos blocos escolhidos para uso, optou-se pela utilização das argamassas mistas M_3, M_4 e M_6 no desenvolvimento desta pesquisa.

Tabela 5 – Resistência à compressão das argamassas mistas

Nomenclatura	Traço	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
M_1	1:3	15,73	2,29	0,15
M_2	1:0,25:3,75	14,60	1,47	0,10
M_3	1:0,5:4,5	12,25	0,16	0,02
M_4	1:0,75:5,25	7,76	0,24	0,05
M_5	1:1:6	6,80	0,38	0,08
M_6	1:1,25:6,75	5,12	0,22	0,06
M_7	1:1,75:8,25	3,07	0,13	0,04

As novas designações utilizadas para as argamassas escolhidas são dadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Nomenclatura das argamassas mistas

Traço	Classe de Resistência (MPa)	Nomenclatura
1:0,5:4,5	12,25	M_A
1:0,75:5,25	7,76	M_B
1:1,25:6,75	5,12	M_C

A justificativa para a escolha destas argamassas se deve pelo fato de uma delas (M_B) estar compreendida no intervalo desejável para uso em compatibilidade com ambos os blocos, de 8 e 10 MPa, e as outras duas estarem compreendidas fora deste intervalo, com valores superior (M_A) e inferior (M_C) ao desejável, conforme descrito abaixo e apresentado no Quadro 9.

Para bloco BI_1: $5,6 \leq f_{arg28} \leq 8,0$ a 12,0 MPa.

Para bloco BI_2: $7,0 \leq f_{arg28} \leq 10,0$ a 15 MPa.

Quadro 9 - Parâmetros para uso das argamassas

Tipos de Blocos	Condição da argamassa		
	Superior	Adequada	Inferior
BI_1	M_A	M_B	M_C

BI_2	M_A	M_B	M_C
------	-----	-----	-----

Ressalta-se, porém, que estas três argamassas (M_A, M_B e M_C) foram confeccionadas novamente no decorrer do programa experimental, a fim de se estudar outras propriedades além da resistência à compressão analisada inicialmente. Estas propriedades de estudo serão apresentadas no item 3.2.4.

3.2.3 Seleção das Argamassas Industrializadas

Uma vez selecionadas as argamassas mistas a serem utilizadas e, tendo em vista os intervalos desejados na delimitação da pesquisa, optou-se pela utilização de argamassas industrializadas que também compreendessem classes de resistência próximas a essas. Desse modo, optou-se pela utilização de argamassas semi-prontas para assentamento estrutural de resistências fornecidas pelo fabricante de 4, 6 e 8 MPa, cujas denominações estão presentes no Quadro 10.

Quadro 10 – Nomenclatura das argamassas industrializadas

Denominação das Argamassas	Classe de Resistência (MPa)
I_A	4,0
I_B	6,0
I_C	8,0

3.2.3.1 Preparo das Argamassas Industrializadas

Com base na quantidade de água indicada pelo fabricante no preparo das argamassas industrializadas, definiu-se a utilização de 1 litro de água para 5,555 kg de argamassa anidra, tendo em vista a consistência fixada em 260 ± 10 mm, conforme ABNT NBR 13276:2016. A partir daí, iniciaram-se as produções, seguindo o procedimento de mistura estabelecido pela ABNT NBR 13276:2016, descrito a seguir:

Primeiramente pesou-se a massa de água de acordo com as indicações do fabricante, com aproximação de 1,0 g e a colocou-a no recipiente do misturador. Em seguida, colocou-se o material seco de modo contínuo, dentro de um período de 30 segundos e acionou-se o misturador na velocidade baixa por

aproximadamente 30 segundos. Desligou-se o equipamento, retirou-se a pá de mistura e raspou-se toda a superfície interna do recipiente e da pá e, em seguida, novamente acionou-se o equipamento por um tempo de mistura aproximado de 30 segundos.

Após a produção das argamassas industrializadas, os corpos de prova cilíndricos foram adensados em 4 camadas com 30 golpes em cada, conforme prevê a ABNT NBR 7215:1997 e os corpos de prova prismáticos, utilizados para o ensaio de retração foram adensados com 25 golpes em duas camadas, de acordo com a ABNT NBR 15261:2005.

Todos os corpos de prova foram mantidos devidamente protegidos contra a perda de umidade durante as primeiras 24 ± 6 horas, contadas a partir do início da mistura. Após serem desmoldados, foram curados ao ar, em ambiente laboratorial até as idades pré-estabelecidas para a realização do ensaios.

Destaca-se que, no momento de produção das argamassas industrializadas, foram confeccionadas novamente as três argamassas mistas escolhidas após o estudo preliminar, a fim de se estudar outras propriedades inerentes às argamassas, tais como: retenção de água, teor de ar incorporado, absorção de água, índice de vazios, retração e módulo de elasticidade, tendo em vista que naquele momento somente a resistência à compressão das mesmas foi avaliada. Portanto, moldaram-se corpos de prova cilíndricos e prismáticos para ambas as argamassas neste momento.

3.2.4 Propriedades Avaliadas nas Argamassas

No estado fresco, foram realizados os seguintes ensaios para posterior avaliação de seu desempenho:

- Abatimento na mesa de consistência, segundo a ABNT NBR 13276:2016;
- Retenção de água, segundo a ABNT NBR 13277:2005;
- Densidade de massa e teor de ar incorporado, segundo a ABNT NBR 13278:2005.

No estado endurecido, as propriedades física e mecânicas foram avaliadas de acordo com os ensaios apresentados no Quadro 11, que também expõe as dimensões e o número de corpos de prova utilizados, as idades em que os ensaios foram realizados e a norma específica dos mesmos.

Quadro 11 - Ensaios no estado endurecido

Propriedades	Ensaio	Dimensão dos CP's	Idades de ensaio (dias)	Número de CP's/idade	Norma Técnica
Mecânica	Resistência à compressão	50 x 100 mm	7 e 28	4	ABNT NBR 15961-2:2011
	Retração ou expansão linear	25 x 25 x 285 mm	1, 7 e 28	3	ABNT NBR 15261:2005
	Módulo de elasticidade dinâmico	50 x 100 mm	7, 28 e 409	4	ABNT NBR 15630:2008
	Módulo de elasticidade dinâmico	50 x 100 mm	409	4	ASTM E1876:2009
Física	Absorção de água por imersão	50 x 100 mm	7 e 28	4	ABNT NBR 15259:2005

Cabe salientar que, ao se moldar os corpos de prova para realização do ensaio de absorção de água por imersão não foi utilizado nenhum tipo de desmoldante, para que não houvesse influência nos resultados, conforme previsto em norma.

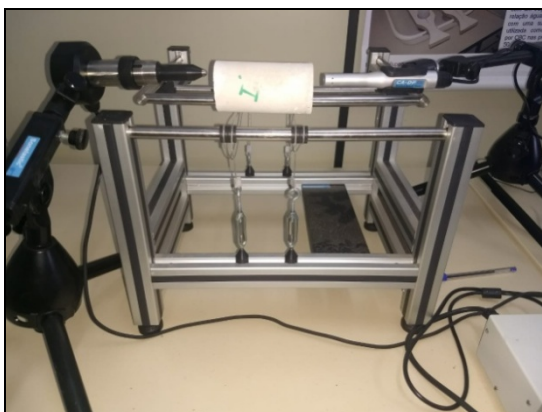
Ressalta-se ainda que, aos 7 e 28 dias, a determinação dos módulos dinâmicos de elasticidade das argamassas foi realizada utilizando-se o equipamento *Pundit Lab* (Figura 23) disponível no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UEL.

Figura 23 – Execução do ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas (*Pundit lab*)



Em um segundo momento, optou-se também pela utilização do equipamento *Sonelastic* (Figura 24), fornecido pela UEM (Universidade Estadual de Maringá) para determinação do módulo, a fim de confrontar os resultados utilizando-se equipamentos distintos, contudo, com princípios semelhantes.

Figura 24 - Execução do ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas (*Sonelastic*)



No momento em que foi realizado o ensaio utilizando-se o equipamento *Sonelastic*, os mesmos corpos de prova foram então submetidos ao ensaio utilizando-se o equipamento *Pundit lab* novamente, tendo em vista a idade dos corpos de prova utilizados.

3.2.5 Prismas de Blocos de Concreto

Os ensaios utilizando-se prismas foram escolhidos por serem de fácil execução e mais econômicos se comparados às paredes. Além disso, a utilização de corpos de prova com dimensões reduzidas pode servir como um parâmetro de correlação entre os mesmos e a parede em dimensões reais.

Com finalidade de facilitar a identificação durante os ensaios, foram feitas marcações dos tipos das argamassas nos prismas, na cor azul e vermelha para os blocos BI_1 e BI_2, respectivamente. A nomenclatura dos prismas neste trabalho seguirá as siglas contidas no Quadro 12, que relaciona os tipos de argamassa e bloco utilizados para moldagem dos mesmos.

Quadro 12 – Nomenclatura dos prismas

	Tipos de Argamassas	Blocos	
		BI_1	BI_2
Prismas	M_A	M_A1	M_A2
	M_B	M_B1	M_A2
	M_C	M_C1	M_C
	I_A	I_A1	I_A2
	I_B	I_B1	I_B2
	I_C	I_C1	I_C2

3.2.5.1 Moldagem dos Prismas

Os prismas foram moldados por um pedreiro, a fim de se manter a padronização dos mesmos, utilizando-se dois blocos assentados a prumo (Figura 25), conforme especifica Norma Americana ASTM E 447 (1997). Dessa forma, foram obtidos corpos de prova com relação altura/espessura (h/e) no valor de 2,8 procurando assim, atender as especificações da norma citada acima, que estabelece valores entre 2 e 5 desta relação para os corpos de prova.

Figura 25 - Prismas de dois blocos de concretos



A moldagem dos prismas foi feita por meio de séries de 3 exemplares, sendo cada série diferenciada uma da outra pela variação de seis tipos de argamassa e de duas resistências de blocos. Dessa maneira, foram ensaiadas 6 séries de prismas com 3 exemplares de cada, para cada tipo de bloco, totalizando 36 prismas, conforme representado na Figura 26.

Figura 26 – Quantidade de prismas ensaiados

Argamassa/ Bloco	M_A	M_B	M_C	I_A	I_B	I_C	TOTAL
BI_1	3 CP's	3 CP's	3 CP's	3 CP's	3 CP's	3 CP's	18 CP's
BI_2	3 CP's	3 CP's	3 CP's	3 CP's	3 CP's	3 CP's	18 CP's

Conforme já mencionado, foram seguidas as recomendações da ABNT NBR 15961-2:2011, onde se dispôs a argamassa de assentamento sobre toda a face do bloco, incluindo os septos laterais e transversais, e obedeceu ao valor especificado de 10 ± 3 mm para a espessura da junta de argamassa.

3.2.5.2 Resistência à Compressão dos Prismas

Os prismas de dois blocos de concreto foram avaliados quanto à resistência à compressão 28 dias após a sua execução. Para a realização do ensaio foi utilizada a prensa de sistema hidráulico da marca EMIC, com capacidade de carga até 2000 kN (Figura 27).

Figura 27 – Prisma submetido ao ensaio de resistência à compressão



A velocidade de carregamento de ensaio foi de $0,15 \pm 0,03$ MPa/s, conforme a ABNT NBR 12118:2014. Para não haver excentricidade de carregamento e concentrações de tensões, os prismas foram centralizados na máquina de ensaio usando-se uma placa de aço de espessura 240 mm entre o cilindro da prensa e o prisma.

3.2.5.3 Mecanismos de Ruptura dos Prismas

Nos prismas não-grauteados, a proporção de rigidez entre a argamassa e o bloco é um fator importante na determinação do tipo de ruptura e da resistência máxima do conjunto. A resistência está diretamente relacionada com a capacidade de deformação da argamassa e, principalmente, com a aderência na interface bloco/argamassa (MOHAMAD, 1998).

Cheema e Klinger (1986) concluíram, por meio de diversos estudos que, para uma dada relação entre os módulos de elasticidade da argamassa e do

bloco, a ruptura ocorre preferencialmente por tração no bloco ou por esmagamento da argamassa. Passos et al. (2009) descrevem os modos de ruptura de forma semelhante à Cheema e Klingner (1986), mas adicionam a observação visual de cada caso.

Khalaf et al. (1994) em seus estudos, contudo, concluíram que primeiramente o fato dos materiais, quando ensaiados uniaxialmente, não estarem no real estado de tensão observado nos prismas, não traduzem os valores reais e portanto, é difícil estabelecer modelos que representem a resistência da alvenaria a partir das proporções entre os valores de resistência dos materiais individualmente.

Sendo assim, na análise da ruptura dos prismas estudados nesta pesquisa será levado em consideração o modo como se deu seu rompimento, por meio de análise visual momentânea e registros de vídeos e fotográficos, caracterizando ruptura por esmagamento da junta da argamassa, tração no bloco de concreto e/ou o rompimento do conjunto bloco/argamassa.

3.2.6 Análise Estatística

O teste ANOVA proporciona a avaliação da influência das variáveis, quando avaliadas isoladamente ou em conjunto. Com ele, pode-se afirmar, dependendo da confiabilidade que se deseja dar ao teste e as variáveis analisadas, se estas têm ou não influência dentro do estudo realizado.

A análise estatística deste trabalho, portanto, limitou-se à avaliação de variáveis quantitativas contínuas, uma vez que podem ser calculadas numericamente, referentes às propriedades das argamassas mistas e industrializadas e a sua influência na resistência à compressão de prismas de blocos de concreto.

Sendo assim, foi realizada a análise de variâncias (ANOVA), com grau de confiabilidade de 95%, levando-se em consideração que quando o p-valor fosse inferior à 5%, existiria diferença significativa entre as propriedades estudadas. Para isso, foram calculados os graus de liberdade (g.l.), a soma dos quadrados (SQ), os quadrados médios (MQ) e, por fim, o teste F. Se $F > F_{crítico}$, pode-se afirmar que o parâmetro avaliado influi significativamente, se $F < F_{crítico}$, pode-se afirmar que

o parâmetro não influi significativamente e ainda analisa-se que, quanto maior diferença entre F e $F_{\text{crítico}}$, maior é a influência do parâmetro estudado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio do desenvolvimento do programa experimental. Dessa forma, procuraram-se analisar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos de concreto e dos corpos de prova de argamassas utilizados para assentamento dos prismas e posteriormente, avaliar a resistência à compressão e o fator de eficiência dos mesmos.

4.1 BLOCOS DE CONCRETO

4.1.1 Análise Dimensional

Para verificação da análise dimensional dos blocos de concreto, utilizou-se uma amostra de seis blocos para cada classe de resistência, escolhidos aleatoriamente, cujas medidas estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise dimensional dos blocos de concreto

Dimensões	BI_1			BI_2		
	Larg. (cm)	Alt. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Alt. (cm)	Comp. (cm)
Média	13,98	19,02	39,13	14,00	19,27	39,22
Máx.	14,00	19,00	39,20	14,00	19,30	39,30
Mín.	13,90	18,90	39,10	14,00	19,10	39,20
Desvio Padrão	0,04	0,08	0,05	0,00	0,08	0,04
CV (%)	0,29	0,40	0,18	0,00	0,42	0,14

Analisando os resultados apresentados na Tabela 6, verificou-se que as dimensões nominais das unidades de 14 cm x 19 cm x 39 cm (largura x altura x comprimento) atendem aos padrões definidos pela ABNT NBR 6136:2016 e as tolerâncias máximas exigidas, apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13 - Tolerância de dimensões dos blocos de concreto

Dimensão	Tolerância (mm)
Largura	± 2
Altura	± 3
Comprimento	± 3

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016)

4.1.2 Absorção de Água e Área Líquida

Para a realização do ensaio de absorção de água dos blocos de concreto, normatizado pela ABNT NBR 12118:2014, utilizou-se uma amostra de seis blocos para cada classe de resistência. Previamente à realização do mesmo, determinaram-se os valores das massas unitárias relativas ao volume aparente total em 1144,21 kg/m³ para o bloco de do tipo BI_1 e 1194,98 kg/m³ para o bloco do tipo BI_2, estimados por meio do uso do método das medidas geométricas e pesagem dos corpos de prova em condição seca.

Os resultados da propriedade de absorção de água dos blocos de concreto encontram-se na Tabela 7. Os resultados individuais do ensaio são mostrados no Anexo A, na Tabela A.1.

Tabela 7 – Absorção de água dos blocos de concreto

Tipo de Bloco	Média	Desvio Padrão (%)	CV (%)
BI 1	7,86	0,38	20,49
BI 2	8,60	0,52	16,42

Analisando os resultados, observa-se que os dois tipos de unidades cumpriram com os requisitos da ABNT NBR 6136:2016, que determina que a absorção dos blocos de concreto de qualquer classe deve ser igual ou inferior a 10%.

Referente à área bruta nominal da face de assentamento, obtida através do método das medidas geométricas, esta é igual a 546 cm² e a área líquida determinada em 300 cm², ou seja, a área líquida é equivalente a aproximadamente 55% da área bruta. Segundo a ABNT NBR 6136:2016, os blocos de alvenaria devem possuir a área líquida igual ou inferior a 75% da área bruta, estando, deste modo, dentro das especificações, o que enquadra as unidades em estudo dentro da classificação de blocos vazados.

4.1.3 Resistência à Compressão

Seguindo as especificações da ABNT NBR 12118:2014, seis blocos de concreto de cada classe de resistência foram submetidos à compressão axial (Figura 28).

Figura 28 – Ruptura dos blocos submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial



Os valores das resistências médias à compressão são apresentados na Tabela 8 e os seus valores característicos, na Tabela 9. Os resultados individuais do ensaio são mostrados no Anexo A, na Tabela A.2.

Tabela 8 – Valores médios de resistência à compressão dos blocos

Tipo de Bloco	Classe de Resistência (MPa)	Área bruta (546cm ²)			Área líquida (300cm ²)		
		f_{bm} (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)	f_{bm} (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)
B1	8,00	8,33	0,53	6,39	15,15	0,97	6,39
B2	10,00	11,98	0,74	6,20	21,80	1,35	6,20

Tabela 9 – Valores característicos estimados de resistência à compressão dos blocos

Tipo de Bloco	Classe de Resistência (MPa)	Área bruta (546 cm ²)		
		f_{ht} (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)
BI_1	8,00	7,18	0,53	7,41
BI_2	10,00	10,77	0,74	6,90

A Tabela 10 apresenta os valores de resistência à compressão dos lotes utilizados nos ensaios, fornecidos pela empresa fabricante do bloco.

Tabela 10 - Valores médios de resistência à compressão dos blocos fornecidos pelo fabricante

Tipo de Bloco	Classe de Resistência (MPa)	Área bruta (546 cm ²)		
		f_{cm} (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)
BI_1	8,00	8,78	0,58	6,60
BI_2	10,00	11,70	0,66	5,62

Verificou-se, por meio da análise dos resultados, que a resistência média à compressão foi cerca de 16% maior do que a resistência característica para os blocos do tipo BI_1 e aproximadamente 11%, para o BI_2. Além disso, que os valores de resistência média excederam os valores de resistência nominal em 4% e 19% para os blocos BI_1 e BI_2, respectivamente. Contudo, optou-se por manter a utilização dos lotes, uma vez que a variação da resistência não foi excessiva de tal modo que comprometessem os objetivos do estudo.

4.1.4 Módulo de Elasticidade

A Tabela 11 apresenta os valores de módulo de elasticidade dinâmico dos blocos de concreto, determinado por meio da execução do ensaio utilizando o equipamento *Sonelastic*. Os resultados individuais dos módulos de elasticidade dos blocos são mostrados no Anexo A, na Tabela A.4.

Tabela 11 – Valores médios de módulo de elasticidade dinâmicos dos blocos de concreto

Tipo de Bloco	Módulo de Elasticidade (GPa)	Desvio Padrão (GPa)	CV (%)
BI_1	17,21	15,43	8,95
BI_2	31,48	26,47	8,41

Os resultados apresentados permitem analisar que a rigidez dos blocos aumenta com o aumento das resistências dos mesmos.

Teoricamente os módulos de elasticidade do concreto foram determinados segundo a NBR 6118:2014 e dos blocos de concreto pelas pelo método da ACI - Building Code 318 e do CEB-FIP Mode Code, respectivamente. Estes resultados, assim como as correlações entre eles e a resistência à compressão dos blocos (E_{bm} / f_{bm}) são mostrados no Anexo A, nas Tabelas A.5.

Tabela 12 - Valores das relações entre módulo de elasticidade e resistência à compressão média dos blocos na área líquida

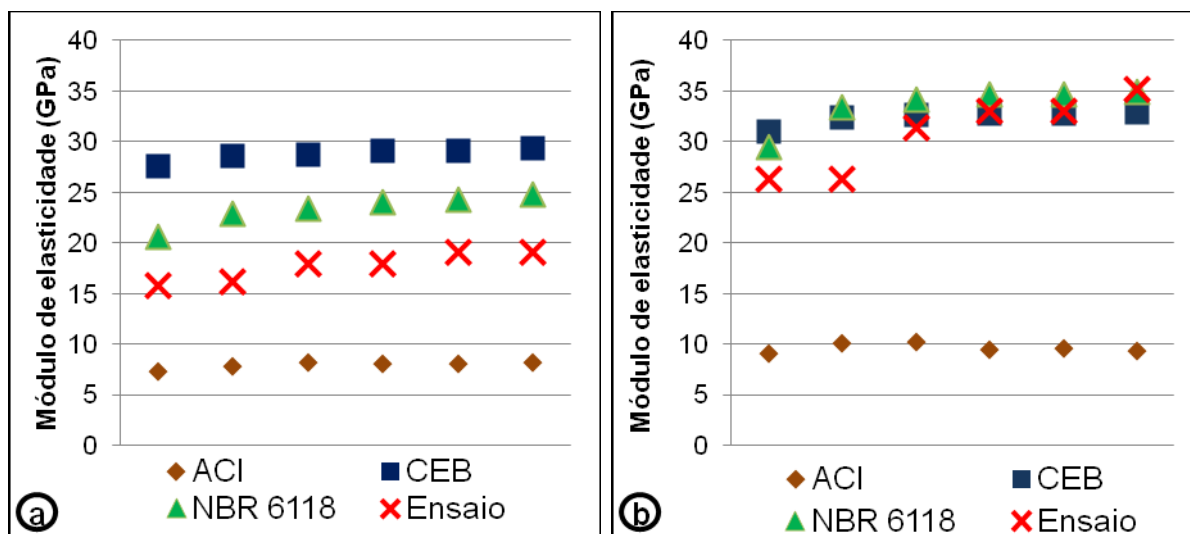
Tipo de Bloco	Valores obtidos nos ensaios		E_{bm} segundo NBR		E_{bm} segundo ACI		E_{bm} segundo CEB	
	E_{bm} (MPa)	E_{bm} / f_{bm}^*	E_{bm} (MPa)	E_{bm} / f_{bm}^*	E_{bm} (MPa)	E_{bm} / f_{bm}^*	E_{bm} (MPa)	E_{bm} / f_{bm}^*
BI_1	17,20	1135,47	23,31	1538,46	7,93	522,97	28,70	1894,12
BI_2	31,48	1444,35	33,53	1538,46	9,63	441,91	32,40	1486,52

* Resistência à compressão do bloco na área líquida

Segundo Drysdale et al. (1994), o valor da relação E_{bm} / f_{bm} para blocos de concreto pode variar entre 500 e 1000 e para Sahlin (1971) estes valores encontram-se na faixa entre 500 a 1500. Os resultados apresentados nos ensaios corroboram com a recomendação de Sahlin (1971), exceto segundo a NBR 6118:2014.

Para melhor visualização dos resultados do módulo de elasticidade, estes estão representados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Módulo de elasticidade dinâmico e estimativas teóricas segundo NBR 6118:2014, CEB e ACI para BI_1 (a) e BI_2 (b)



Ao observar o Gráfico 1 nota-se que as curvas das estimativas de módulo de elasticidade apresentam uma configuração muito parecida entre si, para ambos os blocos. As curvas do módulo de elasticidade dinâmico para o bloco BI_2, no entanto, destoou suavemente das demais, possivelmente devido à utilização de fragmentos de blocos de concreto.

Verifica-se que os valores de módulo de elasticidade dinâmico estão contidos entre os obtidos pelas estimativas teóricas da ACI e NBR e, ACI e CEB, para ambos os blocos. Para ambos os blocos, há uma maior aproximação, para os valores médios de módulo de elasticidade, há uma maior aproximação entre o dinâmico e o estimado pela ABNT NBR 6118:2014, o que se justifica, possivelmente, pelo fato de ter sido utilizado um fragmento do bloco de concreto para execução do ensaio e a ABNT NBR 6118:2014 estimar o módulo do concreto e não do bloco. Este resultado corrobora com os apresentados por Guacelli (2010).

Para ambos os blocos, constatou-se também, analisando os valores médios do módulo de elasticidade, que o bloco é mais rígido do que o sugerido pelo ACI- Building Code 318, e menos rígido do que o preconizado pelo CEB-FIP Mode Code (1990). Recomenda-se, portanto que, na impossibilidade da execução de ensaios experimentais, seja adotada para a estimativa do valor do módulo de elasticidade a equação proposta pelo CEB, uma vez que gerou valores mais próximos dos experimentais. Ressalta-se que as normas ABNT NBR 6118:2014 e CEB são destinadas ao projeto e execução de obras de concreto.

Ressalta-se que as divergências de resultados podem ser justificadas pelo fato de ter sido avaliado o módulo de elasticidade dinâmico de um fragmento do bloco de concreto, visto a impossibilidade de avaliar o bloco como um todo se utilizando dos equipamentos disponíveis.

4.2 ARGAMASSAS

Os ensaios das argamassas tiveram como objetivo determinar suas propriedades físicas e mecânicas, sendo que estes dados serviram para avaliar o comportamento dos prismas durante o programa experimental.

4.2.1 Propriedades da Argamassa no Estado Fresco

4.2.1.1 Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado

Na confecção das seis diferentes argamassas produzidas, manteve-se a consistência fixada em $260 \pm 10\text{mm}$, variando-se a relação a/ms, para as argamassas mistas e a quantidade de água recomendada pelo fabricante, para as industrializadas.

As densidades de massa e os teores de ar incorporado medidos nos corpos de prova de argamassa são apresentados na Tabela 13. Os resultados de cada corpo de prova ensaiado são mostrados no Anexo B, nas Tabelas B.1 e B.2.

Tabela 13 – Densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas

Tipos de Argamassa	Dens. de Massa (g/cm ³)	Desvio Padrão	CV (%)	Teor de ar Incorporado (%)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	2,13	0,018	0,86	3,10	0,30	9,68
M_B	2,09	0,026	1,26	3,45	0,28	8,13
M_C	2,06	0,005	0,25	3,97	0,24	6,01
I_A	2,31	0,005	0,22	10,40	0,24	2,35
I_B	2,30	0,006	0,27	10,85	0,29	2,71
I_C	2,31	0,036	1,55	9,88	0,99	9,98

Para a melhor visualização, nos Gráficos 2 e 3 estão apresentados estes resultados, contendo as barras de erro que representam os desvios padrão.

Gráfico 2 - Densidade de massa das argamassas

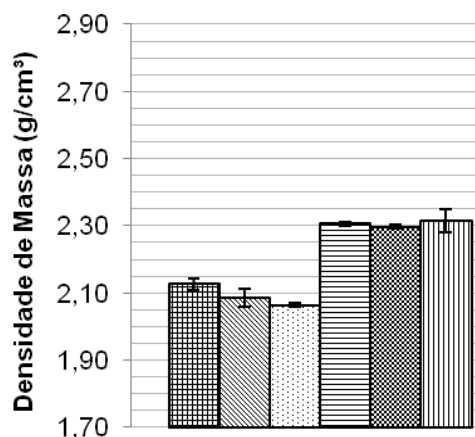
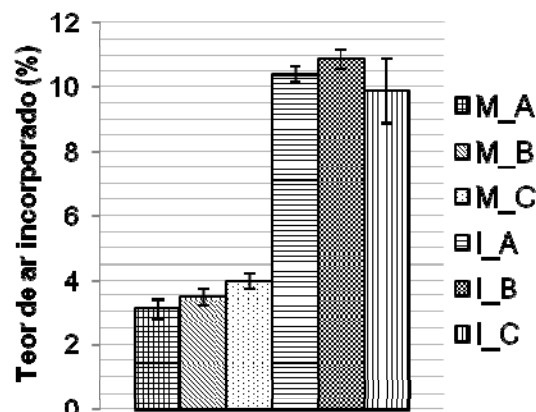


Gráfico 3 – Teor de ar incorporado das argamassas



Os valores apresentados permitem verificar que o aumento de cal nas argamassas mistas conferiu um maior teor de ar incorporado às mesmas e conseqüentemente, uma redução na massa específica. Isto ocorreu, provavelmente, pelo fato da cal hidratada conferir incorporação de ar à mistura, que é ocasionado, principalmente, pelo processo de mistura mecânica (MANSUR, MANSUR 2006).

Por meio da análise do Gráfico 3 é possível verificar que para as argamassas mistas, os valores de teor de ar incorporado, variaram de 3 a 4%. Este resultado condiz com os apontados por Nakakura (2004), que afirma que durante a mistura o ar incorporado atinge, no máximo, 3 a 4%, para as argamassas mistas, embora possa ser aumentado com o emprego de aditivos incorporadores. Casali et al. (2001) confirma estes valores, ressaltando que, para as argamassas mistas, o teor de ar incorporado dificilmente ultrapassa a 4%.

As argamassas industrializadas, por sua vez, possuíram teor de ar incorporado em torno de 10%, o que está de acordo com a recomendação da BS 4721:1981, que limita o teor de ar incorporado para argamassa pronta industrializada em um teor mínimo de 7% e máximo de 18%. De acordo com Casali et al. (2001), em algumas argamassas industrializadas (que contêm aditivos), o teor de ar incorporado pode chegar a 47% em 5 minutos durante o processo de mistura.

A análise estatística dos resultados referentes ao teor de ar incorporado, obtidos na ANOVA, com um nível de 5% de significância, indica que não há diferença significativa para esta propriedade, entre as argamassas M_A,

M_B e M_C, assim como, as argamassas I_A, I_B e I_C não apresentam entre si. No entanto, o teste indicou ainda que há diferença significativa para esta propriedade, entre as argamassas M_A e I_A, assim como entre M_B e I_B e, também, entre M_C e I_C, sendo a maior significância presente entre as argamassas do tipo A. Estes resultados são mostrados no Anexo D.

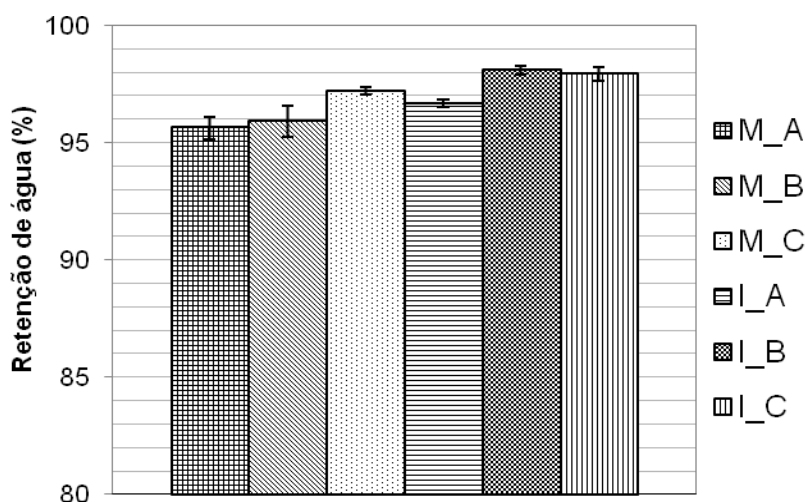
4.2.1.2 Retenção de Água

Ainda no estado fresco, avaliou-se também a retenção de água das argamassas, cujos valores médios estão apresentados na Tabela 14 e no Gráfico 4 e os resultados de cada corpo de prova ensaiado, são mostrados no Anexo B, nas Tabelas B.3 e B.4.

Tabela 14 – Retenção de água das argamassas

Tipos de Argamassa	Retenção de Água (%)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	95,63	0,49	0,515
M_B	95,90	0,67	0,696
M_C	97,20	0,15	0,159
I_A	96,67	0,15	0,155
I_B	98,09	0,18	0,187
I_C	97,92	0,27	0,280

Gráfico 4 – Retenção de água das argamassas



As normas brasileiras que abordam retenção de água e que estão em vigor atualmente, não prescrevem limites para essa propriedade. A ASTM C

270 específica, para argamassas de assentamento, que a retenção de água deve ser superior a 75%. A ABNT NBR 8798:1987, que foi cancelada em 2011, especificava o mesmo que a norma americana. No entanto, apesar de ser um parâmetro fundamental, nenhuma norma cita um valor máximo de retenção de água. As argamassas estudadas, tanto mistas quanto industrializadas apresentaram alto valor de retenção de água, conforme apresentado na Tabela 14, variando entre 95,9 e 98,09%.

Para as argamassas mistas, a retenção de água aumentou com o aumento da quantidade de cal incorporada à mistura. Isto se deve, possivelmente, pelo fato da cal apresentar boas características de retenção de água não só em razão de sua elevada superfície específica, mas também devido à grande capacidade adsorptiva de seus cristais (SABBATINI, 1986), o que evita destacamentos entre a argamassa de assentamento e os componentes da alvenaria.

Os resultados apontados estão de acordo com os estudos realizados por Casali et al. (2005), que mostraram que a retenção de água de argamassas mistas é muito influenciada pela quantidade de cal presente na mistura. Nos ensaios realizados, observou-se que um aumento de 85% de cal resultou em um aumento de 44% da retenção de água das argamassas. Casali e Prudêncio Jr. (2008) em seus estudos, observaram que um traço pobre em cal, 1:0,7:5 (cimento : cal : areia) apresentou retenção de água de 39,9%, enquanto que um traço mais rico, 1:1,3:5, apresentou 56,2%. Isso significa que um aumento no teor de cal pode aumentar o tempo de manipulação da argamassa destinado ao assentamento dos blocos.

A baixa retenção de água pode gerar um comprometimento na aderência bloco-argamassa e uma diminuição na capacidade de absorver deformações da argamassa, pelo fato da mesma tornar-se mais rígida com a perda de água, aumentando seu módulo de elasticidade. Além disso, a resistência da argamassa pode diminuir, pois a perda de água prejudica a hidratação do cimento e a carbonatação da cal (SABBATINI, 1984).

Por meio da análise estatística dos resultados obtidos na ANOVA, com um nível de 5% de significância, verificou-se que as argamassas M_A, M_B e M_C apresentam diferença significativa entre si. A mesma comparação se deu entre as argamassas I_A, I_B e I_C e concluiu-se que também há diferença

significativa entre elas, sendo mais preponderante do que no caso das argamassas mistas. A análise ainda indica que M_A e I_A, assim como as argamassas M_B e I_B e também, M_C e I_C, apresentam diferença significativa para esta propriedade entre si. Estes resultados são mostrados no Anexo D.

4.2.2 Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido

4.2.2.1 Absorção de Água e Índice de Vazios

A absorção de água e o índice de vazios das argamassas foram determinados segundo a ABNT NBR 15259:2005, utilizando-se uma amostra de 4 corpos de prova para cada tipo de argamassa (Figura 29). Cabe salientar que, ao se moldar os corpos de prova para realização deste ensaio, não foi utilizado nenhum tipo de desmoldante, para que não houvesse influência nos resultados, conforme previsto em norma.

Figura 29 - Corpos de prova imersos (a) e pesagem do corpo de prova saturado (b) – Ensaio de absorção de água



Os resultados médios para o ensaio de absorção de água são apresentados na

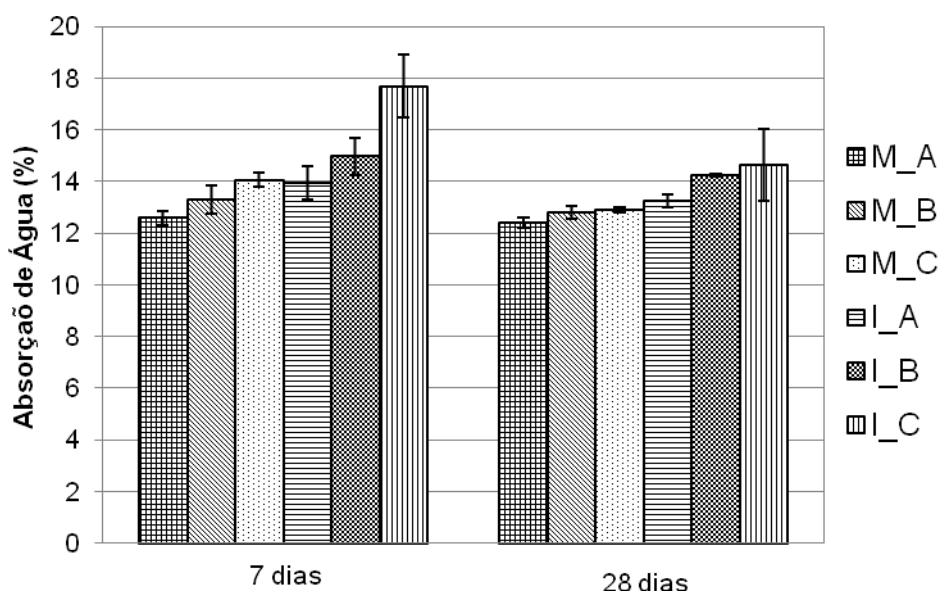
Tabela 15. Os resultados para cada corpo de prova são mostrados no Anexo B, nas Tabelas de B.19 até B.22.

Tabela 15 – Absorção de água das argamassas

Tipo	Aos 7 dias			Aos 28 dias		
	Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)	Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	12,58	0,26	2,05	12,40	0,20	1,62
M_B	13,30	0,53	4,00	12,82	0,24	1,90
M_C	14,06	0,28	2,03	12,90	0,09	0,69
I_A	13,94	0,65	4,66	13,25	0,24	1,79
I_B	14,96	0,72	4,80	14,25	0,06	0,40
I_C	17,68	1,23	6,93	14,64	1,38	9,41

Para a melhor visualização, os resultados de absorção de água estão apresentados no Gráfico 5, sendo que as barras de erro representam os desvios padrão de cada argamassa.

Gráfico 5 – Absorção de água das argamassas



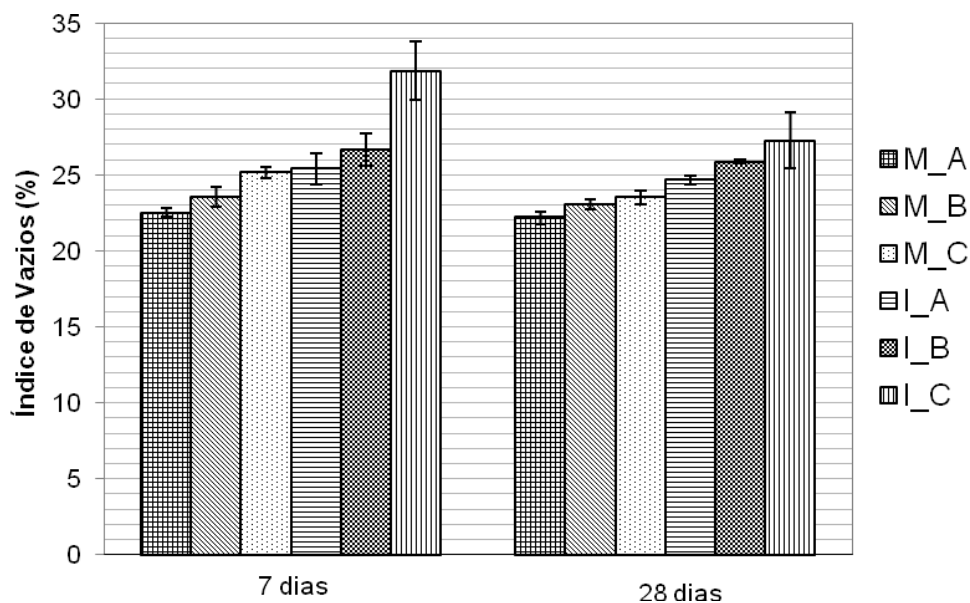
Visualizando-se o Gráfico 5, é possível verificar que a absorção de água aumentou com o aumento da cal, para as argamassas mistas. Pesquisas apontam, no entanto, que este fato também está aliado à relação a/c, visto que os valores de absorção de água diminuem com a redução da relação a/c, com o aumento no tempo de cura e no grau de hidratação.

Os resultados médios para o índice de vazios são apresentados na Tabela 16 e no Gráfico 6. No Anexo B, nas Tabelas B.21 e B.22 são apresentados os resultados individuais de cada traço.

Tabela 16 – Índice de vazios das argamassas

Tipo	Aos 7 dias			Aos 28 dias		
	Índice de Vazios (%)	Desvio Padrão	CV (%)	Índice de Vazios (%)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	22,51	0,32	1,43	22,27	0,33	1,49
M_B	23,52	0,65	2,78	23,05	0,35	1,53
M_C	25,16	0,39	1,55	23,53	0,45	1,92
I_A	25,39	0,99	3,89	24,66	0,26	1,06
I_B	26,64	1,07	4,00	25,85	0,12	0,46
I_C	31,84	1,90	5,98	27,25	1,83	6,71

Gráfico 6 – Índice de vazios das argamassas



Os resultados apresentados permitem analisar que o índice de vazios ocorre analogamente à absorção de água e isso se deve ao fato de ao evaporar a água dos corpos de prova, elas deixarem espaços sem ser preenchidos. A argamassa M_C foi a que apresentou maior valor entre as argamassas mistas, devido, possivelmente, à maior quantidade de cal incorporada à mesma.

As argamassas industrializadas possuíram valores superiores às argamassas mistas e isto pode ser justificado pela sua composição. A I_C apresentou o maior resultado entre todas as argamassas, 31,84 %, aos 7 dias.

Este valor diminuiu com o passar dos dias, com a cura da argamassa e fechamento dos vazios.

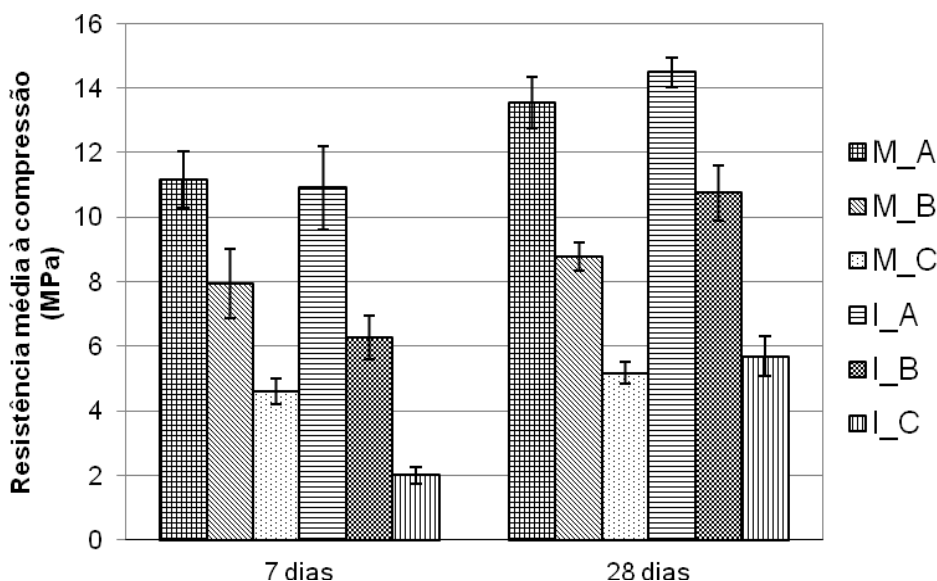
A análise estatística dos resultados referentes à absorção de água e índice de vazios, obtidos na ANOVA, com um nível de 5% de significância, indica que há diferença significativa para estas propriedades, entre as argamassas M_A, M_B e M_C, contudo, não há diferença significativa entre I_A, I_B e I_C. A análise indica também que entre as argamassas M_A e I_A, assim como entre M_B e I_B e, também, entre M_C e I_C há diferença significativa, sendo a maior significância presente entre as argamassas do tipo A. Estes resultados são mostrados no Anexo D.

4.2.2.2 Resistência à Compressão

Na Tabela 17 e o Gráfico 7 estão apresentados os resultados médios do ensaio realizado para a determinação das resistências à compressão dos corpos de prova das argamassas utilizadas para a moldagem dos prismas, que foi realizado segundo as orientações da ABNT NBR 15961-2:2011. Para sua realização, foram utilizados quatro corpos de prova para cada tipo de argamassa estudada. No Anexo B, nas Tabelas B.5, B.6, B.7 e B.8 são apresentados os resultados individuais de cada traço.

Tabela 17 – Resistência média à compressão das argamassas

Tipos de Argamassa	Classe de Resistência (MPa)	7 dias			28 dias		
		Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	-	11,15	0,86	7,71	13,61	0,79	5,81
M_B	-	7,95	1,07	13,46	8,98	0,45	5,01
M_C	-	4,60	0,41	8,91	5,17	0,33	6,38
I_A	8,0	10,90	1,30	11,93	14,48	0,47	3,25
I_B	6,0	6,26	0,68	10,86	10,75	0,85	7,91
I_C	4,0	2,00	0,26	13,00	5,68	0,61	10,74

Gráfico 7 – Resistência média à compressão das argamassas

Verificou-se por meio dos resultados apresentados que, para as argamassas mistas, aumentar a quantidade de cal comprometeu a sua resistência. Já para as argamassas industrializadas foi possível verificar que todas apresentaram resistências características superiores às nominais, possivelmente devido à abrangência do intervalo da quantidade de água que poderia ser utilizado.

Por meio da análise estatística dos resultados de resistência à compressão aos 28 dias, obtidos na ANOVA, verificou-se que, com um nível de 5% de significância, há diferença significativa para esta propriedade entre as argamassas M_A e I_A e também entre M_B e I_B. As argamassas M_C e I_C, por sua vez, não apresentaram diferença significativa entre si. Estes resultados são mostrados no Anexo D.

Contudo, embora estaticamente tenha existido diferenças significativas entre as argamassas mista e industrializada para os tipos A e B para a resistência à compressão, propriedade admitida como parâmetro inicial neste estudo, isto não comprometeu o objetivo da pesquisa, tendo em vista que as argamassas classificadas em A, B e C permaneceram dentro dos intervalos estabelecidos inicialmente, em função da resistência à compressão dos blocos de concreto.

4.2.2.2.1 Relação entre resistência à compressão da argamassa e do bloco

Gomes (1974) indica, de maneira geral, a utilização de argamassas com resistência à compressão dentro de um intervalo de 0,7 a 1,0 vezes o valor da resistência característica do bloco. Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) ampliam este intervalo de 0,7 a 1,5.

A partir da resistência característica dos blocos de concreto BI_1 (7,18 MPa) e BI_2 (10,77 MPa) e as resistências à compressão das argamassas e, seguindo os intervalos estabelecidos por Gomes (1974), Parsekian, Hamid e Drysdale (2013), é apresentado no Quadro 14, as combinações recomendadas (OK) ou não (X) ao se utilizar diferentes argamassas para o assentamento dos blocos de concreto.

Quadro 14 – Intervalos para uso das argamassas

Argamassas	Relações		Gomes (1974)		Parsekian, Hamid e Drysdale (2013)	
	BI_1	BI_2	BI_1	BI_2	BI_1	BI_2
M_A	$f_{arg28} = 1,89 \cdot f_{bk}$	$f_{arg28} = 1,26 \cdot f_{bk}$	X	X	X	OK
I_A	$f_{arg28} = 2,02 \cdot f_{bk}$	$f_{arg28} = 1,34 \cdot f_{bk}$	X	X	X	OK
M_B	$f_{arg28} = 1,25 \cdot f_{bk}$	$f_{arg28} = 0,83 \cdot f_{bk}$	X	OK	OK	OK
I_B	$f_{arg28} = 1,50 \cdot f_{bk}$	$f_{arg28} = 1,00 \cdot f_{bk}$	X	OK	OK	OK
M_C	$f_{arg28} = 0,72 \cdot f_{bk}$	$f_{arg28} = 0,48 \cdot f_{bk}$	OK	X	OK	X
I_C	$f_{arg28} = 0,79 \cdot f_{bk}$	$f_{arg28} = 0,53 \cdot f_{bk}$	OK	X	OK	X

4.2.2.3 Módulo de Elasticidade Dinâmico

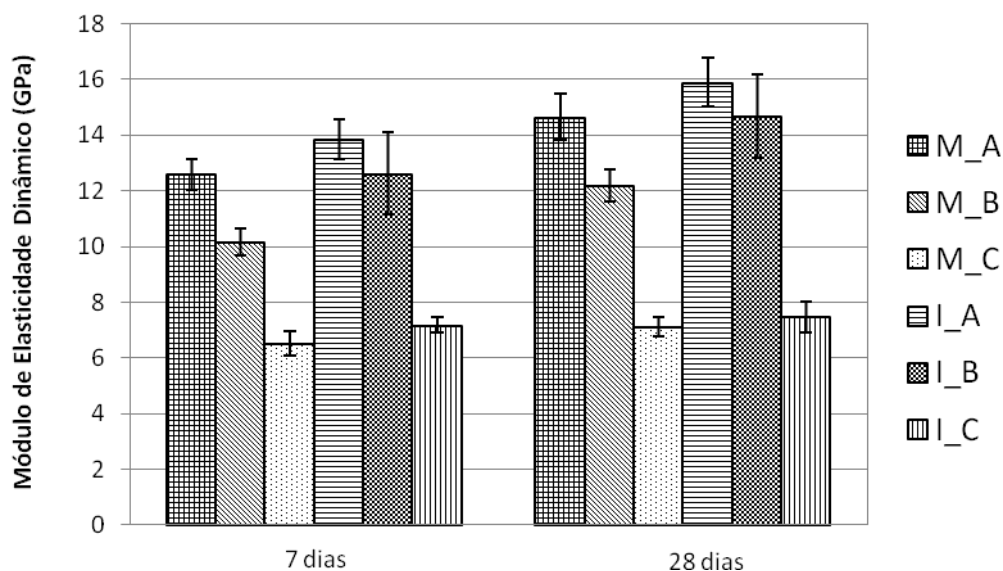
O módulo de elasticidade das argamassas foi calculado aos 7 e 28 dias a partir da velocidade de propagação da onda ultrassônica, de transmissão direta, por meio da equação descrita na ABNT NBR 15630:2008, utilizando-se o equipamento *Pundit lab*. Para a realização deste ensaio foram utilizados quatro corpos de prova.

Os resultados médios do módulo de elasticidade dinâmico são apresentados na Tabela 18 e no Gráfico 8. Os resultados individuais dos corpos de prova são mostrados no Anexo B, Tabela B.9, B.10, B.11 e B.12.

Tabela 18 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas (*Pundit Lab*)

Tipos de Argamassa	7 dias			28 dias		
	Média (GPa)	Desvio Padrão (GPa)	CV (%)	Média (GPa)	Desvio Padrão (GPa)	CV (%)
M_A	12,59	0,55	4,39	14,66	0,84	5,72
M_B	10,17	0,47	4,63	12,18	0,58	4,79
M_C	6,52	0,42	6,39	7,12	0,34	4,79
I_A	13,83	0,71	5,17	15,89	0,88	5,53
I_B	12,62	1,47	11,65	13,85	0,80	5,75
I_C	7,17	0,27	3,82	7,48	0,56	7,44

Gráfico 8 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas



Como pode ser observado na Tabela 18, o aumento da resistência à compressão das argamassas influi diretamente no aumento da sua rigidez, para ambos os tipos de argamassas. O módulo de elasticidade das argamassas variou entre 7 até 15 GPa para as argamassas mistas e de 7 até 16 GPa para as argamassas industrializadas, aos 28 dias.

A argamassa I_A foi a que apresentou o módulo mais alto, 14,67 GPa, seguida da argamassa M_A, podendo ser um indicativo de menor capacidade de absorção de deformação entre as argamassas estudadas. O elevado módulo de elasticidade, segundo alguns autores (KHALAF et al., 1994; SABBATINI, 1994; MOHAMAD, 1998) não é aconselhável para a alvenaria estrutural, pois a argamassa deve permitir pequenas movimentações na parede sem fissurar, absorvendo essas deformações.

Notou-se, também, que para as argamassas mistas, houve um decréscimo quanto ao valor do módulo de elasticidade, conforme aumentou a quantidade de cal incorporada às argamassas, demonstrando que a incorporação da cal diminui a rigidez das mesmas e permite a acomodação das movimentações intrínsecas à alvenaria.

A análise estatística dos resultados referentes ao módulo de elasticidade dinâmico obtidos na ANOVA indica que, com um nível de 5% de significância, não há diferença significativa para esta propriedade, entre as argamassas M_A e I_A. No entanto, as argamassas M_B e I_B apresentaram diferença significativa entre si. Por fim, a análise indicou também não haver diferença significativa entre M_C e I_C. Estes resultados são mostrados no Anexo D.

Em um segundo momento, aos 409 dias, optou-se por avaliar ainda o módulo de elasticidade das argamassas seguindo as prescrições da ASTM E1876:2009, utilizando-se o equipamento *Sonelastic*. A fim de se comparar os resultados referentes à esta propriedade, determinada pelos dois métodos citados, optou-se por refazer o ensaio utilizando-se o *Pundit Lab*, na mesma idade. Os resultados estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Módulos de elasticidade dinâmico das argamassas

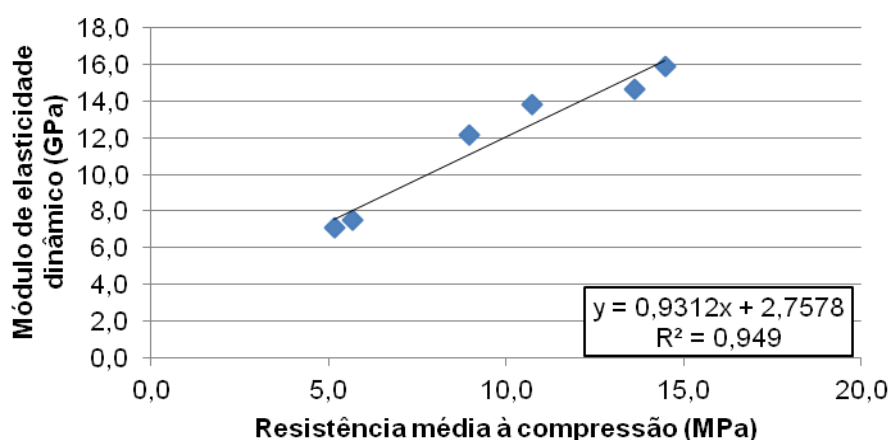
Tipo de Argamassa	Eq. <i>Pundit Lab</i>			Eq. <i>Sonelastic</i>		
	Média (GPa)	Desvio Padrão	CV (%)	Média (GPa)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	13,43	0,49	3,61	13,13	0,31	2,38
M_B	10,87	1,33	12,21	12,34	0,50	4,02
M_C	8,36	0,52	6,22	9,31	0,38	4,03
I_A	15,33	0,91	5,95	15,74	0,29	1,82
I_B	11,61	0,28	2,43	12,40	0,08	0,65
I_C	8,67	0,23	2,60	8,41	0,75	8,92

A análise estatística dos resultados indica que, com um nível de 5% de significância, dentre os seis tipos de argamassas estudados, há diferença significativa entre os módulos de elasticidade dinâmicos obtidos pelo *Sonelastic* e *Pundit Lab*, para as argamassas do tipo M_C e I_B. Os dados da ANOVA são mostrados no Anexo D.

4.2.2.3.1 Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão das argamassas

A resistência à compressão das argamassas foi correlacionada por meio de regressão linear com seu módulo de elasticidade. O resultado da regressão pode ser visualizado no Gráfico 9, o qual indica que há relação significativa entre as variáveis.

Gráfico 9 – Correlação entre resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico das argamassas



Na Tabela 20 está apresentada a relação entre o módulo de elasticidade (E_a) e a resistência à compressão (f_a) das argamassas, a partir dos valores de resistência obtidos através do item 4.2.2.2. No Anexo B, nas Tabelas B.13 e B.14 são apresentados os resultados individuais de cada traço.

Tabela 20 - Relação entre módulo de elasticidade e resistência à compressão das argamassas

Tipo de Arg.	Ultrassom			Sonelastic		
	$\frac{E_a}{f_a}$ (Média)	Desvio Padrão	CV (%)	$\frac{E_a}{f_a}$ (Média)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	992,38	35,84	3,61	970,01	23,11	2,38
M_B	1240,38	151,42	12,21	1407,32	56,62	4,02
M_C	1617,59	100,61	6,22	1802,42	72,62	4,03
I_A	1132,56	67,37	5,95	1163,05	21,22	1,82
I_B	1324,81	32,14	2,43	1414,45	9,17	0,65
I_C	1677,84	43,68	2,60	1627,26	145,18	8,92

As relações apresentadas na Tabela 20, mostram coeficientes de variação pequenos e que a média dos valores da relação $\frac{E_a}{f_a}$ apresentou certa proximidade no que diz respeito ao valor de 1000, proposto pelos ensaios desenvolvidos por Glanville & Barnett (1934) e Hildsdorf (1965), apresentados por Sahlin (1971), que teve como objetivo correlacionar os valores de resistência da argamassa com o módulo de elasticidade obtido experimentalmente.

4.2.2.4 Retração

O ensaio de retração livre avaliou a potencialidade de variação dimensional do material excluindo causas como variações de temperatura e existência de tensões devido à restrição. O ensaio foi feito conforme ABNT NBR 15261:2005, que utiliza corpos-de-prova de 25 x 25 x 285 mm, com leitura inicial 24 horas após a moldagem. Após estas 24 horas os corpos-de-prova foram mantidos em ambiente de laboratório, conforme prescrito na norma. A Figura 30 ilustra a realização desse ensaio.

Figura 30 – Execução do ensaio de retração



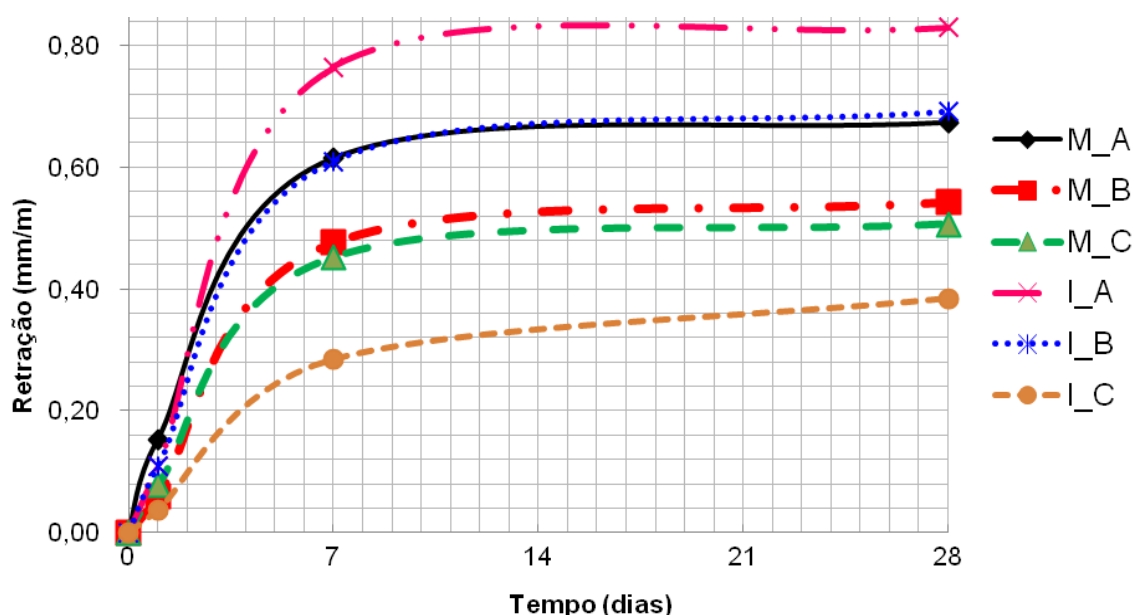
Os resultados médios deste ensaio são apresentados na Tabela 21 e no

Gráfico 10. Os resultados individuais para cada corpo de prova são mostrados no Anexo B, Tabelas B.15 e B.16.

Tabela 21 – Retração das argamassas

Tipos de Argamassa	1 dia			7 dias			28 dias		
	Retração (mm/m)	Desvio Padrão (mm)	CV (%)	Retração (mm/m)	Desvio Padrão (mm)	CV (%)	Retração (mm/m)	Desvio Padrão (mm)	CV (%)
M_A	0,15	0,24	1,60	0,61	0,26	0,43	0,67	0,27	0,39
M_B	0,05	0,03	0,59	0,48	0,04	0,09	0,54	0,04	0,07
M_C	0,22	0,23	1,04	0,57	0,07	0,13	0,63	0,07	0,11
I_A	0,11	0,08	0,75	0,76	0,12	0,16	0,83	0,12	0,14
I_B	0,11	0,13	1,16	0,61	0,15	0,24	0,69	0,16	0,23
I_C	0,04	0,00	0,12	0,28	0,05	0,18	0,55	0,03	0,06

Gráfico 10 – Retração das argamassas



Os resultados apresentados na Tabela 21 permitem analisar que os valores de retração para todas as argamassas aumentaram com o decorrer do tempo e tenderam a se estabilizar. Além disso, para as argamassas mistas, a retração aumentou gradativamente ao aumento do consumo de cimento. Carasek (1996) afirma que argamassas ricas em cimento apresentam maior pré-disposição a esta ocorrência, porque a retração ocorre na pasta.

Por meio da análise dos resultados, verificou-se também, que a retração foi menor nas argamassas que apresentavam maior quantidade de cal, o que está aliado, possivelmente, ao fato da cal, conferir maior poder de retenção de água à argamassa. A presença de cal melhora a trabalhabilidade das argamassas, a extensão de aderência, a retenção de água e a deformabilidade,

diminuindo os efeitos de retração nas mesmas (CARASEK, 1994; MOHAMAD et al., 2002).

A maior retenção de água contribui para evitar destacamentos entre a argamassa de assentamento e os componentes da alvenaria, minimizando a retração na secagem, tanto das argamassas de assentamento quanto das de revestimento (SABBATINI, 1986). Desse modo, a partir da análise da retração, avalia-se que as argamassas M_A, I_A e I_B são as mais propícias a ocasionar destacamento quando utilizadas no assentamento dos blocos.

A análise estatística dos resultados referentes à retração da argamassa, obtidos na ANOVA, indica que, com um nível de 5% de significância, não há diferença significativa entre as argamassas M_A, M_B e M_C. Contudo, as argamassas I_A, I_B e I_C apresentaram diferença significativa entre si. Pela análise estatística, verificou-se também que não há diferença significativa para esta propriedade, entre as argamassas M_A e I_A, assim como entre M_B e I_B e, também, entre M_C e I_C. Estes resultados são mostrados no Anexo D.

4.3 PRISMAS DE DOIS BLOCOS DE CONCRETO

Posteriormente à caracterização dos blocos e argamassas, partiu-se para a etapa do programa experimental em que foram moldados os prismas de dois blocos de concreto, submetidos à compressão axial, de acordo com a ABNT NBR 15961-1:2011.

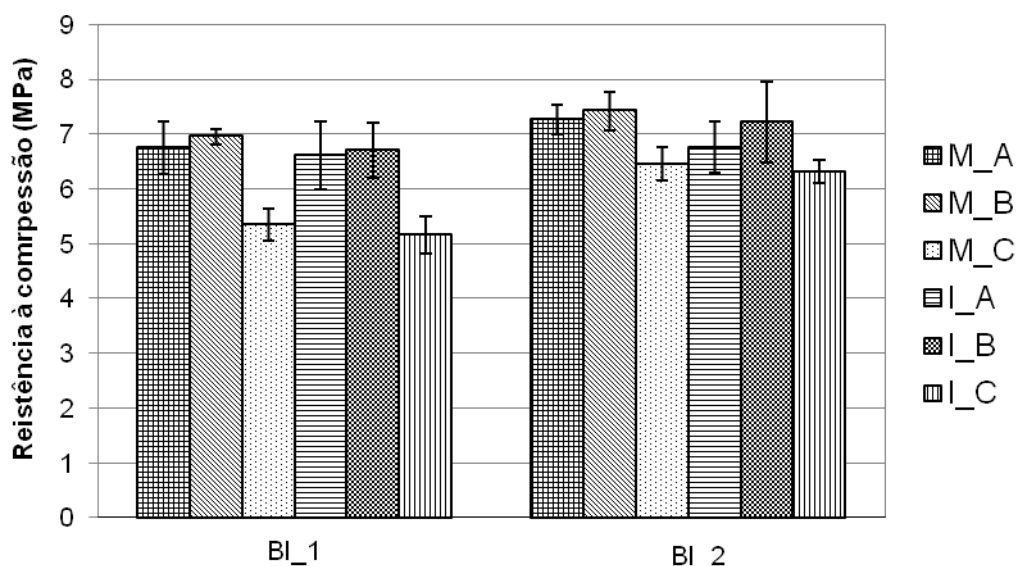
4.3.1 Resistência à Compressão dos Prismas

De acordo com a ABNT NBR 15961-1:2011, a resistência à compressão de cada tipo de prisma é dada pela média dos resultados obtidos em uma amostra de 3 prismas. Desse modo, foram produzidas três amostras para cada uma das doze combinações de prismas. Os resultados médios da resistência à compressão obtidos durante a realização do ensaio são mostrados na Tabela 22 e no

Gráfico 11. Os resultados individuais no Anexo C, nas Tabelas C.1 e C.2.

Tabela 22 – Resistência média à compressão dos prismas aos 28 dias

Tipos de Argamassa	BI_1			BI_2		
	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)
M_A	6,74	0,48	7,09	7,26	0,26	3,55
M_B	6,95	0,14	2,07	7,42	0,35	4,73
M_C	5,35	0,29	5,42	6,46	0,31	4,81
I_A	6,61	0,61	9,24	6,75	0,47	6,96
I_B	6,70	0,50	7,44	7,21	0,74	10,19
I_C	5,16	0,34	6,65	6,32	0,22	3,47

Gráfico 11 – Resistência média à compressão dos prismas aos 28 dias

Analisando-se os resultados de resistência à compressão dos prismas, apresentados na Tabela 22, nota-se que os maiores valores ocorreram nos prismas M_B2, M_A2, I_B2, respectivamente, demonstrando uma melhor compatibilização entre bloco e argamassa. Nestes casos, as resistências à compressão das argamassas variaram em 0,83, 1,26 e 1,00 da resistência característica do bloco, o que está dentro do intervalo recomendado para uso segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013).

Para ambos os blocos, os menores valores de resistência à compressão se deram quando foram utilizadas as argamassas de menor resistência à compressão para moldagem dos prismas. Nos prismas M_C1 e I_C1, as resistências à compressão das argamassas eram 72 e 79% da resistência

característica do bloco e, nos prismas M_C2 e I_C2, 48 e 53%, respectivamente. Isto confirma que a utilização de argamassas com resistência à compressão próxima ou inferior a 70% da resistência característica do bloco não propicia um bom comportamento dos prismas, convergindo com o proposto por Parsekian, Hamid e Drysdale em seus estudos (2013).

Referente aos prismas assentados com argamassas industrializadas, estes apresentaram bom desempenho à compressão, em contradição ao estudo desenvolvido por Juste (2001), que observou as séries de blocos assentados com argamassa industrializada apresentaram ruptura por esmagamento da junta precocemente, independentemente da resistência da unidade.

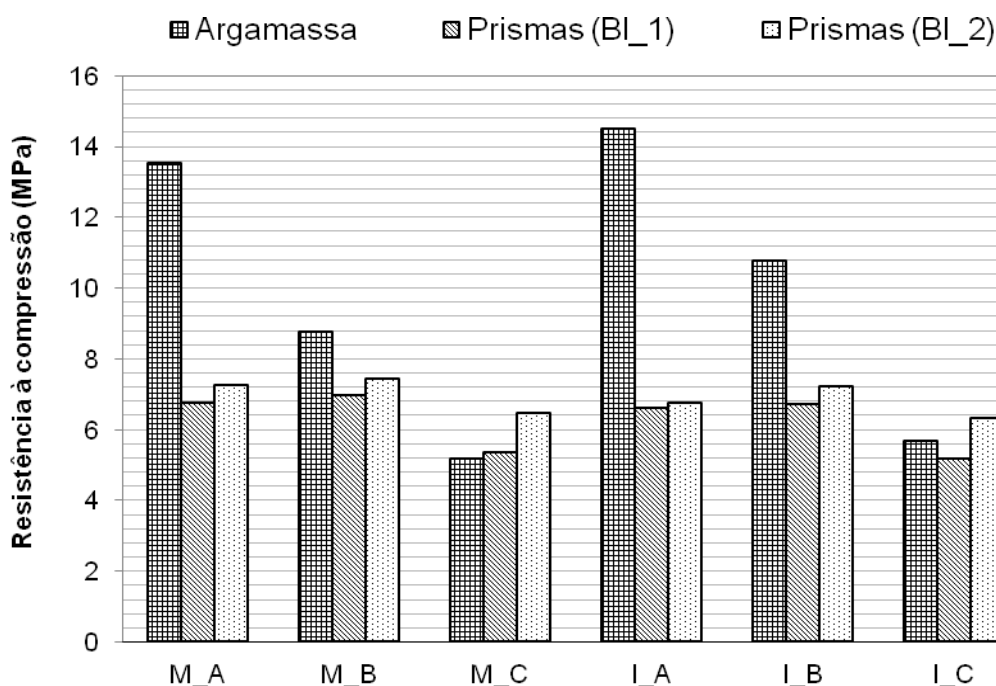
4.3.1.1 Relação entre resistência à compressão das argamassas e dos prismas

Na Tabela 23 estão apresentados os resultados referentes à resistência média à compressão das argamassas e dos prismas moldados com os blocos BI_1 e BI_2, os quais também podem ser visualizados no Gráfico 12.

Tabela 23 – Resistência média à compressão das argamassas e dos prismas

Tipo	Argamassas			Prismas (BI_1)			Prismas (BI_2)		
	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)
M_A	13,61	0,79	5,81	6,74	0,48	7,09	7,26	0,26	3,55
M_B	8,98	0,45	5,01	6,95	0,14	2,07	7,42	0,35	4,73
M_C	5,17	0,33	6,38	5,35	0,29	5,42	6,46	0,31	4,81
I_A	14,48	0,47	3,25	6,61	0,61	9,24	6,75	0,47	6,96
I_B	10,75	0,85	7,91	6,7	0,5	7,44	7,21	0,74	10,19
I_C	5,68	0,61	10,74	5,16	0,34	6,65	6,32	0,22	3,47

Gráfico 12 – Resistência média à compressão das argamassas e dos prismas



É interessante observar que a resistência à compressão da argamassa M_A é cerca de 51% superior à da argamassa M_B. No entanto, este aumento de resistência da argamassa refletiu em uma redução em torno de 3 e 2% na resistência dos prismas moldados com BI_1 e BI_2, respectivamente. Em comparação à argamassa M_C, M_A é cerca de 163% superior que esta, e este aumento de resistência da argamassa refletiu em incrementos de 26 e 12% na resistência dos prismas moldados com BI_1 e BI_2, respectivamente.

Analogamente, relacionado às argamassas industrializadas, observa-se que a resistência à compressão da argamassa I_A é cerca de 35% superior à da argamassa I_B. No entanto, este aumento de resistência da argamassa refletiu em uma redução em torno de 1,3 e 6,4% na resistência dos prismas moldados com BI_1 e BI_2, respectivamente. Em comparação à argamassa I_C, I_A é cerca de 154% superior que essa, e este aumento de resistência da argamassa refletiu em um incremento de 28 e 6% na resistência dos prismas moldados com BI_1 e BI_2, respectivamente.

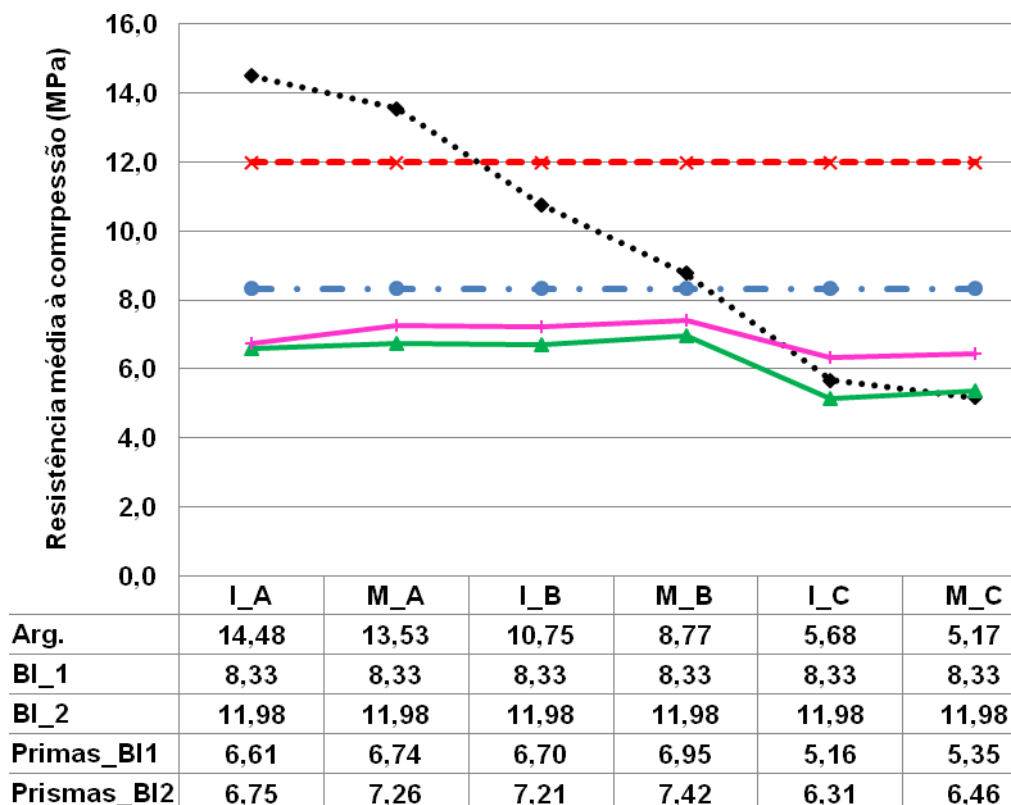
Esses resultados indicam que o aumento da resistência da argamassa não significa necessariamente um melhor desempenho do prisma, conforme já salientado por diversos autores, entre eles Sabbatini (1986), Roman

(1999) e Prudêncio Jr. et al. (2003) e isso ocorre possivelmente porque o módulo de elasticidade da argamassa não aumenta na mesma proporção que a sua resistência à compressão, fazendo com que o estado de tensões da unidade, que geralmente causa o colapso da alvenaria sob compressão, mantenha-se quase inalterado (PRUDENCIO JR. et al., 2003).

4.3.1.2 Relação entre resistência à compressão das argamassas, dos blocos e dos prismas

O Gráfico 13 relaciona as resistências das argamassas, blocos e prismas.

Gráfico 13 – Relação entre resistências da argamassa, bloco e prismas



Por meio da análise do Gráfico 13, nota-se que o uso da argamassa de menor resistência à compressão teve pouca interferência nos valores de resistências à compressão dos prismas, no caso do bloco BI_1, concordando com a consideração feita por ROMAGNA (2000), que diz não haver

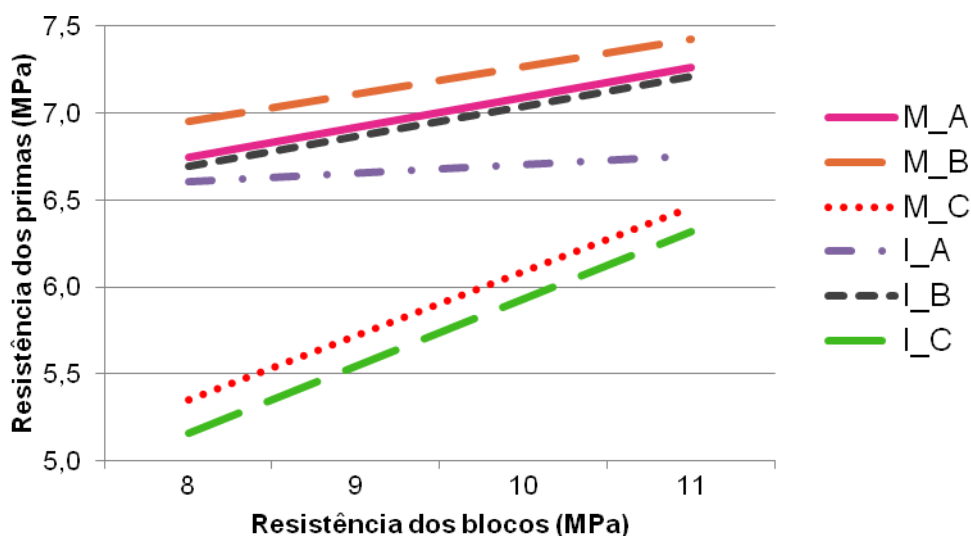
influência da resistência à compressão da argamassa na resistência à compressão do prisma para blocos de menor resistência.

Pôde-se analisar também que o bloco de maior resistência (BI_2) propicia maior resistência à compressão dos prismas do que o bloco de menor resistência (BI_1), quando utilizado com as mesmas argamassas. Este fato corrobora com os estudos desenvolvidos por Prado (1995) que, ao investigar a resistência à compressão de alvenarias executadas com cinco tipos diferentes de unidades e dois tipos de argamassas, concluiu que o principal fator que influenciou na resistência à compressão dos prismas foi a resistência da unidade.

De acordo com Calçada (1998), a resistência do prisma é geralmente inferior à do bloco, não só pela presença da junta de argamassa, mas também pela esbelteza dos elementos ensaiados que alteram a forma de ruptura. O bloco, quando ensaiado isoladamente, não está sob estado de compressão-tração como no prisma e sim sob estado triaxial de compressão, ou seja, confinado pelo efeito dos pratos da prensa.

Ainda relacionando as resistências das argamassas, blocos e prismas, contudo, analisando de outra forma, ou seja, mantendo constante o traço de argamassa e variando a resistência do bloco, tem-se o Gráfico 14.

Gráfico 14 - Relação entre resistências da argamassa, bloco e prismas



Por meio da análise do Gráfico 14 é possível observar que um aumento na resistência do bloco gera um ganho de resistência no prisma,

reafirmando Oliveira (2002). O autor ressalta, no entanto, que esta relação não é linear. Deste ponto de vista, nota-se então que, para argamassas menos resistentes (M_C e I_C), a variação na resistência à compressão dos prismas é mais sensível em comparação com as demais, e que a curva correspondente à argamassa mais resistente (I_A) é a menos sensível.

De acordo com a BS-5628 part 1:1992, a resistência característica à compressão da alvenaria depende principalmente da resistência à compressão da unidade. Para baixos níveis de resistência à compressão do bloco, a argamassa não tem uma influência significativa na resistência da alvenaria mas, a medida que se aumenta a resistência da unidade, começa a existir uma diferença significativa na resistência característica da alvenaria.

Oliveira (2002) menciona ainda que, para blocos com maior resistência, a variação de ganho da resistência no prisma se torna menor com o aumento da resistência à compressão da argamassa. A explicação para esta proporcionalidade está ligada diretamente ao ganho de resistência à tração do bloco decorrente do aumento de sua resistência à compressão. Desse modo é fundamental haver uma compatibilização dos traços de argamassas com o tipo de bloco utilizado para melhor desempenho da alvenaria.

4.3.2 Eficiência dos Prismas

Gomes (1983) define o fator de eficiência como a razão entre a resistência à compressão do prisma/parede pela resistência à compressão da unidade. Este número, normalmente expresso em percentagem, é a medida de quanto a resistência da unidade é “aproveitada” na resistência da parede.

Os valores relacionados ao fator de eficiência dos prismas estão apresentados na Tabela 24 e ilustrados no Gráfico 15.

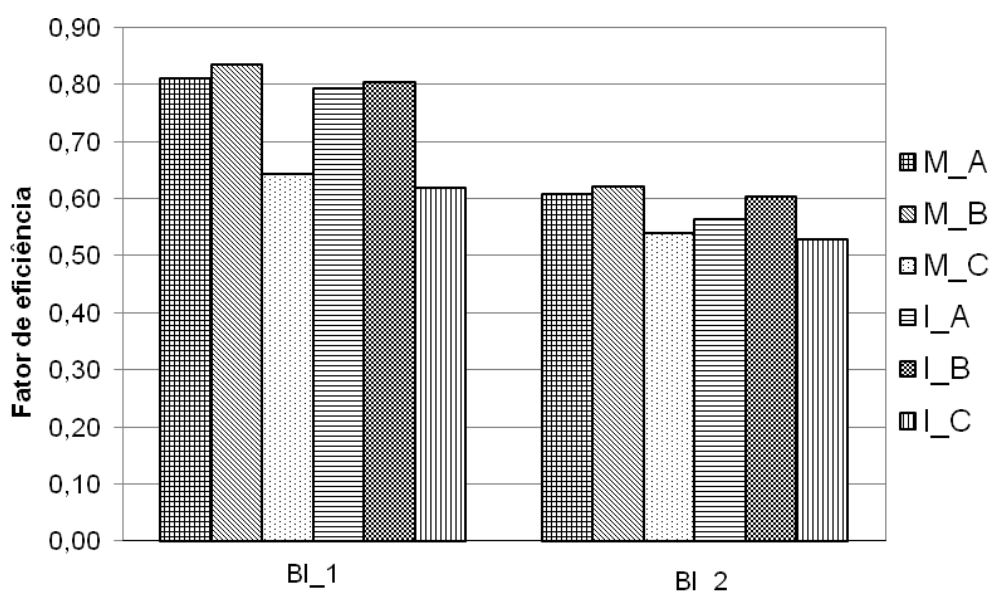
Tabela 24 - Fator de eficiência dos prismas

Tipos de Argamassa	BI_1			BI_2		
	f_{bm}	$f_{prismas}$	Eficiência	f_{bm}	$f_{prismas}$	Eficiência

M_A		6,74	0,81		7,26	0,61
M_B		6,95	0,83		7,42	0,62
M_C	8,33	5,35	0,64	11,98	6,46	0,54
I_A		6,61	0,79		6,75	0,56
I_B		6,70	0,80		7,21	0,60
I_C		5,16	0,62		6,32	0,53

Nota-se que o fator de eficiência variou entre 0,53 e 0,83, o que corrobora com os estudos desenvolvidos por Ramalho e Corrêa (2003), que concluíram que normalmente os valores adotados para eficiência de prismas variam de 0,5 a 0,9 para os blocos de concreto.

Gráfico 15 – Fator de eficiência dos prismas



Pela análise dos resultados, verificou-se também que os maiores valores de fator eficiência, para ambos os blocos, ocorreram quando houve o menor distanciamento entre a resistência à compressão da unidade e da argamassa. Segundo Gomes (1983) quanto maior é a diferença entre a resistência do bloco e da argamassa, maior é a influência das características da junta e da interface.

É notável também que o fator de eficiência é maior quando se utilizou o bloco menos resistente ao se moldar os prismas. Estudos realizados por Steil e Prudêncio Jr. (2002), demonstraram que blocos com resistência entre 7 e 10 MPa, moldados com argamassa mista, conduziram a fatores de eficiência de 0,92 e

0,75 respectivamente. Casali (2003) e Juste (2001) obtiveram similaridade de conclusões com esses autores.

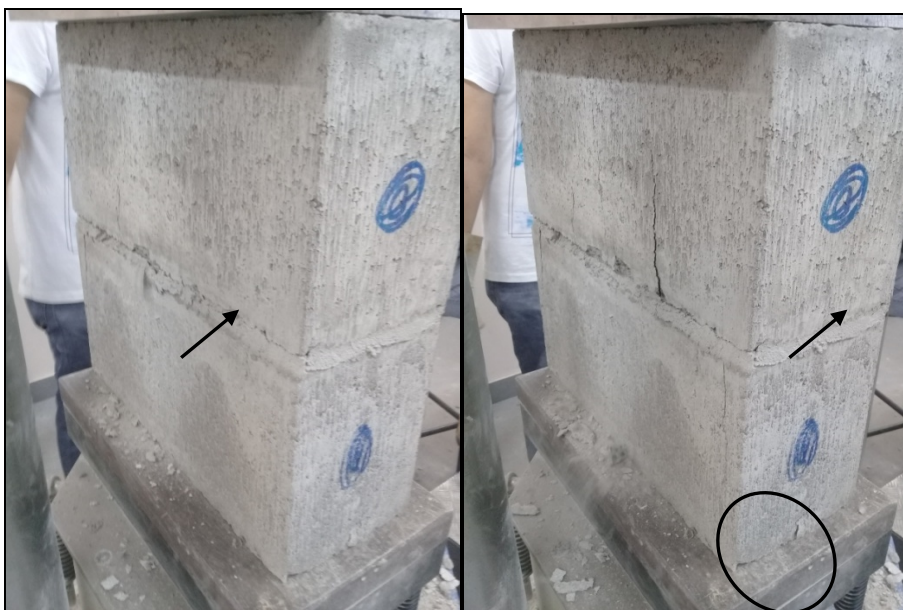
4.3.3 Modo de Ruptura dos Prismas

A resistência da alvenaria está relacionada com a resistência da argamassa através de uma raiz cúbica ou quarta. Embora possa parecer que este fato indica a pouca influência da argamassa na resistência da alvenaria, é sabido que é a argamassa quem governa o modo de ruptura do conjunto (CAMACHO, 1986).

4.3.3.1 Prismas Moldados com Argamassas do Tipo A

A Figura 31 ilustra o modo de ruptura do prisma composto pelo bloco BI_1 e argamassa M_A. Nesta situação, tem-se que $f_{arg,28} = 1,89 \cdot f_{bk,est}$, o que, de acordo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) não compreende o intervalo recomendado para uso.

Figura 31 – Ruptura do prisma (M_A1)



Verifica-se então, por meio das indicações na Figura 31 que, inicialmente, a ruptura se deu pelo esmagamento da junta de argamassa seguida da fissura vertical do bloco. Este fato justifica-se, possivelmente, pelo fato da utilização

de uma argamassa com resistência superior à resistência do bloco de concreto, visto que argamassas resistentes contribuem para uma ruptura frágil, não havendo ductilidade suficiente para acomodações das deformações da estrutura diante dos esforços (GOMES, 1983).

Utilizando-se a mesma argamassa para assentamento do bloco Bl_2, a ruptura dos prismas se deu conforme ilustrado na Figura 32.

Figura 32 – Ruptura do prisma (M_A2)



Nesta situação, tem-se que $f_{arg28} = 1,26 \cdot f_{bloco}$, o que, de acordo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) está dentro do intervalo recomendado para uso. Neste caso, a ruptura dos prismas ainda se deu por esmagamento da junta de argamassa, devido à sua resistência à compressão ainda ser superior à do bloco. Contudo, em comparação ao conjunto apresentado anteriormente, estes atingiram maior resistência à compressão, possivelmente, pelo fato do bloco ter maior resistência, aproximaram-se as resistências do bloco com a da argamassa.

Na Figura 33 estão ilustrados os prismas compostos com argamassa I_A e bloco Bl_1. Pode-se notar a perda da junta horizontal de argamassa, nos prismas em que foram utilizadas as argamassas I_A, por esfacelamento. Constatou-se também, perda de aderência entre a argamassa e o bloco nas regiões indicadas com circunferência, caracterizada pela mudança na direção da fissura vertical na região bloco-argamassa.

Figura 33 - Ruptura do prisma (I_A1)



Nesta situação, tem-se que $f_{arg28} = 2,02 \cdot f_{block}$, o que, de acordo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) e Gomes (1974), não compreende o intervalo recomendado para uso. A argamassa apresentou fissuração e deterioração generalizada, esboroando antes da ocorrência de fissuras nos blocos. As argamassas mais resistentes prejudicaram a resistência à compressão dos prismas, possivelmente, devido possuírem elevado módulo de deformação, propiciando assim menor capacidade para absorver as deformações, ocasionando a ruptura do conjunto.

Atkinson e Noland. (1983) realizam ensaios de compressão triaxial em quatro tipos de argamassas submetidas a seis níveis de tensão confinante. Prismas com argamassas fortes (1 : 0,25 : 3 e 1 : 0,5 : 4.5) fissuraram repentinamente e se romperam de forma explosiva. Gomes (1983) cita que, com o aumento da resistência da argamassa, ocorre uma mudança no modo de ruptura da alvenaria, tornando a ruptura excessivamente frágil não acompanhando, portanto, os eventuais movimentos da estrutura.

A argamassa I_A foi a que apresentou o módulo de elasticidade mais alto (15,89 GPa), seguida da argamassa M_A (14,66 GPa), podendo ser um indicativo de menor capacidade de absorver as deformações entre as argamassas estudadas. O elevado módulo de elasticidade, segundo alguns autores (KHALAF et al., 1994; SABBATINI, 1994; MOHAMAD, 1998) não é aconselhável para a alvenaria

estrutural, pois a argamassa deve permitir pequenas movimentações na parede sem fissurar, absorvendo essas deformações.

Além disso, avaliou-se que as argamassas I_A, dentre as argamassas estudadas, é a mais propícia a ocasionar destacamento quando utilizadas no assentamento dos blocos, uma vez que possuem o maior valor de retração (0,83mm/m) em comparação às demais.

Para os prismas compostos de argamassa do tipo I_A em conjunto com o bloco do tipo BI_2, ilustrados na Figura 34, verificou-se que a ruptura se deu no conjunto.

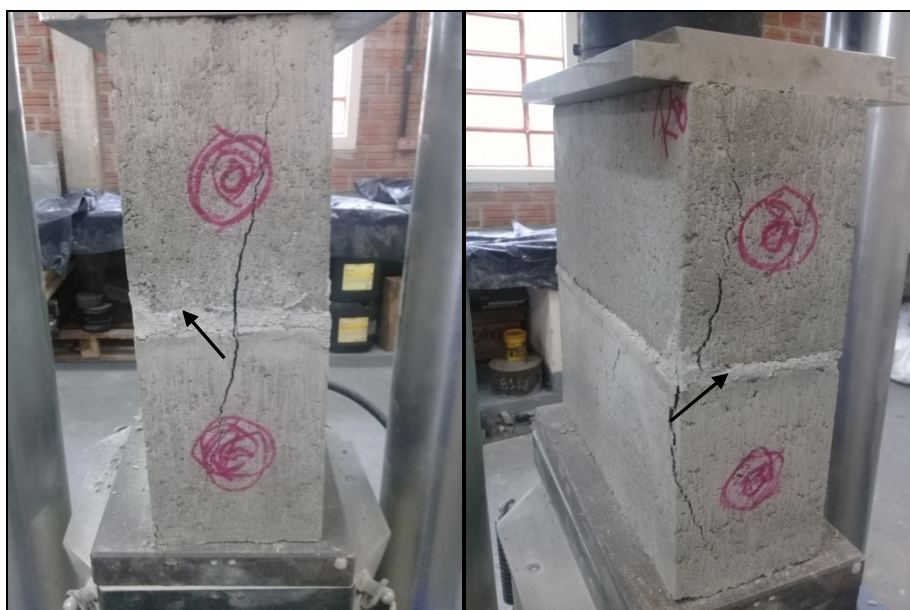
Figura 34 – Ruptura do prisma (I_A2)



Nesta situação, tem-se que $f_{arg28} = 1,34 \cdot f_{bl,est}$, o que, de acordo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) está dentro do intervalo recomendado para uso.

4.3.3.2 Prismas Moldados com Argamassas do Tipo B

Nas Figuras 35 e 36 é possível analisar como se deu a ruptura nos prismas compostos por argamassas mistas do tipo M_B e blocos do tipo BI_1 e BI_2, caracterizada por ruptura do conjunto. Nestas situações, as relações entre a resistência da argamassa e do bloco de concreto estão dentro dos parâmetros recomendados para uso, segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013).

Figura 35 – Ruptura do prisma (M_B1)**Figura 36 – Ruptura do prisma (M_B2)**

A ruptura do conjunto, que é a mais desejável, se deu pelo surgimento de fissura vertical no bloco, precedida de indícios de ruptura conjunta da argamassa, através da sua fissuração, conforme descrito por Passos et al. (2009) e Cheema e Klingner (1986).

Ainda dentro do intervalo recomendado pelos autores para uso das argamassas, foram produzidos os prismas ilustrados nas Figuras 37 e 38, compostos por blocos do tipo BI_1 e BI_2 em conjunto com argamassa industrializada do tipo I_B.

Figura 37 – Ruptura do prisma (I_B1)**Figura 38 – Ruptura do prisma (I_B2)**

Nestes casos, as rupturas dos prismas ocorreram de forma análoga aos prismas onde foi utilizada argamassa mista (M_B), o que comprova a qualidade das argamassas industrializadas, embora os valores referentes à resistência à compressão destes prismas tenham sido levemente inferiores àqueles.

4.3.3.3 Prismas Moldados com Argamassas do Tipo C

Neste item encontram-se os prismas moldados com as argamassas de menor resistência, como M_C e I_C. A Figura 39 ilustra o conjunto composto por BI_1 e argamassa M_C. Para esta situação, tem-se que $f_{arg28} = 0,72 \cdot f_{bk,est}$, ou seja, apresenta-se levemente superior ao valor de 70% recomendado para uso no assentamento de blocos de concreto, de acordo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013).

Figura 39 - Ruptura do prisma (M_C1)



Quando utilizada a mesma argamassa (M_C) para assentamento do bloco do tipo BI_2, cuja resistência é superior, verificou-se que a argamassa então passa a não compreender mais o intervalo recomendado para uso, visto que $f_{arg28} = 0,48 \cdot f_{bk,est}$. Nas duas situações citadas, as rupturas dos prismas, conforme ilustrado na Figura 40, ocorreram por tração no bloco, caracterizada pelo surgimento de fissuras verticais indicadas por setas.

Figura 40 – Ruptura do prisma (M_C2)



Este tipo de ruptura ocorreu nos prismas onde foram utilizadas argamassas mais fracas pois quando solicitada à compressão no sentido vertical, a alvenaria, pelo efeito de Poisson, deforma-se lateralmente. A junta por ser mais flexível que o bloco tende a expandir-se mais no sentido perpendicular à aplicação do carregamento. Assim, aparecem tensões de compressão lateral na argamassa e, para que seja mantido o equilíbrio de tensões, o bloco fica sujeito a tensões de tração. Uma vez que a resistência à tração da unidade é pequena, a ruptura da alvenaria ocorre geralmente na unidade, sob estado biaxial de tração-compressão (PRIESTLEY et al., 1984), caracterizada pela fissuração vertical do bloco, perpendicular às tensões de tração lateral.

Shrive (1983 apud MOHAMAD, 1998) afirma que a ruptura da alvenaria carregada à compressão é fundamentalmente a mesma de qualquer material frágil como concreto, vidro, pedra e que as tensões laterais devido à diferentes coeficientes de poisson entre a unidade e argamassa são muito pequenas para ser a causa principal da ruptura. O mesmo autor destaca que as fissuras na alvenaria originam-se nos vazios do material criando tensões de tração lateral localizadas e maiores do que as avaliadas através de testes feitos em laboratórios.

Analogamente ao conjunto BI_1 e M_C, substituindo a argamassa mista pela industrializada, do tipo I_C, mantém-se as mesmas situações quando

relacionadas as resistências da argamassa e do bloco. Neste caso, o modo de ruptura se deu por tração no bloco, como se verifica na Figura 41.

Figura 41 - Ruptura do prisma (I_C1)



Para o último caso, no qual, utiliza-se o Bl_2 em conjunto com a argamassa industrializada I_C, verificou-se que a ruptura se deu por tração no bloco de concreto e destaca-se que, conforme indicado pela circunferência na Figura 42, há indícios de falta de aderência entre o bloco e argamassa.

Figura 42 – Ruptura do prisma (I_C2)



As argamassas fracas acomodam-se melhor a pequenos movimentos, visto que as fissuras se distribuem uniformemente e têm espessuras capilares. Em contrapartida apresentam maior desgaste da superfície externa (quando não revestidas) e menor capacidade de aderência.

4.3.4 Estimativa do Desempenho da Parede de Alvenaria

O EUROCÓDIGO 6 (1995) possibilita determinar a resistência característica à compressão da alvenaria (f_k), não apenas em função do elemento estrutural, mas também da influência da resistência da argamassa, utilizando-se a Equação 3 (item 2.3.1).

Colville & Wolde-Tinsae (1990 apud ROMAGNA, 2000), sugerem estimativas de resistência à compressão da alvenaria (f_{alv}) de acordo com a resistência do prisma, utilizando-se a Equação 4 (item 2.3.1).

De posse dos valores médios de resistência à compressão dos blocos de concreto BI_1 e BI_2 (8,33 e 11,98 MPa, respectivamente), das argamassas e dos prismas, estimou-se a resistência à compressão da alvenaria, cujos resultados estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 – Estimativas de resistência à compressão e módulo de deformação da alvenaria

Tipos de Argamassas	Resultados dos ensaios		Colville & Wolde-Tinsae (1990)		EUROCÓDIGO 6 (1995)		
	f_a (MPa)	f_p^* (MPa)		f_{alv} (MPa)		f_k (MPa)	
		BI_1	BI_2	BI_1	BI_2	BI_1	BI_2
M_A	13,53	6,74	7,26	8,93	4,45	3,76	4,94
M_B	8,77	6,95	7,42	5,79	4,59	3,37	4,43
M_C	5,17	5,35	6,46	3,41	3,53	2,96	3,88
I_A	14,48	6,61	6,75	9,56	4,36	3,83	5,02
I_B	10,75	6,70	7,21	7,10	4,42	3,55	4,66
I_C	5,68	5,16	6,32	3,75	3,40	3,03	3,98

f_a : resistência média à compressão das argamassas

f_p^* : resistência média à compressão dos prismas

Pela análise dos dados apresentados na Tabela 25, verifica-se também que os valores estimados por ambos os métodos apresentaram-se próximos. Verifica-se ainda que a resistência da alvenaria, por meio das duas estimativas, é inferior à resistência à compressão dos prismas. Romagma (2000) afirma que esta característica dos prismas em resultarem resistências maiores que as encontradas nas paredes é previsível devida à redução do efeito das juntas e da sua esbeltez.

Drysdale et al. (1994) cita que a resistência da alvenaria é inferior à do bloco, pois este, quando ensaiado, além de não estar sujeito à tração lateral, sofre o efeito do confinamento dos pratos da prensa (função da baixa relação altura/espessura da unidade).

CONCLUSÃO

Embora diversos pesquisadores afirmem que as propriedades da argamassa têm pequena influência sobre a resistência de prismas, isto não foi observado nos resultados deste trabalho. Notou-se que argamassas com praticamente a mesma resistência e rigidez, diferindo em outras propriedades, como na capacidade de retenção de água, por exemplo, podem produzir prismas que apresentem, além de diferentes tipos de ruptura, resistências à compressão e fatores de eficiência distintos.

Além do mais, conforme já salientado, um aumento da resistência da argamassa não significa necessariamente um melhor desempenho do prisma, visto que o módulo de elasticidade da argamassa não aumenta na mesma proporção que a sua resistência à compressão. Desse ponto de vista, verificou-se que a utilização de argamassas de mesma resistência, contudo com módulos diferentes, não garante que os prismas com elas confeccionados, mantendo-se invariável o bloco utilizado, tenham a mesma resistência. Por outro lado, notou-se também que o uso de argamassas de mesmo módulo de elasticidade, contudo, com resistências à compressão distintas, conferem prismas com valores de resistência à compressão e fatores de eficiência distintos.

Os resultados apresentados indicam ainda tendências de compatibilização entre as argamassas e os blocos de concreto, quando assentados como prismas de dois blocos, reafirmando o intervalo indicado por diversos autores para utilização: resistência da argamassa entre 0,7 e 1,5 da resistência característica do bloco, uma vez que os prismas que atenderam esta recomendação apresentaram melhor desempenho em relação à resistência à compressão e fator de eficiência, além do seu modo de ruptura ter sido caracterizado por ruptura do conjunto, que é a mais desejável. Constatou-se também que se mantendo o mesmo bloco de concreto na moldagem dos prismas, a ruptura daqueles moldados com as argamassas mais rígidas geralmente ocorreu pelo esmagamento da junta de argamassa e daqueles moldados com argamassas menos rígidas, por tração no bloco.

Ainda referente aos prismas, conclui-se também que, à medida que se aumenta a resistência do bloco de concreto, há um aumento da sua resistência à compressão, no entanto, não proporcionalmente, assim como uma diminuição do

seu fator de eficiência. Com relação ao comportamento da alvenaria, é possível estimar suas características mecânicas por meio do estudo de modelos de menor dimensão.

Os resultados mostraram também que, embora haja uma determinada tendência de comportamento ao se correlacionar as propriedades da argamassa com a resistência à compressão dos prismas, esta tendência não se confirma em todos os casos, como por exemplo, para resistência à compressão e módulo de elasticidade, visto que ao se alterar o bloco utilizado, as correlações também foram afetadas.

Concluiu-se então que, de um modo geral, especificação de argamassas para alvenaria estrutural não deve ser baseada unicamente em sua resistência à compressão. Deve-se dar especial atenção às demais propriedades, tais como teor de ar incorporado, retenção de água e retração, principalmente quando do uso de argamassas industrializadas, já que, devido à sua diferente composição, podem apresentar comportamento completamente distinto do de argamassas mistas de cimento e cal, mesmo que tenham algumas propriedades semelhantes.

4.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer do presente trabalho, algumas lacunas foram observadas, identificando-se a necessidade de estudos adicionais que poderiam completar ou dar prosseguimento a esta investigação, tais como:

- Determinar experimentalmente a resistência à compressão e o módulo de deformação de prismas de três blocos, paredinhas e paredes; representando numericamente o comportamento da interface entre junta de argamassa e bloco;
- Obter o comportamento dos elementos de alvenaria por meio da aplicação de deslocamento prescrito nos modelos numéricos com aquisição do trecho descendente completo da curva tensão-deformação e simular numericamente as estruturas de alvenaria por meio de elementos finitos;

- Estudos biaxiais em blocos, para avaliar a envoltória de ruptura dos mesmos sob estados combinados de tensão (tração e compressão) e estudo triaxiais em argamassas, para avaliar a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson confinado da argamassa.

5 REFERÊNCIAS

ACCETTI, K. M. **Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria.** São Carlos. 1998. 247 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ALY, V. L. C. ; SABBATINI, F. H. **Determinação de correlações de resistência mecânica de paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto.** In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1992, Florianópolis. Proceedings... Florianópolis: UFSC, 1992. p. 115-126.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318-89: **Building code requirements for masonry.** Detroit, Michigan. 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1876 - 09: **Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration.** West Conshohocken, 2009. 16 p.

_____. ASTM C 270 – 82 – **Standard specification for mortar for unit masonry.** In: Annual Book of ASTM. Standards. Philadelphia. 1982.

_____. ASTM C 447 – 97 – **Standard test method for compressive strength of laboratory constructed masonry prisms.** In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136: **bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural: especificação.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 7211: **Agregado para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 7215: **Determinação da resistência à compressão: cimento Portland.** Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 9289: **Cal hidratada para argamassas - Determinação da finura.** Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR 11579: **Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)** Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 12118: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 13277: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15261: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear).** Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15630: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica.** Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 15961-1: **Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 1: Projeto.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 15961-2: **Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 2: Execução e controle de obras.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. Normas Mercosul. NBR NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. Normas Mercosul. NBR NM 45: **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. Normas Mercosul. NBR NM 46: **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. Normas Mercosul. NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. Normas Mercosul. NBR NM 248: **Composição Granulométrica dos agregados.** Rio de Janeiro, 2003

ATKINSON, R. H.; NOLAND, J. L. **A proposed failure theory for brick masonry in compression.** In: 3rd CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 1983, Edmonton, Proceedings, 1983, Canadá, pp. 5-1, 5-17.

BARBOSA, C. S.; OLIVEIRA, F. L.; HANAI, J. B. **Influência da variação geométrica dos blocos de concreto no comportamento dos prismas submetidos à compressão axial**. In: Anais do 5º SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2003, São Paulo. 1 CD-ROM.

BASTOS, P. K. X.; NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Comparação da retração de argamassas industrializadas e mistas de revestimento nos estados fresco e endurecido**. In: Anais do VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Florianópolis – SC, 2005.

BEALL, C. **Masonry design and detailing for architects, engineers, and builders**. New York, McGraw – Hill Book Company, 1987.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION - BS 5628: Part 1: **structural use of unreinforced masonry**. London, 1992.

_____. BS 5628: Part 2: **structural use of reinforced and prestressed masonry**. London, 1992.

BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CAMACHO, J. S. **Alvenaria Estrutural não armada – Parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1986.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos - Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. USP - Escola Politécnica. 1996.

_____.; CASCUDO, O. **Avaliação experimental da resistência ao cisalhamento da alvenaria**. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Florianópolis. Brasil. 1994.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. de F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR-6118 (NB1/80) e a proposta de 1999 (NB1/99)**. Editora UFSCAR. São Carlos. SP. 2001.

CARVALHO JR., A. N.; RIBAS, L.C. **Ganhos nos potencial produtivo através da substituição de argamassa de revestimento rodada em obra por industrializada em sacos**. In: Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves, RS. 2007.

CASALI, J. M. **Estudo comparativo do comportamento de diferentes tipos de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto**.

2003. Dissertação (Mestrado - Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

_____; WEIDMANN, D. F.; PRUDENCIO JR, L. R. **Determinação da resistência da argamassa na junta de alvenaria estrutural por meio do ensaio de penetração de pino**. Anais do VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Florianópolis, 2005. p. 423 - 432.

_____; PRUDENCIO JR, L. R. **ew test method for the evaluation of the workability of concrete block masonry bedding mortars**. Proceedings of 14th International Brick and Block Masonry Conference, Sidney, 2008.

CHEEMA, T. S.; KLINGNER, R. E. **Compressive strength of concrete masonry prisms**. American Concrete Institute Journal. Farmington Hills, 1986, jan./feb. p. 88-97.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassa de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. Boletim 68 Instituto de Pesquisa Tecnológicas. Sao Paulo, 1995.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETÓN (1990). *CEB-FIP model code 1990*. Bulletin d'Information.

COSTA, F.; BUSNELLO, E. C.; ANDRADE, E.; SADOWSKI, F. **Reciclagem de resíduos de concreto através de beneficiamento e suas aplicações em central de concreto na cidade de Florianópolis**. In: Anais do 46º Congresso Brasileiro do Concreto, 2004, Florianópolis. Santa Catarina: IBRACON, 2004. CD-ROM.

CUNHA, E. H. **Análise experimental do comportamento de prismas grauteados em alvenaria estrutural**. 2001. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

DA MATA, R. C. **Efeito do padrão de argamassamento nas distribuições de tensões da alvenaria pelo MEF**. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Curitiba, PR – 2009.

_____; LA ROVERE, H. L.; PRUDENCIO JR. **Influência do padrão de argamassamento na distribuição de tensões de prismas de bloco de concreto submetidos à compressão**. Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves, RS- 2007.

DRYSDALE, R.G.; HAMID, A.A.; BAKER, L.R. **Masonry structures: behavior and design**. Enhillewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall. 1994.

EUROCÓDIGO 6. **ENV 1996-1-1**: Proyecto de estructuras de fábrica. Reglas generales para edificios. Reglas para fábrica y fábrica armada. Madrid. 1995.

FONSECA, F. B. **Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição**. 2002. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

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

FREITAS, C. **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2010.

GALLEGOS, H. (1989). **Albañilería estructural.** 2 ed. Lima, Fondo Editorial d Pontificia Universidad Católica del Peru.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicas.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

GOMES, N. G. **A resistência das paredes de alvenaria.** 191p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1974.

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

GUACELLI, P. A. G. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas balsáticas para argamassas de revestimento.** 2010. 166 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2010.

HAMID, R. G.; DRYSDALE. **Effect of grouting on the strength characteristics of concrete block masonry** - Proceedings of North American Masonry Conference, Boulder, CO, August 1979.

HENDRY, A. W. **Structural Brickwork.** Londres, The Macmillan Press Ltd. 1981.

ISHIKAWA, P. H. **Propriedades de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2003.

JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão.** 126p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

KHALAF, F. M.; HENDRY, A. W.; FAIRBRAIN, D. R. **Mechanical properties of material used in concrete blockwork construction.** Magazine of Concrete Research, Edinburgh, 1994. v. 44.

KNUTSSON, H. H.; NIELSEN, J. **On the modulus of elasticity for masonry.** In: Journal of the British Masonry Society. Outubro. 1995. pg 57-61.

LA ROVERE, H. L. **Análise do comportamento mecânico de prismas de alvenaria de blocos de concreto por M.E.F.** In: Anais da XXVIII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Vol 1, São Carlos –SP, 1997. P. 179-188.

MAAS, C. R. **Resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural, com blocos assentados com argamassa plena e longitudinal.** Campinas - SP, Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

MANSUR, A. A. P.; MANSUR, H.S. **Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico).** In: 17o Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos materiais. Foz do Iguaçu-PR, 2006.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** São Paulo. 2 v. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.1993.

_____; SABBATINI, F. H. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: Produção de componentes e parâmetros de projeto.** Boletim Técnico - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 20 p. 1993.

MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais.** 1998. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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

_____; ROMAN, H. R.; SEGAVE, A. M. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto.** In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7., 2002, Belo Horizonte. Proceedings. p.119-24.

NAKAKURA, E. H. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2004.

OLIVEIRA, M. J. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem.** 2002. 191f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

PANARESE, W. C, KOSMATKA, S. H., RANDALL, F. A. **Concrete Masonry Handbook for architects, Engineers, Builders.** Portland Cement Association, 5a ed. Estados Unidos da America, 1991. 219p.

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

_____.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e Dimensionamento de Alvenaria Estrutural**. 2. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2013. v.1.

PASSOS, J. S.; KHOURI, M. E.; JACINTHO, A. E.; CANDIDO, W. F. **Requisitos e tendências para o controle da qualidade da alvenaria estrutural**. In: Anais do 51o Congresso Brasileiro do Concreto. Curitiba – PR, 2009.

PENTEADO, A. F. **Gestão da produção do sistema construtivo em alvenaria estrutural**. Tese (doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campinas. Campinas-SP, 2003.

PRADO, S. H. **Resistência à compressão de tijolos e blocos cerâmicos de diferentes formas e dimensões**. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

PRUDÊNCIO JR., L. R. **Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes**. 1986. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

_____.; OLIVEIRA, A. L., BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis, 2003. Editora Gráfica Palloti. 208 p.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1.ed. São Paulo: Pini. 2003.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: EdUFSC, 1999. 83 p.

ROMAGNA, R. H. **Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados**. 195p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

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

_____. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim Técnico-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 26 p. 1986.

_____. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 2 ed. 1998.

SAHLIN, S. Structural masonry. Englewood Cliffs, Prentice Hall. 1971.

SANTOS, F. A. **Efeito do não-preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria estrutural**. 2001. 173p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SCHANKOSKI, R. A. **Influência do tipo de argamassa nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto de alta resistência.** 2012. 207p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

SILVA, A. F. **Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural.** 2007. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira – SP.

SOLÓRZANO, M. G. P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto.** 203p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1994.

STEIL, R.O. **Efeito da geometria do bloco de concreto e do tipo de argamassa no desempenho à compressão de prismas de alvenaria não grauteados.** 2003. 178p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

_____.; CALCADA, L. M. L.; OLIVEIRA, A. L.; MARTINS, C. V.; PRUDENCIO JR., L. R.. **Influência do tipo de argamassa no fator de eficiência e na deformabilidade de alvenarias estruturais de blocos de concreto.** In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001.

_____.; PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R. **Influência da geometria dos blocos no fator de eficiência das alvenarias estruturais de blocos de concreto.** In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7. 2002, Belo Horizonte. Proceedings. p.411-19.

TANGO, C. E. S. **Ensaio de controle de alvenaria estrutural de blocos de concreto.** Seminário sobre Inspeção de Concreto. Publicação I.11. Instituto Brasileiro de Concreto. 1981.

YOSHIDA, A. T., BARROS, M. M. S. B. **Caracterização de argamassas no estado fresco: peculiaridades na análise de argamassas industrializadas.** Anais do I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Goiânia, 1995. p. 53 - 62.

ANEXOS

ANEXOS A

Propriedades dos blocos de concreto

Tabela A.1 - Resistência à compressão dos blocos de concreto

Tipo	Amostra	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
BI_1	I	8,65	8,33	0,53	6,39
	II	8,60			
	III	8,85			
	IV	7,36			
	V	8,16			
	VI	8,34			
BI_2	I	12,40	11,98	0,74	6,20
	II	12,18			
	III	10,51			
	IV	12,38			
	V	12,45			
	VI	11,94			

Tabela A.2 – Absorção de água dos blocos de concreto BI_1

Amostra	Massa (g)				Volume (cm³)	Massa esp. (g/cm³)	Absorção (%)	Umidade (%)
	Seca ao ar	Seca em estufa	Saturada	Imersa				
I	11660	11460	12300	6735	5565	2,10	7,33	23,81
II	12060	11720	12620	6975	5645	2,14	7,68	37,78
III	12200	11820	12820	7055	5765	2,12	8,46	38,00
IV	11700	11400	12320	6735	5585	2,09	8,07	32,61
V	11940	11640	12560	6925	5635	2,12	7,90	32,61
VI	11660	11380	12260	6745	5515	2,11	7,73	31,82
Média	11870	11570	12480	6862	5618	2,11	7,86	32,77

Tabela A.3 - Absorção de água dos blocos de concreto BI_2

Amostra	Massa (g)				Volume (cm³)	Massa esp. (g/cm³)	Absorção (%)	Umidade (%)
	Seca ao ar	Seca em estufa	Saturada	Imersa				
I	12340	11860	12920	7040	5880	2,10	8,94	45,28
II	12140	11660	12760	6935	5825	2,08	9,43	43,64
III	12540	12040	13080	7145	5935	2,11	8,64	48,08
IV	12300	11860	12840	7045	5795	2,12	8,26	44,90
V	12520	12000	13000	7130	5870	2,13	8,33	52,00
VI	12480	12020	12980	7080	5900	2,12	7,99	47,92
Média	12387	11907	12930	7063	5868	2,11	8,60	46,97

Tabela A.4 - Módulo de elasticidade dinâmicos dos blocos de concreto (Sonelastic)

Tipo de Bloco	Amostra	Módulo (GPa)	Tipo de Bloco	Amostra	Módulo (GPa)
BI_1	I	15,78	BI_2	I	31,45
		15,78			31,41
		15,70			31,42
	II	17,85		II	35,22
		18,23			35,20
		17,65			35,15
	III	16,53		III	26,00
		15,92			26,53
		15,92			26,20
	IV	18,93		IV	33,09
		19,27			33,06
		18,93			33,07

Tabelas A.5 – Estimativa do módulo de elasticidade dinâmicos dos blocos de concreto

ACI							
Tipo de Bloco	Amostra	f_{bm} (MPa)	Wb (Kg/m ³)	Módulo (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
BI_1	I	13,40	1296,36	7311,50	7925,38	324,27	4,09
	II	14,85	1308,42	7806,32			
	III	15,18	1332,94	8114,82			
	IV	15,65	1317,71	8099,48			
	V	15,74	1314,93	8097,31			
	VI	16,11	1307,69	8122,84			
BI_2	I	19,13	1331,65	9096,37	9632,56	442,73	4,60
	II	21,73	1366,95	10083,47			
	III	22,17	1372,67	10248,34			
	IV	22,53	1294,45	9461,69			
	V	22,57	1301,13	9542,70			
	VI	22,66	1283,01	9362,82			
CEB							
Tipo de Bloco	Amostra	f_{bm} (MPa)	Wb (Kg/m ³)	Módulo (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
BI_1	I	13,40	1296,36	27558,55	28704,53	625,24	2,18
	II	14,85	1308,42	28522,91			
	III	15,18	1332,94	28731,12			
	IV	15,65	1317,71	29026,63			
	V	15,74	1314,93	29082,77			
	VI	16,11	1307,69	29305,21			
BI_2	I	19,13	1331,65	31033,54	32402,57	463,32	1,43

	II	21,73	1366,95	32381,62
	III	22,17	1372,67	32597,15
	IV	22,53	1294,45	32774,60
	V	22,57	1301,13	32792,24
	VI	22,66	1283,01	32836,25

NBR 6118						
Tipo de Bloco	Amostra	Resistência (MPa)	Módulo (GPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
B1	I	7,36	20,61	23,31	1,49	6,39
	II	8,16	22,85			
	III	8,34	23,35			
	IV	8,6	24,08			
	V	8,65	24,22			
	VI	8,85	24,78			
B2	I	10,51	29,43	33,53	1,40	4,18
	II	11,94	33,43			
	III	12,18	34,10			
	IV	12,38	34,66			
	V	12,4	34,72			
	VI	12,45	34,86			

ANEXOS B –

Propriedades das argamassas

Tabela B.1 - Densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas mistas

Tipos de Argamassa	Amostra	M molde (g)	M molde + arg (g)	V molde (cm ³)	Dens. De Massa (g/cm ³)	Dens. De Massa teórico (g/cm ³)	Teor de ar Incorporado (%)
M_A	I	628,70	1044,90	196,35	2,12	2,19	3,39
	II	560,40	974,00	196,35	2,11		4,00
	III	459,70	877,70	196,35	2,13		2,98
	IV	468,20	890,30	196,35	2,15		2,02
M_B	I	758,30	1163,30	196,35	2,06	2,17	4,91
	II	527,00	936,10	196,35	2,08		3,95
	III	554,80	962,40	196,35	2,08		4,30
	IV	772,30	1189,30	196,35	2,12		2,09
M_C	I	668,50	1072,60	196,35	2,06	2,15	4,22
	II	650,10	1055,30	196,35	2,06		3,96
	III	649,10	1053,90	196,35	2,06		4,06
	IV	652,80	1059,30	196,35	2,07		3,65

Tabela B.2 - Densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas industrializadas

Tipos de Argamassa	Amostra	M molde (g)	M molde + arg (g)	V molde (cm ³)	Dens. De Massa (g/cm ³)	Dens. De Massa teórico (g/cm ³)	Teor de ar Incorporado (%)
I_A	I	631,50	1067,30	196,35	2,22	2,08	6,71
	II	554,10	1004,90	196,35	2,30		10,38
	III	651,50	1103,60	196,35	2,30		10,70
	IV	555,50	1005,20	196,35	2,29		10,11
I_B	I	464,50	916,20	196,35	2,30	2,08	10,60
	II	538,70	992,70	196,35	2,31		11,16
	III	539,40	992,30	196,35	2,31		10,89
	IV	836,50	1288,70	196,35	2,30		10,72
I_C	I	556,60	1009,10	196,35	2,30	2,08	10,80
	II	515,60	974,70	196,35	2,34		12,41
	III	659,30	1101,30	196,35	2,25		8,23
	IV	662,20	1114,00	196,35	2,30		10,62

Tabela B.3 – Retenção de água das argamassas mistas

Tipos de Argamassa	Amostra	M molde (g)	M molde + arg (g)	M discos secos (g)	M discos molhados (g)	AF	Retenção de Água (%)
M_A	I	628,70	1044,90	1,9	4,8	0,14	95,12
	II	560,40	974,00	2,0	4,3		96,11
	III	459,70	877,70	2,1	4,7		95,65
M_B	I	758,30	1163,30	2,0	4,2	0,15	96,41
	II	527,00	936,10	2,0	4,4		96,13
	III	554,80	962,40	1,9	4,9		95,14
M_C	I	668,50	1072,60	1,9	3,7	0,16	97,20
	II	650,10	1055,30	1,8	3,7		97,05
	III	649,10	1053,90	2,1	3,8		97,36

Tabela B.4 – Retenção de água das argamassas industrializadas

Tipos de Argamassa	Amostra	M molde (g)	M molde + arg (g)	M discos secos (g)	M discos molhados (g)	AF	Retenção de Água (%)
I_A	I	464,50	917,20	2,1	4,5	0,15	96,52
	II	538,70	992,70	2,2	4,4		96,82
	III	539,40	992,30	2,1	4,4		96,67
I_B	I	631,50	1067,30	2,4	3,8	0,15	97,89
	II	554,10	1004,90	2,6	3,9		98,11
	III	651,50	1103,60	2,3	3,5		98,26
I_C	I	556,60	1009,10	2,3	3,9	0,15	97,68
	II	515,60	974,70	2,4	3,9		97,86
	III	659,30	1101,30	2,3	3,5		98,22

Tabela B.5 - Resistência à compressão das argamassas mistas aos 7 dias

Tipo de Argamassa	Amostra	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	I	11,30	11,15	0,86	7,70
	II	11,80			
	III	11,60			
	IV	9,90			
M_B	I	6,90	7,95	1,07	13,41
	II	9,10			
	III	7,20			
	IV	8,60			
M_C	I	4,90	4,60	0,41	8,87
	II	4,20			
	III	4,30			
	IV	5,00			

Tabela B.6 – Resistência à compressão das argamassas mistas aos 28 dias

Tipo de Argamassa	Amostra	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	I	13,82	13,61	0,24	1,74
	II	13,40			
	III	13,40			
	IV	13,80			
M_B	I	9,00	8,98	0,45	5,01
	II	8,60			
	III	9,60			
	IV	8,70			
M_C	I	5,18	5,17	0,17	3,29
	II	5,00			
	III	5,40			
	IV	5,10			

Tabela B.7 - Resistência à compressão das argamassas ind. aos 7 dias

Tipo de Argamassa	Amostra	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
I_A	I	11,80	10,90	1,30	11,96
	II	11,10			
	III	11,70			
	IV	9,00			
I_B	I	5,57	6,26	0,68	10,90
	II	6,03			
	III	6,26			
	IV	7,19			
I_C	I	2,32	2,00	0,26	12,85
	II	2,09			
	III	1,86			
	IV	1,74			

Tabela B.8 - Resistência à compressão das argamassas ind. aos 28 dias

Tipo de Argamassa	Amostra	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
I_A	I	14,50	14,48	0,47	3,26
	II	14,80			
	III	13,80			
	IV	14,80			
I_B	I	11,30	10,75	0,85	7,95
	II	11,30			
	III	9,50			
	IV	10,90			
I_C	I	4,80	5,68	0,61	10,71
	II	5,80			
	III	5,90			
	IV	6,20			

Tabela B.9 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas mistas (7 dias)

Tipo de Argamassa	Amostra	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Massa específica (g/cm ³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Média (GPa)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	I	36,67	2715,33	1,82	12,1	12,59	0,55	4,39
	II	36,17	2766,00	1,90	13,1			
	III	37,67	2656,33	1,92	12,2			
	IV	36,50	2740,00	1,93	13,1			
M_B	I	41,67	2400,33	1,86	9,6	10,18	0,47	4,63
	II	40,50	2469,33	1,92	10,5			
	III	41,67	2400,33	1,91	9,9			
	IV	39,83	2510,67	1,87	10,6			
M_C	I	50,17	1993,33	1,93	6,9	6,52	0,42	6,39
	II	50,33	1986,67	1,90	6,8			
	III	51,00	1961,00	1,87	6,5			
	IV	53,17	1881,67	1,87	5,9			

Tabela B.10 - Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas mistas (28 dias)

Tipo de Argamassa	Amostra	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Massa específica (g/cm ³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Média (GPa)	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	I	33,90	2950,00	1,91	14,9	14,66	0,84	5,72
	II	35,40	2826,33	1,90	13,6			
	III	33,40	3009,33	1,92	15,6			
	IV	34,73	2879,00	1,93	14,4			
M_B	I	38,23	2615,67	1,86	11,4	12,18	0,58	4,79
	II	36,90	2710,33	1,88	12,4			
	III	36,23	2760,67	1,87	12,8			
	IV	37,73	2650,67	1,91	12,1			
M_C	I	49,40	2024,00	1,85	6,8	7,12	0,34	4,79
	II	47,73	2088,00	1,86	7,3			
	III	49,40	2024,00	1,86	6,8			
	IV	47,23	2117,33	1,86	7,5			

Tabela B.11 - Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas ind. (7 dias)

Tipo de Argamassa	Amostra	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Massa específica (g/cm ³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Média (GPa)	Desvio Padrão	CV (%)
I_A	I	36,00	2778,00	2,08	14,4	13,83	0,71	5,17
	II	36,83	2715,33	2,08	13,8			
	III	38,17	2620,33	2,08	12,8			
	IV	36,17	2765,33	2,07	14,3			
I_B	I	39,00	2564,00	2,00	11,8	12,62	1,47	11,65
	II	39,00	2563,33	2,07	12,2			
	III	40,00	2500,00	2,07	11,7			
	IV	39,50	2532,00	2,57	14,8			
I_C	I	51,83	1929,33	2,07	6,9	7,17	0,27	3,82
	II	51,50	1942,00	2,10	7,1			
	III	51,17	1961,00	2,03	7,0			
	IV	49,67	2013,67	2,07	7,6			

Tabela B.12 - Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas ind. (28 dias)

Tipo de Argamassa	Amostra	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Massa específica (g/cm ³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Média (GPa)	Desvio Padrão	CV (%)
I_A	I	34,90	2865,67	2,07	15,3	15,89	0,88	5,53
	II	33,90	2950,33	2,08	16,3			
	III	33,23	3009,33	2,08	16,9			
	IV	35,23	2838,33	2,07	15,0			
I_B	I	37,07	2686,00	2,00	13,0	13,85	0,80	5,75
	II	35,73	2799,00	2,07	14,6			
	III	35,90	2786,00	2,07	14,5			
	IV	37,23	2686,00	2,06	13,4			
I_C	I	47,40	2110,00	2,07	8,3	7,48	0,56	7,44
	II	51,40	1952,67	2,10	7,2			
	III	50,23	1991,00	2,03	7,2			
	IV	51,07	1958,67	2,07	7,2			

Tabela B.13 - Relação entre módulo de elasticidade e resistência à compressão das argamassas mistas

Tipos de Argamassa	Amostra	$\frac{E_a}{f_a}$	Média	Desvio Padrão	CV (%)
M_A	I	957,81	992,38	35,84	3,61
	II	969,46			
	III	1036,64			
	IV	1005,63			
M_B	I	1168,05	1240,38	151,42	12,21
	II	1160,25			
	III	1165,75			
	IV	1467,46			
M_C	I	1699,91	1617,59	100,61	6,22
	II	1653,44			
	III	1470,97			
	IV	1646,05			

Tabela B.14 - Relação entre módulo de elasticidade e resistência à compressão das argamassas industrializadas

Tipos de Argamassa	Amostra	$\frac{E_a}{f_a}$	Média	Desvio Padrão	CV (%)
I_A	I	1048,86	1132,56	67,37	5,95
	II	1204,34			
	III	1112,19			
	IV	1164,85			
I_B	I	1278,29	1324,81	32,14	2,43
	II	1332,55			
	III	1336,39			
	IV	1352,02			
I_C	I	1631,48	1677,84	43,68	2,60
	II	1702,87			
	III	1651,63			
	IV	1725,39			

B.15 – Retração das argamassas mistas

Tipos de Argamassa	Leituras (mm)				Retração (mm/m)					
					1 dia	Média	7 dias	Média	28 dias	Média
	Inicial	1 dia	7 dias	28 dias						
M_A	2,047	1,928	1,817	1,802	-0,436		-0,920		-0,980	
	2,270	2,267	2,153	2,140	-0,012	-0,153	-0,468	-0,615	-0,520	-0,673
	1,669	1,666	1,555	1,539	-0,012		-0,456		-0,520	
M_B	2,096	2,072	1,967	1,951	-0,096		-0,516		-0,580	
	2,015	1,998	1,895	1,880	-0,068	-0,060	-0,480	-0,476	-0,540	-0,543
	1,492	1,488	1,384	1,365	-0,016		-0,432		-0,508	
M_C	2,125	2,087	1,963	1,950	-0,152		-0,648		-0,700	
	2,123	2,151	2,102	2,089	0,112	-0,077	-0,084	-0,452	-0,136	-0,507
	2,543	2,495	2,387	2,372	-0,192		-0,624		-0,684	

B.16 - Retração das argamassas industrializadas

Tipos de Argamassa	Leituras (mm)				Retração (mm/m)					
					1 dia	Média	7 dias	Média	28 dias	Média
	Inicial	1 dia	7 dias	28 dias						
M_A	1,726	1,71	1,567	1,542	-0,064		-0,636		-0,736	
	1,021	0,97	0,8	0,78	-0,204	-0,109	-0,884	-0,764	-0,964	-0,829
	1,331	1,316	1,138	1,134	-0,060		-0,772		-0,788	
M_B	1,746	1,744	1,626	1,608	-0,008		-0,480		-0,552	
	1,423	1,36	1,23	1,208	-0,252	-0,109	-0,772	-0,609	-0,860	-0,691
	1,642	1,625	1,498	1,477	-0,068		-0,576		-0,660	
M_C	0,956	0,948	0,897	0,872	-0,032		-0,236		-0,336	
	2,426	2,416	2,357	2,312	-0,040	-0,037	-0,276	-0,284	-0,456	-0,544
	2,109	2,099	2,024	2,019	-0,040		-0,340		-0,364	

Tabela B.17 – Absorção de água das argamassas mistas (7 dias)

Tipos de Argamassa	Amostra	Massa (g)				Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)
		Seca	Saturado c/ imersão	Imersa	Absorção (%)			
M_A	I	363,0	409,2	205,3	12,73	12,58	0,26	2,05
	II	368,6	415,8	208,3	12,81			
	III	360,7	406,0	205,4	12,56			
	IV	361,6	405,8	205,2	12,22			
M_B	I	353,0	399,3	201,0	13,12	13,30	0,53	4,00
	II	361,8	408,8	205,5	12,99			
	III	360,0	406,8	204,5	13,00			
	IV	358,3	408,8	202,6	14,09			
M_C	I	363,7	414,7	211,7	14,02	14,06	0,28	2,03
	II	362,5	413,2	210,0	13,99			
	III	346,7	396,8	202,0	14,45			
	IV	354,4	403,2	206,8	13,77			

Tabela B.18 – Absorção de água das argamassas industrializadas (7 dias)

Tipos de Argamassa	Amostra	Massa (g)				Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)
		Seca	Saturado c/ imersão	Imersa	Absorção (%)			
I_A	I	392,6	445,1	230,0	13,37	13,94	0,65	4,66
	II	383,0	436,7	227,5	14,02			
	III	381,3	437,8	225,8	14,82			
	IV	386,4	438,7	228,2	13,54			
I_B	I	387,8	445,4	225,4	14,85	14,96	0,72	4,80
	II	397,6	458,7	236,4	15,37			
	III	388,5	449,2	228,8	15,62			
	IV	393,0	448	231,0	13,99			
I_C	I	387,6	453,9	235,1	17,11	17,68	1,23	6,93
	II	389,4	453,4	240,8	16,44			
	III	382,6	451,1	245,1	17,90			
	IV	383,7	457,7	238,2	19,29			

Tabela B.19 – Absorção de água das argamassas mistas (28 dias)

Tipos de Argamassa	Amostra	Massa (g)				Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)
		Seca	Saturado c/ imersão	Imersa	Absorção (%)			
M_A	I	367,2	411,7	208,0	12,12	12,40	0,20	1,62
	II	363,3	408,4	206,6	12,41			
	III	365,6	411,6	208,5	12,58			
	IV	361,9	407,1	203,7	12,49			
M_B	I	356,8	402,9	203,5	12,92	12,82	0,24	1,90
	II	354,6	400,6	202,8	12,97			
	III	360,0	406,5	206,9	12,92			
	IV	358,2	402,8	204,9	12,45			
M_C	I	349,2	394,5	204,6	12,97	12,90	0,09	0,69
	II	353,9	399,4	203,0	12,86			
	III	352,5	397,6	202,5	12,79			
	IV	359,2	405,8	211,5	12,97			

Tabela B.20 – Absorção de água das argamassas industrializadas (28 dias)

Tipos de Argamassa	Amostra	Massa (g)				Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)
		Seca	Saturado c/ imersão	Imersa	Absorção (%)			
I_A	I	398,5	450,1	238,5	12,95	13,25	0,24	1,79
	II	390,4	442,8	232,3	13,42			
	III	387,3	439,4	229,9	13,45			
	IV	393,5	445,3	233,7	13,16			

I_B	I	382,4	437,0	225,6	14,28	14,25	0,06	0,40
	II	376,8	430,5	223,7	14,25			
	III	385,4	440,0	227,5	14,17			
	IV	370,8	423,8	219,3	14,29			
I_C	I	386,6	448,1	235,2	15,91	14,64	1,38	9,41
	II	389,5	441,4	236,9	13,32			
	III	387,5	448,5	236,3	15,74			
	IV	391,2	444,3	239,9	13,57			

Tabela B.21 – Índice de vazios das argamassas mistas (7 dias)

Tipos de Argamassa	Amostra	Massa (g)				Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)
		Seca	Saturado c/ imersão	Imersa	Índice de Vazios (%)			
Ref_A	I	363,0	409,2	205,3	22,66	22,51	0,32	1,43
	II	368,6	415,8	208,3	22,75			
	III	360,7	406	205,4	22,58			
	IV	361,6	405,8	205,2	22,03			
Ref_B	I	353,0	399,3	201	23,35	23,52	0,65	2,78
	II	361,8	408,8	205,5	23,12			
	III	360,0	406,8	204,5	23,13			
	IV	358,3	408,8	202,6	24,49			
Ref_C	I	363,7	414,7	211,7	25,12	25,16	0,39	1,55
	II	362,5	413,2	210,0	24,95			
	III	346,7	396,8	202,0	25,72			
	IV	354,4	403,2	206,8	24,85			

Tabela B.22 – Índice de vazios das argamassas industrializadas (7 dias)

Tipos de Argamassa	Amostra	Massa (g)				Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)
		Seca	Saturado c/ imersão	Imersa	Índice de Vazios (%)			
Ind_A	I	392,6	445,1	230,0	24,41	25,39	0,99	3,89
	II	383,0	436,7	227,5	25,67			
	III	381,3	437,8	225,8	26,65			
	IV	386,4	438,7	228,2	24,85			
Ind_B	I	387,8	445,4	225,4	26,18	26,64	1,07	4,00
	II	397,6	458,7	236,4	27,49			
	III	388,5	449,2	228,8	27,54			
	IV	393,0	448,0	231,0	25,35			
Ind_C	I	387,6	453,9	235,1	30,30	31,84	1,90	5,98
	II	389,4	453,4	240,8	30,10			
	III	382,6	451,1	245,1	33,25			
	IV	383,7	457,7	238,2	33,71			

Tabela B.23 – Índice de vazios das argamassas mistas (28 dias)

Tipos de	Amostra	Massa (g)	Média (%)	Desvio	CV (%)
----------	---------	-----------	-----------	--------	--------

Argamassa		Seca	Saturado c/ imersão	Imersa	Índice de Vazios (%)		Padrão	
Ref_A	I	367,2	411,7	208,0	21,85	22,27	0,33	1,49
	II	363,3	408,4	206,6	22,35			
	III	365,6	411,6	208,5	22,65			
	IV	361,9	407,1	203,7	22,22			
Ref_B	I	356,8	402,9	203,5	23,12	23,05	0,35	1,53
	II	354,6	400,6	202,8	23,26			
	III	360,0	406,5	206,9	23,30			
	IV	358,2	402,8	204,9	22,54			
Ref_C	I	349,2	394,5	204,6	23,85	23,53	0,45	1,92
	II	353,9	399,4	203,0	23,17			
	III	352,5	397,6	202,5	23,12			
	IV	359,2	405,8	211,5	23,98			

Tabela B.24 – Índice de vazios das argamassas industrializadas (28 dias)

Tipos de Argamassa	Amostra	Massa (g)				Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)
		Seca	Saturado c/ imersão	Imersa	Índice de Vazios (%)			
Ind_A	I	398,5	450,1	238,5	24,39	24,66	0,26	1,06
	II	390,4	442,8	232,3	24,89			
	III	387,3	439,4	229,9	24,87			
	IV	393,5	445,3	233,7	24,48			
Ind_B	I	382,4	437,0	225,6	25,83	25,85	0,12	0,46
	II	376,8	430,5	223,7	25,97			
	III	385,4	440,0	227,5	25,69			
	IV	370,8	423,8	219,3	25,92			
Ind_C	I	386,6	448,1	235,2	28,89	27,25	1,83	6,71
	II	389,5	441,4	236,9	25,38			
	III	387,5	448,5	236,3	28,75			
	IV	391,2	444,3	239,9	25,98			

ANEXOS C

Propriedades dos prismas de dois blocos

Tabela C.1 – Resistência à compressão dos prismas com BI_1

Tipos de Argamassa	Amostra	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV(%)
M_A	I	6,93	6,74	0,48	7,09
	II	6,20			
	III	7,10			
M_B	I	7,06	6,95	0,14	2,07
	II	7,01			
	III	6,79			
M_C	I	5,36	5,35	0,29	5,42
	II	5,64			
	III	5,06			
I_A	I	7,26	6,61	0,61	9,24
	II	6,51			
	III	6,05			
I_B	I	6,45	6,70	0,50	7,44
	II	6,37			
	III	7,27			
I_C	I	4,92	5,16	0,34	6,65
	II	5,00			
	III	5,55			

Tabela C.2 – Resistência à compressão dos prismas com BI_2

Tipos de Argamassa	Amostra	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV(%)
M_A	I	7,14	7,26	0,26	3,55
	II	7,56			
	III	7,09			
M_B	I	7,04	7,42	0,35	4,73
	II	7,50			
	III	7,73			
M_C	I	6,67	6,75	0,47	6,96
	II	6,60			
	III	6,10			
I_A	I	6,64	6,75	0,47	6,96
	II	7,27			
	III	6,35			
I_B	I	7,23	7,21	0,74	10,19
	II	6,47			
	III	7,94			
I_C	I	6,11	6,32	0,22	3,47
	II	6,45			
	III	6,52			

ANEXO D

Análise estatística

Tabela D.1 – ANOVA entre argamassas do tipo A (Teor de ar incorporado)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	4	12,39106	3,097764	0,68797
Arg. Ind.	4	43,38119	10,8453	0,059554

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	120,0485	1	120,0485	321,1901	1,94E-06	5,987378
Dentro dos grupos	2,24257	6	0,373762			
Total	122,2911	7				

Tabela D.2 – ANOVA entre argamassas do tipo B (Teor de ar incorporado)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	3	10,33518	3,44506	1,405948
Arg. Ind.	3	31,18919	10,3964	0,086533

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	72,48165	1	72,48165	97,12909	0,000595	7,708647
Dentro dos grupos	2,984962	4	0,74624			
Total	75,46662	5				

Tabela D.3 – ANOVA entre argamassas do tipo C (Teor de ar incorporado)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	4	15,8928	3,973201	0,057113
Arg. Ind.	4	46,24598	11,56149	0,970195

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	115,1644	1	115,1644	224,2062	5,59E-06	5,987378
Dentro dos grupos	3,081924	6	0,513654			
Total	118,2463	7				

Tabela D.4 – ANOVA entre argamassas mistas (Teor de ar incorporado)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
M_A	3	10,36682	3,455608	0,26364
M_B	3	10,33518	3,44506	1,405948
M_C	3	12,23957	4,079857	0,017415

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,792767	2	0,396383	0,704889	0,530931	5,143253
Dentro dos grupos	3,374006	6	0,562334			
Total	4,166773	8				

Tabela D.5 – ANOVA entre argamassas industrializadas (Teor de ar incorporado)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
I_A	3	32,65832	10,88611	0,079338
I_B	3	31,18919	10,3964	0,086533
I_C	3	35,62105	11,87368	0,870523

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,39749	2	1,698745	4,917277	0,054405	5,143253
Dentro dos grupos	2,072788	6	0,345465			
Total	5,470278	8				

Tabela D.6 – ANOVA entre argamassas do tipo A (Retenção de água)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	3	286,8758	95,62527	0,242784
Arg. Ind.	3	290,0195	96,67318	0,022311

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,647161	1	1,647161	12,42693	0,024336	7,708647
Dentro dos grupos	0,530191	4	0,132548			
Total	2,177352	5				

Tabela D.7 – ANOVA entre argamassas do tipo B (Retenção de água)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	3	287,6852	95,89507	0,44555
Arg. Ind.	3	294,264	98,08801	0,033824

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	7,213509	1	7,213509	30,09558	0,005378	7,708647
Dentro dos grupos	0,958747	4	0,239687			
Total	8,172255	5				

Tabela D.8 – ANOVA entre argamassas do tipo C (Retenção de água)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	3	291,6018	97,20059	0,023738
Arg. Ind.	3	293,7609	97,92029	0,075283

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,776964	1	0,776964	15,69282	0,016658	7,708647
Dentro dos grupos	0,198043	4	0,049511			
Total	0,975007	5				

Tabela D.9 – ANOVA entre argamassas mistas (Retenção de água)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
M_A	3	286,8758	95,62527	0,242784
M_B	3	287,6852	95,89507	0,44555
M_C	3	291,6018	97,20059	0,023738

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,258794	2	2,129397	8,971271	0,015738	5,143253
Dentro dos grupos	1,424144	6	0,237357			
Total	5,682938	8				

Tabela D.10 – ANOVA entre argamassas industrializadas (Retenção de água)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
I_A	3	290,0195	96,67318	0,022311
I_B	3	294,264	98,08801	0,033824
I_C	3	293,7609	97,92029	0,075283

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,585169	2	1,792585	40,92088	0,000319	5,143253
Dentro dos grupos	0,262837	6	0,043806			
Total	3,848006	8				

Tabela D.11 – ANOVA entre argamassas do tipo A (Absorção de água)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	4	49,60441	12,4011	0,04016
Arg. Ind.	4	52,98671	13,24668	0,056237

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,429987	1	1,429987	29,66888	0,001592	5,987378
Dentro dos grupos	0,289189	6	0,048198			
Total	1,719177	7				

Tabela D.12 – ANOVA entre argamassas do tipo B (Absorção de água)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	4	51,26058	12,81514	0,059533
Arg. Ind.	4	56,99035	14,24759	0,003178

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,103791	1	4,103791	130,8783	2,68E-05	5,987378
Dentro dos grupos	0,188135	6	0,031356			
Total	4,291926	7				

Tabela D.13 – ANOVA entre argamassas do tipo C (Absorção de água)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	4	51,59685	12,89921	0,007888
Arg. Ind.	4	58,54825	14,63706	1,896273

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	6,040241	1	6,040241	6,344256	0,045362	5,987378
Dentro dos grupos	5,712482	6	0,95208			
Total	11,75272	7				

Tabela D.14 – ANOVA entre argamassas mistas (Absorção de água)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
M_A	4	49,60441	12,4011	0,04016
M_B	4	51,26058	12,81514	0,059533
M_C	4	51,59685	12,89921	0,007888

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,568812	2	0,284406	7,930966	0,010332	4,256495
Dentro dos grupos	0,322742	9	0,03586			
Total	0,891554	11				

Tabela D.15 – ANOVA entre argamassas industrializadas (Absorção de água)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
I_A	4	52,98671	13,24668	0,056237
I_B	4	56,99035	14,24759	0,003178
I_C	4	58,54825	14,63706	1,896273

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,115579	2	2,057789	3,156622	0,091472	4,256495
Dentro dos grupos	5,867064	9	0,651896			
Total	9,982642	11				

Tabela D.16 – ANOVA entre argamassas do tipo A (Índice de vazios)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	4	89,06588	22,26647	0,11065
Arg. Ind.	4	98,62763	24,65691	0,068499

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	11,4284	1	11,4284	127,5856	2,88E-05	5,987378
Dentro dos grupos	0,537446	6	0,089574			
Total	11,96584	7				

Tabela D.17 – ANOVA entre argamassas do tipo B (Índice de vazios)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	3	69,08904	23,02968	0,182736
Arg. Ind.	3	77,57811	25,85937	0,021112

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	12,0107	1	12,0107	117,8394	0,000409	7,708647
Dentro dos grupos	0,407697	4	0,101924			
Total	12,4184	5				

Tabela D.18 – ANOVA entre argamassas do tipo C (Índice de vazios)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	3	70,26689	23,4223	0,23688
Arg. Ind.	3	80,10391	26,7013	3,226864

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	16,12784	1	16,12784	9,312375	0,037968	7,708647
Dentro dos grupos	6,927489	4	1,731872			
Total	23,05533	5				

Tabela D.19 – ANOVA entre argamassas mistas (Índice de vazios)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
M_A	4	89,06588	22,26647	0,11065
M_B	4	92,2084	23,0521	0,123835
M_C	4	94,12155	23,53039	0,204655

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,257951	2	1,628976	11,12841	0,003688	4,256495
Dentro dos grupos	1,317419	9	0,14638			
Total	4,57537	11				

Tabela D.20 – ANOVA entre argamassas industrializadas (Índice de vazios)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
I_A	4	98,62763	24,65691	0,068499
I_B	4	103,4059	25,85148	0,014324
I_C	4	108,9907	27,24768	3,345342

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	13,45129	2	6,725643	5,885636	0,023201	4,256495
Dentro dos grupos	10,28449	9	1,142722			
Total	23,73578	11				

Tabela D.21 – ANOVA entre argamassas do tipo A (Resistência à compressão)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	4	54,42	13,605	0,0561
Arg. Ind.	4	57,9	14,475	0,2225

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,5138	1	1,5138	10,86719	0,016479	5,987378
Dentro dos grupos	0,8358	6	0,1393			
Total	2,3496	7				

Tabela D.22 – ANOVA entre argamassas do tipo B (Resistência à compressão)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	4	35,9	8,975	0,2025
Arg. Ind.	4	43	10,75	0,73

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	6,30125	1	6,30125	13,51475	0,010377	5,987378
Dentro dos grupos	2,7975	6	0,46625			
Total	9,09875	7				

Tabela D.23 – ANOVA entre argamassas do tipo C (Resistência à compressão)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	4	20,68	5,17	0,028933
Arg. Ind.	4	22,7	5,675	0,369167

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,51005	1	0,51005	2,562422	0,160549	5,987378
Dentro dos grupos	1,1943	6	0,19905			
Total	1,70435	7				

Tabela D.24 – ANOVA entre argamassas mistas (Resistência à compressão)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
M_A	4	54,42	13,605	0,0561
M_B	4	35,9	8,975	0,2025
M_C	4	20,68	5,17	0,028933

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	142,7522	2	71,3761	744,7077	1,01E-10	4,256495
Dentro dos grupos	0,8626	9	0,095844			
Total	143,6148	11				

Tabela D.25 – ANOVA entre industrializadas (Resistência à compressão)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
--------------	-----------------	-------------	--------------	------------------

I_A	4	57,9	14,475	0,2225
I_B	4	43	10,75	0,73
I_C	4	22,7	5,675	0,369167

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	156,095	2	78,0475	177,157	5,93E-08	4,256495
Dentro dos grupos	3,965	9	0,440556			
Total	160,06	11				

Tabela D.26 – ANOVA entre argamassas do tipo A (Módulo de elasticidade dinâmico)

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Arg. Mista	4	58,62031	14,65508	0,702236
Arg. Ind.	4	63,55306	15,88826	0,772864

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3,041502	1	3,041502	4,123788	0,088576	5,987378
Dentro dos grupos	4,425302	6	0,73755			
Total	7,466804	7				

Tabela D.27 – ANOVA entre argamassas do tipo B (Módulo de elasticidade dinâmico)

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Arg. Mista	4	48,72962	12,18241	0,34017
Arg. Ind.	4	55,40017	13,85004	0,633461

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	5,562029	1	5,562029	11,42533	0,014855	5,987378
Dentro dos grupos	2,920895	6	0,486816			
Total	8,482924	7				

Tabela D.28 – ANOVA entre argamassas do tipo C (Módulo de elasticidade dinâmico)

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Arg. Mista	4	28,47555	7,118888	0,116286
Arg. Ind.	4	29,91037	7,477593	0,309727

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,257338	1	0,257338	1,208125	0,313839	5,987378
Dentro dos grupos	1,278038	6	0,213006			
Total	1,535377	7				

Tabela D.29 – ANOVA entre argamassas mistas (Módulo de elasticidade dinâmico)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
M_A	4	58,62031	14,65508	0,702236
M_B	4	48,72962	12,18241	0,34017
M_C	4	28,47555	7,118888	0,116286

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	118,0633	2	59,03163	152,8403	1,13E-07	4,256495
Dentro dos grupos	3,476078	9	0,386231			
Total	121,5393	11				

Tabela D.30 – ANOVA entre industrializadas (Módulo de elasticidade dinâmico)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
I_A	4	63,55306	15,88826	0,772864
I_B	4	55,40017	13,85004	0,633461
I_C	4	29,91037	7,477593	0,309727

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	154,0025	2	77,00123	134,6134	1,97E-07	4,256495
Dentro dos grupos	5,148158	9	0,572018			
Total	159,1506	11				

Tabela D.31 – ANOVA entre argamassas do tipo M_A (Sonelastic e Pundit Lab)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Sonelastic	4	52,51	13,1275	0,097825
Ultrassom	4	53,72108	13,43027	0,235313

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
--------------------------	-----------	-----------	-----------	----------	----------------	------------------

Entre grupos	0,183341	1	0,183341	1,100691	0,334524	5,987378
Dentro dos grupos	0,999413	6	0,166569			
Total	1,182754	7				

Tabela D.32 – ANOVA entre argamassas do tipo M_B (Sonelastic e Pundit Lab)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Sonelastic	4	49,35	12,3375	0,246358
Ultrassom	4	43,4959	10,87397	1,762166

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,283812	1	4,283812	4,265632	0,08443	5,987378
Dentro dos grupos	6,025572	6	1,004262			
Total	10,30938	7				

Tabela D.33 – ANOVA entre argamassas do tipo M_C (Sonelastic e Pundit Lab)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Sonelastic	4	37,25	9,3125	0,140758
Ultrassom	4	33,43016	8,357541	0,27023

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,823895	1	1,823895	8,87565	0,024662	5,987378
Dentro dos grupos	1,232966	6	0,205494			
Total	3,056861	7				

Tabela D.34 – ANOVA entre argamassas do tipo I_A (Sonelastic e Pundit Lab)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Sonelastic	4	62,96	15,74	0,082467
Ultrassom	4	61,30938	15,32734	0,831248

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,340569	1	0,340569	0,745462	0,421085	5,987378
Dentro dos grupos	2,741143	6	0,456857			
Total	3,081712	7				

Tabela D.35 – ANOVA entre argamassas do tipo I_B (Sonelastic e Pundit Lab)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Sonelastic	4	49,6	12,4	0,006467
Ultrassom	4	46,4567	11,61418	0,079378

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,235041	1	1,235041	28,77374	0,001721	5,987378
Dentro dos grupos	0,257535	6	0,042922			
Total	1,492575	7				

Tabela D.36 – ANOVA entre argamassas do tipo I_C (Sonelastic e Pundit Lab)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Sonelastic	4	33,63	8,4075	0,562625
Ultrassom	4	34,67543	8,668858	0,050933

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,136616	1	0,136616	0,445324	0,529378	5,987378
Dentro dos grupos	1,840675	6	0,306779			
Total	1,977292	7				

Tabela D.37 – ANOVA entre argamassas do tipo A (Retração)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	3	-2,02	-0,67333	0,070533
Arg. Ind.	3	-2,488	-0,82933	0,014277

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,036504	1	0,036504	0,860835	0,406022	7,708647
Dentro dos grupos	0,169621	4	0,042405			
Total	0,206125	5				

Tabela D.38 – ANOVA entre argamassas do tipo B (Retração)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	3	-1,628	-0,54267	0,001301
Arg. Ind.	3	-2,072	-0,69067	0,024421

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
--------------------------	-----------	-----------	-----------	----------	----------------	------------------

Entre grupos	0,032856	1	0,032856	2,554634	0,185215	7,708647
Dentro dos grupos	0,051445	4	0,012861			
Total	0,084301	5				

Tabela D.39 – ANOVA entre argamassas do tipo C (Retração)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Arg. Mista	3	-1,52	-0,50667	0,103109
Arg. Ind.	3	-1,152	-0,384	0,004032

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,022571	1	0,022571	0,421325	0,551663	7,708647
Dentro dos grupos	0,214283	4	0,053571			
Total	0,236853	5				

Tabela D.40 – ANOVA entre argamassas mistas (Retração)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
M_A	3	-2,02	-0,67333	0,070533
M_B	3	-1,628	-0,54267	0,001301
M_C	3	-1,52	-0,50667	0,103109

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,046148	2	0,023074	0,395677	0,68958	5,14325285
Dentro dos grupos	0,349888	6	0,058315			
Total	0,396036	8				

Tabela D.41 – ANOVA entre argamassas industrializadas A (Retração)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
I_A	3	-2,488	-0,82933	0,014277
I_B	3	-2,072	-0,69067	0,024421
I_C	3	-1,152	-0,384	0,004032

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,311595	2	0,155797	10,93809	0,009971	5,14325285
Dentro dos grupos	0,085461	6	0,014244			
Total	0,397056	8				