



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PPGEC – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**RUDIELE APARECIDA SCHANKOSKI**

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSA NAS  
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ALVENARIAS  
ESTRUTURAIS DE BLOCOS DE CONCRETO DE ALTA  
RESISTÊNCIA**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil  
da Universidade Federal de Santa  
Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto  
Prudêncio Jr.

Florianópolis, SC  
2012

Catálogo na fonte elaborada pela biblioteca da  
Universidade Federal de Santa Catarina



Rudiele Aparecida Schankoski

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSA NAS  
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ALVENARIAS  
ESTRUTURAIS DE BLOCOS DE CONCRETO DE ALTA  
RESISTÊNCIA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 27 de março de 2012.

---

Prof. Roberto Caldas Pinto, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof., Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr.,  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup>, Dr.<sup>a</sup> Henriette Lebre La Rovere,  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup>, Dr.<sup>a</sup> Luciana Maltez Calçada,  
Instituto Federal de Santa Catarina

---

Prof., Dr. Márcio Antônio Ramalho.  
Universidade de São Paulo

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Hermínio e Maria Helena, com amor.

## AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas e instituições foram essenciais para o término desse trabalho e gostaria de agradecê-las.

Ao professor Luiz Roberto Prudêncio Jr., pela sua orientação, amizade, empenho, dedicação, paciência e incentivo durante a realização desse trabalho e, sobretudo, pelo aprendizado que proporciona aos seus alunos na sala de aula e diariamente no GTec.

Aos meus pais, Maria Helena e Hermínio, e a minha irmã, Rúbia, pelo apoio, confiança e compreensão, pelas horas no telefone me confortando nos momentos difíceis e pelo amor mútuo de sempre.

Ao meu noivo, Ronaldo Pilar, que mais uma vez vivenciou comigo essa etapa, e que sempre esteve pronto para ajudar, discutir resultados, propor ideias e, acima de tudo, por ser meu companheiro para a vida toda.

Aos amigos do GTec, Cintya, Diego, Eduardo, Felipe, Lucas, Luiz Gustavo e Rute, pelas horas de descontração e pela essencial ajuda nas atividades experimentais desse trabalho. E também à Regina, que sempre teve uma palavra amorosa e de incentivo desde o dia que entrei no GTec.

Aos amigos que conheci em Floripa nesses dois anos, Viviany, Ricardo, Lidi, César, Márcio e Jefferson, que fizeram esse período se tornar mais divertido.

Aos professores, Alexandre, Juliana e Luciana, por sempre se mostrarem dispostos a ajudar e tirar minhas dúvidas no decorrer do trabalho.

Ao professor Márcio e à professora Henriette, por aceitarem avaliar este trabalho e pelas contribuições feitas.

À empresa Toniolo Pré-moldados pela doação dos blocos utilizados. E, também, à RheoSet e ao engenheiro Denis, pelo fornecimento dos aditivos e pela ajuda no decorrer do trabalho.

Ao Grupo Votorantin, pelo apoio e incentivo a essa pesquisa, e também, por disponibilizar os materiais necessários.

A CAPES, pelo indispensável apoio financeiro.

Por último, mas não menos importante, à Deus, pelas oportunidades que me concedeu, pela família que me deu e pelas pessoas que colocou no meu caminho.

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

## RESUMO

O uso da alvenaria estrutural de blocos de concreto na construção de edifícios altos (acima de 12 andares) tem se intensificado nos últimos anos em função da economia e racionalização que proporciona aos empreendimentos. Nessa busca pela otimização dos processos, o emprego de novos materiais, como as argamassas industrializadas, tem aumentado significativamente. Essas argamassas geralmente possuem aditivos na sua constituição, e apresentam vantagens de utilização, pois reduzem a responsabilidade de dosagem em obra, facilitam a gestão do canteiro e agilizam o processo de mistura e aplicação. Entretanto, em função da presença de aditivos, estudos indicam que essas argamassas, quando usadas para assentamento de blocos para alvenaria estrutural de resistências elevadas (acima de 12 MPa), podem não apresentar aderência adequada ao bloco, além de diminuir drasticamente o fator de eficiência (relação entre a resistência do prisma e do bloco) e mudar o mecanismo de ruptura da alvenaria, que passa a ser por esmagamento da junta. Diante disso, esse trabalho teve como objetivo estudar o desempenho de argamassas industrializadas ofertadas no mercado bem como traços de argamassas mistas empregados usualmente, com a adição de retentores de água, polímeros e/ou desincorporadores de ar para alvenarias estruturais de blocos de concreto para edifícios altos. A análise foi conduzida com base em resultados de trabalhabilidade, ar incorporado, retenção de água e resistência à compressão das argamassas; e resistência à compressão, aderência, módulo de elasticidade e mecanismo de ruptura de prismas. Avaliou-se também a aderência por meio de uma metodologia com corpos-de-prova de tamanho reduzido. Ao final do estudo pode-se concluir que nenhuma argamassa estudada proporcionou a aderência adequada nos prismas. Em relação à resistência à compressão, os fatores de eficiência gerados com o uso de argamassas industrializadas foram baixos (menor que 0,70) e resultaram em ruptura por esmagamento da junta. As argamassas mistas apresentaram fatores de eficiências adequados (maiores que 0,70) e romperam por tração no bloco. Analisando todas as propriedades desejadas para argamassas empregadas em alvenaria estrutural de edifícios altos, as argamassas mais comumente utilizadas atualmente

(industrializadas e mistas), não possuem a capacidade de gerar alvenarias com desempenho totalmente satisfatório.

**Palavras-chave:** Alvenaria estrutural. Argamassa. Bloco de concreto. Aderência.

## ABSTRACT

The use of masonry on concrete blocks in the construction of high-rise, multi-storey buildings (over 12 floors) has intensified in recent years due to the economy and good performance that gives to the enterprises. In this search for optimization of the processes, the use of new materials such as industrialized mortar has increased significantly. These mortars often contain admixtures in their composition, and their use are advantageous, since they reduce the responsibility for dosage at the construction site, making easier the management of the construction, and speeding the mix process and application. However, due to the presence of admixtures, studies indicate that these mortars, when used for laying blocks for structural masonry, may not provide adequate adhesion between the block and the mortar joint, and drastically reduces the efficiency factor and change the mechanism of rupture of masonry, into crushing of the joints. Therefore, this study aims to study the performance of industrial mortars offered in the market, as well as the mix proportion of mixed mortars usually adopted in Brazil, with the addition of retaining water, polymers and/or defoamer admixtures when used for laying structural masonry made of high strength concrete blocks (above 12 MPa). The analysis was conducted based on results of workability, entrained air, water retention and compressive strength of mortars; as well as compressive strength, adhesion, modulus of elasticity and the mechanism of rupture of prisms. It was also evaluated the adhesion using a methodology of testing small specimens. At the end of the study, it can be concluded that no mortar studied in this research program provided adequate adhesion to the prisms. Regarding to the compressive strength, the efficiency factors generated using industrialized mortar were low (less than 0.70) and resulted in rupture by crushing of the joint. The cement lime mortars presented adequate efficiency factors (greater than 0.70) and the masonry prisms collapsed by cracking of the concrete blocks caused by tensile stresses. Analyzing all the desired properties for structural masonry's mortars used in high-rise buildings, the main features of mortars and dosage used nowadays in Brazil do not meet the requirements to generate fully satisfactory performance of the masonry.

**Key-words:** Structural masonry. Mortar. Concrete block. Adhesion.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Correlação entre o teor de finos (partículas passantes na peneira 0,075mm) e retração em 24 horas e aos 28 dias de argamassas mistas. Fonte: BASTOS et al. (2005).....	56
Figura 2: Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais sob compressão axial. Fonte: MOHAMAD et al. (2007a). ....	59
Figura 3: Resistência à compressão de prismas, blocos e argamassas segundo diversos autores. Fonte: SABBATINI (1986).....	62
Figura 4: Instrumentação de um prisma de três fiadas. Fonte: STEIL (2003). .....	65
Figura 5: Tipos de ruptura em paredes submetidas à flexão fora do plano: (a) tração normal às fiadas; e (b) tração paralela às fiadas. Caso 1: resistência à tração da unidade menor que a tensão; e caso 2: resistência de aderência entre argamassa e unidades menor que a tensão. Fonte: Adaptado de SCHUBERT e HOFFMANN (1994). ....	68
Figura 6: Fissuras geométricas observadas na parte externa (a) e interna (b) dos edifícios. Fonte: CASALI (2008). ....	69
Figura 7: Ensaio de aderência por tração na flexão com prismas de cinco fiadas. Fonte: ABNT NBR 15961 (2011) .....	72
Figura 8: Ensaio para determinação da aderência por tração na flexão de prisma de quatro fiadas. Fonte: SABBATINI (1984). ....	74
Figura 9: Localização do mini-prisma representado no prisma. Fonte: CASALI (2008). ....	75
Figura 10: Seccionamento dos blocos de concreto em quatro fatias superiores e quatro fatias inferiores. Fonte: CASALI (2008). ....	75
Figura 11: Configuração do ensaio de tração na flexão de mini-prismas....	76
Figura 12: Ensaio de absorção dos blocos. ....	78
Figura 13: Procedimento para determinação do ar incorporado de acordo com a metodologia desenvolvida pelo GTec: .....	80
Figura 14: Ensaios para avaliação da adesão inicial: (a) colocação do filete vertical; (b) posicionamento do bloco para verificação da adesão; (c) teste de acordo com RILEM MR 5.....	82

Figura 15: Geometria dos blocos. ....	84
Figura 16: Faces do bloco: grossa (superior) e fina (inferior).....	84
Figura 17: Curva granulométrica das areias utilizadas nesse trabalho.....	86
Figura 18: Curva granulométrica da areia composta.....	87
Figura 19: Curva granulométrica das argamassas industrializadas. ....	89
Figura 20: Fluxograma com as principais etapas do desenvolvimento do trabalho. ....	92
Figura 21: Módulo de elasticidade dos blocos de concreto: (a) corpos-de-prova seccionados dos blocos; (b) instrumentação. ....	94
Figura 22: Seccionamento do bloco para preparação das peças (fatias) dos mini-prismas. ....	96
Figura 23: Marcação da capilaridade das peças dos dois lados.....	97
Figura 24: Nivelamento de uma das faces do mini-prisma. ....	97
Figura 25: Adensamento da junta de argamassa no molde, para posterior assentamento dos mini-prismas.....	98
Figura 26: Mini-prismas moldados. ....	98
Figura 27: Configuração do ensaio de tração na flexão de mini-prisma. Fonte: Casali (2008).....	99
Figura 28: Rompimento por tração na flexão dos mini-prismas. ....	99
Figura 29: Posicionamento do carregamento no ensaio de tração na flexão de prismas de quatro fiadas (CASALI, 2008). ....	102
Figura 30: Instrumentação dos prismas de três fiadas.....	103
Figura 31: Ensaio de tração na flexão de prismas. ....	104
Figura 32: Capilaridade de algumas amostras das peças de 16 MPa. (a) lado inferior (fino); (b) lado superior (grosso). ....	106
Figura 33: Capilaridade das peças de 16 MPa separadas pelos blocos de origem e pela posição no mesmo. ....	107
Figura 34: Valores médios de absorção/área em cada tempo de contato com a lâmina d'água, para as peças de 16 MPa.....	108

Figura 35: Altura de ascensão capilar em peças de 16 MPa: (a) faces finas; (b) faces grossas .....	109
Figura 36: Capilaridade de algumas amostras das peças de 6 MPa. (a) lado inferior ; (b) lado superior.....	110
Figura 37: Capilaridade das peças de 6 MPa .....	110
Figura 38: Valores médios de absorção/área em cada tempo de contato com a lâmina d'água, para as peças de 6 MPa.....	112
Figura 39: Altura de ascensão capilar das peças finas de 6 MPa.....	113
Figura 40: Altura de ascensão capilar em peças grossas de 6 MPa.....	114
Figura 41: Valores médios de absorção por área de contato das peças de 6 MPa e de 16 MPa, separadas de acordo com a face.....	115
Figura 42: Comparação entre a altura de ascensão capilar e absorção por área de contato das peças de 16 MPa e de 6 MPa separadas por face de contato.....	115
Figura 43: Resistência à compressão dos blocos e as respectivas massas. ....	116
Figura 44: Curva Tensão x Deformação dos blocos para o cálculo do módulo de elasticidade.....	117
Figura 45: Curvas Leitura x Energia para as argamassas estudadas.....	120
Figura 46: Perda de trabalhabilidade das argamassas estudadas pelo GTec Teste.....	121
Figura 47: Retenção de água das argamassas em função do tempo.....	122
Figura 48: Ar incorporado das argamassas pelo método gravimétrico e do picnômetro.....	123
Figura 49: Propriedades do estado endurecido das argamassas industrializadas empregadas nos mini-prismas.....	124
Figura 50: Aderência de cada série de mini-prismas correlacionada com a absorção por unidade de área média e da face de ruptura.....	126
Figura 51: Continuação - Aderência de cada série de mini-prismas correlacionada com a altura de ascensão capilar média e da face de ruptura.....	127
Figura 52: Aderência média das argamassas e o ar incorporado.....	128

Figura 53: Aderência média das argamassas e a retenção de água. ....	129
Figura 54: Resultados do GTec Teste das argamassas estudadas. ....	136
Figura 55: Consistência avaliada pelo GTec Teste e pelo Flow Table.....	137
Figura 56: Perda de trabalhabilidade das argamassas estudadas pelo GTec Teste.....	138
Figura 57: Curva de retenção de água de todas as argamassas. ....	139
Figura 58: Curva de retenção de água das argamassas que apresentaram valores muito próximos, apresentadas em uma escala maior.....	139
Figura 59: Ar incorporado nas argamassas pelo método gravimétrico e do picnômetro. ....	140
Figura 60: Propriedades do estado endurecido das argamassas. ....	141
Figura 61: Continuação - Aderência das argamassas relacionadas com a absorção por unidade de área média e da face de ruptura das peças. ....	144
Figura 62: Relação entre a aderência e o ar incorporado das argamassas. ....	144
Figura 63: Relação entre aderência e retenção de água das argamassas estudadas.....	145
Figura 64: Aderência dos mini-prismas e resistência à compressão das argamassas. ....	146
Figura 65: Resultados do GTec Teste. ....	149
Figura 66: Perda de trabalhabilidade das argamassas após 30 minutos de mistura, de acordo com os parâmetros do GTec Teste.....	150
Figura 67: Relação entre os resultados do GTec Teste e do Flow Table. ....	151
Figura 68: Curva de retenção de água. ....	151
Figura 69: Teor de ar incorporado determinado através do método gravimétrico e do método do picnômetro. ....	152
Figura 70: Propriedades do estado endurecido das argamassas. ....	153
Figura 71: Aderência dos mini-prismas separados por argamassa e correlacionados com a absorção por área de contato média e da face que ocorreu a ruptura. ....	154

Figura 72: Aderência dos mini-prismas separados por argamassa e correlacionados com a altura de ascensão capilar média e da face que ocorreu a ruptura. ....	155
Figura 73: Aderência das argamassas comparadas com o teor de ar incorporado. ....	155
Figura 74: Aderência das argamassas comparadas com a retenção de água aos 15 minutos de sucção pela bomba de vácuo. ....	156
Figura 75: Resultado do GTec Teste. ....	161
Figura 76: Curva de retenção de água das argamassas empregadas na moldagem dos prismas. ....	161
Figura 77: Variação da trabalhabilidade das argamassas logo após a mistura (Leitura e Golpes Inicial) e passados aproximadamente 50 minutos (Leitura e Golpes Final). ....	162
Figura 78: Teor de ar incorporado nas argamassas empregadas na moldagem dos prismas, determinado por três métodos: gravimétrico, picnômetro e pressométrico. ....	163
Figura 79: Teor de ar incorporado na junta de argamassa antes e após o assentamento da unidade superior, realizado pelo método do picnômetro. ....	164
Figura 80: Propriedades do estado endurecido das argamassas empregadas na moldagem dos prismas. ....	165
Figura 81: Resistência à compressão e fator de eficiência dos prismas e resistência à compressão da argamassa. ....	167
Figura 82: Curva tensão x deformação (longitudinal) dos prismas separados por tipo de argamassa. ....	168
Figura 83: Relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dos prismas (valores médios). ....	169
Figura 84: Módulo de elasticidade dos prismas e das argamassas que os constituem. ....	169
Figura 85: Prisma com ruptura por esmagamento da junta. ....	172

Figura 86: Prisma com rompimento por tração no bloco. (a) junta de argamassa intacta após o rompimento; (b) fissuras no bloco na parte lateral do prisma.....	172
Figura 87: Resistência à compressão média dos prismas e o ar incorporado na junta de argamassa. ....	173
Figura 88: Fator de eficiência e aderência dos prismas.....	174
Figura 89: Aderência dos prismas e o ar incorporado na junta de argamassa. ....	175
Figura 90: Aderência dos prismas e retenção de água das argamassas. ....	176
Figura 91: Regressões lineares entre resistência à compressão dos prismas e (a) ar incorporado; (b) retenção de água; (c) resistência à tração; (d) resistência à compressão da argamassa. ....	180
Figura 92: Correlação entre a aderência dos mini-prismas e dos prismas.	181

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Influência do teor de finos (partículas < 0,075 mm) da mistura seca na plasticidade das argamassas.....	48
Tabela 2: Principais métodos empregados para avaliação das propriedades do estado fresco de argamassas.....	57
Tabela 3: Valores característicos da resistência à tração na flexão.....	73
Tabela 4: Traço do concreto utilizado na fabricação dos blocos.....	84
Tabela 5: Caracterização dos blocos utilizados.....	85
Tabela 6: Caracterização das areias utilizadas nesse trabalho.....	85
Tabela 7: Caracterização da areia composta.....	86
Tabela 8: Características físicas e químicas dos cimentos CPII Z empregados.....	88
Tabela 9: Características da cal utilizada.....	88
Tabela 10: Características das argamassas e recomendações do fabricante.....	89
Tabela 11: Caracterização física das argamassas anidras.....	89
Tabela 12: Principais aditivos presentes nas argamassas colantes.....	90
Tabela 13: Características da argamassa colante utilizada.....	91
Tabela 14: Propriedades do estado fresco das argamassas industrializadas estudadas.....	118
Tabela 15: Resultado da retenção de água aos 15 minutos em relação a quantidade de aditivo R.A incorporado na argamassa.....	131
Tabela 17: Incorporação de ar nas argamassas de acordo com os teores de aditivo desincorporador de ar presentes.....	132
Tabela 17: Traços das argamassas mistas utilizadas.....	133
Tabela 18: Resultados do estado fresco das argamassas empregadas nos mini-prismas de 6 MPa.....	134
Tabela 19: Traço das argamassas empregadas nos mini-prismas de 16 MPa.....	148
Tabela 20: Resultados do estado fresco das argamassas.....	148
Tabela 21: Propriedades do estado fresco das argamassas utilizadas na moldagem dos prismas.....	159

Tabela 22: Resultados dos ensaios no estado endurecido dos prismas de três fiadas. ....	166
Tabela 23: Comportamento dos prismas durante a aplicação de carga compressiva até o rompimento.....	171
Tabela 24: Resultado da aderência dos prismas de quatro fiadas.....	173
Tabela 25: Resultados obtidos na comparação múltipla de médias das resistências à compressão dos prismas. ....	178
Tabela 26: Resultados do teste de Duncan.....	178
Tabela 27: Conclusão do teste de Duncan para as médias das resistências à compressão dos prismas. ....	178
Tabela 28: Resultado obtidos pela comparação múltipla de médias das aderências dos prismas. ....	180
Tabela 29: Relação entre a resistência de aderência do mini-prisma e do prisma.....	181

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c	Relação água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AE 10	Argamassa Estrutural de 10 MPa
AE 5	Argamassa Estrutural de 5 MPa
ANOVA	Análise de Variância
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standards Institution
CP	Corpo de prova
CP II Z	Cimento Portland Composto Pozolânico
CP V ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
D.A.	Aditivo desincorporador de ar
GTec	Grupo de Tecnologia em Materiais e Componente à Base de Cimento Portland
IRA	Initial Rate Absorption
M.U.	Argamassa Múltiplo Uso
NBR	Norma Brasileira Registrada
P 1	Aditivo a base de polímero PVA tipo 1
P 2	Aditivo a base de polímero PVA tipo 2
PVA	Poli (Álcool Vinílico)
R.A.	Aditivo Retentor de Água
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

## LISTA DE SÍMBOLOS

E	Módulo de elasticidade tangente
$E_a$	Módulo de elasticidade da argamassa
$E_b$	Módulo de elasticidade do bloco
$f_{bloco}$	Resistência à compressão do bloco
$f_{prisma}$	Resistência à compressão do prisma
$f_t$	Resistência de aderência
GPa	Gigapascal
kN	Quilonewton
M	Momento fletor

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	23
1.1.	OBJETIVOS.....	25
1.1.1.	Objetivo Geral.....	25
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	25
2.	ALVENARIA ESTRUTURAL.....	26
2.1.	MATERIAIS E COMPONENTES DA ALVENARIA NÃO- GRAUTEADA.....	28
2.1.1.	O Bloco de Concreto .....	28
2.1.2.	A Argamassa de Assentamento .....	32
2.1.2.1.	Materiais Constituintes das Argamassas .....	34
2.1.2.1.1.	Cimento .....	34
2.1.2.1.2.	Cal .....	35
2.1.2.1.3.	Agregado Miúdo (areia) .....	35
2.1.2.1.4.	Aditivo.....	36
2.1.2.1.5.	Água .....	39
2.1.2.2.	Tipos de Argamassas.....	39
2.1.2.2.1.	Argamassas de cal .....	40
2.1.2.2.2.	Argamassas de cimento .....	40
2.1.2.2.3.	Argamassas mistas .....	40
2.1.2.2.4.	Argamassas Industrializadas .....	41
2.1.2.3.	Propriedades das Argamassas no Estado Fresco .....	44
2.1.2.3.1.	Trabalhabilidade.....	44
2.1.2.3.2.	Consistência .....	45
2.1.2.3.3.	Coesão e Tixotropia .....	46
2.1.2.3.4.	Plasticidade .....	47
2.1.2.3.5.	Retenção de Água.....	48
2.1.2.3.6.	Teor de Ar Incorporado e Massa Específica .....	50
2.1.2.3.7.	Adesão Inicial.....	51
2.1.2.3.8.	Deformabilidade da Junta Fresca .....	51

2.1.2.4.	Propriedades do Estado Endurecido .....	52
2.1.2.4.1.	Resistência à Compressão .....	52
2.1.2.4.2.	Módulo de Elasticidade .....	53
2.1.2.4.3.	Aderência .....	54
2.1.2.4.4.	Retração .....	55
2.1.2.4.5.	Durabilidade .....	56
2.1.2.5.	Principais Ensaios das Argamassas .....	57
2.2.	MECANISMOS DE RUPTURA .....	58
2.3.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL .....	61
2.3.1.	Fatores que influenciam a resistência à compressão .....	61
2.3.2.	Avaliação da Resistência à Compressão .....	62
2.3.2.1.	Ensaio de Prismas .....	63
2.3.2.2.	Ensaio de Paredes .....	65
2.3.2.3.	Modelagem Numérica .....	66
2.4.	ADERÊNCIA ENTRE A ARGAMASSA E BLOCO DE CONCRETO .....	67
2.4.1.	Métodos de Avaliação da Aderência .....	71
2.4.1.1.	Ensaio de Aderência em Prismas .....	71
2.4.1.2.	Ensaio de Aderência em Mini-Prismas .....	74
3.	PROGRAMA EXPERIMENTAL .....	77
3.1.	ENSAIOS .....	77
3.1.1.	Blocos de Concreto .....	77
3.1.2.	Argamassa de Assentamento .....	79
3.2.	MATERIAIS .....	83
3.2.1.	Bloco .....	83
3.2.2.	Agregado Miúdo .....	85
3.2.3.	Cimento .....	87
3.2.4.	Cal .....	87
3.2.5.	Argamassas Industrializadas .....	88

3.2.5.1.	Argamassas industrializadas usadas para assentamento.....	88
3.2.5.2.	Argamassa colante.....	90
3.3.	MÉTODOS .....	92
3.3.1.	Blocos.....	93
3.3.2.	Estudos em Argamassa.....	94
3.3.3.	Mini-prismas .....	95
3.3.4.	Hipótese Levantada .....	100
3.3.5.	Produção de Prismas .....	101
4.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	105
4.1.	BLOCOS .....	105
4.1.1.	Amostras para Mini-Prismas (Peças ou Fatias).....	105
4.1.1.1.	Peças seccionadas de blocos de 16 MPa .....	105
4.1.1.2.	Peças seccionadas dos blocos de 6 MPa.....	110
4.1.1.3.	Comparação entre as peças seccionadas dos blocos de 16 MPa e dos blocos de 6 MPa.....	114
4.1.2.	Propriedades mecânicas dos blocos.....	116
4.2.	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS EMPREGADAS NOS MINI-PRISMAS .....	117
4.2.1.	Argamassas industrializadas.....	118
4.2.1.1.	Resultados do estado fresco .....	118
4.2.1.2.	Resultados do estado endurecido.....	124
4.2.1.3.	Aderência dos mini-prismas.....	125
4.2.2.	Argamassas empregadas em mini-prismas com peças de 6 MPa.....	.....
4.2.2.1.	Resultados do estado fresco .....	132
4.2.4.	Seleção das argamassas para moldagem dos prismas.....	156
4.3.1.2.	Propriedades do estado endurecido das argamassas empregadas na moldagem dos prismas .....	165
4.3.1.3.	Resultados dos ensaios em prismas de três fiadas .....	166
4.3.1.4.	Aderência dos prismas de quatro fiadas .....	173
4.3.2.	Análises Estatísticas .....	177
4.3.2.1.	Análise Estatística da Resistência à Compressão de Prismas	178

4.3.2.2.	Análises Estatísticas da Aderência dos prismas .....	180
4.3.2.3.	Correlação entre os valores obtidos de resistência de aderência de mini-prismas e prismas.....	180
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	183
5.1.	CONCLUSÕES.....	183
5.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	187
6.	REFERÊNCIAS .....	189
ANEXOS	.....	175

## 1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é uma técnica bastante antiga, sendo empregada desde as primeiras construções realizadas pelo homem, tais como pirâmides, coliseus e catedrais. Inicialmente eram utilizadas unidades de baixa resistência e métodos empíricos de cálculo nessas construções, o que resultava em estruturas bem mais robustas do que as atuais. As técnicas construtivas foram sendo aprimoradas com o emprego de materiais de maior resistência e o desenvolvimento de pesquisas que apresentaram novas alternativas (FELICIANO et al., 2009).

Na construção em alvenaria estrutural, são empregadas paredes de blocos como elementos resistentes, apresentando uma série de aspectos técnico-econômicos que justificam sua aplicação. Essas paredes são elementos portantes capazes de resistirem a outras cargas, além de seu peso próprio. Os blocos (ou unidades), que são unidos por juntas de argamassas, formam um conjunto rígido e monolítico que deve apresentar funções estruturais, resistência a impactos, estanqueidade e conforto térmico e acústico da obra (HENDRY, 1981).

A principal vantagem desse sistema construtivo reside no grande potencial de racionalização de todas as etapas de construção, através da otimização do uso de recursos temporais, materiais e humanos (JUSTE, 2001).

As paredes de alvenaria estrutural utilizadas no Brasil são geralmente constituídas por blocos de concreto, cerâmicos ou sílico-calcários. No entanto, de acordo com Prudêncio Jr. et al. (2003), existe uma opção preferencial por blocos de concreto, por motivos técnicos e econômicos, uma vez que possuem os maiores fatores de eficiência (razão entre a resistência do prisma e a resistência do bloco), possuem módulos de elasticidade similares ao da junta de argamassa e podem ser produzidos com resistências características, formas, cores e texturas variadas.

Em razão dessas e de outras vantagens, o uso da alvenaria estrutural de blocos de concreto para construção de edifícios, inclusive edifícios altos (acima de 12 pavimentos), tem se intensificado nos últimos anos. Nesse tipo de estrutura, os blocos de concreto empregados nos primeiros pavimentos geralmente possuem resistências acima de 12 MPa. Para atingirem essa resistência, os blocos devem possuir alta compactidade e uma textura superficial bastante fechada, fato que pode dificultar a aderência com a argamassa de assentamento.

Aliado a isso, o uso de algumas argamassas contendo aditivos, como as argamassas industrializadas, diminuem consideravelmente a extensão de aderência entre bloco e junta, o que pode levar ao aparecimento de fissuras horizontais, principalmente nas paredes externas dos edifícios. No caso de blocos de resistência elevada, essas argamassas tendem a diminuir drasticamente o fator de eficiência e modificam o mecanismo de ruptura da alvenaria, que passa a ser por esmagamento da junta ao invés de tração no bloco que é a forma mais desejável, pois se aproveita todo o potencial resistente da unidade (PRUDÊNCIO Jr. et al., 2003).

Alheias a isso, as construtoras têm aumentado o uso de argamassas industrializadas, objetivando melhorar a produtividade e diminuir a responsabilidade da dosagem das argamassas em obra. Muitas empresas têm optado por empregar uma central única de produção e utilizar um único tipo de argamassa industrializada para várias aplicações. Essa argamassa é entregue nas obras em silos de grandes dimensões para ser utilizada concomitantemente em diversas atividades. Esta opção pressupõe que existe um tipo único de argamassa que satisfaça aos requisitos mínimos exigidos para as suas diversas utilizações, o que dificilmente pode ser obtido. Em especial, para o assentamento da alvenaria estrutural, o emprego dessas argamassas geralmente não conduz a resultados satisfatórios, principalmente no caso de edifícios altos, em que se utilizam blocos de alta resistência.

Já existem no mercado argamassas industrializadas para uso específico em assentamento de alvenarias estruturais, com diversos níveis de resistência à compressão (entre 5 a 14 MPa) visando melhor atender este mercado em expansão. No entanto, poucos estudos foram realizados para avaliar experimentalmente o desempenho das alvenarias com elas confeccionadas, principalmente daquelas produzidas com blocos de resistência elevada.

A influência das argamassas de assentamento no desempenho das alvenarias estruturais é grande, e a negligência de suas propriedades pode ocasionar problemas na edificação devido ao uso incorreto do material. Sendo assim, uma análise experimental do comportamento do produto em uso é extremamente importante para evitar futuras complicações. Dentro deste contexto, é proposto neste trabalho um estudo da influência do uso de argamassas industrializadas e também argamassas mistas com diferentes tipos de aditivos, nas propriedades mecânicas de alvenarias de blocos de concreto de resistência superior a 12 MPa, visando sua utilização em edifícios altos.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo estudar a influência do tipo de argamassa (mista e industrializada) no fator de eficiência, deformabilidade, mecanismo de ruptura e aderência bloco/junta de alvenarias estruturais confeccionadas com blocos de concreto de alta resistência (superior a 12 MPa), buscando a formulação de uma argamassa otimizada.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Avaliar as propriedades, no estado fresco e endurecido, das argamassas de assentamento e a influência dessas propriedades no comportamento mecânico da alvenaria (resistência à compressão e aderência);
- Comparar o comportamento mecânico de prismas de blocos de concreto submetidos à compressão axial para os diferentes tipos de argamassas, avaliando o fator de eficiência, o módulo de elasticidade e forma de ruptura;
- Avaliar a influência do tipo de argamassa na aderência bloco/junta nos prismas submetidos à tração na flexão;
- Analisar a incorporação de ar da junta de argamassa antes e após o assentamento da alvenaria, como indicativo da extensão de aderência;
- Propor diretrizes para formulação de traços para argamassa de assentamento de blocos de concreto que sejam mais adequados que os atualmente disponíveis, para a construção de edifícios altos de alvenaria estrutural.

## 2. ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é um processo construtivo em que se utilizam as próprias paredes, que servem de vedação, para resistirem às cargas externas, no lugar dos pilares e vigas empregados nos sistemas convencionais em concreto armado, aço, madeira e em estruturas mistas (PASSOS et al., 2009). Essas paredes são elementos portantes compostos por unidades de alvenaria, unidas por juntas de argamassas, capazes de resistirem a outras cargas além do seu peso próprio, sendo dimensionadas por processos racionais (PRUDÊNCIO Jr. et al., 2003).

Segundo Hendry (2001), a alvenaria estrutural passou a ser tratada como uma tecnologia de construção civil por volta do século XVII, quando os princípios de estatística foram aplicados para investigação da estabilidade de arcos e domos. Embora no período entre os séculos XIX e XX tivessem sido realizados testes de resistência dos elementos da alvenaria estrutural em vários países, ainda se elaborava o projeto de alvenaria estrutural de acordo com métodos empíricos de cálculo, apresentando, assim, grandes limitações, levando os edifícios construídos neste sistema a possuírem espessuras excessivas de paredes, sendo as da base, em alguns casos, em torno de 1,80m. Após a segunda guerra mundial, que causou escassez dos materiais de construção, em especial o aço, o interesse pela alvenaria estrutural avançou, impulsionando seu desenvolvimento, e o de indústrias de blocos (de concreto e cerâmico) em várias partes do mundo.

O processo construtivo em alvenaria estrutural iniciou-se no Brasil na década de 60, em São Paulo, onde foi incorporada a construções de habitações populares em edifícios com quatro ou cinco pavimentos (CARVALHO et al., 2007). O método se firmou nos anos procedentes com a evolução de técnicas e o desenvolvimento de normas que auxiliaram o seu emprego de forma mais abrangente (JUSTE, 2001).

A alvenaria estrutural é caracterizada principalmente pela sua rapidez, qualidade e baixo custo na construção, sendo que sua principal vantagem consiste no alto potencial de racionalização dos materiais e das técnicas construtivas utilizadas. Nos últimos anos, o aperfeiçoamento dos métodos construtivos, pesquisas e estudos na área, permitiram desenvolver edifícios de diversos padrões e estruturas cada vez mais altas (MAMEDE, 2001).

Os principais tipos de blocos destinados à construção em alvenaria estrutural são os cerâmicos, sílico-calcários e os de concreto, sendo que estes últimos são os mais utilizados segundo Mamede (2001),

Casali (2003) e Prudêncio Jr. et al. (2003). A explicação para isso possivelmente reside no fato desses blocos possuírem uma altura elevada, melhorando o desempenho das alvenarias à compressão. Aliado a isso, o material concreto possui um módulo de elasticidade similar ao de junta da argamassa, aproximando a resistência da alvenaria à do bloco. Apesar de o bloco cerâmico ter potencial para apresentar uma resistência alta (16 MPa), quando ensaiado em prisma de três fiadas, apresentam fatores de eficiência (razão entre a resistência à compressão do prisma e do bloco) geralmente abaixo de 50%, enquanto que os de concreto podem chegar a 90% e, em média, de 70-80%. Sendo assim, os blocos de concreto são os mais apropriados para construção de edifícios altos em alvenaria estrutural (PRUDÊNCIO et al., 2003).

Quando a solicitação e os elementos a serem dimensionados justificarem, a alvenaria pode conter armaduras, sendo denominada de alvenaria armada no caso de taxa de armadura total ser superior a 0,20%. Entretanto, este trabalho se concentrará em alvenaria não armada, que é aquela constituída de blocos assentados com argamassas podendo conter armaduras com finalidade construtiva ou de amarração, não consideradas na absorção dos esforços calculados (PRUDÊNCIO Jr. et al., 2003). Segundo Franco (1987), a alvenaria estrutural não armada está entre os métodos construtivos que permitem as construções a menores custos.

As paredes de alvenaria devem ser dimensionadas para resistirem basicamente aos esforços de compressão, cisalhamento, flexão no plano e flexão fora do plano da alvenaria. A mais importante destas solicitações é a compressão, pois é o esforço ao qual a alvenaria estrutural não armada apresenta melhor resistência. Esta solicitação provém das cargas verticais de peso próprio e acidentais (PRUDÊNCIO JR. et al., 2003).

Uma parede de alvenaria pode suportar cargas verticais elevadas. No entanto, quando esta for submetida a cargas laterais paralelas ou perpendiculares ao seu plano, originadas da ação do vento e/ou desaprumo, pode romper devido aos esforços de tração que eventualmente venham a aparecer.

Deste modo, a base de projetos em alvenaria estrutural se assenta no princípio de que a alvenaria pode suportar grandes tensões de compressão, mas pequenas tensões de tração. Todo momento fletor que, sem pré-compressão causa tração, deve ser evitado (SABBATINI e ALY, 1994).

Como as paredes de alvenaria são compostas pela união de diferentes materiais, essa composição impõe certa dificuldade em

analisar o comportamento mecânico global da parede, devido ao estado de tensões desenvolvido e a natureza quase frágil do material (MOHAMAD, et al., 2007a). Desta forma, para melhorar o desempenho da alvenaria estrutural, inicialmente é necessário conhecer as propriedades dos materiais constituintes e suas influências no comportamento da parede.

## 2.1. MATERIAIS E 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 (PARSEKIAN e SOARES, 2010). A seguir serão apresentados os principais constituintes da alvenaria não-grauteada e não armada e suas propriedades.

### 2.1.1. O Bloco de Concreto

Por volta de 1900, surgiu nos Estados Unidos o bloco de concreto como hoje se conhece, sendo que a primeira máquina semi-automática para produzir essas unidades data de 1904. No Brasil, os blocos de concreto começaram a ser fabricados no final dos anos 50, mas só se consolidaram nos anos 70, após a grande divulgação das primeiras obras de alvenaria estrutural (MEDEIROS, 1993).

A maioria das normas define blocos vazados de concreto de maneira incompleta. A ABNT NBR 6136 (2007) o define 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. A norma americana ASTM C 90, por sua vez, descreve bloco de concreto como uma unidade obtida a partir da mistura de cimento Portland, água e agregados minerais, com ou sem adição de outros materiais. A norma brasileira refere-se somente às dimensões dos blocos enquanto que a norma americana conceitua com base nos materiais constituintes.

Segundo Medeiros (1993), bloco de concreto consiste em uma unidade de alvenaria composta 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).

O bloco é o principal componente de uma parede e também o mais resistente. De acordo com Parsekian e Soares (2010), eles representam de 80 a 95% do volume da alvenaria. As características dos blocos de concreto 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).

Nas fábricas de blocos, os insumos geralmente empregados na fabricação das unidades consistem em agregados graúdos de britagem; areia natural e/ou areia de britagem; cimento; adições; aditivos (principalmente redutores de água e plastificantes); pigmentos e água. A dosagem dos materiais é realizada objetivando o consumo mínimo de cimento, sendo imprescindível a cura do concreto para garantir as reações de hidratação.

As máquinas produtoras de blocos de concreto são denominadas de vibro-prensas devido ao tipo de mecanismo empregado para fazer com que o concreto penetre e preencha os moldes. O mecanismo de vibração dessas máquinas é responsável direto pela qualidade do produto final. De modo geral, a melhor vibração é aquela que permite obter, num tempo mínimo, blocos de qualidade homogênea em todos os pontos da fôrma, com o menor número de vazios possível (MEDEIROS, 1993).

Para um dado conjunto de materiais constituintes e traço empregado, a massa específica da unidade está diretamente relacionada com o seu grau de compactação que, por sua vez, é função das máquinas vibro-prensas. Na fase de produção, são definidos os tempos de alimentação, pré-vibração da gaveta das máquinas e prensagem do bloco. Tempos muito curtos podem ser um indicativo da obtenção de produtos porosos e de baixa resistência, enquanto que tempos longos aumentam o ciclo de produção e o desgaste do equipamento. Aliado a isso, máquinas que permitem graus de compactação superiores são potencialmente capazes de produzir blocos de elevadas resistências, levando facilmente a atingir outros requisitos, tais como absorção, textura e retração adequados (FRASSON, 2000).

A resistência mecânica do bloco é o mais importante parâmetro para definir a resistência da alvenaria, sendo assim fundamental o seu

estudo. 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.

Entretanto, o aumento do valor da resistência do bloco não significa um aumento proporcional da resistência da alvenaria. Segundo Hendry (1981), em média, a alvenaria apresenta resistência à compressão proporcional à raiz quadrada da resistência média do bloco pelo qual ela foi constituída.

De acordo com Hendry (1981), Sabbatini (1986) e Prudêncio Jr. et al. (2003), a resistência da parede de alvenaria é geralmente inferior à do bloco, não só pela presença da junta de argamassa, mas também pela esbeltez dos elementos ensaiados que altera a forma de ruptura.

Em relação ao módulo de elasticidade, pode-se dizer que, quanto maior o módulo de elasticidade das unidades, menor é o fator de eficiência da alvenaria<sup>1</sup>. 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, aumento assim as tensões na interface bloco/junta aumente (PRUDÊNCIO, et al., 2003).

As dimensões dos blocos também influenciam diretamente o comportamento estrutural da alvenaria, principalmente no que diz respeito aos tipos de amarração criados entre as fiadas, ao número de juntas horizontais de argamassa e à esbeltez das paredes resistentes. Segundo Pasquali (2007), com os blocos vazados, a disposição e o tipo de furos podem acarretar grandes concentrações de tensões, reduzindo a resistência e conduzindo a um comportamento frágil. Steil e Prudêncio Jr. (2002) observaram, em seus estudos, que geometrias que apresentaram os menores fatores de eficiência foram aquelas que resultaram nas maiores tensões de tração nas faces externas do prisma.

Existe um grande número de tamanhos e formas de unidades de alvenaria de concreto, a partir das quais o projetista pode escolher de maneira econômica as que melhor se adequam ao projeto. Na região Sul do Brasil, as geometrias mais comuns obedecem às prescrições da

---

<sup>1</sup> Fator de eficiência corresponde a relação entre a resistência à compressão do prisma e do bloco de concreto.

ABNT NBR 6136 (2007), possuindo dimensões dos blocos padrões de 14x19x39 cm ou 19x19x39 cm, e espessura das paredes de 3,2cm (parede grossa) e/ou 2,5cm (parede fina). Os blocos de paredes finas geralmente são utilizados em unidades de menor resistência. Entretanto, vale salientar que fôrmas de blocos de paredes finas poderiam ser utilizadas quando da necessidade de unidades de maior resistência, pois isso reduz o peso das peças, melhorando a produtividade.

Além disso, existem outras propriedades físicas que merecem atenção quando se estuda blocos de concreto. Uma delas é a absorção de água pela unidade. A aderência da ligação bloco/argamassa é influenciada pelos fenômenos de transporte da água da argamassa para o bloco. Tal propriedade depende das características da argamassa e da unidade (seu tipo, índice de absorção inicial, da disposição dos poros e texturas). O transporte de água 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., 2005).

A 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 (2007), o limite de absorção de água de um bloco de concreto confeccionado com agregados normais é de, no máximo, 10%, determinada de acordo com a ABNT NBR 12118 (2010).

O teor de umidade, outro aspecto físico do bloco, 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, 1997). A retração é afetada principalmente pelo tipo de agregado utilizado, o método de cura e estocagem, grau de compactação do bloco e consumo de cimento utilizado (CALÇADA, 1998).

### **2.1.2. A Argamassa de Assentamento**

O uso de argamassas de 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, 2007).

A ABNT NBR 8798 (1985) define argamassa de assentamento como um elemento utilizado na ligação entre os blocos, que garante uma distribuição uniforme de esforços. Argamassas são constituídas de aglomerante (cimento e cal), agregado miúdo e água com a presença de adições e/ou aditivos, que conferem principalmente 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.

Sabbatini (1984) enumera as principais funções da argamassa de assentamento:

- Unir as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- Absorver as pequenas deformações naturais da alvenaria;
- Distribuir uniformemente todos os esforços da parede em toda a superfície resistente do elemento (bloco);
- 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 as seguintes características: (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.

Além das propriedades intrínsecas das argamassas citadas anteriormente, algumas características construtivas também interferem no desempenho da alvenaria estrutural como, por exemplo, o tipo de argamassamento utilizado (total ou parcial) no processo e a espessura da junta de argamassa.

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.

Da Mata et al. (2007) estudaram a influência do padrão de argamassamento de argamassas mistas na distribuição de tensões em prismas de blocos de concreto submetidos à compressão e observaram que a carga de ruptura média dos prismas com argamassamento parcial foi cerca de 20% inferior à do prisma com argamassamento total. Foi observado também que os prismas de argamassamento parcial apresentaram as primeiras fissuras para valores pequenos de carga aplicada, enquanto os prismas com argamassamento total apresentaram fissuras visíveis apenas próximo à ruptura. Sendo assim, os autores não recomendam a utilização de argamassamento parcial em paredes de alvenaria de blocos de concreto. Havendo a necessidade executiva do uso desse argamassamento, recomenda-se que sejam utilizados critérios de projeto diferenciados dos utilizados para argamassamento total.

Em relação à espessura da junta de argamassa, a ABNT NBR 10837 (1989) especifica que deve ser de 1 cm, a menos que se justifique a adoção de outro valor. Segundo Hendry (1981), Roman et al. (1999) e Prudêncio Jr. et al. (2003), quanto maior a espessura da junta, menor será a resistência da alvenaria, pois ocorre uma diminuição do efeito de confinamento da argamassa, promovendo um aumento do esforço de

tração no bloco. De acordo com Sahlin citado em Camacho (1995), a cada aumento de 0,3 cm na espessura da argamassa há uma redução em torno de 15% na resistência da parede.

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. Os resultados mostraram uma redução de 39% na resistência dos prismas com a junta de maior espessura.

Conforme o exposto, pode-se perceber que muitos problemas das paredes de alvenaria estrutural nos edifícios estão relacionados às argamassas de assentamento, como dificuldades de concepção, aplicabilidade, racionalização e controle. O estudo das argamassas é essencial, pois ela representa de 2 a 16% do volume total de alvenaria e tem influência no desempenho muito mais acentuada do que esta porcentagem possa indicar (SALÓRZANO, 1995).

#### 2.1.2.1. Materiais Constituintes das Argamassas

Os materiais constituintes das argamassas (cimento, cal, agregado miúdo, aditivos e água) são responsáveis pelas suas características no estado fresco e endurecido. O conhecimento da influência deles é fundamental para um proporcionamento adequado e que atenda às necessidades de aplicação e desempenho da mistura.

##### 2.1.2.1.1. *Cimento*

Em geral, utiliza-se em argamassas cimento Portland comum, composto e de alta resistência inicial, mas podem ser usados outros tipos de cimento, tais como o pozolânico e o de alto-forno (ROMAN et al., 1999; PRUDÊNCIO Jr. et al., 2003; MOHAMAD et al., 2007b).

O aumento do consumo de cimento na argamassa, no estado fresco, acarreta em menor tempo de endurecimento e aumento da retração e coesão. No estado endurecido, ocorre o aumento da resistência à compressão e da aderência superficial e a diminuição da capacidade de acomodar deformações.

Para melhorar a resistência de aderência de uma argamassa, é aconselhável o uso de cimentos com elevada finura, como o CP V ARI. No entanto, deve-se lembrar que cimentos de alta resistência inicial podem levar a argamassa à retração e fissuração de modo mais fácil do que os outros cimentos (CARASEK, 2007).

Por outro lado, cimentos de endurecimento mais lento, como os compostos por pozolanas e escórias, podem produzir argamassas mais resilientes. Aliado a isso, por possuírem maior área específica, auxiliam na trabalhabilidade e retenção de água (SABBATINI, 1986; PRUDÊNCIO Jr. et al., 2003).

#### 2.1.2.1.2. *Cal*

A cal é o aglomerante mais antigo utilizado pela humanidade. Constitui-se de um aglomerante inorgânico, que possui baixa resistência à exposição continuada à água. Seu endurecimento, quando comparado com o do cimento, é muito lento, pois depende da difusão do CO<sub>2</sub> para o interior das argamassas (CINCOTTO et al., 2007).

Esse aglomerante, com um teor de componentes ativos (CaO e MgO) superior a 88%, é utilizado no preparo da argamassa de assentamento. Usualmente, utiliza-se a cal hidratada, mas também podem ser utilizadas cales extintas em obra (CARASEK, 2007).

De uma forma geral, o aumento da quantidade de cal influencia positivamente na trabalhabilidade, porém pode ocorrer diminuição da resistência à compressão pela demanda excessiva de água (CINCOTTO et al., 1995). Sendo assim, pode-se dizer que a cal melhora as características do estado fresco das argamassas: aumenta a plasticidade, coesão, retenção de água e extensão da aderência, diminui a exsudação e a retração por secagem. Além disso, a presença de cal aumenta a aderência superficial e diminui o módulo de elasticidade, que são propriedades do estado endurecido (PRUDÊNCIO Jr. et al., 2003; MOHAMAD et al., 2007b).

#### 2.1.2.1.3. *Agregado Miúdo (areia)*

O agregado miúdo é um material teoricamente inerte que tem como função de reduzir o custo do concreto ou argamassa e diminuir os efeitos nocivos do excesso de cimento (MOHAMAD et al., 2007a). A areia empregada na confecção de argamassas pode ter uma variabilidade muito grande em suas características em função da sua origem petrológica e geológica (SABBATINI, 1986).

Segundo Sabbatini (1986), a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada para assentamento é a que apresente granulometria contínua, módulo de finura médio (entre 1,8 e 2,8) e que tenha predominância de grãos arredondados.

De acordo com Roman et al. (1999), as areias grossas aumentam a resistência à compressão das argamassas, enquanto que as finas aumentam a aderência, sendo por isso preferíveis. Segundo Prudêncio et

al. (2003), uma boa areia para argamassa deve passar integralmente na peneira 1,2 mm, não ter mais que 10% de material pulverulento e ter uma granulometria bem distribuída entre as malhas intermediárias.

Casali (2003) estudou argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto e constatou que a resistência à compressão de argamassas mistas foi influenciada principalmente pela granulometria da areia, sendo que, quanto maior o módulo de finura, maior resistência à compressão apresentavam. A autora observou que argamassas dosadas com areias finas (módulo de finura de 1,71) apresentavam resistência à compressão 44% inferiores do que aquelas moldadas com areia grossa (módulo de finura de 2,67), sendo que os demais constituintes permaneciam inalterados.

#### 2.1.2.1.4. *Aditivo*

Os aditivos mais utilizados em argamassas são os plastificantes, retentores de água e os incorporadores de ar. Esses aditivos são adicionados com a finalidade de melhorar a plasticidade, permitindo a redução da quantidade de água da mistura (CARASEK, 2007). Eles modificam a reologia das argamassas, conferindo-lhes, no estado fresco, maior mobilidade, sem prejuízo da coesão, sendo por isso empregados em argamassas como substitutos da cal (CAVANI et al., 1997).

Além desses aditivos, outros podem ser acrescentados em argamassas, quando se necessita de alguma propriedade especial, como, por exemplo, desincorporadores de ar e polímeros colantes. Na sequência, serão abordadas características dos principais aditivos que se relacionam com este trabalho.

##### a) Incorporador de ar

A utilização de aditivos incorporadores de ar melhora a plasticidade, rendimento, capacidade de absorver deformações e fissuração das argamassas. Além disso, esse produto, em geral, também aumenta a retenção de água e reduz a exsudação (CARASEK, 1996).

Martin (2005) explica o funcionamento dos aditivos incorporadores de ar ou aerantes, como substâncias ou produtos cuja função principal é produzir, nas misturas, um número elevado de finas bolhas de ar, estáveis, separadas entre si e distribuídas uniformemente. Quando adicionados, esses aditivos são absorvidos pelas partículas de cimento e têm caráter hidrófobo. Somente uma pequena quantidade de aditivo permanece em dissolução em forma de sal de cálcio que, por agitação, forma bolhas, como esferas microscópicas, que se estabilizam

e se unem entre si pela ação da substância tensoativa e à superfície hidrófoba das partículas de cimento-aditivo. Em geral, as bolhas de ar possuem diâmetro inferior a 75  $\mu\text{m}$  e, quando tem um diâmetro superior a 200  $\mu\text{m}$ , as bolhas se comportam como ar ocluído, ou aprisionado.

Apesar de melhorar as características do estado fresco, a presença de incorporadores de ar reduz a resistência mecânica e a aderência da argamassa ao substrato, pois aumenta o teor de vazios e propicia uma redução da superfície de contato na interface junta/unidade pela presença das bolhas de ar (CARASEK, 2007).

#### b) Retentores de água

Uma forma de incrementar a capacidade de retenção de água de uma argamassa é utilizar aditivos cujas características impedem a perda de água, como é o caso dos derivados de celulose.

Os aditivos retentores de água são polímeros, usualmente utilizados na forma de solução e pós redispersíveis que, quando solúveis em água, produzem um aumento considerável na viscosidade e na retenção de água dos sistemas em que são adicionados.

Os principais tipos de aditivos encontrados com o intuito de reter água são os éteres de celulose. Os éteres de celulose são polímeros semi-sintéticos solúveis em água. Fazem parte dessa categoria os polímeros: metil celulose (MC), carboximetil celulose (CMC), hidroxietil celulose (HEC), metil hidroxietil celulose (MHEC) e metil hidroxipropil celulose (MHPC) (ALVES e DO Ó, 2005).

Derivados de celulose são moléculas adequadas para melhorar a retenção de água e trabalhabilidade do material fresco, em conjunto com a adesão ao substrato (ALVES e DO Ó, 2005). Segundo Afridi et al. (1995), os éteres de celulose aumentam a quantidade de água que a argamassa retém, minimizando a quantidade absorvida pelo substrato. Esse fato contribui para a produtividade, por aumentar o tempo em aberto. Aliado a isso, segundo os autores, o produto tende a aumentar a adesividade garantindo melhores resultados, em especial, em argamassas de assentamento, na aderência entre a junta e o substrato.

Os éteres de celulose, em materiais à base de cimento, agem, sobretudo, na modificação da viscosidade da fase aquosa da mistura, pois devido à sua natureza hidrofílica (presença de grupos hidroxilas OH) as moléculas de água fixam-se nas moléculas do aditivo (ALVES e DO Ó, 2005). Assim, tem-se o incremento na retenção de água conjuntamente com o aumento da viscosidade.

Segundo Alves e Do Ó (2005), três efeitos são observados no comportamento desses aditivos:

- Adsorção: as moléculas poliméricas aderem na periferia das moléculas de água, adsorvendo e fixando parte da água do sistema e expandindo-se. Isto aumenta a viscosidade da água;
- Associação: podem surgir forças de atração entre moléculas adjacentes nas cadeias poliméricas, restringindo ainda mais a locomoção da água, causando a formação de gel e aumentando a viscosidade;
- Entrelaçamento: em concentrações muito altas de aditivos, as cadeias poliméricas podem se entrelaçar, resultando em aumento de viscosidade aparente.

Segundo Patural et al. (2011), o inconveniente principal destas moléculas na formação de argamassas é o atraso de hidratação do cimento, que pode aumentar em até várias horas. As moléculas de éter adsorvem uma quantidade relativamente alta de água, o que causa a diminuição da hidratação do cimento, que pode provocar uma perda no desempenho mecânico.

Além disso, outra característica que pode prejudicar o desempenho da argamassa com o uso de retentor de água é a incorporação de ar devido à ação tensoativa, advinda desses aditivos. Jenni et al. (2006) investigaram o papel de uma molécula de éter de celulose na microestrutura de argamassas e observaram que a presença do retentor de água gerava um teor de ar incorporado em volume de 20%, enquanto que misturas sem a adição resultavam em valores próximos a 1%. Pourchez et al. (2010) enfatizam em seus estudos que o éter de celulose causa uma estabilização do ar aprisionado, o que dificulta sua retirada por adensamento.

### c) Polímeros PVA

A utilização de polímeros em argamassas de cimento e concreto não é recente, uma vez que pesquisas a esse respeito vêm sendo feitas nos últimos 70 anos. Como resultado, vários aditivos a base de polímeros têm sido desenvolvidos, e atualmente apresentam boa relação custo-benefício, sendo imprescindíveis para alguns tipos de produtos, tal como a argamassa colante, que possui na sua constituição polímero PVA (OHAMA, 1998).

O poli (álcool vinílico) ou PVA é uma resina sintética, solúvel em água, com grande utilização no mundo. As propriedades básicas do PVA dependem do grau de polimerização e do grau de hidrólise. Este polímero é um excelente adesivo, possui boa resistência a solventes,

óleos e graxas e sua resistência à passagem de oxigênio é superior a de qualquer polímero conhecido (ARANHA E LUCAS, 2001). Aliado a isso, Afridi et al. (1995), após estudarem argamassas com o uso de polímeros, verificaram que a presença deles causa uma acentuada melhoria na retenção de água e na aderência entre a argamassa e o substrato.

Para Chu et al. (1995) e Kim e Robertson (1996), o emprego de PVA, sobretudo aumenta a viscosidade da mistura e conseqüentemente diminui a segregação. Os autores observaram ainda, em estudos da microestrutura da argamassa, que a presença de PVA torna as zonas de transição entre pasta e agregado menos porosas e as partículas de cimento se distribuem mais uniformemente na fase pasta.

Apesar dessa melhora da zona de transição, não se constata, na literatura do assunto, um aumento da resistência à compressão de argamassas contendo esse polímero. Isso deve-se ao fato da alta incorporação de ar nas misturas, que apesar de favorecer a trabalhabilidade, atua de forma desfavorável em relação à resistência mecânica. Kim e Robertson (1996) verificaram que adição de 1,12% de PVA (em relação à massa de cimento), causou redução de 55% na resistência à compressão e 43% da resistência à flexão.

Para diminuir os problemas causados pela grande quantidade de ar incorporado nas misturas com PVA, vários agentes antiespumantes (desincorporadores de ar) podem ser adicionados às misturas, objetivando reduzir a estabilidade das bolhas (KIM e ROBERTSON, 1996).

#### 2.1.2.1.5. *Água*

A quantidade de água deve ser tal que garanta boa produtividade no assentamento, sem causar a segregação dos constituintes.

A presença de sais solúveis na água pode acelerar a pega das argamassas. Por outro lado, a presença de matéria orgânica pode retardar a pega e o endurecimento. Desta forma, não se pode empregar água do mar e outras águas com substâncias nocivas (CARASEK, 2007). A água utilizada na dosagem de argamassas deve ser cristalina e isenta de produtos orgânicos.

#### 2.1.2.2. Tipos de Argamassas

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.

#### *2.1.2.2.1. Argamassas de cal*

Foi o primeiro tipo de argamassa utilizada em alvenarias e é encontrada em construções históricas. Constitui-se de mistura de cal, areia e água. O endurecimento acontece devido à carbonatação da cal formando o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Portanto, para endurecer, requer condições ambientais específicas, como a manutenção da umidade e garantia do acesso ao  $\text{CO}_2$ . O desenvolvimento da resistência à compressão é lento e pode durar anos. Desta forma, os valores de resistência alcançados são baixos, em geral, inferiores a 2 MPa (SABBATINI, 1986; MOHAMAD et al., 2007b).

Segundo Sabbatini (1986), as argamassas de cal não são recomendadas para alvenaria estrutural. A ABNT NBR 15961 (2011) recomenda o uso de argamassas mistas, sem fazer menção a argamassas de cal.

#### *2.1.2.2.2. Argamassas de cimento*

Essas argamassas constituem misturas de cimento Portland, areia e água. Adquirem resistências e módulos de elasticidade elevados. São adequadas para assentamento em locais em contato com água (fundações abaixo do nível freático) e também em blocos com altíssimas resistências à compressão. As misturas ricas em cimento são antieconômicas e podem facilitar o aparecimento de fissuras por retração. Essas razões fazem com que as argamassas de cimento tenham seu uso restrito na alvenaria estrutural (SABBATINI, 1986).

#### *2.1.2.2.3. Argamassas mistas*

As argamassas mistas são constituídas de cal, cimento, agregado miúdo e água, e reúnem as vantagens dos dois tipos de argamassas, de cal e de cimento, minimizando suas deficiências. A presença de cal melhora a trabalhabilidade, a extensão de aderência (possuem maior capacidade “molhante”), a retenção de água e a deformabilidade, diminuindo os efeitos de retração na argamassa. 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, 2007; MOHAMAD et al., 2007a).

Segundo Sabbatini (1984), no início do século passado, os ingleses utilizavam a proporção de 1:3 (cimento+cal: areia seca) em volume 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 cal e cimento, a trabalhabilidade ficava mais ou menos assegurada, independente das modificações.

A ABNT NBR 8798 (1985) recomenda que a quantidade de cal em volume não deve ultrapassar 25% 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.

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. Isso significa que um aumento no teor de cal pode aumentar o tempo em aberto destinado ao assentamento dos blocos. Os autores verificaram também que, quanto menor o teor de cal nas argamassas mistas, maior o teor de ar incorporado.

Diante do exposto, pode-se dizer que as argamassas mistas são as mais adequadas para o uso em alvenaria estrutural, pois reúnem as qualidades dos dois materiais (cimento e cal) e minimizam seus defeitos.

#### 2.1.2.2.4. *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.*, 2007a).

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 quantia é recomendada pelo fabricante (SILVA, 2007).

Segundo Panarese et al. (1991), desde 1936, estão disponíveis nos Estados Unidos, embalagens contendo materiais cimentícios e areia seca para argamassas, devidamente proporcionados. São os chamados *Packaged-dry mortar materials*, que são geralmente utilizados para pequenos trabalhos, ou obras com espaço limitado para armazenamento dos materiais. Também existem os *Silo-Mixed Mortar*, utilizados em construções de maior porte, que são sistemas parecidos com os empregados no Brasil para argamassa industrializada, nos quais os ingredientes secos são entregues no canteiro de obra em silos de grandes dimensões.

No Brasil, as argamassas industrializadas surgiram em 1950, e foram criadas para propiciar maior padronização e rapidez ao processo. Inicialmente, o tipo de argamassa que teve mais abertura no mercado foi a argamassa colante para revestimento cerâmico, mas, nos últimos anos, houve um grande desenvolvimento dos demais tipos de argamassa industrializada, como por exemplo, as argamassas de múltiplo uso e as utilizadas para assentamento de blocos estruturais (SILVA, 2007).

Com relação ao gerenciamento de obras, Carvalho Jr. (2005), citado em Freitas (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.

De acordo com estudos de Silva e Nakakura (2001), a utilização de argamassas industrializadas aumenta em torno de 11% a produtividade quando comparada com argamassas produzidas em obra. Aliado a isso, o custo do material por m<sup>2</sup> é cerca de 9% menor, sem levar em consideração o desperdício, notadamente maior na argamassa produzida em obra.

Apesar dos benefícios citados relacionados ao gerenciamento do canteiro, as argamassas industrializadas são questionadas por diversos pesquisadores quanto ao seu desempenho técnico, quando utilizada para assentamento de blocos de alvenaria estrutural.

Yoshida e Barros (1995) estudaram argamassas industrializadas e perceberam que a melhora em relação às argamassas convencionais concentra-se somente na trabalhabilidade. 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.

Entretanto, a presença de aditivos incorporadores de ar também causa efeitos preocupantes. A mistura fica fortemente influenciada pelo tipo de misturador, velocidade e tempo de mistura, mesmo quando se utiliza a quantidade de água recomendada pelo fabricante. Segundo Casali (2003), tempos de mistura muito curtos não permitem a ação dos aditivos enquanto que, se o tempo for excessivo, pode-se incorporar mais ar do que o necessário para a melhora da trabalhabilidade.

Casali et al. (2001), ao estudarem o comportamento de argamassas mistas e industrializadas frente ao tempo de mistura dos componentes, verificaram que, com o aumento do tempo de mistura em um mesmo misturador, houve aumento do teor de ar incorporado nas argamassas industrializadas e, conseqüentemente, diminuição da massa específica e da resistência à compressão. Para um tempo de mistura de 20 segundos, a argamassa resultou em uma resistência à compressão aos 28 dias de aproximadamente 4,6 MPa. Quando esse tempo de mistura foi aumentado para 60 segundos, a resistência caiu para 2,6 MPa, e continuou diminuindo para os tempos de 120, 180, 240 e 300 segundos. Por outro lado, os autores verificaram que as argamassas mistas de cimento e cal (sem uso de aditivos) praticamente não sofreram influência do tempo de mistura sobre o teor de vazios e a resistência à compressão.

Nas obras é difícil exercer um controle rigoroso sobre o tempo de mistura, ocasionando sérios problemas no uso da argamassa com aditivos, pois causa uma grande variação de características e desempenho em um mesmo material (SILVA, 2007).

Alguns pesquisadores (YOSHIDA E BARROS, 1995; NAKAKURA E CINCOTTO, 2001; TAUBE *et al.*, 2003; CARASEK, 2007) observaram que tempos de mistura muito altos (maiores que 4 minutos), resultam em elevados teores de incorporação de ar nas argamassas, o que provoca baixa aderência ao substrato, pois diminui-se a superfície de contato pela presença das bolhas de ar. Esse fato ocorre, pois as bolhas de ar que proporcionam trabalhabilidade geram vazios no material, diminuindo sua resistência mecânica e extensão de aderência e, conseqüentemente, o fator de eficiência da alvenaria (CARASEK, 2007).

Savi et al. (2006) verificaram a influência do tipo de argamassa (industrializada e mista) na resistência de aderência na flexão em prismas de blocos de concreto com resistências médias das unidades iguais a 6 MPa, e verificaram que, em todas as combinações estudadas,

as argamassas que continham incorporadores de ar (industrializadas) apresentaram resistência de aderência inferior àquelas sem o aditivo.

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.

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, especialmente para edificações altas de alvenaria estrutural, nas quais os valores de resistência à compressão exigidos dos blocos são elevados para os primeiros pavimentos.

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.

### 2.1.2.3. Propriedades das Argamassas no Estado Fresco

#### 2.1.2.3.1. *Trabalhabilidade*

O termo trabalhabilidade representa diversas características da argamassa no estado fresco, que são difíceis de mensurar quantitativamente. Um mero conhecimento dos procedimentos de

dosagem não é suficiente sem o conhecimento dos princípios básicos envolvidos. As considerações gerais que guiam a trabalhabilidade são: consistência, plasticidade, coesão, retenção de água e de consistência, exsudação, densidade de massa (quanto mais leve mais trabalhável) e adesão inicial (CARASEK, 2007). Estas dependem basicamente do tipo e teor de aglomerante empregado, da granulometria e forma dos agregados, da quantidade de água e da presença de aditivos.

Para que uma argamassa tenha boa trabalhabilidade, ela deve ser fácil de manusear e de espalhar sobre a superfície da unidade de alvenaria; ter adesão para permitir a pré-colocação da argamassa nos topos das unidades para formação das juntas verticais; manter consistência durante um intervalo de tempo tal que permita o assentamento de algumas unidades consecutivamente; ter coesão suficiente para não escorrer pelas paredes da unidade inferior quando do assentamento da unidade superior; ter facilidade e rapidez para alcançar a espessura da junta adequada; manter a espessura da junta após o processo de assentamento e mesmo depois da confecção das fiadas subsequentes (DA MATA, 2006).

Na prática, quem define se uma argamassa é trabalhável é o assentador da alvenaria. Seu julgamento baseia-se no tipo de ferramenta utilizada e em critérios subjetivos citados anteriormente. Desta forma, pode-se afirmar que todas as propriedades desejáveis no estado fresco de uma argamassa se subordinam à trabalhabilidade, e influem diretamente na qualidade do serviço do pedreiro (PRUDÊNCIO Jr. et al., 2003).

Não existe um método direto consagrado para medir trabalhabilidade. A maioria dos métodos conhecidos restringe-se praticamente a medir consistência através da medida da deformação causada na mistura por uma força; ou a medida do esforço necessário para gerar a deformação.

#### 2.1.2.3.2. *Consistência*

Consistência é a propriedade que exprime o quão dura ou mole está a argamassa. Sua determinação geralmente é feita por meio da mesa de consistência (*flow table*), segundo a ABNT NBR 7215 (1997), 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 8798 (1985) recomenda uma consistência de  $230 \pm 10$  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, por ser extremamente dependente da composição das argamassas, como teor de materiais finos, granulometria dos agregados, quantidade de água, etc. Os autores ainda salientam que o fato da argamassa apresentar consistência dentro desses limites não é garantia de uma boa trabalhabilidade. Empregando misturas ásperas e sem coesão, mas com consistência dentro da faixa, o resultado será argamassas inadequadas para o uso em alvenaria.

As argamassas são classificadas, segundo a sua consistência em (PRUDÊNCIO Jr., 1994):

- Secas: quando necessitam de grande energia para conformação;
- Plásticas: quando necessitam de um pequeno esforço para conformação;
- Fluídas: aquelas auto-nivelantes.

Do ponto de vista do comportamento reológico das argamassas, a consistência, que diz respeito a sua maior ou menor fluidez, está associada à capacidade da mistura resistir ao escoamento. Portanto, argamassas de consistência mais fluida representam misturas com menores valores de tensão de escoamento, sendo verdadeira a recíproca (CARASEK, 2007).

Influem na consistência de uma argamassa: relação água/aglomerante; relação aglomerante/areia; granulometria da areia e natureza e qualidade do aglomerante (SABBATINI, 1986).

#### 2.1.2.3.3. *Coesão e Tixotropia*

Coesão pode ser definida como sendo a propriedade da argamassa de manter seus constituintes homogêneos, sem segregação. Popularmente se diz que uma argamassa coesa possui “liga” (PRUDÊNCIO JR., 1994).

Em dosagens experimentais, quando a coesão é julgada deficiente, geralmente pode-se alterá-la modificando os seguintes parâmetros: relação água/materiais secos; quantidade, tipo e finura do cimento; proporção relativa entre cimento e agregado; granulometria e forma dos agregados; presença de material pulverulento; utilização de cal ou de aditivos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Ishikawa (2003), a coesão está intimamente relacionada aos materiais mais finos em função da sua superfície específica. Assim, a coesão da argamassa pode ser alterada variando-se a área específica dos sólidos e a quantidade de água presente na mistura. De acordo com

Callister Jr. (2002), a coesão interna acontece pelas forças de atração de superfície (Van der Waals), sendo recorrente nos compostos hidratados do cimento Portland.

A tixotropia também é uma propriedade relacionada com a coesão, mas numa escala mais acentuada. As argamassas tixotrópicas exigem uma baixa energia para alterarem sua forma e, uma vez alterada, conseguem mantê-la mesmo sob a ação da gravidade. Para alcançar essa propriedade, podem-se usar aditivos a base de polímeros e adições minerais tais como cinza volante, microssilica e cinza da casca do arroz (PRUDÊNCIO Jr., 1994).

#### 2.1.2.3.4. *Plasticidade*

Esta propriedade consiste na capacidade da argamassa, no estado fresco, manter sua deformação, após a redução do esforço que a originou (ISHIKAWA, 2003). A plasticidade é influenciada pelo teor de ar incorporado, natureza e teor de aglomerante, presença de aditivos (em especial, incorporadores de ar) e da intensidade da energia da mistura.

A plasticidade adequada para cada mistura, de acordo com a finalidade e forma de aplicação da argamassa, demanda uma quantidade ótima de água, a qual significa uma consistência ótima que, por sua vez é função do proporcionamento e natureza dos materiais (CARASEK, 2007). Em termos reológicos, a plasticidade esta relacionada com a viscosidade da argamassa.

Casali e Prudêncio Jr. (2008) estudaram a variação das propriedades das argamassas de assentamento mistas com o uso de três areias: grossa, média e fina, com os módulos de finura de 2,67, 2,09 e 1,71 respectivamente, e constataram que, quanto menor o módulo de finura do agregado, menor é a energia utilizada para obter a espessura de 1 cm de junta e maior o índice de plasticidade (mm/J). Os autores observaram, também, que esse índice crescia com o aumento do teor de cal na mistura.

A cal propicia maior plasticidade à argamassa no estado fresco, permitindo melhor trabalhabilidade e, conseqüentemente maior produtividade.

Pode-se dizer que o uso de uma quantidade adequada de finos melhora a plasticidade das argamassas. A Tabela 1 associa o conteúdo de finos da argamassa com a sua plasticidade.

Tabela 1: Influência do teor de finos (partículas < 0,075 mm) da mistura seca na plasticidade das argamassas.

<b>Porcentagem mínima de finos da argamassa (%)</b>		
<b>Plasticidade</b>	<b>Sem aditivo plastificante</b>	<b>Com aditivo plastificante</b>
Pobre (áspera, magra)	< 15	<10
Média (plástica)	15 a 25	10 a 20
Rica (gorda)	>25	>20

FONTE: CARASEK, 2007.

#### 2.1.2.3.5. Retenção de Água

Retenção de água é uma 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, 2007).

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 cm<sup>2</sup>.

Barbosa et al. (2005) quantificaram o efeito de absorção do bloco nas propriedades mecânicas das argamassas, através da moldagem em fôrmas com e sem capacidade de sucção (gesso e aço). Os autores observaram que o contato com a fôrma de gesso, que apresenta grande capacidade de absorção, induz a perda de água durante o processo de cura da argamassa, que tem sua relação água/cimento alterada e, como consequência, as suas propriedades mecânicas. Essa alteração mostrou-se significativa, uma vez que aumentou os valores de resistência à compressão em 79 a 91%. Na mesma proporção, ocorreu o aumento do valor do módulo de elasticidade, o que implica em uma menor capacidade da argamassa absorver deformações.

Entretanto, a perda de umidade excessiva pode prejudicar o desempenho da argamassa, por não haver água suficiente para

hidratação do cimento. Aliado a isso, a saída da água causa o enrijecimento da mistura, dificultando o assentamento correto da alvenaria. Por outro lado, uma retenção de água muito elevada torna a junta de argamassa mais porosa devido à alta relação água/aglomerante. 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.

Sobre a aderência entre a argamassa e o bloco, existem opiniões controversas de sua relação com a retenção de água. Alguns autores (SABBATINI, 1994; PRUDÊNCIO *et al.* 2003; PARSEKIAN e SOARES, 2010), acreditam que uma retenção de água elevada prejudica a aderência bloco/junta, pois a sucção de água pelo substrato carrega materiais cimentícios que, após a hidratação, garantem a resistência de ligação entre as interfaces. Por outro lado, BOYNTON & GUTSCHIK (1964) afirmaram que argamassa com elevada capacidade de retenção de água promove extensão e resistência de aderência satisfatória, principalmente em substratos com elevado potencial de sucção. Essa extensão de aderência é melhorada, segundo os autores, pois uma argamassa com retenção de água adequada proporcionará consistência e plasticidade capazes de diminuir falhas de contato entre a argamassa e o substrato, o que possivelmente promoverá uma boa resistência de aderência.

Segundo Sabbatini (1986), a capacidade de retenção de água está intimamente relacionada com a tensão superficial da pasta aglomerante. Uma argamassa tende naturalmente a conservar a água necessária para molhar a superfície dos grãos de areia e do 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 adsorviva de seus cristais.

Casali e Prudêncio Jr. (2008) estudaram a influência da quantidade de cal nas propriedades de argamassas mistas e 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%.

#### *2.1.2.3.6. 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, carreadas para a superfície da argamassa onde se rompe (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., 2001).

A massa específica das argamassas 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 (CARASEK, 1997). O teor de ar pode ser determinado pelo método da massa específica (densidade), porém requer o conhecimento da massa específica de cada constituinte do traço (CASALI, 2003).

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, 2007).

#### *2.1.2.3.7. Adesão Inicial*

De acordo com Carasek (2007), a adesão inicial, também denominada de “pegajosidade”, é a capacidade de união inicial da argamassa no estado fresco a uma base. Essa propriedade está relacionada com aspectos reológicos da pasta, especificamente da sua tensão superficial. Para se melhorar a adesão, é necessário reduzir a tensão superficial da pasta para favorecer a “molhagem” do substrato, reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies e aumentando a união entre elas.

Para reduzir a tensão superficial da pasta, pode-se aumentar o teor de cimento da mistura, adicionar cal, ou fazer uso de aditivos incorporadores de ar e retentores de água que contribuem para molhar de maneira mais efetiva a superfície (CARASEK, 2007).

A adesão inicial é fortemente influenciada pela plasticidade e coesão da argamassa e pelas propriedades do substrato onde é aplicada (absorção inicial e rugosidade) e possui ligação direta com a aderência que a argamassa terá ao substrato no estado endurecido (PRUDÊNCIO Jr., 1994).

Segundo Casali (2008), uma boa adesão inicial é necessária para que, após o encabeçamento do bloco, a argamassa se mantenha unida a ele até o seu posicionamento na construção da parede. Além disso, a junta vertical de argamassa, que une os blocos lateralmente, também precisa ficar fixa até o desenvolvimento da pega e endurecimento.

#### *2.1.2.3.8. Deformabilidade da Junta Fresca*

De acordo com Casali (2008), a deformabilidade da junta fresca consiste na deformação sofrida pela junta de argamassa ou o recalque dela com o assentamento dos blocos, devido ao acréscimo da carga. É importante conhecer esse comportamento, pois ele define a altura de elevação de uma parede pelo tempo transcorrido.

Gallegos (1989) comenta que a altura máxima para assentamento em um turno de trabalho é até meia altura da parede, o equivalente a 6 fiadas. Já Tauil e Nese (2010) recomendam que em assentamentos de alvenaria, não deve ser executada uma altura superior a 1,60m de

parede, o que corresponde a cerca de 8 fiadas por período de trabalho (meio dia de serviços).

Em alvenaria estrutural de blocos de concreto, Casali (2003) recomenda não assentar a camada superior antes de transcorridos 15 minutos do assentamento da camada inferior, para que não ocorra redução significativa da espessura do filete de argamassa.

Apesar de a deformabilidade ser muito influenciada pelo tipo de argamassa, bloco e condições climáticas, um valor do recalque médio de blocos de concreto, medido em obra, segundo Araújo (2001), é de aproximadamente 0,452 mm/fiada.

#### 2.1.2.4. Propriedades do Estado Endurecido

##### 2.1.2.4.1. *Resistência à Compressão*

Na argamassa de assentamento, os valores da relação água/cimento são mais elevados que os utilizados no concreto, pois a resistência à compressão não está entre as características mais importantes de uma argamassa, e a água influencia diretamente na sua trabalhabilidade, que é uma propriedade fundamental de aplicação. Apesar disso, 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.

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).

A ABNT NBR 8798 (1985) estabelecia que a resistência à compressão da argamassa para alvenaria estrutural de blocos de concreto deve ser superior a 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 compo 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 (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.

Aliado a isso, alguns 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.

#### *2.1.2.4.2. Módulo de Elasticidade*

O módulo de elasticidade consiste na relação entre a tensão existente em um corpo e a deformação específica produzida por esta tensão, sendo definida pela declividade da curva tensão x deformação sob um carregamento uniaxial.

O módulo de elasticidade é uma propriedade que define como se dá a transferência de tensões em um elemento. Segundo Solórzano

(1994), uma argamassa adequada é aquela que, dentre outras características, permite a dissipação dos esforços atuantes sem a ocorrência das fissuras prejudiciais, 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., 2007a).

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.

#### *2.1.2.4.3. Aderência*

A resistência de aderência pode ser definida como a capacidade que a interface bloco-argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se (SABBATINI, 1986). Segundo Oliveira (1992), o monolitismo da parede, a resistência da alvenaria frente às solicitações e sua durabilidade dependem da resistência de aderência entre o bloco e a junta de argamassa.

De acordo com Prudêncio Jr. et al., (2003) a aderência, medida por seu valor e extensão, é a propriedade mais importante da argamassa endurecida. Ela se estabelece e fica definida para todas as suas finalidades no momento em que é feito o contato da unidade com a argamassa. Solórzano (1994) enumera as características das argamassas que influem na aderência: trabalhabilidade, retenção de água, porosidade, granulometria da areia, condições de execução e cura da alvenaria.

No entanto, a aderência não é uma propriedade intrínseca da argamassa, pois ela depende também das características da base. Oliveira (1992) salienta que, quantificar somente a capacidade de aderência de uma argamassa de assentamento não tem sentido, visto que é uma propriedade do conjunto unidade-argamassa. Desta forma, uma melhor explanação sobre aderência entre a argamassa e o bloco de concreto encontra-se no item 2.4.

#### 2.1.2.4.4. *Retração*

Segundo Carasek (2007), 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., 2005). Segundo Bastos (2001), a retração pode ser restringida nas primeiras horas, sobre base não porosa, pela simples presença do agregado na argamassa.

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, 2007).

A retração plástica também é influenciada pelo teor de material pulverulento (partículas menores que 0,075mm) da mistura, pois, devido à alta superfície específica dos finos, estes requerem maior quantidade de água para uma mesma trabalhabilidade. Toda a água que não é utilizada para a hidratação do aglomerante evapora, gerando tensões nos poros e causando fissuração (CARASEK, 2007).

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, conforme Figura 1. 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.

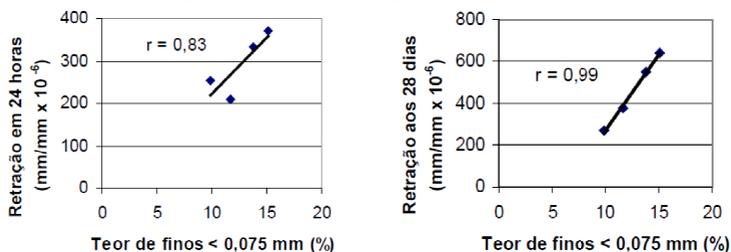


Figura 1: Correlação entre o teor de finos (partículas passantes na peneira 0,075mm) e retração em 24 horas e aos 28 dias de argamassas mistas. Fonte: BASTOS et al. (2005).

#### 2.1.2.4.5. Durabilidade

A durabilidade de uma argamassa de assentamento de alvenaria está relacionada com sua capacidade de suportar, sem comprometimento de suas propriedades, as condições ambientais às quais estará exposta (PANARESE et al., 1991).

Segundo Sabbatini (1986), as argamassas podem ter a sua integridade comprometida por uma série de fatores, tais como: retração na secagem, absorção de água de chuva, temperaturas de congelamento, choque térmico, agentes corrosivos atmosféricos e agentes agressivos biológicos.

Dentre esses parâmetros, os dados sobre porosidade total da argamassa, bem como a distribuição dos poros, permitem inferir conclusões sobre os fenômenos que resultam em danos de uma argamassa. De acordo com Quarcioni et al. (2001), a caracterização dos poros, em termos da microestrutura da argamassa, fornece importantes subsídios para avaliação da durabilidade do material.

### 2.1.2.5. Principais Ensaio das Argamassas

Das propriedades do estado fresco e endurecido citadas anteriormente, é imprescindível a determinação de algumas delas para se avaliar a argamassa a ser utilizada. A Tabela 2 apresenta um resumo de alguns desses métodos que serão empregados neste trabalho.

Tabela 2: Principais métodos empregados para avaliação das propriedades do estado fresco de argamassas (continua).

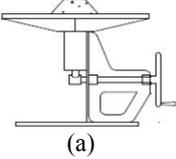
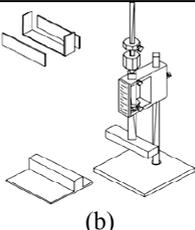
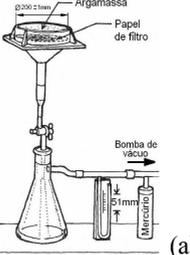
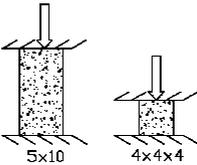
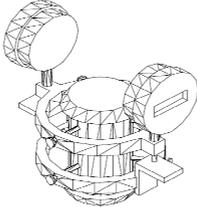
<b>Método</b>	<b>Norma ou trabalho que o descreve</b>	<b>Esquema</b>	<b>Ensaio realizado no estado:</b>	<b>Propriedade Avaliada</b>
Mesa de Consistência (flow table)	NBR 7215 (1997) NBR 13276 (2005)		Fresco	Consistência e Plasticidade
GTec Teste	Casali (2003)		Fresco	Consistência, plasticidade e coesão
Retenção de Consistência	NBR 13277 (2005)		Fresco	Retenção de água
Massa específica	NBR 13278 (2005)		Fresco	Massa específica e teor de ar incorporado

Tabela 2: (Continuação) Principais métodos empregados para avaliação das propriedades do estado fresco de argamassas.

Resistência	<p>NBR 7215 (1997) cilíndricos</p> <p>NBR 15961:1-2 (2011) cúbicos</p>		Endurecido	Resistência à compressão
Módulo de elasticidade	<p>NBR 8522 (2008)</p>	 <p>(c)</p>	Endurecido	Módulo de elasticidade

FONTE: (a) CARASEK, 2007; (b) CASALI, 2003; (c) STEIL, 2003.

## 2.2. MECANISMOS DE RUPTURA

Para melhorar a resistência da alvenaria estrutural, é necessário entender o tipo de ruptura que ocorre e, em função disso, os estados de tensões que a gera, quando considerada a ação somente de compressão axial.

Os primeiros estudos dos mecanismos de ruptura da alvenaria datam de 1969, com os trabalhos de Hilsdorf *apud* em Hendry (1981) que se baseavam predominantemente em critérios de similaridades entre tensões dos materiais. Já nessa época, o autor observou que a ruptura seria governada pela interação entre argamassa e bloco e a mesma ocorreria quando fosse atingida a resistência da argamassa (MOHAMAD, 1998). Nos anos seguintes, essa conclusão foi mais bem explanada por diversos pesquisadores.

Segundo Cheema e Klingner (1986) podem-se resumir os modos de ruptura de alvenarias estruturais pelas seguintes causas:

- Tração no bloco, onde a tensão de tração principal no bloco é maior que a resistência à tração do bloco;
- Esmagamento do bloco, onde a tensão principal de compressão no bloco é maior que a resistência à compressão do bloco;

- Esmagamento da argamassa, onde 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, 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.

Shrive (1983), citado em Mohamad (1998), afirma que a ruptura da alvenaria submetida à compressão é fundamentalmente a mesma de qualquer material frágil como concreto, vidro e pedra. O autor ainda destaca que as fissuras na alvenaria originam-se nos vazios do material criando tensões de tração lateral localizadas.

A alvenaria, quando submetida à compressão, está sujeita a tensões triaxiais de carga. A Figura 2 apresenta o esquema das distribuições de tensões nos materiais (MOHAMAD et al., 2007a).

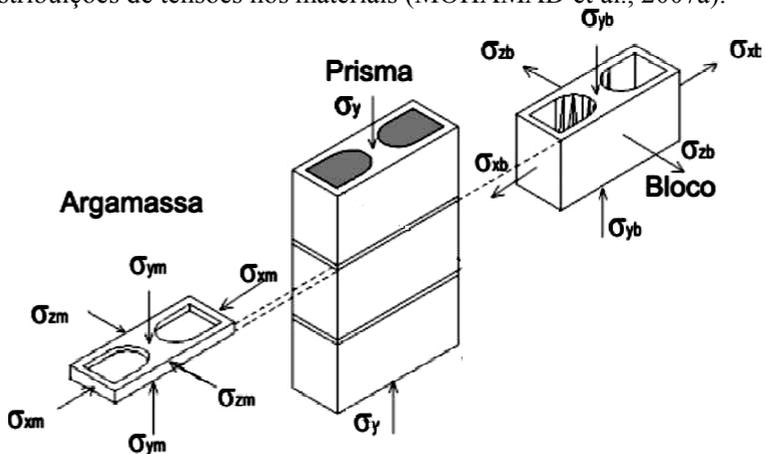


Figura 2: Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais sob compressão axial. Fonte: MOHAMAD et al. (2007a).

Segundo Priestley e Yuk (1984), citados em Casali (2003) e Prudêncio Jr. et al. (2003), quando uma alvenaria é solicitada à compressão, incide na região de contato bloco/junta um esforço de tração transversal, uma vez que, a argamassa tende a se expandir lateralmente, por ser mais deformável que o bloco e, como o bloco e a argamassa estão aderidos, são forçados a se deformarem igualmente em suas interfaces. Com isso, aparece um esforço de compressão transversal no topo e na base das juntas e um esforço de tração, também transversal, nas faces superiores e inferiores das unidades, estando estes esforços equilibrados.

Sabendo-se disso, pode-se afirmar que, quanto maior a espessura da junta de argamassa, menor será a resistência da alvenaria, pois ocorre um aumento do esforço de tração no bloco. Da mesma forma que, quanto menor a altura da unidade, menor é a resistência da alvenaria, uma vez que a seção transversal resistente ao esforço de tração é menor (PRUDÊNCIO Jr. et al., 2003).

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;

Mohamad et al. (2007a) estudaram alvenaria de blocos de concreto e observaram que as rupturas nas paredes ocorreram devido ao esmagamento da junta de argamassa, tração na argamassa ou tração no bloco. Os autores observaram que, quando foram utilizadas argamassas mistas menos resistentes à compressão do que o bloco na área líquida, a ruptura se apresentou mais “dúctil”, ocorrendo um esfacelamento da parte externa das paredes, iniciando-se próximo as juntas e estendendo-se por todo o bloco. Quando foram utilizadas argamassas mistas com o mesmo nível de resistência à compressão do bloco na área líquida, o tipo de ruptura foi essencialmente frágil no sentido da seção transversal do prisma.

Dentro desse contexto, percebe-se que muitos são os fatores que influenciam no desempenho de uma alvenaria estrutural. Steil (2003) classifica esses fatores em dois grupos: os que são caracterizados pelos

materiais da execução da alvenaria e os que são inerentes à construção. Esses fatores serão abordados no próximo item.

## 2.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

### 2.3.1. Fatores que influenciam a resistência à compressão

A resistência característica à compressão da alvenaria depende principalmente da resistência à compressão da unidade. Entretanto, existem diversos outros fatores que exercem influência significativa no desempenho da estrutura. Silva (2007) sintetizou os principais fatores da seguinte forma:

- Blocos: geometria, absorção, resistência à compressão e resistência à tração;
- Argamassa: resistência, retenção de água, resiliência, espessura e disposição da junta;
- Módulo de elasticidade: a proporção da rigidez entre argamassa e bloco;
- Influência da esbeltez do prisma: um aumento na relação altura/espessura (razão de esbeltez) provoca um decréscimo na resistência dos prismas. Isso ocorre pelo efeito de confinamento provocado pelos pratos da prensa que altera a distribuição de tensões ao longo dos prismas de pequena altura (HENDRY, 1981).

Mohamad (1998) salienta que, para se obter um melhor desempenho à compressão da alvenaria estrutural, deve-se compatibilizar a resistência da argamassa e do bloco de concreto. Essa compatibilidade é importante não só para alcançar uma boa eficiência, mas, também, para que a estrutura trabalhe de maneira a dar avisos prévios em casos de ruptura, tais como esfacelamento da argamassa e surgimento de fissuras. Dentro desse contexto, o autor reuniu em seu trabalho dados de pesquisas de diversos autores, comparando resistência de blocos, argamassas e prismas realizados de forma analítica. A Figura 3 apresenta essas comparações, nas quais é possível observar que a maioria dos pesquisadores trabalha com níveis de resistência à compressão de argamassa na ordem de 40 a 60% da resistência do bloco na área líquida.

Aliado a isso, a proporção de rigidez entre a argamassa e o bloco é outro fator significante na resistência da alvenaria e também na determinação do tipo de ruptura que irá ocorrer devido ao surgimento de

tensões de confinamento na argamassa e tração do bloco. Essas tensões estão relacionadas à tendência da argamassa deformar-se mais do que os blocos, mas é impedida de se movimentar devido à aderência na interface bloco/argamassas (DRYSDALE, HAMID e BAKER, 1993).

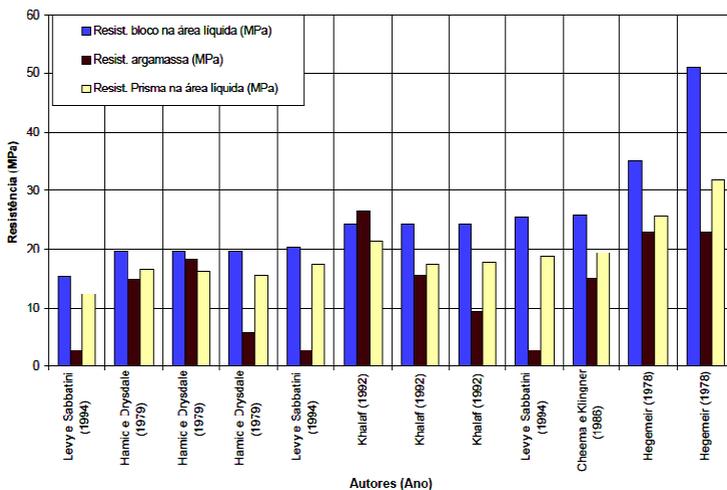


Figura 3: Resistência à compressão de prismas, blocos e argamassas segundo diversos autores. Fonte: SABBATINI (1986).

### 2.3.2. Avaliação da Resistência à Compressão

A avaliação da resistência à compressão da alvenaria pode ser realizada por meio de estimativa da resistência de prismas, de miniparedes e de paredes em escala real. Ainda podem ser utilizadas estimativas a partir da resistência dos componentes ou por modelos teóricos de ruptura elaborados por pesquisadores (IZQUIERDO, 2011).

Peleteiro (2002) considera que a experimentação, sem uma modelagem teórica prévia, pode ser muito dispendiosa. Entretanto, a norma brasileira ABNT NBR 10837 (1989) sugere que a determinação da resistência seja obtida pela realização de ensaios, pois considera que os métodos de determinação teórica e/ou empírica não conduzem a resultados confiáveis (GONÇALVES Jr., 2008).

Segundo a nova norma de alvenaria estrutural de blocos de concreto, ABNT NBR 15961:1-2 (2011), a resistência característica à compressão simples da alvenaria ( $f_k$ ) deve ser determinada com base no ensaio de paredes (ABNT NBR 8949) ou ser estimada como 70 % da resistência característica à compressão simples de prisma ( $f_{pk}$ ) ou 85 %

da pequena parede ( $f_{ppk}$ ). As resistências características de paredes ou prismas devem ser determinadas de acordo com as especificações da Parte 2 desta norma.

Nos próximos itens, serão abordados os principais ensaios para determinação da resistência à compressão da alvenaria estrutural, prismas e paredes, e também o método de determinação por modelagem numérica.

### 2.3.2.1. Ensaios de Prismas

O melhor ensaio para determinar a resistência à compressão da parede de alvenaria estrutural é aquele realizado em escala real, com a parede inteira. Mas, esse não é um ensaio de fácil realização e possui um custo alto. Em contrapartida, a utilização do ensaio de compressão de blocos apenas como forma de prever a resistência não é seguro, pois existe uma série de fatores inerentes à interação bloco-argamassa que interferem na resistência. Assim, o melhor corpo-de-prova para controle da resistência é o ensaio de prisma (componente bloco + argamassa), que pode ser realizado com dois blocos e uma junta de argamassa, ou três blocos e duas juntas, mais utilizado nos laboratórios de pesquisa (PARSEKIAN e SOARES, 2010).

Segundo Prudêncio Jr. (1986), os prismas produzem bons resultados, uma vez que o mecanismo de ruptura que apresentam quando submetidos à compressão é o mesmo que o das paredes em escala normal. Entretanto, o autor salienta que sua utilização pressupõe o conhecimento da correlação entre a sua resistência e a de paredes executadas com os mesmos materiais.

A estimativa da resistência de paredes por meio do ensaio de prismas é o procedimento adotado pela ABNT NBR 10837 (1989) e apresenta algumas vantagens importantes, por constituir-se de um ensaio mais simples, econômico e mais viável do que ensaios de paredes, que necessitam de equipamentos e condições mais complexas para sua realização (IZQUIERDO, 2011).

Há um fator definido pela razão entre a resistência do prisma e a resistência do bloco, chamado de fator de eficiência. Este fator representa a influência da resistência à compressão dos blocos nos corpos-de-prova e é calculado pela Equação 1.

$$\eta = \frac{f_{prisma}}{f_{bloco}} \quad \text{Equação 1}$$

onde  $f_{\text{prisma}}$  corresponde à resistência à compressão do prisma e  $f_{\text{bloco}}$  corresponde à resistência à compressão do bloco.

Mohamad (1998) estudou combinações de prismas de concreto com diferentes traços de argamassas mistas e, em todos os ensaios, os fatores de eficiência ficaram entre 0,56 e 0,75, sendo que a resistência do bloco era de aproximadamente 15 MPa. Estudos semelhantes, 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.

Apesar desses parâmetros, é preciso salientar 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).

Apesar da ABNT NBR 8215 (1983) e da ABNT 15961 (2011) padronizarem o ensaio de prismas com dois blocos de altura, diversos autores, entre eles Medeiros (1993), La Rovere (1997) e Prudêncio Jr. et al. (2003), concordam que prismas de três fiadas são mais desejáveis, pois conseguem reproduzir mais fielmente o comportamento bloco-junta na posição central do corpo-de-prova, sem que haja efeito significativo da restrição à deformação transversal imposta pelos pratos da prensa, o que ocorre nos prismas de duas fiadas.

Segundo Prudêncio Jr. et al. (2003), quando se objetiva estudar a influência do tipo de argamassa no desempenho da alvenaria, a confecção dos prismas deve ser feita com alguns cuidados. Os blocos que serão utilizados devem ser separados por massa, pois é conhecida a influência da compactação das unidades na resistência à compressão do conjunto. Preferencialmente deve-se optar por assentar na posição central dos prismas blocos com pesos semelhantes. Os blocos do topo e da base devem ser devidamente capeados com pasta de cimento antes da confecção dos prismas. Na moldagem do corpo-de-prova, os blocos de concreto devem estar secos ao ar e as juntas de argamassa devem ser feitas com espessuras de  $(10 \pm 3)$  mm. O transporte dos prismas deve ser feito de forma cautelosa para que não ocorra o desprendimento dos blocos durante a movimentação.

Nos casos em que for necessário determinar o módulo de elasticidade, a ABNT NBR 15961-2 (2011) prescreve que este deve ser calculado no intervalo correspondente à curva secante entre 5% e 30%

da tensão de ruptura de cada corpo-de-prova. Uma representação da instrumentação de um prisma de três fiadas pode ser visualizada na Figura 4.

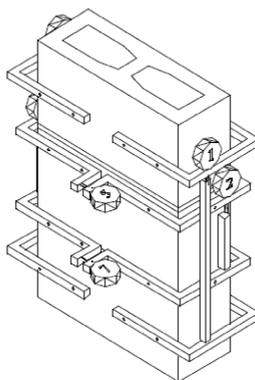


Figura 4: Instrumentação de um prisma de três fiadas. Fonte: STEIL (2003).

#### 2.3.2.2. Ensaios de Paredes

Os ensaios em paredes são os que produzem os resultados mais confiáveis, pois são realizados com elementos em escala real. Todavia, esses testes são de difícil preparação, onerosos, além de exigirem uma estrutura laboratorial sofisticada.

De acordo com a ABNT NBR 8949 (1985), que prescreve o método de preparo e de ensaio de paredes estruturais submetidas à compressão axial, os corpos-de-prova devem ter as dimensões que os tornem representativos da estrutura real e que sejam minimizadas as influências das variações das características dos materiais e da mão de obra na resistência das paredes. Não sendo praticável reproduzir as paredes nas suas dimensões reais, admite-se como sendo corpos-de-prova representativos aqueles que tenham por dimensões mínimas 1,20m x 2,60m (largura x altura).

De acordo com estudos realizados por Prudêncio Jr. et al. (2003), a relação entre as resistências de prismas de três fiadas e de paredes é constante, e a razão entre a resistência da parede e do prisma é aproximadamente 0,6. Segundo estudos de Izquierdo (2011), essa razão fica em torno de 0,7, quando se faz uso de prismas de duas fiadas.

Silva et al. (2007) estudaram a resistência à compressão de diversos corpos-de-prova moldados com blocos de concreto e argamassa mista, e puderam observar que as paredes resultaram em resistência aproximadamente 10% menores do que os prismas moldados com três

unidades, sendo que o fator de eficiência (relação entre a resistência do corpo-de-prova e do bloco) dos prismas foi de 89%, enquanto que os da parede foram menores que 73%. Em relação ao módulo de elasticidade, os autores observaram que a curva tensão/deformação permanece praticamente inalterada, independente do corpo-de-prova ensaiado.

De acordo com ABNT NBR 8949 (1985), o ensaio de determinação da resistência de paredes é acompanhado da determinação da resistência à compressão da argamassa de assentamento, dos blocos, e do graute (quando houver). Segundo a ABNT NBR 15961-2 (2011), nos casos em que seja necessário avaliar o módulo de elasticidade secante, recomenda-se que este seja calculado no intervalo correspondente a 5% e a 30% da tensão de ruptura do gráfico tensão-deformação de cada corpo-de-prova.

### 2.3.2.3. Modelagem Numérica

Segundo Peleteiro (2002), a modelagem numérica, desde que confiável, pode ser de grande ajuda na redução do número dos corpos-de-prova a serem ensaiados e do número de pontos a serem instrumentados. Isso significa redução de custos e prazos e maior eficiência na obtenção de resultados.

Para Gonçalves Jr. (2008), a determinação teórica e/ou empírica da resistência da alvenaria à compressão a partir dos seus componentes é de difícil solução, pois existe uma grande variabilidade dos materiais, processos construtivos e características heterogêneas da alvenaria. No entanto, o autor salienta que, com o advento dos métodos numéricos e o avanço computacional, tornou-se possível utilizar modelos constitutivos mais precisos para prever o comportamento da estrutura.

De acordo com Díaz et al. (2011), a etapa fundamental na análise de engenharia é a escolha apropriada de modelos matemáticos, selecionados dependendo dos fenômenos estudados. Segundo os autores, o modelo de elementos finitos é usado para resolver problemas físicos na análise de engenharia. Contudo, como as soluções consistem em procedimentos numéricos, é necessário avaliar a precisão do resultado obtido.

A aplicação do método dos elementos finitos para análise de estruturas em alvenaria requer um modelo apropriado para o material. De acordo com Lourenço e Rots (1997), citado em Peleteiro (2002), um modelo preciso para análise de estruturas em alvenaria precisa incluir os mecanismos básicos de ruptura que caracterizam o material, tais como: fissura nas juntas, escorregamento ao longo de uma junta horizontal ou

vertical com valores baixos de tensão normal, fissuração das unidades de alvenaria na direção da tração, fissura diagonal à tração nas unidades de alvenaria com valores de tensão normal suficientes para desenvolver atrito nas juntas, e fendilhamento das unidades à tração como resultado da dilatação da argamassa, com valores altos de tensão normal de compressão. Além disso, o método deve considerar as propriedades de todos os materiais utilizados para compor um modelo confiável.

#### 2.4. ADERÊNCIA ENTRE A ARGAMASSA E O BLOCO DE CONCRETO

A aderência entre a argamassa endurecida e o substrato é um fenômeno essencialmente mecânico, devido, basicamente, à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação (CARASEK, 2007).

Segundo Sabbatini (1984), a aderência é a capacidade que a interface bloco/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela sem romper-se, ou seja, a aderência consiste na conjugação de três propriedades da interface bloco-argamassa: a resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência (razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida).

A aderência da argamassa de assentamento é responsável pela capacidade da junta resistir aos esforços de tração perpendiculares ao seu plano e à tensão de cisalhamento devida às forças tangenciais, além de suportar acomodações de origem térmica (DA MATA, 2011).

Os projetos de alvenaria devem minimizar as tensões de tração e/ou outras tensões que gerem tração como o momento fletor nas paredes estruturais. Caso a parede não resista aos esforços de tração, fissuras irão ocorrer, comprometendo o funcionamento da alvenaria, que não se comportará como um conjunto rígido e monolítico, diminuindo sua resistência. Aliado a isso, através dessas fissuras, irá ocorrer o ingresso de água, causando o início de processos de degradação (CASALI, 2008).

Os esforços de tração na flexão de uma parede podem ocorrer tanto no seu plano quanto fora dele. No caso das ações incidirem no plano da parede, pode-se verificar três modos de ruptura diferentes, descritos por Da Mata (2011):

- Deslizamento por corte: ocorre em paredes submetidas a cargas verticais relativamente baixas combinadas com a presença de uma argamassa de baixa aderência, ocorrendo o

deslizamento por cisalhamento da parede em uma junta de argamassa;

- Flexão: ocorre quando atuam um momento fletor causado pela força lateral e uma baixa força vertical uniformemente distribuída, que levam a abertura de fissuras horizontais por levantamento da parede;
- Cisalhamento: paredes submetidas a elevadas forças verticais e horizontais, aparecem fissuras diagonais. Podem localizar-se nas juntas de argamassa (argamassa de baixa qualidade) ou também nos blocos (blocos de resistência muito baixa).

Os tipos de ruptura em paredes submetidas à flexão fora do plano podem ser visualizados na Figura 5 e correspondem a:

- Tração normal às fiadas;
- Tração paralela às fiadas.

Nos dois casos, normal ou paralela às fiadas, a resistência à tração irá depender da aderência. As normas brasileiras e americanas consideram somente a resistência à tração da alvenaria quando submetida à flexão fora de seu plano, prescrevendo ensaios de flexão para sua determinação.

Alguns exemplos do tipo de ruptura observado na Figura 5, denominados de caso 2, onde a resistência de aderência entre a argamassa e as unidades era inferior à tensão aplicada, podem ser visualizados na Figura 6, que mostra uma parede de alvenaria estrutural de blocos de concreto.

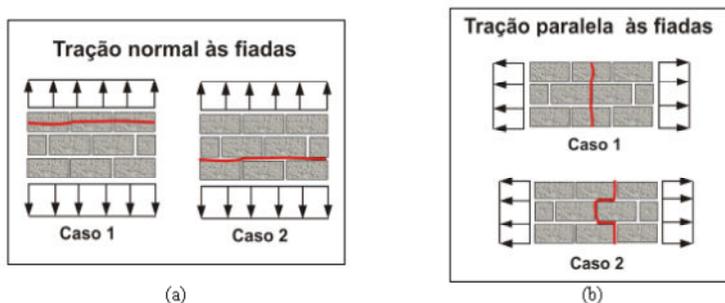


Figura 5: Tipos de ruptura em paredes submetidas à flexão fora do plano: (a) tração normal às fiadas; e (b) tração paralela às fiadas. Caso 1: resistência à tração da unidade menor que a tensão; e caso 2: resistência de aderência entre argamassa e unidades menor que a tensão. Fonte: Adaptado de SCHUBERT e HOFFMANN (1994).

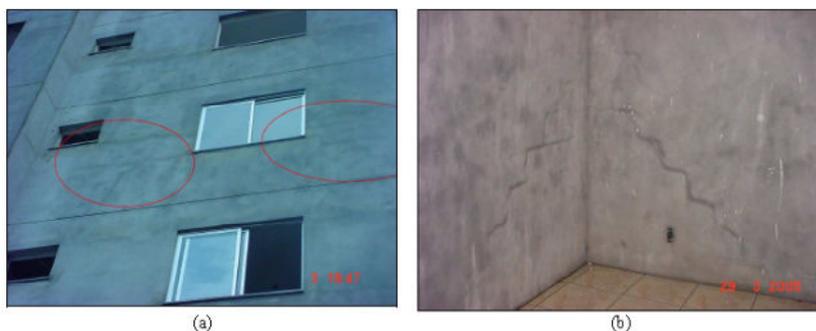


Figura 6: Fissuras geométricas observadas na parte externa (a) e interna (b) dos edifícios. Fonte: CASALI (2008).

Segundo Casali (2008), a incapacidade de absorção dos esforços de tração na flexão a que as paredes estão submetidas é uma das principais causas dos fenômenos patológicos citados. Isso ocorre devido à baixa resistência de aderência existente entre o bloco de concreto e a junta de argamassa.

Tendo em vista os mecanismos de ligação, é possível dizer que, melhorando-se o contato entre a argamassa e o substrato, a aderência será também melhorada. A interação entre o bloco de concreto e a argamassa de assentamento inicia quando a argamassa, no estado fresco, é colocada sobre a superfície porosa e absorvente do substrato, que provoca, no primeiro contato, uma perda substancial de água e enrijecimento. Esse fenômeno é essencial para promover o contato íntimo entre os materiais e aumentar a sua aderência, pois a água absorvida contém substâncias solúveis de cimento que se incrustam na superfície (CASALI, 2008).

Carasek (1997) estudou os fatores que controlam a resistência de aderência e concluiu que o tipo de substrato, tipo de argamassa e o teor de umidade do substrato exercem muita influência nessa propriedade, e que existe, além do efeito individual desses fatores, um efeito sinérgico entre eles. A autora verificou que substratos secos resultaram nos mais altos valores de aderência, tendo tais valores decrescidos à medida que foi aumentando o teor de umidade da base. Verificou também, que o fator individual de maior influência é a argamassa, sendo descrito pela sua trabalhabilidade, reologia, energia de impacto exercida na execução e os materiais constituintes.

Aliado a isso, Bauer (2002) relata um estudo de caso, onde possivelmente a retração plástica inicial e a conseqüente retração por

secagem incidiram negativamente no desenvolvimento da aderência, pelo efeito físico de descontinuidade na região de contato (fissuração).

Dentre os componentes da argamassa, o teor de cimento é o parâmetro que melhor explica as variações na resistência de aderência. Carasek (1997) observou que, para a faixa de teor de cimento entre 7,8 e 22,4%, à medida que se aumentava esse teor nas argamassas, ocorria uma elevação nos valores de resistência de aderência. Apesar disso, é importante salientar que a quantidade excessiva de cimento resulta em argamassas muito rígidas, que tendem a fissurar e, conseqüentemente, perder resistência de aderência ao longo do tempo.

Desta forma, o proporcionamento dos materiais deve ser cauteloso. Argamassas com elevado teor de cimento, em geral, apresentam elevada resistência de aderência, mas também tendem a ser menos duráveis, pela maior probabilidade de apresentar fissuras. Por outro lado, a adição de cal nas argamassas aumenta sua aderência, uma vez que propicia a capacidade de preencher mais facilmente e de maneira mais completa a superfície do substrato e microscopicamente levam a uma interface com estrutura mais densa, contínua e com menor incidência de micro fissuras, o que contribui para o aumento da durabilidade (CARASEK, 2007).

A capacidade de aderência é dependente, também, dos teores e das características da areia empregada na confecção das argamassas. De maneira geral, quanto mais pobre é a argamassa, menor a resistência de aderência da mistura, mas, por outro lado, o agregado garante a durabilidade dessa aderência pela redução da retração. É recomendável utilizar areias com granulometria contínua e com maior módulo de finura, desde que produzam argamassas trabalháveis. Areias com alto teor de material pulverulento também podem prejudicar a aderência, pois a incorporação de grãos finos resulta em um refinamento dos poros da argamassa o que dificulta o fluxo hidráulico entre a junta e o bloco. Além disso, na sucção exercida pelo substrato, os finos podem penetrar no interior dos poros do bloco, tomando o lugar de produtos de hidratação do cimento (CARASEK, 2007).

De acordo com Sabbatini (1986), Carasek et al. (2001) e Prudêncio Jr. et al. (2003), outro aspecto que influencia a aderência argamassa/bloco é a presença de aditivos, em especial os incorporadores de ar. Esses aditivos são adicionados com a finalidade de melhorar a plasticidade, permitindo a redução da quantidade de água e também por aumentar a retenção de água e reduzir a exsudação das argamassas, características antes adquiridas somente pelo emprego da cal. Entretanto, a presença desse aditivo tende a diminuir a resistência de

aderência das argamassas, pois há uma redução da superfície de contato na interface pela presença de bolhas de ar.

Casali (2008) estudou a aderência entre bloco/argamassa usando quatro tipos de argamassas de assentamento e blocos de concreto em prismas, e observou que argamassas mistas sem aditivo apresentaram resistência de aderência média de 0,30 MPa. Esse valor foi reduzido em 30% quando foram utilizados aditivos incorporadores de ar nas argamassas mistas. Argamassas de cimento com incorporador de ar apresentaram valor médio de 0,20 MPa e argamassas de cimento com incorporador de ar e retentor de água, de 0,07 MPa.

#### **2.4.1. Métodos de Avaliação da Aderência**

Apesar da importância da aderência na alvenaria estrutural, ainda não existem métodos ou ensaios adequados para medir o valor da aderência como uma característica independente. Atualmente, os métodos utilizados consistem em separar duas ou mais unidade ligadas por argamassa, medir a força de separação e dividi-la pela área de contato argamassa/unidade (PRUDÊNCIO JR. et al., 2003).

Na sequência estão apresentados dois métodos de avaliação de aderência. Um deles é o ensaio em prismas, que é o mais utilizado no estudo dessa propriedade e é amplamente conhecido no meio técnico, sendo o método normalizado pela ABNT NBR 15961 (2011). O outro método, proposto por Casali (2003), consiste em utilizar corpos-de-prova reduzidos, aqui chamados de mini-prismas, para análise de aderência.

##### **2.4.1.1. Ensaio de Aderência em Prismas**

A nova norma de alvenaria estrutural de blocos de concreto, ABNT NBR 15961 (2011), recomenda a confecção de prismas de cinco fiadas, ensaiados como vigas e submetidos à flexão para avaliação da resistência de aderência da alvenaria. O ensaio consiste em confeccionar um prisma de alvenaria com cinco blocos sobrepostos que, após o período de cura, é colocado em posição horizontal, apoiado nos dois blocos extremos. Procede-se então ao carregamento, que pode ser realizado com a colocação de blocos conforme Figura 7, gerando um esforço de flexão no prisma. A medida da carga necessária para romper o prisma por tração na flexão é o parâmetro de controle da resistência de aderência entre argamassa e bloco.

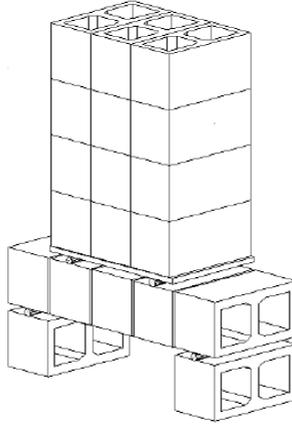


Figura 7: Ensaio de aderência por tração na flexão com prismaes de cinco fiadas.  
Fonte: ABNT NBR 15961 (2011).

A norma especifica a Equação 2 para o cálculo do momento fletor no meio do vão e a Equação 3 para determinação da resistência à tração na flexão.

$$M = \frac{G \times L^2}{8} + \frac{P \times b}{2} \quad \text{Equação 2}$$

$$f_t = \frac{6 \times M}{c \times l^2} \quad \text{Equação 3}$$

onde:

$f_t$  é a tensão de tração na flexão;

P é o peso total da sobrecarga [roletes+madeira+ blocos (ou carga de ruptura indicada na máquina de ensaio)];

G é o Peso total do prisma;

H é a altura do prisma;

L é o Comprimento livre entre apoios;

b é a distância entre apoio e ponto de aplicação de carga;

c é o comprimento do bloco;

l é a largura do bloco;

M é o momento máximo.

A norma permite a consideração da resistência à tração da alvenaria sob flexão, segundo os valores característicos definidos na Tabela 3, válida para argamassas de cimento, cal e areia sem aditivos e adições e juntas verticais preenchidas. Os valores são relativos a área bruta dos prismas.

Tabela 3: Valores característicos da resistência à tração na flexão.

Direção da tração	Resistência média à compressão da argamassa (MPa)		
	1,5 a 3,4	3,5 a 7,0	Acima de 7,0
Normal à fiada	0,08	0,15	0,20
Paralela à fiada	0,20	0,40	0,50

Fonte: ABNT NBR 15961 (2011).

No entanto, cabem aqui algumas ressalvas. O valor do momento fletor calculado pela norma, considera o prisma como uma viga bi-apoiada, e não como uma viga bi-apoiada com balanços. No prisma de 5 fiadas, a parte em balanço das laterais não é descontada do momento total, provavelmente porque essa parte representa apenas 10% do comprimento total do prisma. Aliado a isso, o cálculo da resistência à tração na flexão é realizado em área bruta, ou seja, para o cálculo do momento de inércia, não são considerados os vazados existentes nos blocos. Essas duas considerações da norma tornam a avaliação da aderência mais restritiva.

Anteriormente à divulgação da ABNT NBR 15961 (2011), o ensaio de tração na flexão era comumente realizado com prismas de quatro fiadas, conforme proposto por Sabbatini (1984) e mostrado na Figura 8. Ambos os ensaios (proposto pela norma e por Sabbatini) apresentam a mesma metodologia, divergindo somente na quantidade de fiadas do corpo-de-prova.

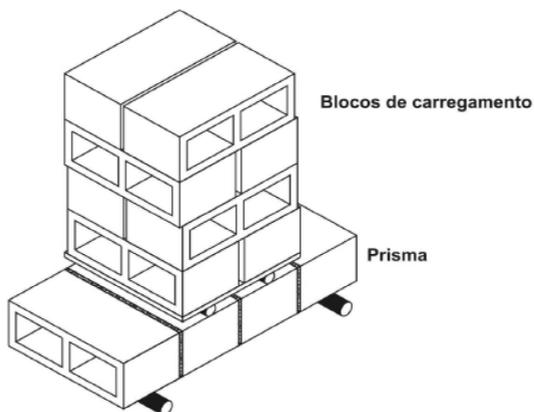


Figura 8: Ensaio para determinação da aderência por tração na flexão de prisma de quatro fiadas. Fonte: SABBATINI (1984).

No entanto, essa mudança proposta pela norma complica um ensaio que já era de difícil execução devido ao peso do prisma que, depois de moldado, deve ser transportado e posicionado para o ensaio. Por vezes, esse transporte causa quebras ou desprendimento do bloco, justamente pela dificuldade de manusear o prisma.

Aliado a isso, nas duas juntas de argamassa centrais do prisma de cinco fiadas ocorre uma sollicitação de cisalhamento, devido ao peso próprio do conjunto. Dependendo da aderência que o prisma apresenta, esse esforço cortante pode ser significativo na ruptura durante o ensaio, o que prejudica a avaliação isolada da tração na flexão. Já no prisma de quatro fiadas, como existe uma única junta central, o esforço cortante no meio do prisma é nulo, havendo somente ação do momento fletor.

#### 2.4.1.2. Ensaio de Aderência em Mini-Prismas

Com o objetivo de avaliar a aderência entre a junta de argamassa e o bloco, Casali (2008) propôs um método com corpos-de-prova reduzidos, chamados de mini-prismas, para serem rompidos por tração na flexão.

De acordo com a metodologia, os mini-prismas devem ser confeccionados com fatias seccionadas dos blocos de concreto, visando simular a região do prisma destacada na Figura 9. O desejável seria extrair o mini-prisma do prisma moldado, mas isso não seria recomendável, pois no momento do corte, a interface entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto se romperia por ser o elo mais

frágil entre os dois materiais, e também porque o seccionamento poderia gerar fissuras no mini-prisma, comprometendo a análise dos resultados (CASALI, 2008).

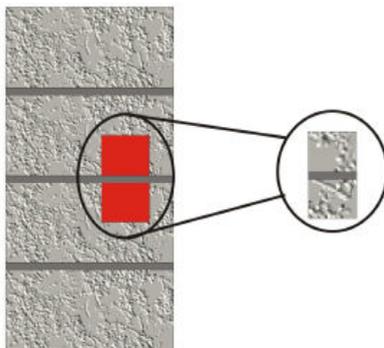


Figura 9: Localização do mini-prisma representado no prisma. Fonte: CASALI (2008).

Sendo assim, os mini-prismas são moldados visando reproduzir a condição do prisma de quatro fiadas, através do seccionamento prévio do bloco e posterior assentamento das fatias. Observa-se, na Figura 10, como devem ser retiradas as amostras dos blocos, sendo quatro amostras da face superior e quatro da face inferior. Devem ser retiradas, também, fatias para servir de sobrepesos, para simular a moldagem de uma parede de alvenaria na qual as fiadas estão sujeitas ao peso das fiadas subsequentes.

De acordo com Casali (2008), as fatias (peças) dos blocos devem ser retiradas das paredes longitudinais, uma vez que, essas paredes recebem a maior quantidade de argamassa e, portanto, reproduzem melhor o comportamento do prisma.

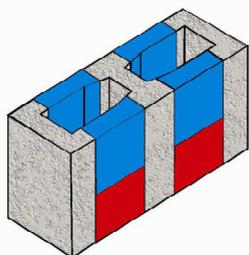


Figura 10: Seccionamento dos blocos de concreto em quatro fatias superiores e quatro fatias inferiores. Fonte: CASALI (2008).

Casali (2008) recomenda que a seleção das peças (superior e inferior) para cada mini-prisma a ser moldado, deve levar em consideração a absorção por unidade de área das peças, pois é conhecida a influência da absorção do substrato na aderência na interface junta/bloco.

Na Figura 11 pode-se observar a configuração do ensaio de tração na flexão dos mini-prismas, com quatro pontos, para determinação da tensão de aderência.

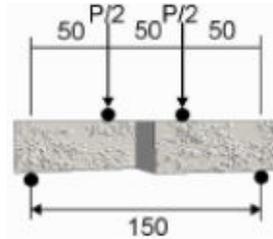


Figura 11: Configuração do ensaio de tração na flexão de mini-prismas.

### 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi elaborado com o objetivo de propor traços de argamassa para o assentamento de paredes de alvenaria estrutural, mais adequados do que os atualmente utilizados pela indústria da construção civil. Para tanto, foram testados vários traços de argamassas mistas sem a presença de aditivos e com a adição de polímeros, retentores de água e/ou desincorporadores de ar. Foram dosados também dois traços de argamassas de cimento com aditivos. A título de comparação e avaliação do desempenho, foram testadas três argamassas industrializadas amplamente utilizadas no mercado, denominadas como: argamassa estrutural de 10 MPa (AE 10), argamassa estrutural de 5 MPa (AE 5) e argamassa múltiplo uso (M.U). Foi realizado também, um estudo preliminar com argamassa colante para avaliar a viabilidade do emprego dos aditivos utilizados na composição desse produto, para as argamassas de assentamento estrutural, citadas anteriormente.

A metodologia aqui apresentada será dividida em três partes. A primeira se concentrará em explanar os principais ensaios realizados no desenvolvimento do estudo e as prescrições das normas correspondentes; posteriormente serão apresentados os materiais empregados no trabalho assim como suas caracterizações; e por último, será destacada a sequência da realização dos ensaios e as observações pertinentes a cada um deles, fase que será denominada de Métodos.

#### 3.1. ENSAIOS

##### 3.1.1. Blocos de Concreto

Os estudos a respeito das características dos blocos que foram realizados neste trabalho estão listados a seguir:

- Pesagem das unidades;
- Medição das dimensões e cálculo da área bruta (ABNT NBR 12118:2011) e área líquida;
- Resistência à compressão: Os blocos foram capeados e rompidos conforme a ABNT NBR 12118 (2011).
- Módulo de elasticidade: Para o cálculo do módulo de elasticidade, utilizaram-se as recomendações da ABNT NBR 8522 (2008), empregando três corpos-de-prova prismáticos (25x25x100 mm) que foram seccionados dos blocos de concreto.

- Absorção: Realizado por dois métodos descritos a seguir:

I. Conforme as prescrições da ABNT NBR 12118 (2011), que consiste em deixar as unidades no ambiente do laboratório por 24 h, sendo então pesadas ( $m_3$ ). Posteriormente levar os corpos-de-prova para a estufa a 110°C e mantê-los por 24 h. Determinar a massa da amostra seca ( $m_1$ ). Os blocos, então, devem ficar expostos a temperatura ambiente, até o equilíbrio com a mesma. Em seguida, imergi-los em água (23°C) e mantê-los por 24 h. Pesá-los na condição saturada com superfície seca ( $m_2$ ). A pesagem de  $m_1$  e  $m_2$  deverá ser repetida até constância da massa conforme descreve a norma em questão. Na Figura 12 pode-se visualizar o ensaio realizado. A absorção é calculada pela Equação 4:

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$



Figura 12: Ensaio de absorção dos blocos.

II. Capacidade de absorção de água por capilaridade por meio do IRA (*Initial Rate Absortion*), que consiste basicamente em colocar a face do componente em contato com uma lâmina de água de  $3,2 \pm 0,25$  mm durante um período pré-estabelecido (normalmente 1 minuto) e determinar o acréscimo de massa da unidade. Esse procedimento é descrito pela ASTM C 67 (1991) somente para blocos cerâmicos, e sem fazer referência à face que fica em contato com a água.

### 3.1.2. Argamassa de Assentamento

Foram realizados os seguintes testes de caracterização para todas as argamassas, para posterior avaliação de seu desempenho:

Ensaio no estado fresco:

- Avaliação da coesão e da plasticidade através do GTec Teste: Esse ensaio avalia a trabalhabilidade por meio da simulação de um assentamento real, por meio da deformação inicial da junta de argamassas após a colocação da unidade, e a energia necessária para que a junta se deforme e apresente uma espessura de 1,0 cm. Os limites estipulados por Casali (2003) para que uma argamassa seja considerada adequada para o assentamento são: leitura inicial (LI) entre 1,55 a 1,80 cm e número de golpes entre 7 e 15.
- Flow Table: abatimento na mesa de queda livre com 30 golpes de acordo com a ABNT NBR 13276 (2005).
- Massa específica e teor de ar incorporado, de acordo com a ABNT NBR 13278 (2005), que prescreve o método de ensaio para determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado para argamassas de assentamento de paredes e de revestimentos;
- Ar incorporado segundo DIN 18555: Medição de ar incorporado pelo método pressométrico em argamassa, empregando um aparelho composto por vaso pressométrico, bomba de ar, válvulas e manômetro de leitura;
- Ar incorporado por meio de picnômetro e solução de água e álcool: Metodologia desenvolvida junto ao GTec – Grupo de Pesquisas em Materiais e Componentes a Base de Cimento Portland, na qual o teor de ar incorporado é medido pela variação de volume em um recipiente contendo argamassa e um líquido, antes e depois da retirada do ar. O ensaio consiste em fazer uma mistura com aproximadamente 50% de álcool e 50% de água e, com o auxílio de um picnômetro de boca larga (utilizados para massa específica de agregados graúdos), balança de precisão 0,1 g e uma haste de vidro, realizar o procedimento apresentado na Figura 13 e descrito na sequência.

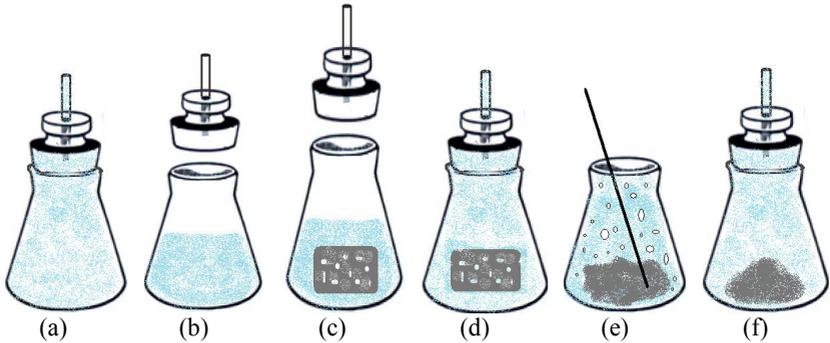


Figura 13: Procedimento para determinação do ar incorporado de acordo com a metodologia desenvolvida pelo GTec:

- (a): Pesar o picnômetro cheio da solução água e álcool ( $Pic_{+sol}$ );  
 (b): Retirar um pouco da solução do picnômetro e pesar,  $m_B$ ;  
 (c): Colocar cuidadosamente um filete de argamassa no picnômetro, de modo que a solução contida no recipiente não seja perdida, e pesar,  $m_A$ ;  
 (d): Preencher o picnômetro com a solução, movimentando o conjunto o menos possível para que o ar contido na argamassa não seja desincorporado, e pesar ( $V_{c/ar}$ );  
 (e): Retirar a tampa do picnômetro e, com auxílio de uma haste de vidro, mexer o conteúdo constantemente até que se perceba a ausência de bolhas no líquido (aproximadamente 3 minutos);  
 (f): Colar a tampa no picnômetro novamente, e preencher o recipiente com a solução, pesar ( $V_{s/ar}$ ).

O teor de ar incorporado é calculado pela Equação 5:

$$m = m_A - m_B$$

$$V_{c/ar} = Pic_{+sol} - (Pic_{c/ar} - m)$$

$$V_{s/ar} = Pic_{+sol} - (Pic_{s/ar} - m)$$

$$Ar (\%) = \frac{V_{c/ar} - V_{s/ar}}{V_{c/ar}} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$V_{c/ar}$ : volume do picnômetro com solução e amostra com ar incorporado;

$V_{s/ar}$ : volume do picnômetro com solução e amostra sem ar incorporado;

*Ar*: ar incorporado em porcentagem.

O álcool foi utilizado no ensaio por apresentar uma viscosidade menor do que a da água, o que aumenta a velocidade de flutuação de bolhas para a superfície. Segundo Streeter (1968), a viscosidade do álcool etílico é de aproximadamente 0,248 mPa.s, enquanto a da água é de 1,003 mPa.s. Para realização desse teste, foram testados vários tipos de álcool, isopropílico, etílico e etanol utilizado como combustível, e todos eles se mostraram eficazes na retirada das bolhas de ar. É recomendável preparar a solução de água e álcool minutos antes da realização do ensaio, em quantidade duas vezes maior que o volume do picnômetro, para que não falte solução durante o processo, pois assim não será necessária a medição da massa específica da solução (água e álcool).

- Retenção de água, prescrita pela ABNT NBR 13277 (2005), por meio do funil de Büchner modificado, e curva de retenção de água, por meio de medições intermediárias (5, 10 e 15 minutos);
- Adesão inicial, avaliada visualmente, de forma qualitativa, após a aplicação da junta na lateral do bloco (Figura 14 (a) e (b)) e, também, de acordo com a norma RILEM MR 5 (1982), que consiste em realizar o assentamento da unidade de alvenaria com espessura de junta de aproximadamente 12 mm, e, após cerca de dois minutos, retirar o bloco superior e verificar a forma de ruptura da junta: caso o rompimento ocorra na argamassa, a adesão pode ser considerada satisfatória; se o rompimento ocorrer na interface entre o bloco de concreto e a argamassa, a adesão inicial seria inadequada (Figura 14 (c)).

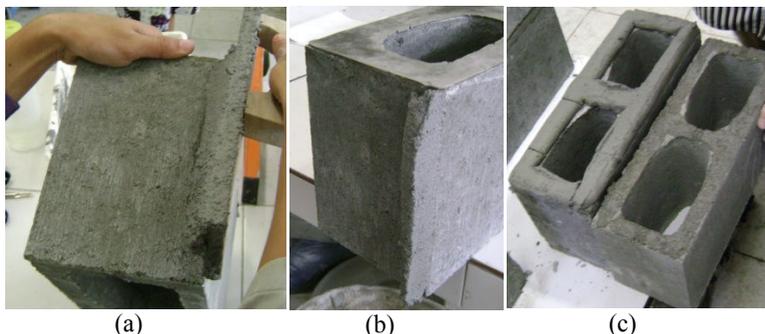


Figura 14: Ensaios para avaliação da adesão inicial: (a) colocação do filete vertical; (b) posicionamento do bloco para verificação da adesão; (c) teste de acordo com RILEM MR 5.

#### Ensaios no estado endurecido:

- Determinação da resistência à compressão, de acordo com a ABNT NBR 7215 (1997), que prescreve moldagem de corpos-de-prova cilíndricos (5x10 cm);
- Determinação da resistência à flexão, com corpos-de-prova prismáticos de 4x4x16 cm conforme prescreve a ABNT NBR 13279 (2005). As metades desses corpos-de-prova foram rompidas à compressão, a fim de atender aos requisitos da ABNT NBR 15961 (2011) que prescreve a moldagem de corpos-de-prova cúbicos (4 cm) para determinação da resistência à compressão.
- Determinação do módulo de elasticidade, de forma análoga ao indicado na ABNT NBR 8522 (2008), que prescreve a determinação do módulo de elasticidade de corpos-de-prova cilíndricos de concreto. O procedimento foi realizado em corpos-de-prova de 5x10 cm, usando-se dois relógios comparadores (precisão 1 $\mu$ m) posicionados por meio de anéis no corpo-de-prova. O valor do módulo de elasticidade corresponde à razão entre a diferença de 30% da tensão de ruptura e 0,5 MPa, pela diferença das respectivas deformações específicas.
- Aderência em mini-prismas: avaliação da aderência em corpos-de-prova reduzidos, de acordo com metodologia proposta por Casali (2008), que será explicada no item 3.3.

### 3.2. MATERIAIS

Esse tópico trata dos materiais empregados e suas principais características, e está dividido em: blocos, constituintes das argamassas mistas (agregado, cimento e cal) e argamassas industrializadas.

Como neste trabalho objetivou-se estudar a influência das argamassas de assentamento nas propriedades da alvenaria estrutural, o bloco de concreto não foi considerado variável. Para tanto, fêz-se uso de unidades com resistência característica de 16 MPa, produzidos simultaneamente e exclusivamente para esse estudo por uma empresa de pré-moldados localizada na grande Florianópolis.

Para confecção das argamassas de assentamento, foram empregados os seguintes materiais: cimento Portland composto com adição pozolânica (cinza volante), CP II Z 32, cal hidratada do tipo CH III e agregado miúdo natural de origem quartzosa com duas granulometrias distintas. Esses materiais foram escolhidos por serem adquiridos com facilidade na região e por serem utilizados costumeiramente em obras, em especial as de alvenaria estrutural.

Foram empregados aditivos na forma de pó: retentor de água, polímeros PVA e desincorporador de ar.

Como o trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de uma argamassa que pudesse ser industrializada para uso em alvenaria estrutural, testou-se argamassas industrializadas presentes no mercado, para uma avaliação do produto disponível e também para comparação com os traços propostos.

A caracterização de todos os materiais que foram utilizados no estudo está apresentada a seguir.

#### 3.2.1. Bloco

As unidades empregadas no trabalho foram blocos de concreto vazados com dimensões de 14 x 19 x 39 cm (largura x altura x comprimento), constituídos por paredes finas (aproximadamente 2,5cm) e com resistência característica nominal elevada (16 MPa). Na Figura 15, podem-se observar as dimensões e geometria dos blocos utilizados.

Na explanação do trabalho será denominada de face fina, ou inferior, a face do bloco com espessura de 2,5 cm; e de grossa, ou superior, a face com espessura de 3,2 cm. A denominação de face inferior ou superior foi definida com base no assentamento de uma parede de alvenaria, na qual o bloco é posicionado com a face fina para baixo. A diferença entre as faces pode ser observada na Figura 16.

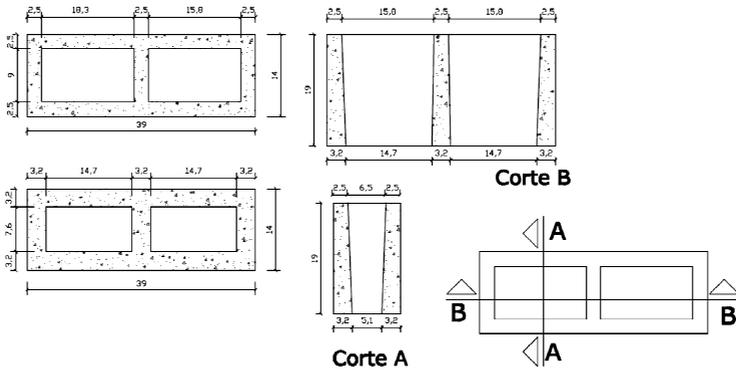


Figura 15: Geometria dos blocos.



Figura 16: Faces do bloco: grossa (superior) e fina (inferior).

De acordo com a empresa que produziu os blocos, foram utilizados na sua fabricação os materiais apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Traço do concreto utilizado na fabricação dos blocos.

<b>Material</b>	<b>Traço em massa</b>
Cimento	1
Areia fina	0,71
Areia média	1,57
Pó de pedra	1,05
Pedrisco	1,52

A caracterização dos blocos pode ser observada na Tabela 5. Os ensaios foram realizados com 6 amostras cada, exceto a massa que foi medida para todas as unidades utilizadas.

Tabela 5: Caracterização dos blocos utilizados.

<b>Propriedade</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	548,51	2,19
Área Líquida Face Superior (cm <sup>2</sup> )	342,65	4,14
Área Líquida Face Inferior (cm <sup>2</sup> )	296,02	0,93
Altura (mm)	191,06	0,45
Massa (kg)	13,175	0,198
Absorção (%) NBR 12118 (2011)	6,35	1,65
Absorção (%) IRA Face Superior ASTM C67 (1991)	0,37	0,13
Absorção (%) IRA Face Inferior ASTM C67 (1991)	0,19	0,11
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	16,24	1,31

### 3.2.2. Agregado Miúdo

Foram utilizadas duas areias naturais neste trabalho. A caracterização de ambas é apresentada na Tabela 6 e na Figura 17. Optou-se pela utilização de uma composição de areias, pois o módulo de finura de cada uma não correspondia a um valor adequado para areias usadas em argamassas de assentamento. Conforme citado na literatura do assunto, o módulo de finura ideal é em torno de 2,0. Desta forma, realizou-se uma composição objetivando chegar a esse valor.

Tabela 6: Caracterização das areias utilizadas nesse trabalho.

<b>Propriedade</b>	<b>Norma</b>	<b>Areia média grossa</b>	<b>Areia média fina</b>
Módulo de finura	NBR 7217	2,834	1,752
Material pulverulento (%)	NBR 7219	4,36	6,03
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 9776	2,617	2,583
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 7251	1,284	1,294

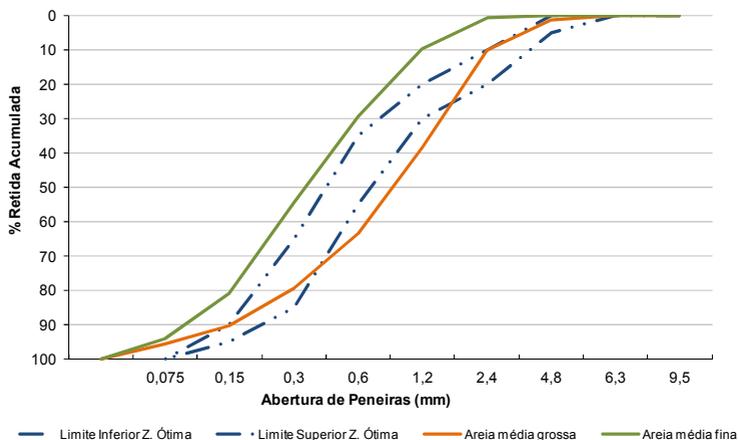


Figura 17: Curva granulométrica das areias utilizadas nesse trabalho.

A composição das areias utilizadas no trabalho foi: 25% de areia média grossa e 75% de areia média fina. Para que a mistura não ficasse áspera, optou-se por utilizar somente o material passante na peneira 4,75mm. Portanto, a areia média grossa foi peneirada antes da realização da composição. As características da areia composta empregada no trabalho são apresentadas na Tabela 7. A Figura 18 mostra a curva granulométrica da areia composta, comparada com os limites de zona ótima da ABNT NBR 7217 e também com os limites da BS-1200.

Tabela 7: Caracterização da areia composta.

Propriedade	Norma	Areia composta
Módulo de finura	NBR 7217	2,01
Material pulverulento (%)	NBR 7219	5,63
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 9776	2,59
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 7251	1,29

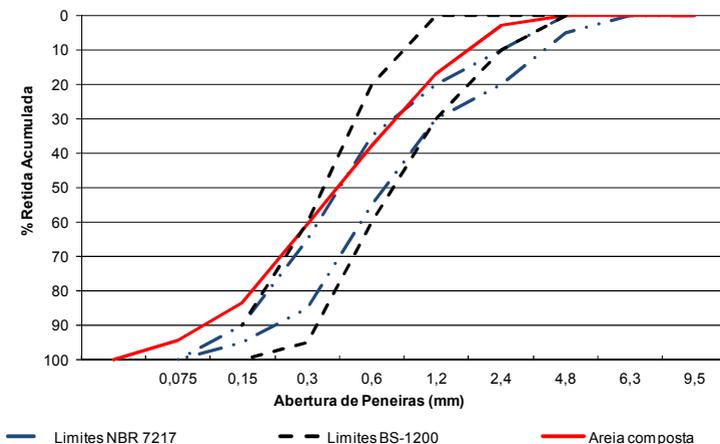


Figura 18: Curva granulométrica da areia composta.

### 3.2.3. Cimento

O cimento utilizado no trabalho foi o CP II Z – 32. Optou-se por esse tipo de cimento, pois é o mais comumente utilizado no estado de Santa Catarina para a produção de argamassas mistas dosadas em obra. Usaram-se dois lotes de cimento, sendo que o primeiro foi utilizado para produção das argamassas empregadas na primeira etapa do trabalho (moldagem de mini-prismas<sup>2</sup>) e o segundo para a produção dos prismas. As características físicas e químicas dos cimentos, fornecidas pelo fabricante, podem ser observadas na Tabela 8.

### 3.2.4. Cal

A cal utilizada para a dosagem das argamassas mistas foi a CH-III e suas características estão na Tabela 9. As porcentagens de CaO, MgO, perda ao fogo e resíduo insolúvel foram informadas pelo fabricante, e a massa específica e unitária foram determinadas neste trabalho.

---

<sup>2</sup> Mini-prismas são corpos-de-prova reduzidos utilizados para avaliação da aderência entre bloco e junta de argamassa. Essa metodologia será mais bem explicada no item 3.3.

Tabela 8: Características físicas e químicas dos cimentos CP II Z empregados.

<b>Características</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>
Passante #200 (%)	3,34	2,82
Passante #325 (%)	13,68	13,18
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3636	3465
Início de pega (minutos)	273	274
Fim de pega (minutos)	353	354
Expansão à quente (mm)	0,24	0,21
Resistência à compressão 1 dia (MPa)	11,87	12,35
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	23,22	23,28
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	28,10	27,90
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	3,03	3,01
Perda ao fogo (%)	5,57	5,04
Resíduo insolúvel (%)	10,98	11,41
MgO (%)	5,63	5,71
SO <sub>3</sub> (%)	2,45	2,52

Tabela 9: Características da cal utilizada.

<b>Componente químico</b>	<b>Valores</b>
CaO (%)	37,7
MgO (%)	25,9
Perda ao fogo (%)	26,55
Resíduo insolúvel (%)	8,97
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	2,44
Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	0,604

### 3.2.5. Argamassas Industrializadas

#### 3.2.5.1. Argamassas industrializadas usadas para assentamento

Foram testadas três argamassas industrializadas, sendo duas do tipo estrutural, indicadas para assentamento de blocos em alvenaria estrutural, e uma argamassa do tipo “múltiplo uso”, recomendada para assentamento de alvenaria e reboco. Os dados fornecidos pelos fabricantes dos produtos constam na Tabela 10.

A caracterização física das argamassas anidras foi realizada neste trabalho e os resultados encontram-se na Tabela 11, assim como a norma que prescreve cada ensaio de caracterização. A Figura 19 apresenta a curva granulométrica dessas argamassas, na qual é possível constatar a finura do material.

Tabela 10: Características das argamassas e recomendações do fabricante.

Nome Comercial	Indicação de uso	Resistência nominal (MPa)	Teor de água <sup>1</sup>
Argamassa Estrutural de 10 MPa (AE 10)	Assentamento estrutural	10	15,6 – 16,6
Argamassa Estrutural de 5 MPa (AE 5)	Assentamento estrutural	5	15,6 – 16,6
Múltiplo Uso (M.U)	Reboco e assentamento	5	16,0 – 17,0

<sup>1</sup> teor de água recomendado pelo fabricante em relação aos materiais secos (%).

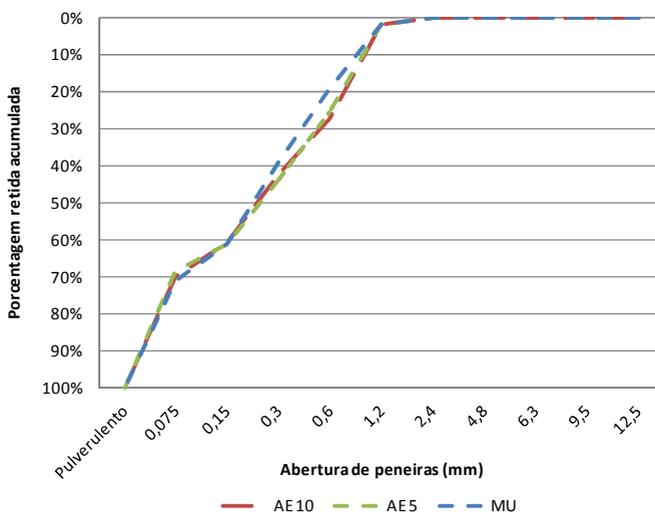


Figura 19: Curva granulométrica das argamassas industrializadas.

Tabela 11: Caracterização física das argamassas anidras.

Argamassa	Norma	AE 10	AE 5	M.U
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 23	2,778	2,760	2,807
Teor de pulverulento (%)	NBR NM 46	33,88	35,82	32,71
Módulo de finura	NBR 7211	1,243	1,196	1,122
Dimensão máxima característica (mm)	NBR 7211	1,2	1,2	1,2

### 3.2.5.2. Argamassa colante

Fez-se uso de argamassa colante com objetivo de avaliar se teores do produto, em substituição às argamassas industrializadas anteriormente citadas, poderiam melhorar a aderência entre o bloco e a junta de argamassa, em função dos aditivos retentores de água e polímeros PVA que nela estão presentes, e garantem a aderência dos pisos cerâmicos e outros elementos a qual se destinam. Esse procedimento será discutido no item 3.3.4.

As argamassas colantes empregadas atualmente são designadas pela ABNT NBR 14081 (2004) da seguinte forma:

- AC I: Argamassa colante industrializada com características de resistência às solicitações mecânicas e termoigrométricas típicas de revestimentos internos, com exceção daqueles aplicados em saunas, churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais;
- AC II: argamassa colante industrializada com características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimento de pisos e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variações termoigrométrica e a ação do vento;
- AE III: argamassa colante industrializada que apresenta aderência superior em relação às argamassas dos tipos I e II;
- Tipo E: argamassa colante industrializada dos tipos I, II e III, com tempo em aberto estendido (AC I – E; AC II – E; AC III – E).

Essas argamassas possuem em suas constituições polímeros a base de PVA e éteres de celulose, conforme pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12: Principais aditivos presentes nas argamassas colantes.

Argamassa	Porcentagem de aditivo em relação aos materiais secos (%)	
	Éteres de celulose – Mhetocel <sup>1</sup>	Polímero PVA
AC I	0,2 – 0,25	-
AC II	0,3	1,0
AC III	0,35 – 0,4	2,0 – 2,5

<sup>1</sup>Marca registrada da The Dow Chemical Company.

A argamassa utilizada neste estudo foi a AC I, que corresponde à argamassa colante mais simples, em termos de materiais constituintes, fabricada atualmente.

Na Tabela 13 podem ser observados os dados gerais da argamassa colante utilizada, fornecidos pelo fabricante, e a massa específica que foi realizada neste trabalho conforme ABNT NBR 23 (2001).

Tabela 13: Características da argamassa colante utilizada.

<b>Propriedade</b>	<b>Valores</b>
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	2,44
Teor de água de mistura (%)	23
Tempo em aberto (min)	15
Resistência de aderência à tração aos 28 dias (MPa)	0,9
Deslizamento (mm)	0,5

### 3.3. MÉTODOS

O programa experimental foi realizado conforme fluxograma da Figura 20 e explanado nos itens subsequentes.

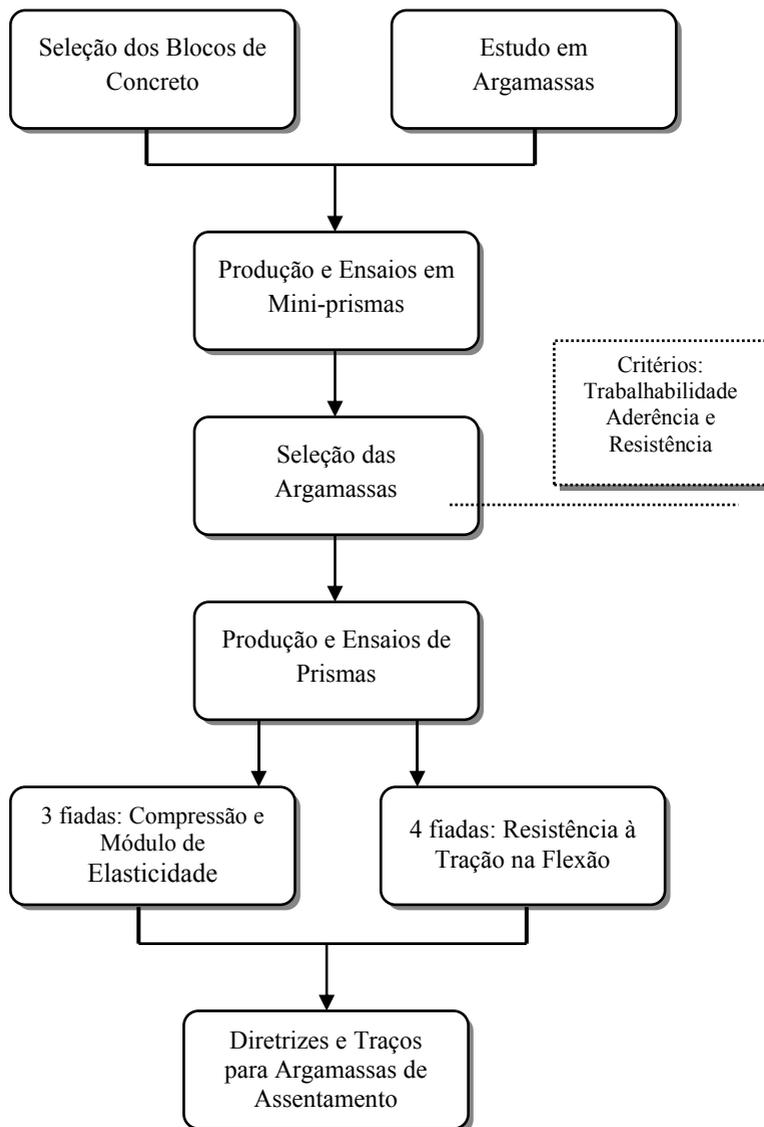


Figura 20: Fluxograma com as principais etapas do desenvolvimento do trabalho.

### 3.3.1. Blocos

Nesta primeira etapa, foi solicitada a uma empresa de pré-moldados, localizada na Grande Florianópolis, a produção de blocos de concreto de parede fina (25 mm) com resistência característica de 16 MPa.

A opção pela parede fina foi devido à ocorrência de maior concentração de tensões, o que seria mais crítico em paredes de edifícios altos. Aliado a isso, acredita-se que blocos com paredes finas deveriam ser mais empregados nas construções em alvenaria estrutural, já que são mais leves, e podem proporcionar uma maior produtividade dos operários, além de diminuir o peso próprio da estrutura.

A qualidade dos blocos aos 28 dias foi verificada antes da utilização dos mesmos, para que fosse garantida a resistência desejada e a homogeneidade das unidades, uma vez que os blocos não são considerados como variáveis neste trabalho. Para tanto, algumas peças retiradas de vários locais dos paletes foram levadas ao laboratório, onde procedeu-se à sua pesagem, capeamento e rompimento. Após esse procedimento, verificou-se que os blocos produzidos apresentaram as características desejadas para os ensaios previstos no trabalho.

Para a utilização dos blocos nos prismas, foi realizada uma separação por massa das peças, pois é conhecida a influência da compactação do bloco na sua resistência à compressão. Desta forma, os blocos foram classificados em três grupos: leves, intermediários e pesados. Do grupo dos intermediários foram retiradas as unidades para serem ensaiadas à compressão, absorção e módulo de elasticidade, e também as unidades que foram assentadas na posição central dos prismas. O grupo de blocos leves e pesados foram utilizados no assentamento da fiada inferior e superior dos prismas (terceira fiada nos prismas para compressão e quarta fiada nos prismas para flexão).

O módulo de elasticidade foi realizado com peças seccionadas dos próprios blocos com 2,5x2,5x10 cm, conforme mostrado na Figura 21.

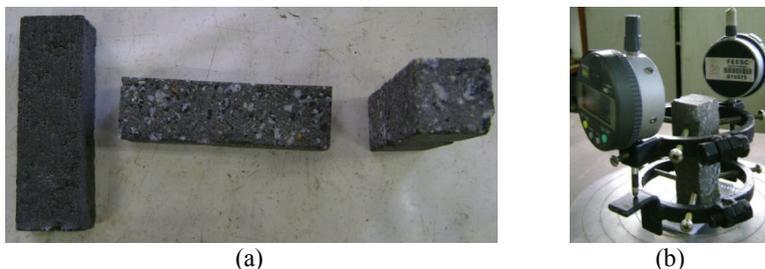


Figura 21: Módulo de elasticidade dos blocos de concreto: (a) corpos-de-prova seccionados dos blocos; (b) instrumentação.

Nesta primeira etapa, também foram produzidas as peças que seriam utilizadas nos mini-prismas. Quinze blocos foram seccionados em oito partes para moldagem dos corpos-de-prova reduzidos. Esse procedimento será detalhado nos próximos tópicos.

No decorrer do trabalho, necessitou-se de uma maior quantidade de blocos do que o previsto inicialmente. Como foram produzidos paletes de blocos de 16 MPa especialmente para este trabalho, não se dispunha de mais unidades com essa resistência na fábrica fornecedora. Portanto, optou-se por utilizar blocos de 6 MPa para testes iniciais de aderência realizados em mini-prismas, visando a exclusão de argamassas inadequadas para o objetivo proposto, e a seleção dos melhores traços para a continuação do trabalho. Sendo assim, utilizaram-se peças seccionadas de blocos de 6 MPa na confecção de algumas séries de mini-prismas. Os melhores resultados de aderência foram repetidos nas peças de 16 MPa para a escolha das argamassas que seriam utilizadas nos prismas.

Como os blocos de 6 MPa foram utilizados exclusivamente para testes de aderência, a única caracterização realizada nos mesmos foi a absorção de água por capilaridade.

### 3.3.2. Produção das Argamassa

Foram realizados os testes citados no item 3.1 para todas as argamassas produzidas, tanto para moldagem dos mini-prismas quanto dos prismas.

A mistura da argamassa para moldagem de mini-prismas foi realizada em argamassadeira de rotação planetária. Os materiais secos foram misturados previamente e no momento da mistura na argamassadeira colocava-se uma primeira quantidade de água e misturava-se por um minuto com velocidade baixa. A argamassadeira

era então desligada durante um minuto, dos quais, os primeiros 15 segundos serviam para raspar as laterais da cuba e os demais para descanso. Passado o tempo de repouso, a argamassadeira era ligada mais 30 segundos em velocidade baixa, desligava-se o motor e verificava-se sua trabalhabilidade. Caso necessário, neste momento, era adicionada mais água para obter a consistência desejada. Ligava-se o misturador por mais trinta segundos para finalizar o processo de mistura.

Toda a mistura foi realizada em velocidade baixa para não ocorrer uma incorporação de ar excessiva. Os materiais secos foram misturados previamente para simular uma argamassa industrializada.

Quando foram dosadas as argamassas para moldagem dos prismas, a argamassadeira utilizada teve que ser substituída por uma de maior volume com eixo fixo, e o procedimento de mistura foi ajustado para a nova situação. Os materiais secos continuaram sendo misturados previamente e a quantidade de água era colocada aos poucos para acertar a trabalhabilidade. Durante a mistura, a superfície da cuba era raspada com colher de pedreiro, dispensando assim a fase de repouso da argamassa. O tempo de mistura total variou entre 3 a 4 minutos para todas as misturas estudadas.

Foram testados 23 traços/tipos de argamassas nos mini-prismas. Destas 21, 7 eram argamassas industrializadas (puras ou com adição de outro componente), 2 argamassas de cimento com aditivos e as demais eram argamassas mistas (com e sem aditivos). Para moldagem dos prismas foram selecionadas 7 tipos/traços de argamassa. Os traços serão expostos detalhadamente no item 4.

### **3.3.3. Mini-prismas**

Para análise da resistência de aderência na interface bloco/junta, fez-se uso da metodologia proposta por Casali (2008) e explanada no item 2.4 da revisão de literatura. Esse método consiste na utilização de corpos-de-prova reduzidos, chamados de mini-prismas, submetidos à tração na flexão.

Algumas unidades foram seccionadas em 8 partes com auxílio de uma serra diamantada, conforme ilustrado na Figura 22. A dimensão de cada fatia tinha aproximadamente 10 cm de largura por 9,5 cm de altura, com espessura de 2,5 cm nas fatias inferiores e 3,2 cm nas superiores.



Figura 22: Seccionamento do bloco para preparação das peças (fatias) dos mini-prismas.

As fatias dos blocos foram lavadas com água corrente e com o auxílio de uma escova de cerdas de plástico, até que não fosse verificado nenhum resíduo proveniente do seccionamento. Em seguida os pedaços dos blocos eram colocados em estufa a 50° C. Essa temperatura foi escolhida para que o processo de secagem não causasse modificações nas amostras, como fissuras originadas da secagem rápida. Assim que os pedaços atingiam uma massa constante, eles eram retirados da estufa e resfriados dentro de um dessecador com sílica gel até o equilíbrio com a temperatura ambiente.

As fatias foram caracterizadas quanto à absorção de água por capilaridade nos tempos de 1, 5, 10, 30, 60 e 90 minutos com uma lâmina de 5 mm de profundidade. A capilaridade foi medida até 90 minutos, pois a partir de uma hora de contato com a lâmina de água não se obtinha um acréscimo significativo de absorção. A profundidade de lâmina de água foi escolhida por ser a recomendada pela ABNT NBR 15259 e ABNT NBR 9779 e também utilizada por Casali (2008).

Aos 60 minutos, as alturas de ascensão da água das peças foram marcadas e fotografadas para realizar o cálculo da área de molhagem, conforme ilustra a Figura 23. Além disso, todas as peças tiveram suas áreas de contato (parte fina ou grossa) medidas, para cálculo da área exposta à junta de argamassa.

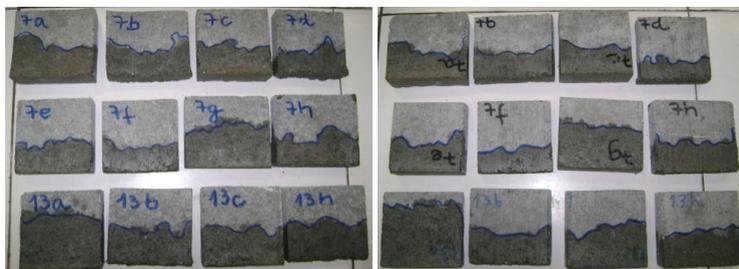


Figura 23: Marcação da capilaridade das peças dos dois lados.

Os pares para moldagem dos mini-prismas foram determinados da seguinte forma: primeiramente as peças foram separadas em parte fina e grossa. Na sequência, calculou-se a quantidade de água absorvida em relação à área de contato ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) e se classificou em ordem crescente tais valores. Os pares eram formados com peças que apresentavam absorção semelhante na ordem de classificação. Desta forma, os pares foram divididos em: pares com baixa absorção, com média absorção e com alta absorção.

Para cada argamassa estudada, foram moldados 6 mini-prismas, os quais eram formados por pares com diferentes absorções, ou seja, para cada argamassa foram moldados dois pares de mini-prismas de baixa absorção, dois pares de média absorção e dois pares de alta absorção. Isso foi necessário para se obter um valor médio entre as resistências de aderência, pois esta é influenciada pela absorção do substrato. No total, foram moldados 135 mini-prismas.

Na moldagem dos mini-prismas, a face correspondente a parte externa do bloco apresentava um plano único. No entanto, devido às espessuras diferentes da parte superior e inferior do bloco, a outra face necessitava ser nivelada. Para tanto, utilizou-se pasta de cimento para corrigir a diferença de espessura das peças. Esse procedimento foi realizado antes da moldagem dos prismas, com os pares selecionados, e pode ser visualizado pela Figura 24.

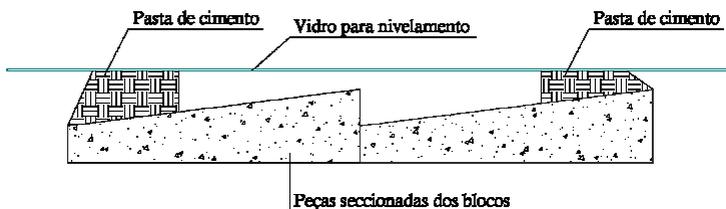


Figura 24: Nivelamento de uma das faces do mini-prisma.

Durante a moldagem dos mini-prismas, houve a preocupação de manter um padrão para o filete de argamassa em relação à quantidade e o adensamento. Para tanto, foi utilizado um molde, no qual o volume da argamassa colocado era constante e o adensamento padronizado. A junta moldada tinha espessura de 2 cm e aproximadamente 190 g (Figura 25). Para o assentamento das peças, a junta era colocada na peça inferior, pelo próprio molde, que funcionava como uma desempenadeira. Posteriormente colocava-se a peça superior na junta e realizava-se o assentamento, de modo que a junta da argamassa possuísse espessura final de 1 cm. Na Figura 26, podem-se observar os mini-prismas moldados com o sobrepeso em um aparato de madeira inclinado na qual foi realizada a confecção dos mesmos.

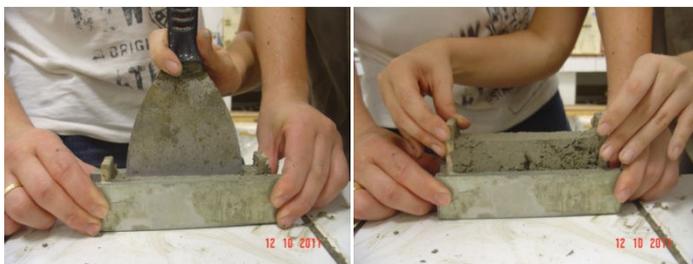


Figura 25: Adensamento da junta de argamassa no molde, para posterior assentamento dos mini-prismas.



Figura 26: Mini-prismas moldados.

Para todas as argamassas em que foram moldados mini-prismas, foram realizados também testes no estado fresco: consistência, GTec Teste, massa específica, ar incorporado (ensaio com picnômetro e solução de álcool, detalhado no item 3.1) e retenção de água; e no estado

endurecido: resistência à compressão e à tração na flexão, e módulo de elasticidade.

A configuração do ensaio de tração na flexão dos mini-prismas está apresentada na Figura 27, e na Figura 28 pode ser observado o rompimento dos mesmos.

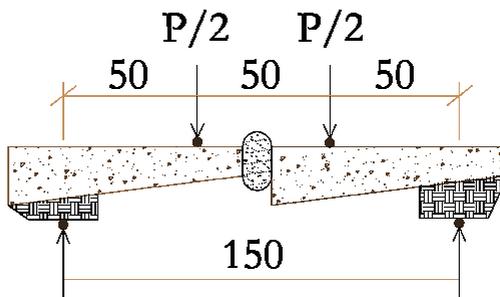


Figura 27: Configuração do ensaio de tração na flexão de mini-prisma. Fonte: Casali (2008).

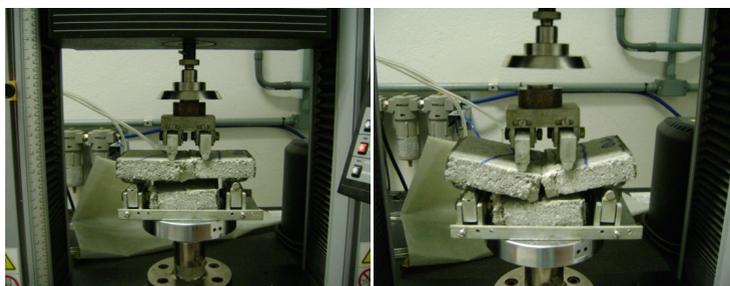


Figura 28: Rompimento por tração na flexão dos mini-prismas.

Os mini-prismas e os corpos-de-prova das argamassas foram rompidos com 7 dias de idade. Optou-se por essa idade, pois é muito utilizada nas pesquisas científicas e tecnológicas, na qual a argamassa apresenta, quase que totalmente, suas características finais. Segundo Medeiros e Sabbatini (1994), o crescimento da resistência de aderência possui comportamento distinto da resistência à compressão da argamassa em relação à idade, apresentando valores praticamente constantes a partir de 3 dias de idade, diferentemente do que ocorre com a resistência à compressão.

É importante lembrar que, em algumas séries de mini-prismas moldados, os blocos utilizados foram de 6 MPa, pois foi necessário testar mais argamassas do que o inicialmente previsto. No entanto, essas séries foram comparadas somente entre si, sendo selecionados os traços que conduziram aos melhores resultados de aderência, os quais foram preparados novamente para a confecção de mini-prismas com peças de 16 MPa.

O estudo preliminar em mini-prismas foi conveniente, pois além de economizar blocos de concreto, ainda agilizou os trabalhos, uma vez que os prismas são de difícil manuseio. Desta forma, para a confecção dos prismas puderam ser excluídas as argamassas com desempenho inadequado.

### **3.3.4. Hipótese Levantada**

Após a realização dos ensaios em mini-prismas com as argamassas industrializadas, foi necessário realizar alguns estudos paralelos, para verificação de algumas hipóteses levantadas no trabalho, principalmente no que se diz respeito à aderência entre o bloco e a argamassa.

Conforme exposto na revisão de literatura, a aderência entre o bloco e a argamassa de assentamento, muitas vezes, é prejudicada com o uso de algumas argamassas industrializadas presentes no mercado, pois esses produtos possuem aditivos que tendem a diminuir a extensão de aderência entre a junta e o substrato. Aliado a isso, prédios de altura elevada estão sujeitos a maiores tensões laterais oriundas do vento, sendo de extrema importância que a argamassa de assentamento, industrializada ou não, proporcione aderência adequada. Para solucionar essa questão, levantou-se a hipótese da utilização de aditivos empregados em argamassas colantes como uma alternativa para melhorar a aderência na interface bloco/junta, em razão das propriedades adesivas apresentadas por essa argamassa.

Para verificar se essa suposição apresentaria resultados satisfatórios, inicialmente foram realizados testes nos quais se misturava uma porcentagem de argamassa colante AC – I na argamassa industrializada de assentamento (estrutural e de múltiplo uso). Realizava-se todo o procedimento de caracterização da argamassa no estado fresco e endurecido, e também a moldagem de mini-prismas para a averiguação da resistência de aderência.

Em alguns testes, foi adicionada areia natural na composição da argamassa de assentamento industrializada com argamassa colante, pois

essas argamassas possuem agregados com granulometria muito fina, que é inapropriada para o assentamento.

Como os resultados desse estudo foram satisfatórios, conforme apresentado no item 4.2.1. subseqüente, fez-se uso de aditivos a base de polímeros PVA (aditivos com propriedades colantes) e éteres de celulose (aditivo retentor de água) na composição das argamassas mistas a serem dosadas. O uso desses aditivos, geralmente, incorpora ar em excesso na mistura, podendo comprometer a resistência à compressão da junta de argamassa ocasionando uma ruptura por esmagamento e, também, diminui a extensão de aderência na interface bloco/argamassa. Para evitar esses problemas, foram empregados aditivos desincorporadores de ar.

### **3.3.5. Produção de Prismas**

Para a moldagem de prismas a serem ensaiados à compressão e à flexão, foram selecionadas algumas das argamassas testadas em mini-prismas, conforme citado e justificado abaixo:

- As três argamassas industrializadas (AE 10, AE 5 e M.U): Optou-se por testar essas argamassas em ensaios normalizados, pois atualmente há um grande interesse na sua utilização, principalmente por ser um produto pronto, reduzindo a responsabilidade da dosagem em obra.
- Argamassa mista: por ser muito utilizada no Brasil e apresentar resultados satisfatórios em alvenaria estrutural, conforme visto na revisão de literatura (item 2.1.2.2.).
- Argamassa aditivada testada em mini-prismas com as seguintes características: aplicabilidade adequada para assentamento de blocos de concreto (avaliada em ensaios do estado fresco), boa aderência verificada nos mini-prismas (acima de 0,40 MPa) e resistência à compressão acima de 8 MPa aos 7 dias, o que corresponde a resistência superior a 10 MPa aos 28 dias.

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, conforme modelo da Figura 29. Foram moldados, no total, 56 prismas, sendo 28 de três fiadas e 28 de quatro fiadas.

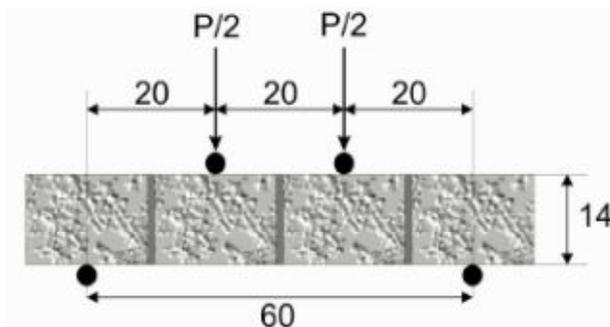


Figura 29: Posicionamento do carregamento no ensaio de tração na flexão de prismas de quatro fiadas (CASALI, 2008).

A nova norma de alvenaria estrutural de blocos de concreto, ABNT NBR 15961 (2011), prescreve a moldagem de prismas com cinco fiadas para o ensaio de flexão, em substituição ao de quatro fiadas, que por muito tempo foi o mais empregado para avaliação de tal propriedade. Entretanto, mediante os motivos expostos no item 2.4 da revisão de literatura, neste trabalho empregou-se prismas de 4 fiadas para avaliação da aderência.

A tensão de aderência foi calculada de acordo com as equações prescritas pela ABNT NBR 15961 (2011), Equação 2 e 3, e utilizando os conceitos de análise estrutural e resistência dos materiais, da forma que se apresentam na literatura.

Na data de moldagem dos prismas, foram moldados também os corpos-de-prova para os ensaios em argamassa no estado endurecido (cilíndricos de 5x10 cm e prismáticos de 4x4x16 cm), assim como foram realizados os testes no estado fresco das argamassas, conforme explanado no item 3.1.

O ar incorporado na argamassa foi ensaiado pelo método pressométrico, gravimétrico e também pelo método do picnômetro com solução de álcool e água. Esse último teste foi realizado com argamassa retirada do bloco antes do assentamento da fiada superior e também passados dois minutos do assentamento do bloco, para verificar o teor de ar real da junta de argamassa e a diferença desse teor, antes e após o assentamento. O procedimento foi realizado da seguinte forma: durante a moldagem dos prismas de três fiadas, o assentador colocava a junta de argamassa no bloco de maneira habitual, posteriormente, com uma espátula, cortava-se um pedaço da junta que era retirada cuidadosamente e levada para a realização do ensaio. O assentador recolocava o filete de

argamassa retirado e assentava a próxima fiada de maneira habitual (nivelada e no prumo), passados dois minutos o bloco da fileira recém-colocada era retirado, e novamente um filete de argamassa era coletado e levado para a realização do ensaio.

A ruptura dos prismas e dos corpos-de-prova de argamassa foram realizadas aos 28 dias. Os prismas de três fiadas foram ensaiados à compressão e também para determinação do módulo de elasticidade médio. A instrumentação das deformações foi mantida até o escoamento da argamassa.

As medidas de deformação foram realizadas com o uso de relógios comparadores alocados nos prismas, conforme Figura 30. A leitura foi realizada instantaneamente, à medida que as cargas pré-estabelecidas para determinação das deformações foram atingidas. Desta forma, não houve interrupção do carregamento, que foi realizado com velocidade constante.



Figura 30: Instrumentação dos prismas de três fiadas.

Em paralelo, foram rompidas seis unidades de bloco de concreto (resistência à compressão) para permitir o cálculo do fator de eficiência. Além disso, foram ensaiados os corpos-de-prova prismáticos (25x25x100 mm) seccionados dos blocos para determinação do seu módulo de elasticidade (3 corpos-de-prova).

Nessa etapa, também foram ensaiados os prismas de quatro fiadas à tração na flexão para avaliação da aderência argamassa/bloco. Para não haver quebras durante o transporte e posicionamento horizontal do prisma, foi preparado um suporte no qual o prisma ficava preso,

objetivando evitar a aplicação de cargas pontuais antes do ensaio. Esse procedimento pode ser observado na sequência de imagens da Figura 31.

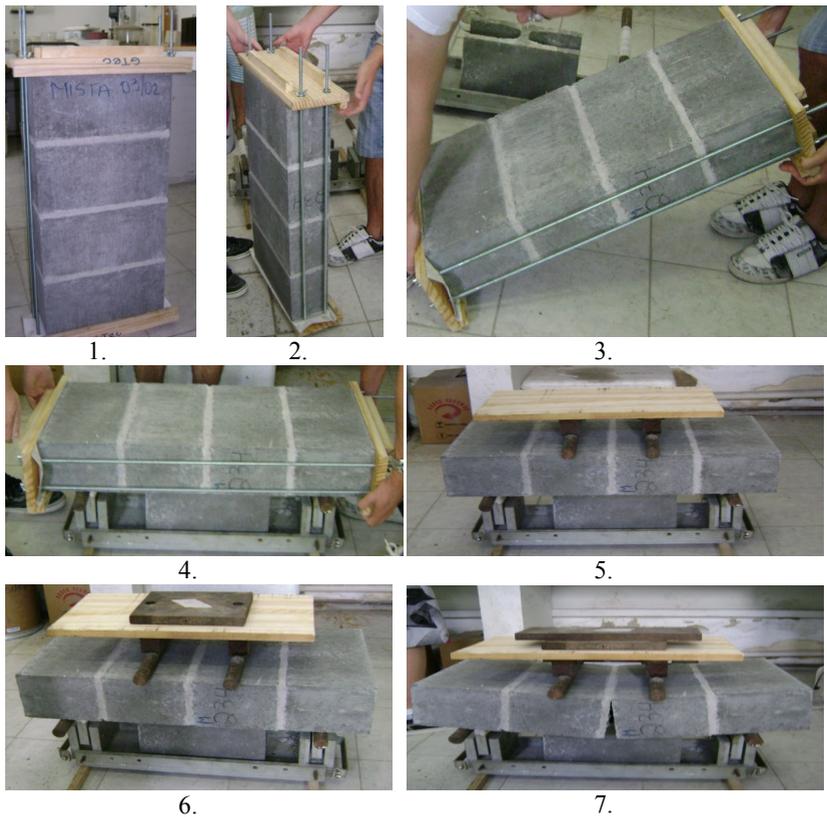


Figura 31: Ensaio de tração na flexão de prisma.

## 4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no estudo descrito no programa experimental, com as respectivas discussões baseadas em representações gráficas e avaliações estatísticas. Os resultados estão divididos em:

- Resultados dos blocos: absorção das peças para formação dos mini-prismas, resistência à compressão e módulo de elasticidade;
- Resultados no estado fresco e endurecido das argamassas empregadas nos mini-prismas;
- Resultados no estado fresco e endurecido das argamassas empregadas nos prismas; resistência à compressão, módulo de elasticidade, aderência e mecanismos de ruptura dos prismas.

### 4.1. BLOCOS

#### 4.1.1. Amostras para Mini-Prismas (Peças ou Fatias)

Para todos os mini-prismas confeccionados, realizou-se o teste de capilaridade em cada uma das peças, para que as mesmas pudessem ser separadas de acordo com sua absorção, conforme explicado no item 3.3.

Verificou-se uma grande variação da absorção por capilaridade das peças, assim como da altura de ascensão da água pelos capilares. Esses resultados serão apresentados na sequência separados em dois grupos: peças seccionadas de blocos de 16 MPa e peças seccionadas de blocos de 6 MPa; posteriormente é feita uma comparação entre peças de 16 e 6 MPa.

##### 4.1.1.1. Peças seccionadas de blocos de 16 MPa

A Figura 32 mostra a absorção pela área de contato de algumas amostras em relação ao tempo de permanência na lâmina de água, separadas em lado fino e grosso. Pode-se notar que as peças oriundas da parte inferior do bloco (de menor espessura) apresentaram, em média, absorção menor que as peças da parte superior (de maior espessura). Considerando todas as peças ensaiadas (88 finas e 88 grossas), após 60 minutos de contato com a lâmina de água, as peças finas apresentaram absorção média de  $0,30 \text{ g/cm}^2$  e desvio padrão de  $0,117 \text{ g/cm}^2$ ; enquanto

que nas peças grossas, a média foi de  $0,44 \text{ g/cm}^2$  e desvio padrão de  $0,178 \text{ g/cm}^2$ .

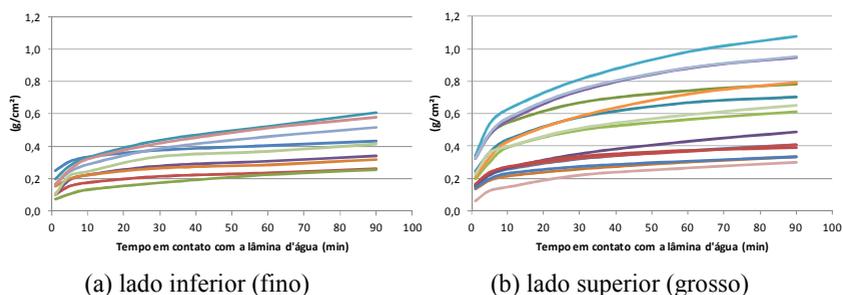


Figura 32: Capilaridade de algumas amostras das peças de 16 MPa. (a) lado inferior (fino); (b) lado superior (grosso).

Obs: optou-se por apresentar os resultados de absorção de apenas algumas amostras e não de todas ensaiadas, uma vez que a visualização dos resultados ficaria prejudicada, no entanto, os resultados expostos são representativos dos demais.

Essa grande variabilidade foi observada inclusive em peças oriundas dos mesmos blocos, conforme é possível analisar alguns exemplos na Figura 33, na qual as peças denominadas de A, C, E e G, são as peças grossas (indicadas pelas linhas com marcadores em losango) e as B, D, F e H, as peças finas (linhas com marcadores em quadrados) de um mesmo bloco.

A Figura 34 mostra a média de absorção das peças finas e grossas em relação ao tempo de contato com a lâmina de água, a qual enfatiza as análises feitas anteriormente e permite concluir que as peças retiradas da parte inferior do bloco (parte fina) apresentam absorção por área de contato significativamente menor que as peças retiradas da parte superior do bloco (parte grossa).

Uma das possíveis causas desse comportamento é o processo de fabricação dos blocos de concreto. Os blocos são fabricados utilizando concreto seco, que é colocado na fôrma por meio de uma gaveta, na qual se procede a vibração para o concreto preencher a forma. Posteriormente o contramolde prensa essa mistura até a obtenção da altura desejada (no caso 19 cm). Como pistão comprime a peça pela sua face fina, esta tende a apresentar um menor volume de vazios do que a face grossa que está em contato com a fôrma de moldagem, uma vez que a energia de compactação vai sendo dissipada em função da altura da unidade, fazendo com que a compactação da face grossa ocorra em menor

intensidade, resultando em uma região com maior volume de vazios. Desta forma, a água penetra em menor volume nas peças mais finas (mais compactas) do que nas grossas (mais porosas).

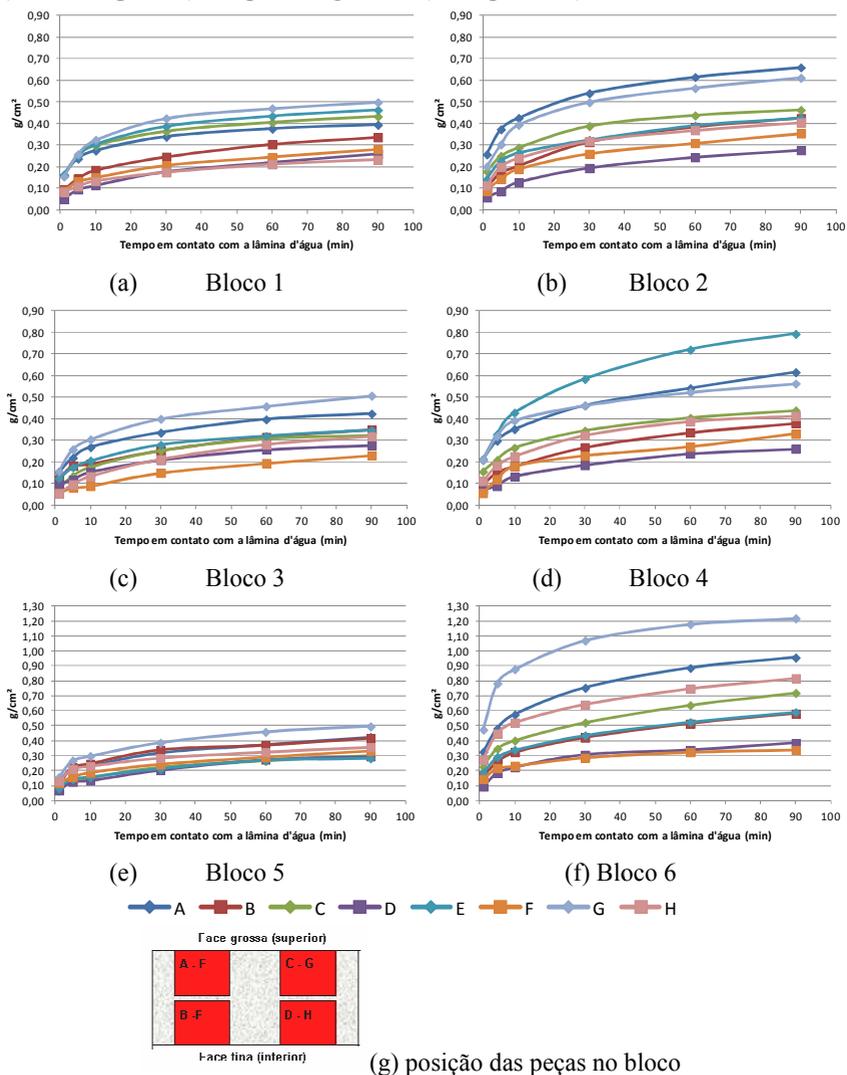


Figura 33: Capilaridade das peças de 16 MPa separadas pelos blocos de origem e pela posição no mesmo.

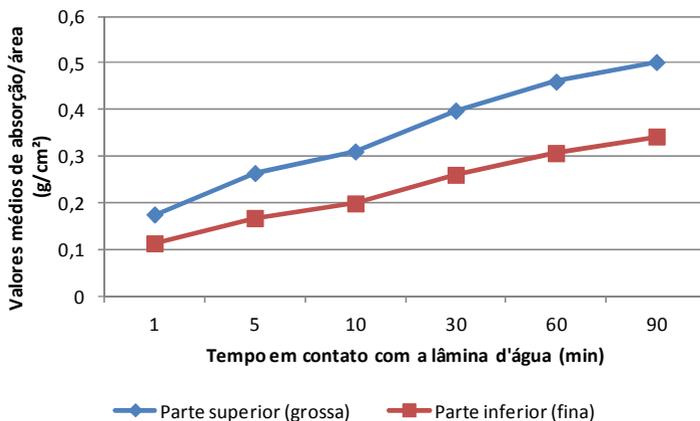


Figura 34: Valores médios de absorção/área em cada tempo de contato com a lâmina d'água, para as peças de 16 MPa.

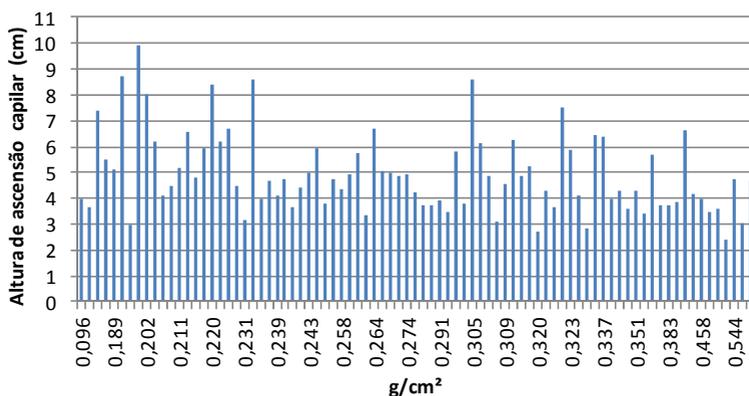
Em relação à altura de ascensão capilar, as peças também apresentaram grande variabilidade, sendo que as peças finas apresentaram uma maior altura de subida de água. Após 60 minutos de contato com a lâmina de água, as peças finas apresentaram altura de 4,93 cm, com desvio padrão de 1,55 cm, sendo que, aproximadamente, 31% das peças apresentaram altura entre 4-5 cm e 29% entre 3-4 cm. A parte grossa, por sua vez, apresentou altura média de 4,77 cm e desvio de 1,58 cm, apresentando a maior frequência entre 3-4 cm (33%) e entre 5-6 cm (23%).

Esse fato pode ser explicado pelo refinamento dos poros, uma vez que, uma maior compactação, recebida pela face fina, tende a diminuir o diâmetro dos vazios, facilitando a ascensão da água. De acordo com Helene (1993), quanto menor o diâmetro dos poros capilares, maior será a pressão capilar, e, conseqüentemente, maior a altura de ascensão capilar. Por outro lado, quanto maior o diâmetro dos capilares menor será a ascensão capilar, porém a quantidade total de água absorvida será maior por unidade de área. Esse fato é comprovado pela Equação 6 proveniente da mecânica dos fluidos, que relaciona a altura de ascensão capilar com o raio do poro.

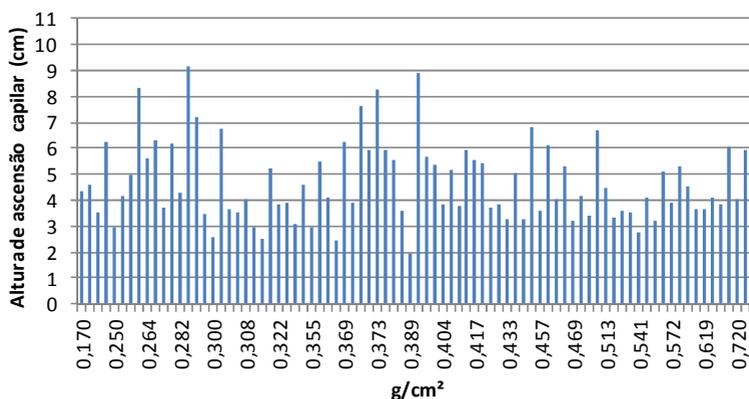
$$h = \frac{2 \times \sigma \times \cos \alpha}{\rho \times g \times r} \quad \text{Equação 6}$$

onde  $\sigma$  é a tensão superficial do líquido (água  $\approx 0,073\text{N/m}$ );  $\alpha$  é o ângulo de contato;  $\rho$  é a massa específica do líquido;  $g$  é a aceleração da gravidade;  $r$  é o raio do capilar e  $h$  a altura de ascensão capilar.

A Figura 35 apresenta a altura de ascensão capilar em relação à absorção pela área das peças. É possível acreditar que não há uma relação aparente entre tais variáveis, e a análise estatística dos dados, por meio de regressão linear, mostrou que, com 95% de confiabilidade não existe relação significativa entre a altura de ascensão capilar e a absorção por área de contato.



(a) face fina



(b) face grossa

Figura 35: Altura de ascensão capilar em peças de 16 MPa: (a) faces finas; (b) faces grossas.

#### 4.1.1.2. Peças seccionadas dos blocos de 6 MPa

Como os blocos de 6 MPa foram utilizados somente para estudos de aderência, a única caracterização realizada nos mesmos foi de capilaridade, para separação das peças que formariam os mini-prismas.

Tal como se notou nas peças de 16 MPa, foi verificada grande variação da absorção de água em função da posição da peça no bloco, como pode-se observar na Figura 36 e na Figura 37, que mostram a absorção das peças como um todo, e em relação a um mesmo bloco, respectivamente. Novamente foi verificado que a parte fina absorveu menos água por unidade de área do que a parte grossa, conforme o esperado, uma vez que o processo de fabricação é o mesmo em ambos os blocos.

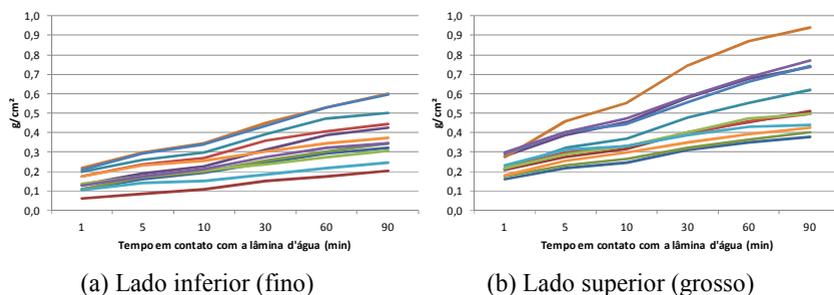


Figura 36: Capilaridade de algumas amostras das peças de 6 MPa. (a) lado inferior ; (b) lado superior.

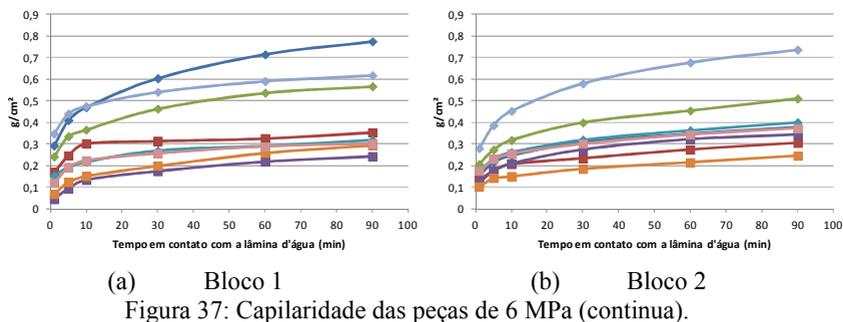


Figura 37: Capilaridade das peças de 6 MPa (continua).

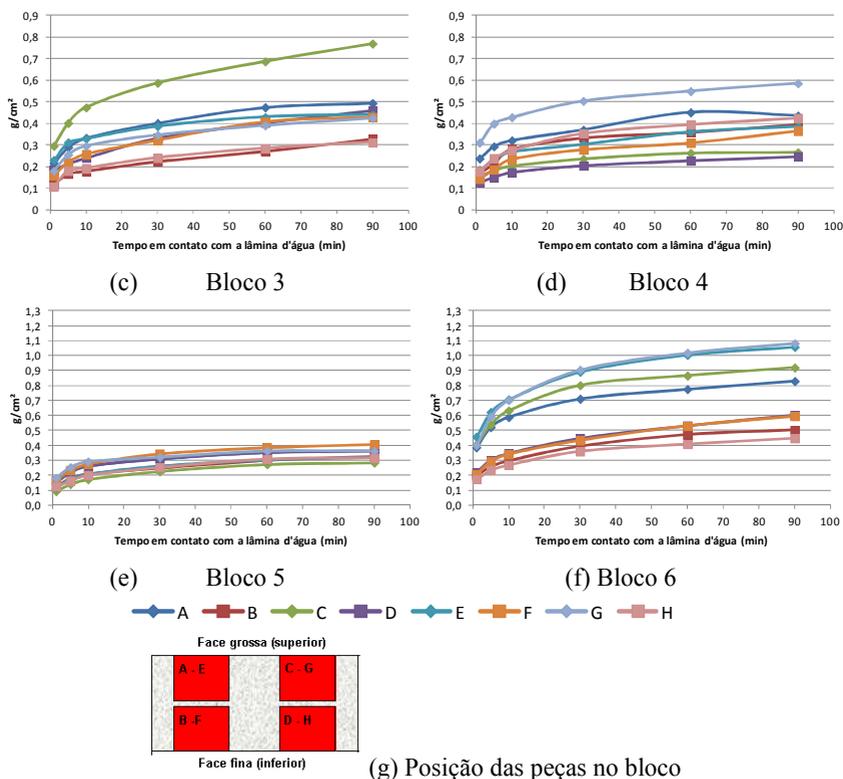


Figura 37: (Continuação) Capilaridade das peças de 6 MPa separadas pelos blocos de origem e pela posição no mesmo.

Para um tempo de 60 minutos de contato com a lâmina de água, a absorção pela área nas peças finas foi de  $0,34\text{g/cm}^2$  em média e desvio de  $0,094\text{g/cm}^2$ ; enquanto que nas peças grossas a média foi de  $0,52\text{g/cm}^2$  com desvio padrão de  $0,226\text{g/cm}^2$  (dados calculados em relação ao conjunto total de peças: 68 finas e 68 grossas). Os dados médios de absorção de todos os blocos podem ser visualizados na Figura 38.

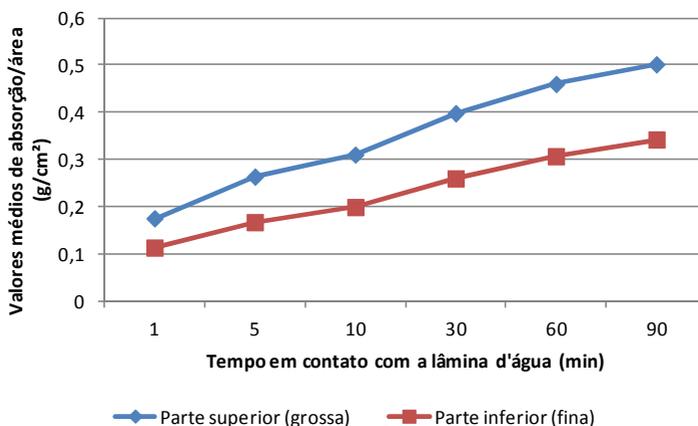


Figura 38: Valores médios de absorção/área em cada tempo de contato com a lâmina d'água, para as peças de 6 MPa.

Em relação à altura de ascensão capilar, os blocos de 6 MPa apresentaram um comportamento distinto em relação ao dos blocos de 16 MPa. As peças finas apresentaram uma altura de subida de água média de 4,11 cm com desvio padrão de 0,758 cm, com a maior frequência de ocorrência entre 3-4 cm (47%) e entre 4-5 cm (41%). As peças grossas apresentaram altura média 5,53 cm com desvio padrão de 1,772 cm, sendo que a maior frequência foi entre 4-5 cm (35%) 5-6 cm (18%).

Diferentemente das peças de 16 MPa, as peças de 6 MPa apresentaram uma relação significativa entre a altura de ascensão capilar e a absorção por unidade de área, conforme pode ser visualizado na Figura 39 e na Figura 40, e comprovado por regressão linear com 95% de confiabilidade, que apresenta uma melhor correlação nas peças grossas.

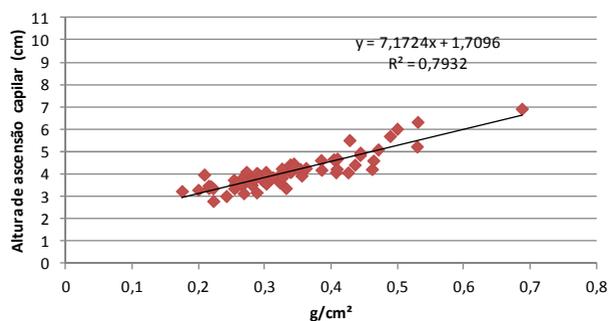
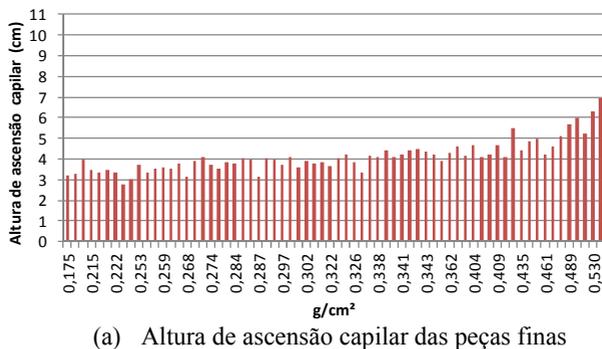


Figura 39: Altura de ascensão capilar das peças finas de 6 MPa.

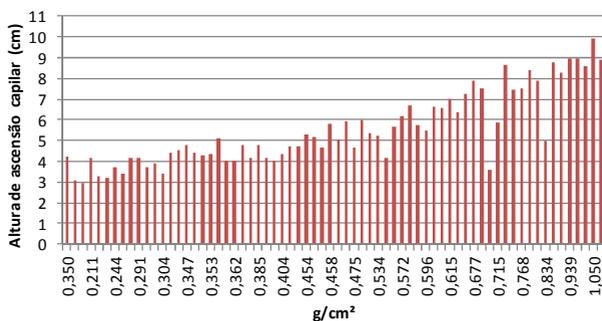
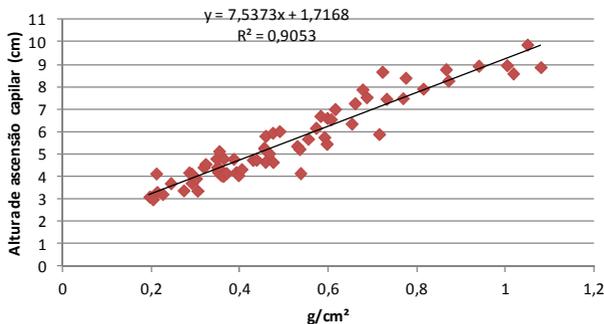


Figura 40: Altura de ascensão capilar em peças grossas de 6 MPa (continua).



(b) Correlação entre a altura de ascensão capilar e a absorção por unidade de área das peças.

Figura 40: (Continuação) Altura de ascensão capilar em peças grossas de 6 MPa.

#### 4.1.1.3. Comparação entre as peças seccionadas dos blocos de 16 MPa e dos blocos de 6 MPa

As peças seccionadas dos blocos de 16 MPa apresentaram menores valores de absorção por unidade de área em relação às peças seccionadas dos blocos de 6 MPa, tanto para a face superior quanto inferior do bloco. Isso era esperado, uma vez que, os blocos de 16 MPa, em princípio, por serem mais resistentes, tendem a apresentar um menor volume de vazios do que blocos de menor resistência, o que diminui sua absorção de água.

Os valores médios de absorção pelo tempo de contato com a lâmina de água dos dois tipos de blocos pode ser visualizado na Figura 41.

Em relação à altura de ascensão da água pelos capilares, as peças finas de 16 MPa apresentaram maior valor médio do que as peças finas de 6 MPa; por outro lado, nas peças grossas ocorreu o contrário, como pode ser visualizado na Figura 42, que além da altura de subida de água, relaciona a absorção por unidade de área após 60 minutos de contato do bloco com a lâmina de água.

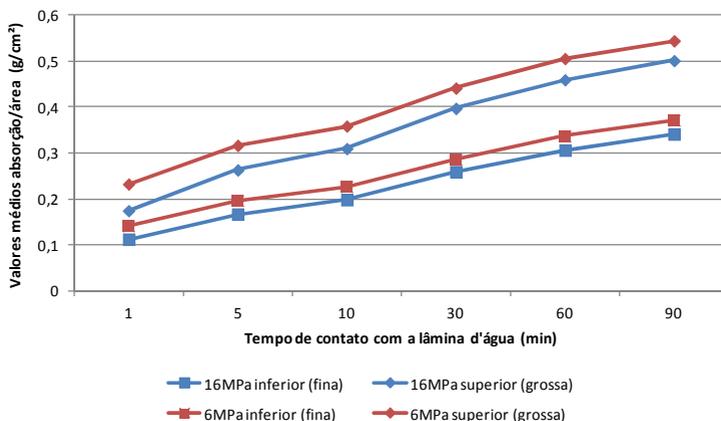


Figura 41: Valores médios de absorção por área de contato das peças de 6 MPa e de 16 MPa, separadas de acordo com a face.

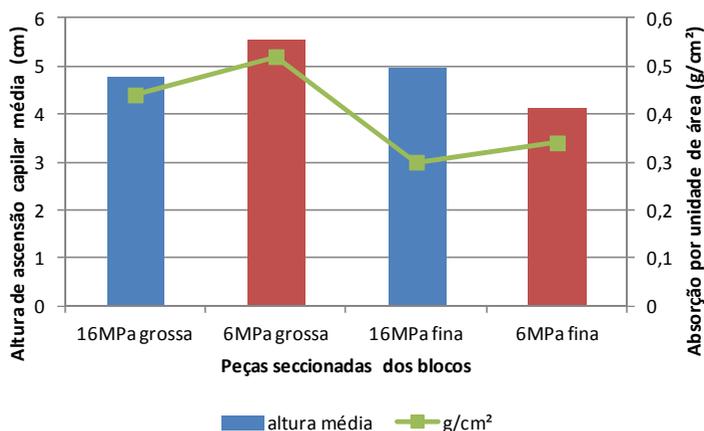


Figura 42: Comparação entre a altura de ascensão capilar e absorção por área de contato das peças de 16 MPa e de 6 MPa separadas por face de contato.

Analisando os valores médios de cada bloco, sem distinção de faces, os blocos de 16 MPa apresentam uma altura de ascensão capilar média de 5,08 cm, enquanto que, nos de 6 MPa, a altura média é de 4,86 cm, o que permite supor que as unidades mais resistentes tendem a apresentar um maior refinamento dos poros do que as menos resistentes.

Diante dos resultados até agora apresentados, pode-se concluir que as unidades de 6 MPa tendem a apresentar uma melhor aderência na

interface bloco/argamassa, principalmente em relação à face grossa, por sua maior absorção e altura de ascensão de água pelos capilares.

#### 4.1.2. Propriedades mecânicas dos blocos

Na data de rompimento dos prismas, ensaiaram-se também seis blocos à compressão, previamente selecionados por massa (peso intermediário) e capeados com pasta de cimento nas duas faces. A Figura 43 apresenta a resistência à compressão dos blocos, associados à massa de cada um deles. Na data de rompimento, os blocos tinham aproximadamente 60 dias, pois foram ensaiados na mesma data do rompimento dos prismas, para permitir o cálculo do fator de eficiência. A resistência à compressão média dos blocos foi de 18,65 MPa, com coeficiente de variação de 6,4%.

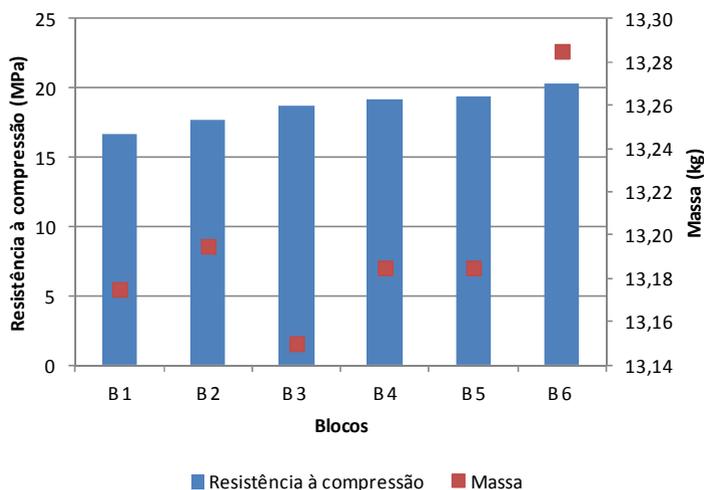


Figura 43: Resistência à compressão dos blocos e as respectivas massas.

A curva Tensão x Deformação dos blocos está apresentada na Figura 44, e a média do módulo de elasticidade das unidades foi de 25,7 GPa com coeficiente de variação de 11%, utilizando as tensões de 0,5 MPa e 30% da tensão de ruptura, e suas respectivas deformações específicas.

No entanto, percebe-se no gráfico que no início do ensaio ocorreu uma acomodação do espécime, resultando em aumentos de tensões sem nenhuma deformação, para os três corpos-de-prova ensaiados. Por isso, optou-se por calcular também o módulo de elasticidade retirando a parte

inicial da curva, considerando o intervalo de tensão de 3 MPa e 30% da tensão de ruptura. Esse procedimento resultou em um módulo de elasticidade médio de 23,4 GPa com coeficiente de variação de 2%.

Percebe-se que não houve uma diferença significativa entre os dois valores de módulos de deformação encontrados. Como os blocos utilizados eram de alta resistência (tensão na área líquida acima de 30 MPa), o módulo de elasticidade encontrado (entre 23,4 e 25,7 GPa) é coerente. Vale salientar que o ensaio foi realizado em amostras seccionadas dos blocos, conforme explanado no programa experimental.

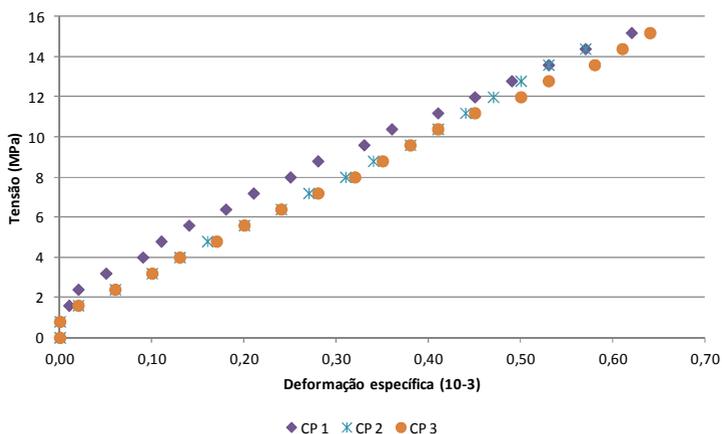


Figura 44: Curva Tensão x Deformação dos blocos para o cálculo do módulo de elasticidade.

#### 4.2. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS EMPREGADAS NOS MINI-PRISMAS

Neste tópico, serão apresentados os resultados do estudo das argamassas empregadas na confecção dos mini-prismas. No estado fresco, foram avaliadas as seguintes propriedades: trabalhabilidade (GTec Teste), índice de consistência (*flow table*), retenção de água, massa específica e teor de ar incorporado (método gravimétrico e do picnômetro). No estado endurecido, foram realizados testes de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade, além da aderência em mini-prismas.

Os resultados foram divididos em três grupos: argamassas industrializadas (com peças de 16 MPa); argamassas dosadas em

laboratório moldadas em peças de 6 MPa; argamassas dosadas em laboratório, com os melhores traços, moldadas em peças de 16 MPa.

#### 4.2.1. Argamassas industrializadas

Foram testadas três argamassas industrializadas presentes no mercado, denominadas de argamassa estrutural de 10 MPa (AE 10); argamassa estrutural de 5 MPa (AE 5) e argamassa múltiplo uso (M.U). Foram testadas também misturas dessas argamassas com argamassa colante: M.U com 10% de argamassa colante e 20% de areia (M.U+10%col+20%ar); M.U com 10% de argamassa colante e 10% de areia (M.U+10%col+10%ar); AE 10 com 10% de argamassa colante (AE10+10%colante) e AE 10 com 20% de argamassa colante (AE10+20%colante).

##### 4.2.1.1. Resultados do estado fresco

Na Tabela 14, são apresentadas as características dessas argamassas no estado fresco.

Tabela 14: Propriedades do estado fresco das argamassas industrializadas estudadas - Parte 1.

Argamassas	Teor de água (%)	Trabalhabilidade <sup>1</sup>				Consistência (Flow Table) (mm)
		Inicial		Final		
		L.I.	G	L.I	G	
AE 10	15,9	17,0	13	19,5	33	241
AE 5	16,0	16,0	11	17,5	34	247
M.U.	14,0	15,5	5	19,0	35	208
MU+10% col+20%ar	13,3	14,5	4	20,0	35	188
MU+10% col+10%ar	14,1	11,5	2	16,5	13	209
AE10 + 10% colante	15,3	16,5	12	18,5	33	222
AE10 + 20% colante	15,0	15,5	7	17,5	29	187

<sup>1</sup>Trabalhabilidade medida pelo GTec Teste onde L.I é a leitura inicial e G o número de golpes para espessura de 10 mm.

Tabela 14: Propriedades do estado fresco das argamassas industrializadas estudadas - Parte 2.

Argamassas	Retenção de água (min)			Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Ar incorp. (%) <sup>2</sup>	
	5	10	15		Grav	Pic.
AE 10	97,5	96,6	92,4	2098,5	6,3	6,1
AE 5	96,5	95,7	91,9	2102,1	6,1	6,0
M.U.	89,0	85,9	84,6	1883,6	17,8	11,9
MU+10% col+20%ar	98,5	97,6	97,4	1839,9	19,5	12,8
MU+10% col+10%ar	96,2	93,2	90,7	1785,6	10,8	14,0
AE10 + 10% colante	95,3	91,8	89,8	2036,2	9,5	5,0
AE10 + 20% colante	97,96	95,66	93,69	2004,37	11,3	8,6

<sup>2</sup> Ar incorporado (%) pelo método gravimétrico (Grav.) e picnômetro (Pic.).

A quantidade de água adicionada à argamassa foi baseada na recomendação do fabricante (apresentada na Tabela 10). Entretanto, algumas delas foram dosadas com teores de água abaixo do prescrito, e mesmo aquelas que ficaram na faixa estipulada, sempre representavam o limite inferior. O uso da água total prescrita na embalagem levaria a argamassas inadequadas para o assentamento. No entanto, nessa recomendação de água possivelmente está se considerando a água utilizada na re-dosagem para o ajuste da trabalhabilidade, uma vez que as argamassas estudadas tendem a apresentar pequeno tempo em aberto, ou seja, aumentam sua consistência rapidamente.

Para determinação do teor de água, procurou-se manter fixa a trabalhabilidade no GTec Teste. No entanto, nem sempre foi possível atingir os valores ideais nas misturas dosadas. Na Figura 45, pode-se visualizar o resultado do GTec Teste (Trabalhabilidade Inicial) das argamassas estudadas. Cabe salientar que a energia empregada nesse ensaio foi medida pelo número de golpes da massa deslizante sobre o filete de argamassa, até a obtenção de uma junta final de 1 cm. A energia de cada golpe corresponde a 0,1 J.

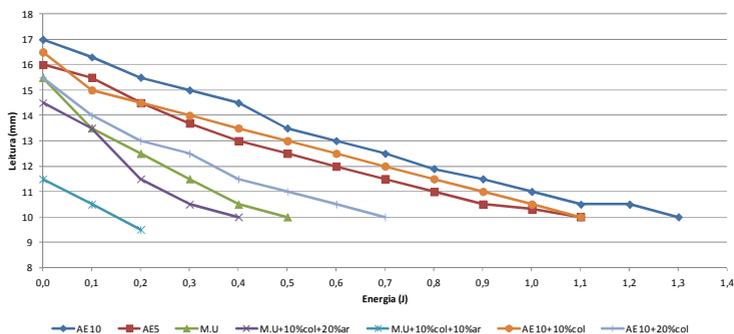


Figura 45: Curvas Leitura x Energia para as argamassas estudadas.

Observa-se, na Tabela 14 e na Figura 45, que as leituras iniciais do GTec Teste estão dentro dos limites estabelecidos para argamassas de assentamento com trabalhabilidade adequada (entre 15 e 18 mm), com exceção das argamassas múltiplo uso com adição de areia e argamassa colante (M.U.+10%col+20%ar e M.U.+10%col+10%ar), que apresentaram valores abaixo do ideal para a deformação inicial da junta. Em relação à plasticidade, o número de golpes ideal para que a junta apresente 1 cm de espessura varia entre 8 a 12 golpes. Percebe-se que as argamassas múltiplo uso (M.U.; M.U.+10%col+20%ar; M.U.+10%col+10%ar) foram as que ficaram bem abaixo do esperado. Apesar disso, os mini-prismas puderam ser assentados sem problemas, uma vez que, são constituídos por unidades de menor peso e também porque essas argamassas perderam trabalhabilidade muito rápido, como pode ser visualizado na Figura 46.

Após aproximadamente 30 minutos, todas as argamassas apresentaram plasticidade inadequada, requerendo muitos golpes para a deformação da junta. A argamassa M.U.+10%col+20% ar. foi a que mais perdeu plasticidade, aumentando em quase 9 vezes o número de golpes após 30 minutos da mistura, seguida pela argamassa M.U. em que o aumento foi de 7 vezes. Cabe salientar que essas duas argamassas foram também aquelas que apresentaram os maiores aumentos da consistência (leitura inicial), juntamente com a M.U.+10%col+10%ar.

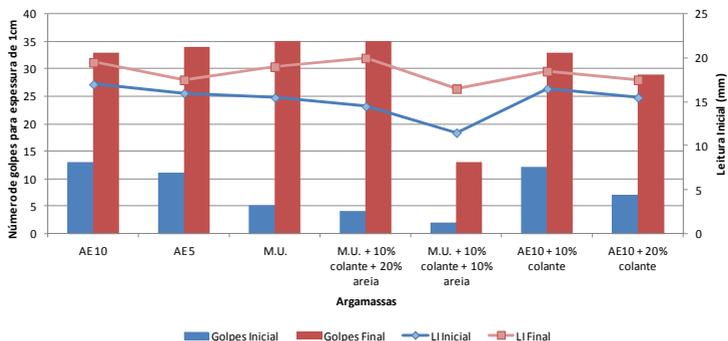


Figura 46: Perda de trabalhabilidade das argamassas estudadas pelo GTec Teste.

Em relação à retenção de água, pode-se notar, na Figura 47, que a maioria das argamassas apresentam 90 a 94% aos 15 minutos de sucção. A argamassa M.U apresentou a menor retenção de água entre as misturas estudadas. Esse fato justifica a grande perda de trabalhabilidade dessa argamassa citada anteriormente. Por outro lado, a argamassa M.U+10%col+20%ar apresentou a maior retenção de água, o que contradiz a alta perda de trabalhabilidade dessa mistura. Como as outras duas argamassas constituídas pela Múltiplo Uso apresentaram os menores valores de retenção de água, e levando-se em conta o aumento de sua consistência e plasticidade explanado anteriormente, acredita-se que houve algum problema no ensaio dessa argamassa, como por exemplo, uma falta de vedação do aparelho, ou uma sucção ineficaz pela bomba de vácuo. Aliado a isso, essa argamassa, por possuir maior quantidade de agregado, apresentava maior módulo de finura, o que tende a diminuir a retenção de água e não aumentar como ocorreu. Sendo assim, esse resultado, diferentemente dos demais, não parece ser confiável.

As demais argamassas apresentaram alta retenção de água (acima de 90%), o que já era esperado, uma vez que essas argamassas industrializadas possivelmente possuem aditivos retentores de água na sua constituição, em especial as argamassas colantes, como citado no item 3.2.

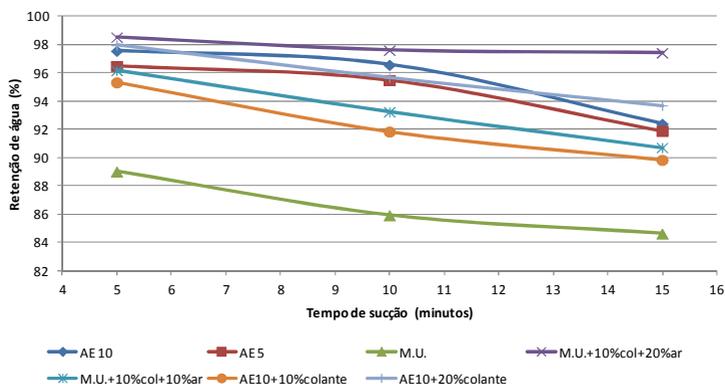


Figura 47: Retenção de água das argamassas em função do tempo.

Como explanado na revisão de literatura, a retenção de água deve estar dentro de limites toleráveis para que não comprometa o desempenho da parede de alvenaria. Uma retenção muito baixa causa perda de trabalhabilidade no momento do assentamento, fazendo com que a junta de argamassa fique com falhas, prejudicando a aderência. Por outro lado, alguns pesquisadores acreditam que, quando a argamassa tem grande retenção, pode não ocorrer uma aderência adequada, pois a transferência de água junto com os materiais cimentícios, que formará o elo de contato, será reduzida (PANARESE, KOSMATKA e RANDALL JR. 1991).

As normas brasileiras que abordam retenção de água e que estão em vigor atualmente, não prescrevem limites para essa propriedade. A ASTM C 270 especifica, para argamassas de assentamento, que a retenção de água deve ser superior a 75% determinada de acordo com o método prescrito na ASTM C 91. 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.

A consistência medida pelo Flow Table variou de 187 a 247 mm, e mostrou-se não ser um bom parâmetro para avaliar argamassas de assentamento, uma vez que não houve uma relação proporcional entre a leitura inicial do GTec Teste e a abertura no Flow Table, parâmetros esses que indicam a consistência da mistura. Como apresentado na Tabela 14, a argamassa M.U.+10%col+10%ar apresentou leitura inicial de 14,5 mm e flow de 188 mm, enquanto que a AE 10 teve leitura inicial de 17 mm e flow de 241 mm, ou seja, no GTec Teste a AE 10 foi

considerada mais consistente, já no flow a mesma mistura apresentou maior fluidez entre as duas argamassas em questão.

Outro fator avaliado no estado fresco foi o ar incorporado. Essa determinação foi realizada por dois métodos: gravimétrico, mediante conhecimento da massa específica da argamassa; e pelo método do picnômetro com solução de álcool e água. A comparação de ambos os métodos é apresentada na Figura 48.

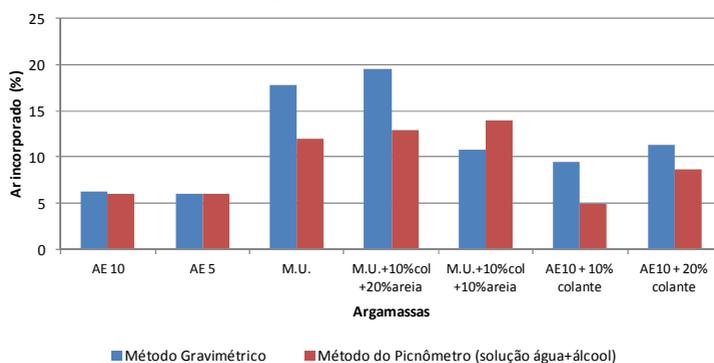


Figura 48: Ar incorporado das argamassas pelo método gravimétrico e do picnômetro.

As argamassas que apresentaram maior teor de ar incorporado foram aquelas constituídas por argamassa múltiplo uso (pura ou composta por areia e argamassa colante), indicando que há adição de incorporador de ar na sua constituição. Isso já era de se esperar, uma vez que tais argamassas necessitaram de um menor teor de água para que ficassem com consistência adequada ao assentamento, indicando a presença de bolhas de ar auxiliando nessa propriedade. Aliado a isso, percebeu-se, durante a aplicação que essas misturas se mostraram mais trabalháveis do que as demais.

Em relação aos métodos empregados, pode-se dizer que ambos apresentaram resultados compatíveis e correlacionáveis, embora tenham apresentado variações na ordem de 30%, especialmente nas misturas com maior incorporação de ar. Vale salientar que a argamassa empregada em cada método possuía adensamento diferente. A argamassa utilizada no método gravimétrico era adensada em três camadas de 20 golpes cada, enquanto que a argamassa utilizada no picnômetro era adensada da mesma forma que as juntas de argamassa empregadas no assentamento dos mini-prismas. Sendo assim, os resultados de incorporação de ar determinado através do picnômetro

tendem a ser mais fieis ao teor de ar presente na junta de argamassa utilizada no assentamento das unidades, do que o método gravimétrico.

#### 4.2.1.2. Resultados do estado endurecido

A Figura 49 apresenta as propriedades das argamassas no estado endurecido: resistência à compressão (corpos-de-prova cilíndricos de 5x10 cm e cúbicos de 4 cm), resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade aos 7 dias de idade.

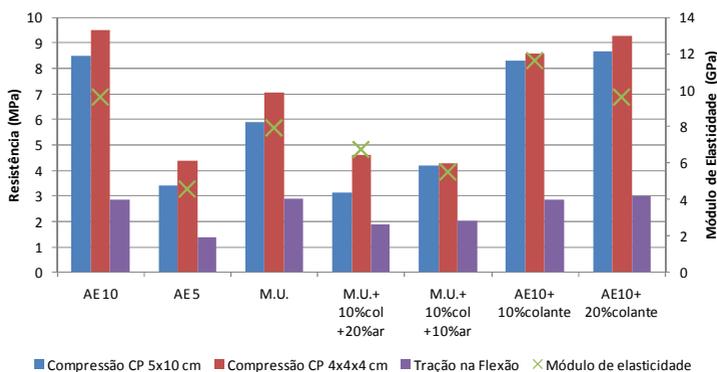


Figura 49: Propriedades do estado endurecido das argamassas industrializadas empregadas nos mini-prismas.

A resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos foram proporcionais e sempre menores do que a dos cúbicos, já que existe um efeito de confinamento pelos pratos da prensa que contribuiu para a maior resistência desses últimos.

As argamassas estruturais de 10 MPa, com ou sem a incorporação de argamassa colante, foram as que conduziram aos maiores valores de resistência à compressão e também os maiores módulos de elasticidade; as menores resistências ocorreram nas misturas formadas por argamassa M.U com adição de argamassa colante e areia (10 e 20%). A diminuição da resistência à compressão da argamassa M.U pura em relação às duas outras com adição de argamassa colante e areia já era de se esperar, pois, com a adição de agregado, o traço tornou-se mais pobre. No entanto, o uso de M.U com adição de argamassa colante, sem acrescentar agregado ao traço, prejudicava sua aplicação, devido à finura do material constituinte. Apesar disso, concluiu-se que a adição de areia ao traço não era uma boa alternativa, pois essas argamassas não apresentariam a resistência necessária aos 28 dias (maior que 10 MPa).

Testes realizados nesse trabalho mostraram que argamassas M.U apresentam cerca de 50% de aumento da resistência dos 7 para os 28 dias, e nas argamassas estruturais esse aumento foi de 33%. Juntas de argamassa com resistências nessa ordem, utilizadas no assentamento de blocos de elevada resistência, apresentariam ruptura por esmagamento da junta de argamassa precocemente.

Sendo assim, quando testou-se AE 10 associada à argamassa colante, descartou-se a alternativa da adição de areia ao traço, para que não prejudicasse a resistência à compressão. Aliado a isso, a AE 10 apresentou curva granulométrica ligeiramente mais grossa do que a M.U. Apesar da adição de argamassa colante influenciar negativamente a resistência, sua diminuição não foi tão acentuada quanto nas argamassas M.U.

Em relação ao módulo de elasticidade, todas as argamassas apresentaram valores menores do que o módulo dos blocos, permitindo que as deformações ocorram preferencialmente nas juntas. Entretanto, a argamassa AE 5 MPa apresentou módulo muito baixo, não sendo aconselhada para assentamento de blocos de elevada resistência.

A resistência de tração na flexão das argamassas estudadas representou aproximadamente 36% da sua resistência à compressão, e os maiores valores se deram nas misturas constituídas por AE 10.

#### 4.2.1.3. Aderência dos mini-prismas

A análise da aderência das argamassas industrializadas será conduzida por meio da apresentação dos valores de cada mini-prisma rompido, relacionando a tensão de ruptura por flexão com a absorção das peças que constituíam o corpo-de-prova.

A Figura 50 apresenta os valores de resistência de aderência e absorção por unidade de área média das duas peças que constituem o mini-prisma e também a absorção da face na qual se deu a ruptura à flexão. Os valores tabelados de aderência e absorção estão apresentados no Anexo 1 e 2. Algumas argamassas não possuem seis corpos-de-prova devido a quebras que ocorreram durante os ensaios.

Acreditava-se que peças com maior teor de absorção por área de contato resultariam em aderências maiores, por permitir uma melhor ancoragem da junta com a unidade, no entanto, isso não ficou evidente nos ensaios. A partir de análises estatísticas de cada uma das argamassas separadamente, pode-se afirmar com 95% de confiabilidade que não existe relação significativa entre essas variáveis, tanto em relação à absorção média quanto a absorção da face em que rompeu.

Também não se pode afirmar que exista uma relação significativa entre a aderência dos mini-prismas e a altura de ascensão capilar das peças utilizadas na moldagem. Na Figura 51 esses dois parâmetros estão expostos, e percebe-se a grande variação dos resultados, o que impede a avaliação da influência da altura de subida de água na resistência de aderência dos corpos-de-prova.

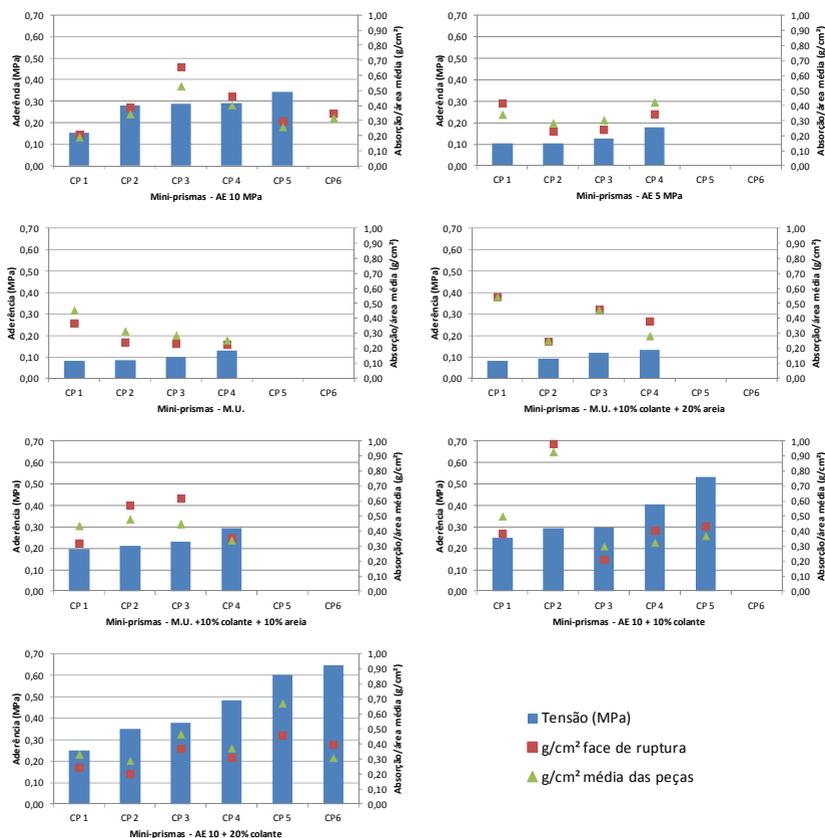


Figura 50: Aderência de cada série de mini-prismas correlacionada com a absorção por unidade de área média e da face de ruptura.

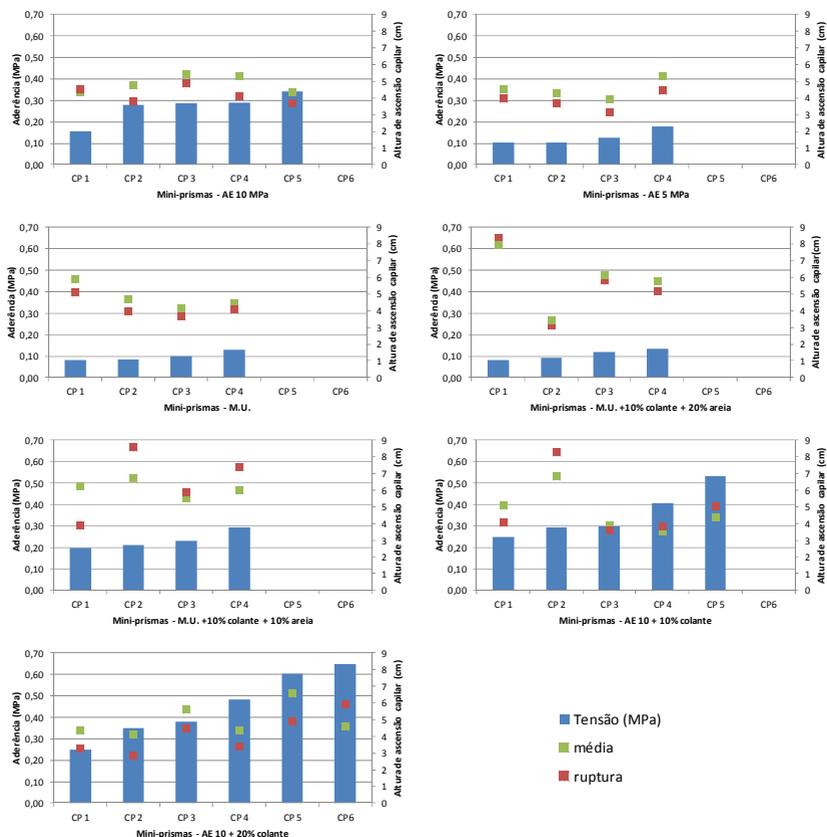


Figura 51: Aderência de cada série de mini-prismas correlacionada com a altura de ascensão capilar média e da face de ruptura.

Uma vez dissertado sobre a influência do substrato na aderência, prossegue-se a avaliação dessa propriedade nas argamassas industrializadas estudadas.

As argamassas constituídas por AE 10 foram as que apresentaram o melhor desempenho na aderência entre as misturas estudadas. Na Figura 50 e Figura 51 pode-se perceber que a adição de argamassa colante nessas argamassas melhorou significativamente a aderência, aumentando 33% e 67% para adições de 10% e 20% de colante, respectivamente, em relação à argamassa moldada com 100% de AE 10.

Os piores resultados de aderência ocorreram nas argamassas AE 5 e M.U. No entanto, a adição da argamassa colante aumentou a resistência de aderência das argamassas M.U, especialmente quando a adição de areia foi mais baixa (10%), a qual apresentou melhora de cerca de 130% em relação à argamassa moldada somente com M.U.

Na Figura 52 pode-se perceber também a grande influência do teor de ar incorporado nas argamassas na sua aderência. O valor do ar incorporado usado na análise foi aquele proveniente do método do picnômetro com solução de água e álcool, uma vez que a amostra de argamassa usada no ensaio é mais representativa da argamassa utilizada na junta do mini-prisma. Pode-se notar que, com exceção da AE 5, todas as demais argamassas que apresentaram teor de ar menor que 10% apresentaram aderência maior que o estipulado pela ABNT NBR 15981 (2011) para prismas (0,15-0,20 MPa). No entanto, essa prescrição da norma refere-se a situações diferentes das observadas nos mini-prismas, não podendo ser levada em consideração neste momento como uma resistência satisfatória.

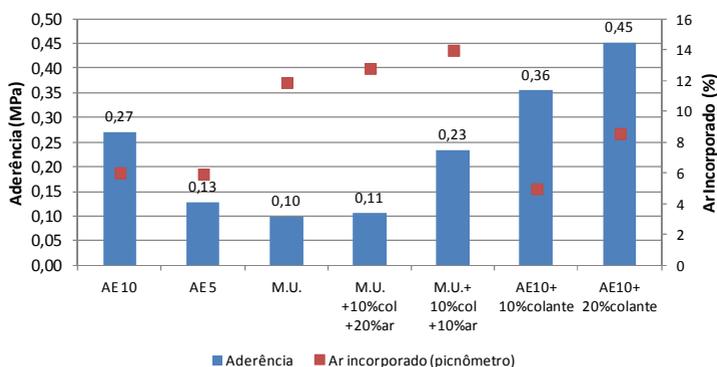


Figura 52: Aderência média das argamassas e o ar incorporado.

A influência da retenção de água das argamassas na aderência dos mini-prismas pode ser analisada na Figura 53. Optou-se por não analisar a argamassa M.U +10%col +20%ar nesse estudo, pois, como citado anteriormente, supõe-se que houve um erro no ensaio de retenção de água dessa argamassa, o que conduziu a valores não confiáveis, que foram considerados espúrios nessa análise. Sendo assim, percebe-se que o menor valor de aderência também foi aquele em que a retenção foi mais baixa (argamassa M.U); enquanto que no maior valor de retenção

houve a maior aderência entre as argamassas estudadas (AE 10+20%colante).

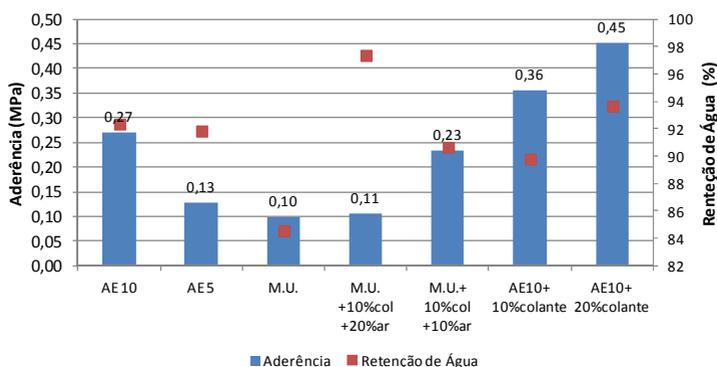


Figura 53: Aderência média das argamassas e a retenção de água.

Após a análise dos resultados apresentados anteriormente, pode-se concluir que a adição da argamassa colante nas argamassas industrializadas usadas em assentamento causou uma melhora na aderência dos mini-prismas e não prejudicou as propriedades do estado fresco; em contrapartida, a adição causou uma queda na resistência à compressão, possivelmente pelo teor de ar incorporado na mistura.

Admitindo-se essa hipótese, o prosseguimento do trabalho baseou-se na utilização de aditivos retentores de água e polímeros PVA (que estão presentes nas argamassas colantes) nas argamassas dosadas, a fim de obter traços que apresentassem aderência, resistência à compressão e trabalhabilidade adequados à sua aplicação.

#### 4.2.2. Argamassas empregadas em mini-prismas com peças de 6 MPa.

Como citado na metodologia, fez-se uso de blocos de 6 MPa para testes que tinham como objetivo a exclusão de argamassas inadequadas, e a seleção dos melhores traços, uma vez que não se dispunha de blocos de 16 MPa suficientes para todos esses testes. As argamassas que apresentaram os melhores desempenhos foram testadas novamente com blocos de 16 MPa, para posterior escolha dos traços que iriam ser testados em prismas. Esses resultados serão apresentados mais adiante.

O traço base escolhido foi o de 1:1:4 (cimento:cal:areia) em volume, pois é um traço bastante utilizado e que já foi testado por

alguns pesquisadores (STEIL, 2003; PRUDÊNCIO et al., 2003; CASALI, 2008) e conduziu a bons resultados. A relação água/cimento foi ajustada no momento da dosagem das argamassas para que se obtivesse trabalhabilidade adequada, verificada no GTec Teste.

Foram dosadas argamassas mistas sem e com a presença de aditivos e também argamassas de cimento. Cabe ressaltar que, quando se faz uso de cal nas argamassas, é recomendável maturar a mesma antes de sua utilização. Para isso, a cal hidratada é pré-misturada com areia úmida por um período de no mínimo 16 horas antes do processo de mistura para que ocorra o término de hidratação da cal. Isso evita a perda de trabalhabilidade acentuada quando a cal entra em contato com a água do traço durante a mistura da argamassa. Aliado a isso, o uso de argamassa mista com cal maturada tende a melhorar as características do estado fresco, produzindo argamassas mais plásticas. No entanto, como esse trabalho também teve como objetivo a possibilidade de comercialização do traço com os materiais secos proporcionados, tal qual uma argamassa industrializada, o processo de maturação não seria possível. Sendo assim, optou-se por realizar os testes com argamassas mistas sem realizar o término de maturação da cal. Para comparação dos resultados, testou-se um mesmo traço de argamassa mista, com e sem o processo de maturação da cal.

Na dosagem das argamassas, foram utilizados também 4 tipos de aditivos: Dois polímeros formados por 62% PVA e 38% retentor de água (MHEC - éter de celulose), os quais se diferenciam apenas pelo tipo de PVA empregado, denominados aqui de P1 e P2; um retentor de água (MHEC - éter de celulose) denominado de R.A.; e um desincorporador de ar (Floam Blast), denominado de D.A. Verificou-se a necessidade de utilização desse último aditivo após a dosagem das primeiras argamassas contendo P1, P2 ou R.A, pois essas estavam incorporando ar em demasia, o que prejudicava as propriedades do estado endurecido.

Os teores dos aditivos P1 e P2 empregados neste trabalho variaram entre 0,1 e 0,3% em relação à massa de materiais secos, por ser uma recomendação do fabricante. Inicialmente, foram utilizados três teores: 0,1, 0,2 e 0,3%. No entanto, após a dosagem da argamassa com 0,3% de aditivo, verificou-se que esse teor era excessivo, pois tornava a mistura altamente pegajosa. Como o teor de 0,2% desses aditivos não apresentou esse aspecto, realizou-se uma mistura teste com argamassa mista e aditivo P2, na qual o teor desse aditivo era aumentado em 0,01% partindo-se de 0,2% até no máximo 0,3%, a fim de se obter a porcentagem máxima de aditivo que não proporcionasse problemas de

aplicação. Após esse procedimento, chegou-se a um teor ideal desse aditivo em função de aplicabilidade, que foi de 0,24% em relação aos materiais secos.

O aditivo retentor de água foi utilizado em duas proporções: 0,08% e 0,2% em relação à massa de materiais secos; o valor de 0,2% foi definido com base nas argamassas colantes disponíveis no mercado, que possuem em sua constituição aditivos retentores de água variando de 0,2-0,4%, conforme Tabela 12. Como na etapa anterior verificou-se que a composição de AE10 com 20% de argamassa colante proporcionou bons resultados de aderência, calculou-se a porcentagem de aditivo R.A presente na mistura em relação aos materiais secos totais, que foi de 0,05% quando considerada a utilização de AC I, e de 0,08% quando considerada a AC III.

Partindo desses valores, foram realizados testes preliminares, nos quais eram empregadas argamassas mistas contendo 0; 0,05; 0,08; 0,1 e 0,2% de retentor de água em relação à massa de materiais secos. Em todas as argamassas, foi utilizado o traço em volume 1:1:4:1,1 (cimento:cal:areia:água) que conduziu a trabalhabilidades adequadas verificadas no GTec Teste. Para definição dos teores de aditivos a serem empregados, foi verificada a retenção de água com o uso do funil de Büchner modificado, e os resultados podem ser analisados na Tabela 15.

Tabela 15: Resultado da retenção de água aos 15 minutos em relação à quantidade de aditivo R.A incorporado na argamassa.

<b>Teor de aditivo R.A. (% materiais secos)</b>	<b>Retenção de água aos 15 minutos (%)</b>
0,00	88,5
0,05	90,2
0,08	95,9
0,10	96,3
0,20	98,1

Diante dos resultados apresentados, optou-se por testar nos miniprismas argamassas contendo 0,08% e 0,2% de aditivo retentor de água, uma vez que esses dois teores causaram os aumentos mais significativos no ensaio realizado.

O teor de aditivo desincorporador de ar, por sua vez, foi testado com argamassa mista com adição de P2 (0,24%) e argamassa mista com adição de R.A (0,20%). Segundo o fabricante, o teor do aditivo desincorporador de ar deve ser, no mínimo, de 0,05% em relação aos

materiais secos, sendo aumentado conforme a necessidade. A Tabela 16 apresenta os teores de aditivos testados e os respectivos valores de ar incorporado, determinados por meio do método do picnômetro. Conforme citado na literatura do assunto, argamassas com ar incorporado acima de 10% podem gerar interfaces junta/bloco com menor extensão de aderência, sendo, portanto, não recomendadas. Diante disso, optou-se por utilizar 0,06% de desincorporador de ar nas argamassas contendo P2, e 0,08% naquelas com R.A., pois foram os teores de melhor desempenho nas misturas estudadas.

Tabela 16: Incorporação de ar nas argamassas de acordo com os teores de aditivo desincorporador de ar presentes.

<b>Teor de aditivo D.A. (% materiais secos)</b>	<b>Incorporação de ar (%)</b>	
	<b>Mista + P2 0,24%</b>	<b>Mista + R.A. 0,20%</b>
0,00	13,0	16,2
0,05	8,8	13,8
0,06	5,6	9,5
0,08	5,7	5,1
0,10	3,9	4,0

#### 4.2.2.1. Resultados do estado fresco

Na Tabela 17 estão apresentados os traços, em massa, utilizados nos mini-prismas formados por peças de 6 MPa, e na Tabela 18 os resultados do estado fresco das argamassas em questão.

Tabela 17: Traços das argamassas mistas utilizadas.

Argamassas Blocos de 6 MPa	Traço em massa					
	cimento:cal:areia:a/c				Aditivo (%) <sup>2</sup>	
					Principal	D. A. <sup>1</sup>
Mista	1	0,57	4,85	1,05	0,00	0
Mista Maturada	1	0,57	4,85	1,11	0,00	0
Mista + P1 0,1%	1	0,57	4,85	1,17	0,10	0
Mista + P2 0,1%	1	0,57	4,85	1,17	0,10	0
Mista + P1 0,2%	1	0,57	4,85	1,12	0,20	0
Mista + P2 0,2%	1	0,57	4,85	1,11	0,20	0
Mista + P1 0,3%	1	0,57	4,85	1,06	0,30	0
Mista + P2 0,3%	1	0,57	4,85	1,06	0,30	0
Mista + R.A. 0,08%	1	0,57	4,85	1,08	0,08	0
Mista + R.A. 0,2%	1	0,57	4,85	1,09	0,20	0
Mista + P2 0,24% + D.A. 0,06%	1	0,57	4,85	1,17	0,24	0,06
Mista + R.A. 0,2% + D.A. 0,08%	1	0,57	4,85	1,15	0,20	0,08
Cimento + P2 0,24%+D.A.0,06%	1	0	3,64	0,78	0,24	0,06
Cimento + R.A. 0,2% + D.A. 0,08%	1	0	3,64	0,85	0,20	0,08

<sup>1</sup> D.A.: desincorporador de ar; <sup>2</sup> porcentagem de aditivo em relação aos materiais secos.

Observa-se na Tabela 18 e na Figura 54 que as leituras iniciais do GTec Teste estão dentro dos limites estabelecidos para argamassas de assentamento com trabalhabilidade adequada (entre 15 e 18 mm), com exceção das duas argamassas de cimento e da argamassa mista composta por 0,2% de retentor de água (Mista + R.A. 0,2%), que apresentaram valores inferiores aos desejáveis, ou seja, tais argamassas apresentaram uma deformação inicial (após a colocada do bloco) maior que a ideal, sugerindo que as mesmas não teriam consistência suficiente para suportar o peso do bloco.

Tabela 18: Resultados do estado fresco das argamassas empregadas nos mini-prismas de 6 MPa – Parte 1.

Argamassas Blocos de 6 MPa	Trabalhabilidade <sup>1</sup>				Consistência Flow Table (mm)
	Inicial		Final		
	L.I.	G	L.I.	G	
Mista	18,0	10	18,5	15	212
Mista Maturada	16,5	8	17,5	14	227
Mista + P1 0,1%	17,5	13	17,5	20	208
Mista + P2 0,1%	16,5	16	17,0	17	201
Mista + P1 0,2%	15,5	8	19,5	40	193
Mista + P2 0,2%	15,5	11	18,0	35	187
Mista + P1 0,3%	17,0	22	17,0	31	168
Mista + P2 0,3%	16,5	31	18,5	37	164
Mista + R.A. 0,08%	16,0	14	18,5	52	179
Mista + R.A. 0,2%	11,0	2	19,0	3	165
Mista +P2 0,24% +D.A. 0,06%	15,0	10	17,0	18	176
Mista +R.A.0,2% + D.A.0,08%	15,5	12	17,0	16	162
Cimento +P2 0,24%+ D.A 0,06%	13,0	7	16,5	15	203
Cimento+ R.A.0,2%+D.A0,08%	9,0	0	13,5	8	181

<sup>1</sup>Trabalhabilidade medida pelo GTec Teste onde L.I é a leitura inicial e G o número de golpes para espessura de 10 mm.

Tabela 18: Resultados do estado fresco das argamassas empregadas nos mini-prismas de 6 MPa – Parte 2.

Argamassas Blocos de 6 MPa	Retenção de água (%)			Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Ar incorp. (%) <sup>2</sup>	
	5 min	10 min	15 min		Grav.	Pic.
Mista	95,7	93,2	92,2	2076,1	3,1	0,9
Mista Maturada	91,0	88,1	87,0	2041,6	3,9	1,0
Mista + P1 0,1%	87,4	84,5	83,3	1892,5	10,9	11,2
Mista + P2 0,1%	88,1	85,4	84,4	1921,8	8,7	7,8
Mista + P1 0,2%	99,1	97,8	96,6	1837,8	13,3	12,0
Mista + P2 0,2%	99,1	98,1	97,2	1776,1	16,4	13,1
Mista + P1 0,3%	99,6	98,9	98,6	1866,5	12,8	11,9
Mista + P2 0,3%	99,3	98,5	97,9	1834,1	14,3	12,1
Mista + R.A. 0,08%	98,3	97,5	96,1	1778,8	16,6	15,0
Mista + R.A. 0,2%	98,8	98,1	97,7	1679,0	21,2	17,2
Mista +P2 0,24% +D.A. 0,06%	99,2	98,3	97,2	1989,2	5,2	5,5
Mista +R.A.0,2% + D.A.0,08%	98,9	97,5	97,1	2021,8	4,2	4,9
Cimento +P2 0,24%+ D.A 0,06%	99,4	98,8	98,0	1999,8	7,2	5,2
Cimento+ R.A.0,2%+D.A0,08%	99,8	98,9	98,1	1991,1	6,2	3,9

<sup>2</sup> Ar incorporado (%) pelo método gravimétrico (Grav.) e picnômetro (Pic.).

Excetuando-se as argamassas que apresentaram baixa consistência, verificada pela leitura inicial, a maioria das demais apresentou plasticidade adequada, isto é, a junta de 1,0 cm foi atingida com aplicação de energia entre 0,7-1,4J. As argamassas que se apresentaram menos plásticas foram as mistas compostas por 0,3% de polímero (P1 e P2), seguidas da Mista+P2 0,1%; sendo que o caso mais crítico foi a Mista+P2 0,3%, pois necessitou de um acréscimo superior a 106% de energia para a deformação necessária, quando comparada com uma argamassa com plasticidade ideal.

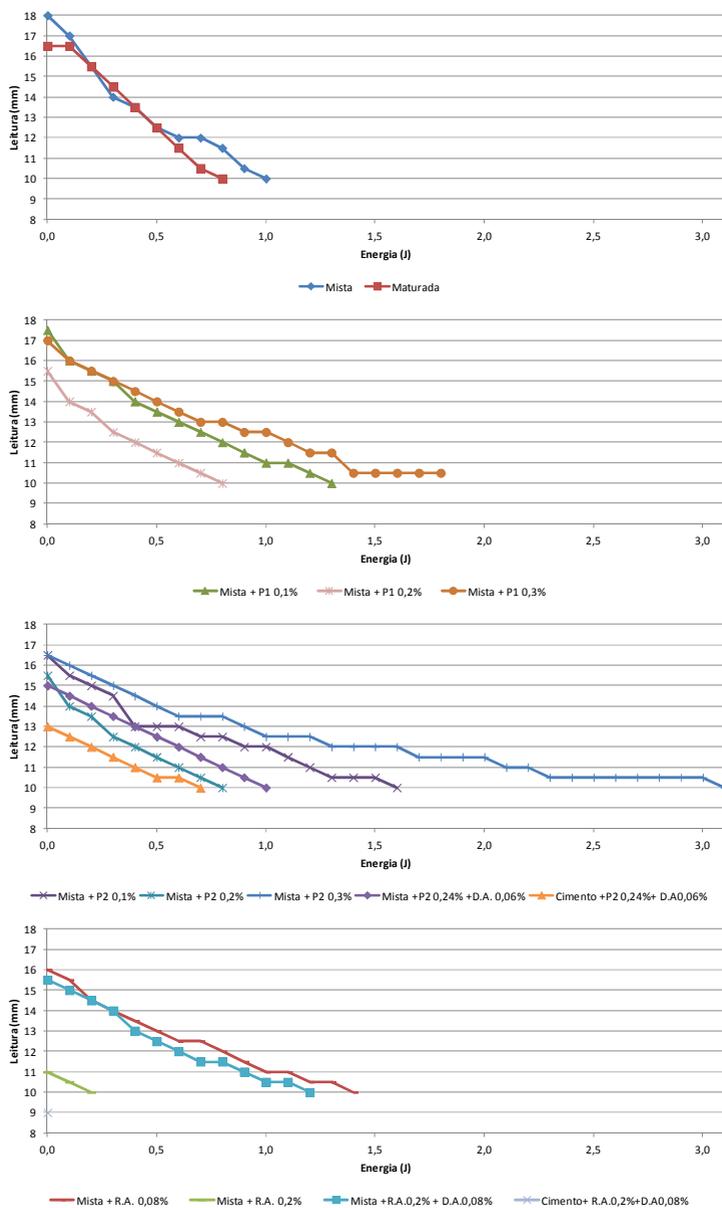


Figura 54: Resultados do GTec Teste das argamassas estudadas.

Os piores resultados de trabalhabilidade foram com a argamassa Cimento+R.A.0,2%+D.A.0,08%, que não apresentou consistência e plasticidade adequada, possivelmente por ter um traço pobre. No entanto, a utilização de traços mais ricos em argamassas de cimento causariam problemas de retração indesejáveis.

Outro problema verificado no estado fresco foi em relação às argamassas mistas contendo 0,3% de polímero, uma vez que ambas se tornaram extremamente pegajosas, fato que dificultou muito a sua aplicação, inviabilizando o emprego do traço. Como dito anteriormente, foi definido o teor de 0,24% como o teor máximo de aditivo a base de polímero que poderia ser empregado nas argamassas para que não houvesse problemas de aplicabilidade.

Comparando-se os resultados de consistência obtidos pelo GTec Teste e pelo *Flow Table* pela Figura 55, percebe-se que o último não avalia bem argamassas de assentamento. Os valores da abertura do flow ficaram muito próximos para todas as argamassas, mesmo essas apresentando características peculiares como comentado anteriormente na análise dos resultados do GTec Teste. Para exemplificar, pode-se citar a argamassa de cimento com retentor de água, Cimento+R.A.0,2%+D.A.0,08%, que resultou em uma leitura inicial no GTec Teste muito abaixo da ideal, o que significa uma consistência baixa. A mesma argamassa avaliada pelo *Flow Table* apresentou resultados semelhantes as demais, não sendo possível identificar o problema que poderia ocorrer no assentamento de uma parede de alvenaria com essa argamassa.

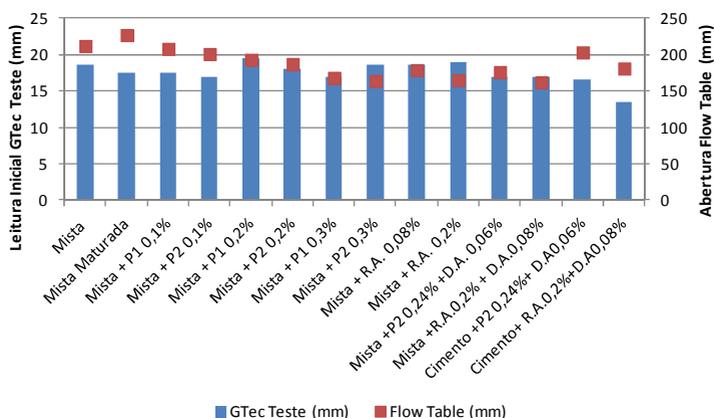


Figura 55: Consistência avaliada pelo GTec Teste e pelo Flow Table.

Um dos problemas observados nas argamassas industrializadas foi a grande perda de trabalhabilidade nitidamente sensível após 30 minutos da mistura. Nas argamassas mistas discutidas neste tópico, esse problema também se mostrou presente. As argamassas mistas sem a presença de aditivos (Mista e Mista Maturada) e as mistas compostas por aditivo P1 e P2 em teores baixos, 0,1%, (Mista+P1 0,1% e Mista+P2 0,1%) apresentaram menor ganho de consistência e menor perda de plasticidade, conforme se pode observar na Figura 56. A inserção de maior quantidade de aditivos pode ter contribuído para a diminuição do tempo em aberto das demais misturas, por aumentarem demasiadamente a sua consistência (leitura inicial em relação à leitura final do GTec) e também por perderem plasticidade (número de golpes necessários para a junta apresentar espessura de 1,0cm).

A menor perda de trabalhabilidade entre as argamassas compostas por mais de 0,1% de aditivo foi da argamassa mista com 0,2% de retentor de água e 0,08% de desincorporador de ar (Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%), que apresentou ganho de consistência menor que 9% e perda de plasticidade de 33%, aproximadamente.

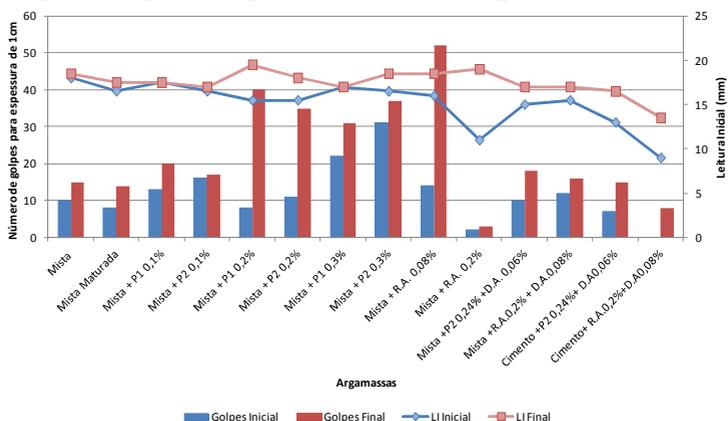


Figura 56: Perda de trabalhabilidade das argamassas estudadas pelo GTec Teste.

A retenção de água das argamassas variou de 83,3 até 92,2% para o tempo de 15 minutos de sucção da bomba de vácuo. A curva de retenção de todas as argamassas pode ser visualizada na Figura 57, na qual é possível identificar que as argamassas mistas sem aditivos resultaram nas menores retenções, seguidas daquelas com os menores teores de aditivos a base de polímeros. As demais argamassas apresentaram retenção de água semelhante, variando entre 96 e 98,5%,

conforme pode ser melhor visualizado na Figura 58, que mostra em uma escala maior as curvas de retenção de água das argamassas que ficaram muito próximas e dificultaram a visualização na Figura 57.

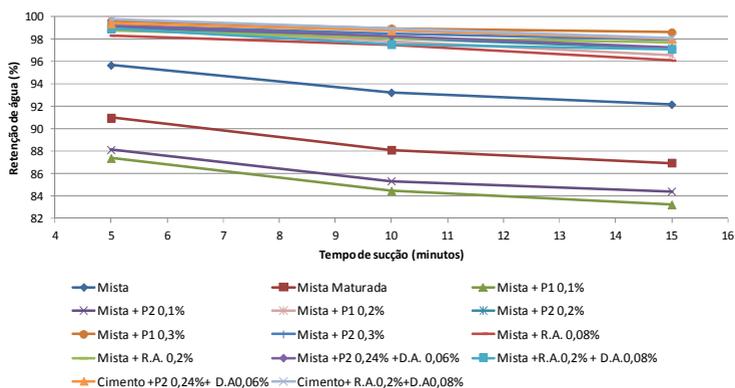


Figura 57: Curva de retenção de água de todas as argamassas.

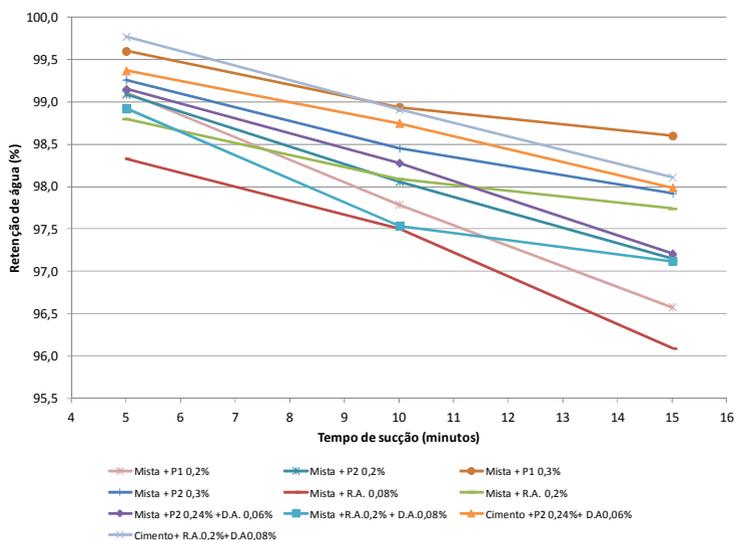


Figura 58: Curva de retenção de água das argamassas que apresentaram valores muito próximos, apresentadas em uma escala maior.

O comportamento das argamassas em relação à essa propriedade ocorreu conforme o esperado, uma vez que os aditivos P1 e P2, além do seu polímero PVA base, são também constituídos de éter de celulose

(retentor de água). Logo, quanto maior a porcentagem desses aditivos, maior o efeito da retenção, sendo que teores maiores ou iguais a 0,2% desse aditivo resultaram em retenções de água maiores do que das argamassas constituídas por aditivo R.A. (retentor de água), o que indica que o polímero PVA presente também contribui para esse fenômeno.

Os resultados de ar incorporado pelas misturas estão apresentados na Figura 59, na qual é possível observar que os resultados dos dois métodos empregados conduzem a resultados próximos, com uma variação mais acentuada nas argamassas sem aditivos (mista e maturada). Nas demais argamassas, a variação de um método para o outro ficou em torno de 20% para mais ou para menos.

No mesmo gráfico, é possível observar que as argamassas contendo aditivos P1, P2 e R.A tiveram um incremento no ar incorporado, e que o mesmo pode ser reduzido significativamente com o uso do aditivo D.A., que baixou mais da metade o teor de ar incorporado nas misturas.

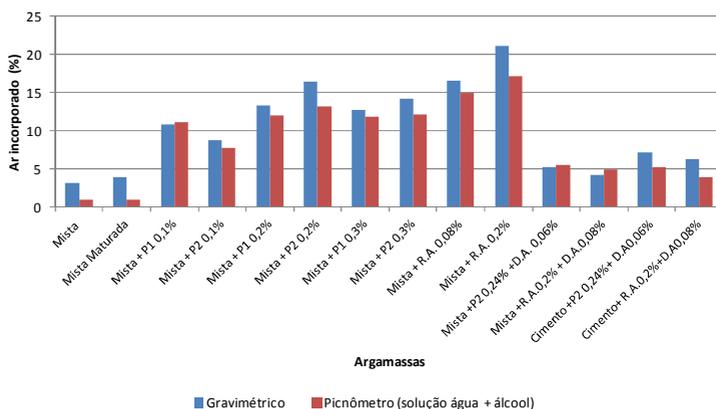


Figura 59: Ar incorporado nas argamassas pelo método gravimétrico e do picnômetro.

#### 4.2.2.2. Propriedades do estado endurecido

A Figura 60 apresenta as propriedades das argamassas no estado endurecido: resistência à compressão (corpos-de-prova cilíndricos de 5x10 cm e cúbicos de 4 cm), resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade aos 7 dias de idade.

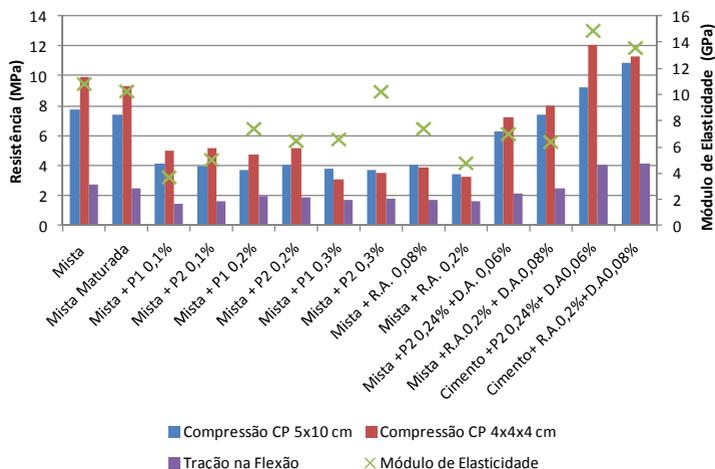


Figura 60: Propriedades do estado endurecido das argamassas.

As argamassas que apresentaram melhor resistência mecânica foram as mistas sem aditivos e as duas argamassas de cimento. Apesar desse desempenho, as argamassas sem adição de cal geraram corpos-de-prova de alto módulo de elasticidade, o que, segundo alguns autores (KHALAF e FAIRBAIN, 1992; 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.

Segundo estudos realizados por Mohamad (1998), relações de  $E_a/E_b$  menores que 0,3 geraram perda da capacidade de suporte da junta próxima a 90% da carga última, o que causava concentração de tensão no bloco, ocorrendo seu esfacelamento. Enquanto que nas relações maiores que 0,3, o prisma rompia, mas a argamassa resistia sem romper, o que causava o aparecimento de várias fissuras no prisma.

Em relação à forma de ruptura desejável em uma parede de alvenaria, pode-se dizer que a tração no bloco é a forma de ruptura mais otimizada do ponto de vista econômico, pois está se utilizando toda a capacidade resistente da unidade. Por outro lado, a forma de ruptura também pode se dar pelo esmagamento da junta antes da tensão máxima do prisma, desde que ocorra em níveis muito próximos a ela.

Dito isso, pode-se analisar o módulo de elasticidade das argamassas em questão. As duas argamassas de cimento testadas foram aquelas que apresentaram a maior relação entre o módulo da argamassa

e do bloco ( $E_a/E_b=0,58$  e  $0,52$ ), seguidas das argamassas mistas sem aditivos ( $E_a/E_b\approx 0,35$ ). As argamassas mistas com desincorporador de ar apresentaram relações de aproximadamente  $0,27$ . Vale salientar que, ao contrário do bloco, as argamassas tinham apenas 7 dias de idade, portanto, o módulo de elasticidade das mesmas tende a aumentar até os 28 dias de idade.

As argamassas com aditivo P2 ou R.A. que continham D.A na sua constituição apresentaram valores de resistência à compressão de  $7,20$  e  $8,03$  MPa nos corpos-de-prova cúbicos respectivamente, valores que certamente chegariam a  $10$  MPa aos 28 dias; também apresentaram resistência à tração na flexão alta; e o módulo de elasticidade ficou em torno de  $6,75$  GPa. Em suma, as argamassas mistas sem aditivo (Mista e Maturada), a Mista+P2  $0,24\%+D.A0,06\%$  e a Mista+R.A. $0,2\%+D.A0,08\%$  foram as que apresentaram os melhores desempenhos em termos de resistência à compressão, tração na flexão e módulo de elasticidade.

#### 4.2.2.3. Aderência dos mini-prismas com peças de 6 MPa

As maiores aderências entre a argamassa e o bloco ocorreram nas argamassas de cimento e nas mistas contendo aditivo retentor de água, apresentando valores acima de  $1,2$  MPa. Na Figura 61 pode-se observar a aderência de cada mini-prisma, separados por tipo de argamassa e relacionados com a absorção do substrato.

Observa-se que não há uma relação direta entre a aderência e a absorção por área de contato em mini-prismas confeccionados com as mesmas argamassas. No entanto, percebe-se uma tendência em relação às argamassas que apresentaram as menores e as maiores aderências. Nota-se que as argamassas com  $0,1$  até  $0,3\%$  de aditivo a base de polímero (P1 e P2) apresentaram as menores aderências e também as menores absorções médias. Por outro lado, as argamassas de cimento que apresentaram as maiores aderências, também apresentaram absorções um pouco mais altas em média. Apesar disso, não foi obtida correlação estatisticamente significativa, entre esses dois parâmetros (aderência e absorção). Todas as combinações realizadas para cada tipo de argamassa apresentaram  $R^2$  abaixo de  $0,50$ .

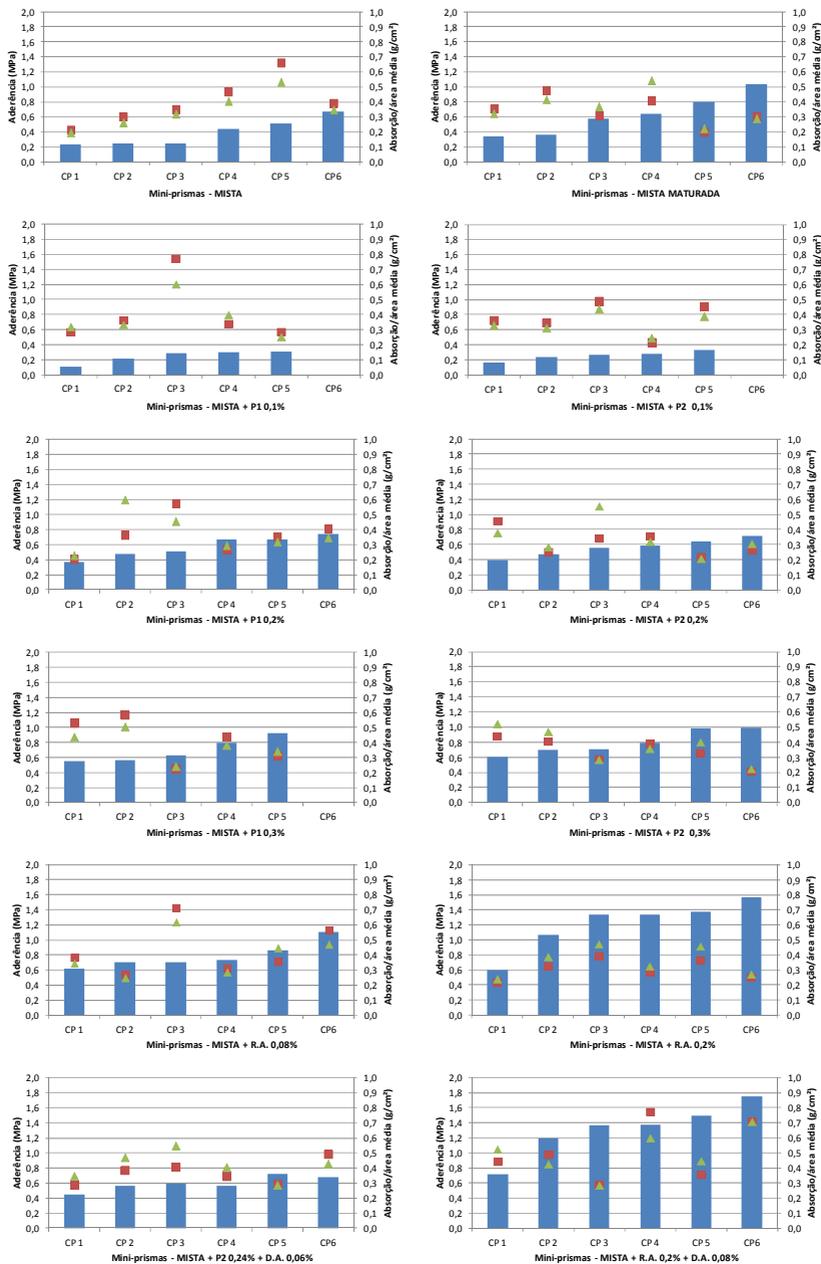


Figura 61: Adherência das argamassas e a absorção pela área (continua).

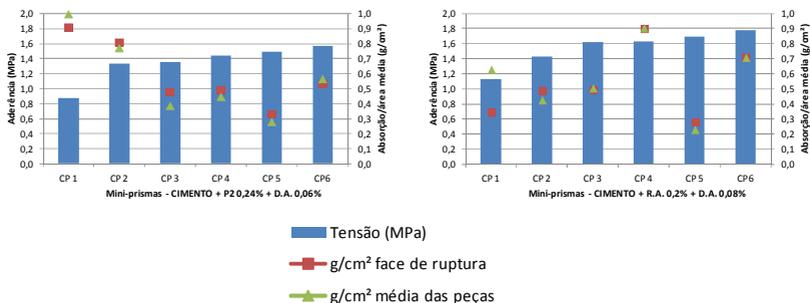


Figura 61: (Continuação) Aderência das argamassas relacionadas com a absorção por unidade de área média e da face de ruptura das peças.

Como na análise da absorção por unidade de área e a altura de ascensão capilar dos blocos de 6 MPa foi verificada uma proporcionalidade entre essas duas variáveis, não foi realizada a comparação da aderência com a altura de subida de água, uma vez que resultaria na mesma conclusão observada na comparação entre aderência e absorção dos mini-prismas.

Em relação à influência do ar incorporado na aderência das argamassas, pode-se verificar, na Figura 62, que uma mesma argamassa moldada sem e com desincorporador de ar (Mista+R.A.0,2%) apresentou aumento da aderência de aproximadamente 11% com o uso do aditivo. Percebe-se também que todas as argamassas moldadas com D.A. apresentaram teores de ar incorporado menores que 6% e aderência maior que 0,92 MPa.

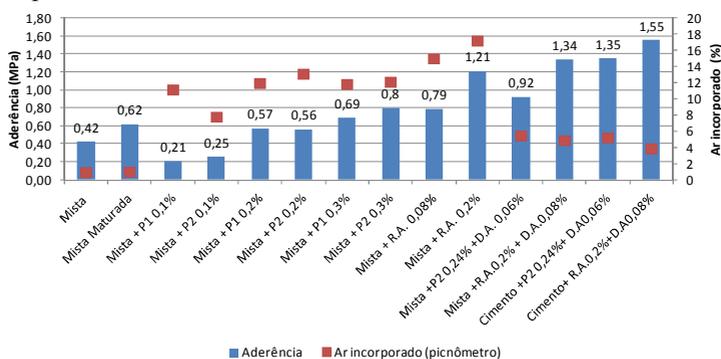


Figura 62: Relação entre a aderência e o ar incorporado das argamassas.

A relação entre aderência e retenção de água das argamassas pode ser analisada na Figura 63. Percebe-se que as argamassas com maior aderência foram também aquelas que apresentaram maior retenção de água aos 15 minutos. Percebe-se que a adição de teores acima de 0,2% de polímeros aumenta significativamente a retenção de água das argamassas, em relação àquelas sem polímeros ou com teores de 0,1%. Esse aumento de retenção de água é de, aproximadamente, 16%.

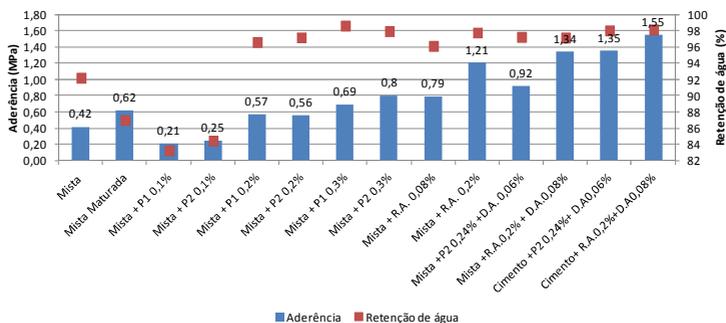


Figura 63: Relação entre aderência e retenção de água das argamassas estudadas.

#### 4.2.2.4. Seleção das argamassas de melhor desempenho nos mini-prismas de 6 MPa

Além da aderência entre a junta e o bloco, a resistência à compressão da argamassa é muito importante para um bom desempenho do prisma e consequentemente da parede de alvenaria estrutural. Desta forma, a Figura 64 relaciona essas duas propriedades, na qual as argamassas estão separadas de acordo com o aditivo principal presente, para facilitar a comparação dos resultados. Percebe-se que as argamassas de cimento são as que apresentam os melhores desempenhos em relação a essas duas propriedades. Vale salientar que essas argamassas apresentam alto módulo de elasticidade, o que as tornam preteridas para uso em assentamento.

As argamassas compostas por 0,3% de P1 e P2; e 0,08% e 0,2% de R.A apresentam boa aderência. No entanto, devido ao alto teor de ar incorporado, a resistência à compressão dessas misturas ficou comprometida, apresentando valores abaixo de 5 MPa aos 7 dias, sendo que aos 28 dias tais argamassas não teriam potencial para proporcionar resistência superior a 8 MPa.

Para o assentamento de alvenaria estrutural com blocos de elevada resistência, a argamassa deve apresentar resistência igual ou superior a 10 MPa aos 28 dias. A resistência aos 28 dias das argamassas mistas testadas nesse trabalho apresentou aumento de cerca de 30% em relação à resistência aos 7 dias, em corpos-de-prova cúbicos de 4 cm de lado. Sendo assim, pode-se estimar que, para a argamassa não apresentar problemas em relação à resistência à compressão, aos 7 dias de idade ela deve apresentar resistência igual ou superior a 7,70 MPa.

Além das argamassas de cimento, as únicas argamassas que apresentam resistência à compressão adequada, ou seja, resistência superior a 7,7 MPa, são as mistas sem aditivos (Mista e Mista Maturada) e a Mista + R.A. 0,2% + D.A. 0,08%. A argamassa Mista+ P2 0,24%+D.A. 0,06% teve resistência de 7,20 MPa, podendo ser considerada adequada também.

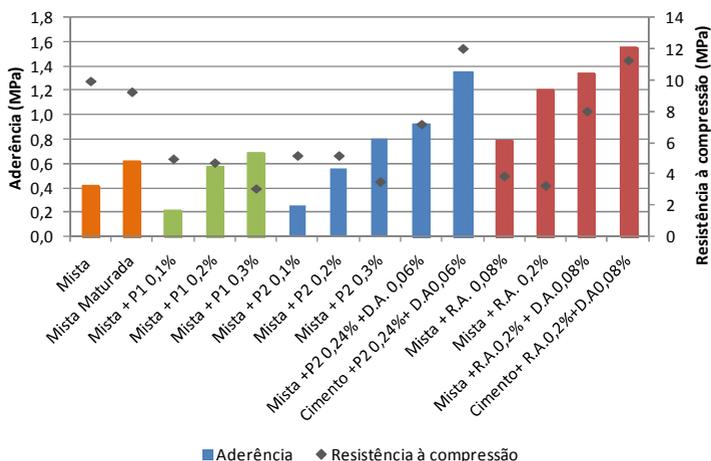


Figura 64: Aderência dos mini-prismas e resistência à compressão das argamassas.

Cabe aqui esclarecer que o aditivo P1 não foi testado com desincorporador de ar e em argamassa de cimento, como se pode notar nos resultados apresentados. Isso se deve ao desempenho muito semelhante do aditivo P1 com o P2, com uma ligeira superioridade desse último nas propriedades do estado endurecido. Sendo assim, em determinado momento do trabalho, optou-se por continuar testando somente um dos aditivos à base de polímeros, que foi o aditivo P2.

Após a apresentação e discussão dos resultados dos mini-prismas confeccionados com peças de 6 MPa, pode-se selecionar as melhores argamassas para os testes com peças de 16 MPa.

Levando em consideração as propriedades do estado fresco, em especial, a consistência, plasticidade e retenção de água, e as do estado endurecido, serão apresentados a seguir os motivos de exclusão e/ou seleção de algumas argamassas.

Em relação às argamassas sem aditivos, a argamassa mista e maturada apresentaram resultados próximos, variando o melhor desempenho entre as propriedades analisadas, ou seja, ora a mista se mostrava melhor, ora a maturada. No entanto, essa variação não foi muito acentuada. Como a argamassa maturada foi testada a título de comparação com a mista sem maturação, os testes seguintes foram desenvolvidos somente com a argamassa mista não maturada, uma vez que a argamassa a ser dosada tem como objetivo a possibilidade de ser comercializada com os materiais secos misturados (como argamassa industrializada). Portanto, o procedimento de maturação não seria possível.

Como dito anteriormente, no decorrer do trabalho optou-se por excluir o aditivo P1. Portanto, as argamassas constituídas por ele foram excluídas das análises subsequentes. As argamassas de cimento, apesar de apresentarem boa aderência e boa resistência à compressão, apresentaram módulo de elasticidade alto e trabalhabilidade inadequada, motivo pelo qual não foram selecionadas para novos testes. Aliado a isso, argamassas de cimento apresentam o problema da retração, que pode causar fissuração na junta e posterior descolamento.

Fica evidente, na Figura 64, que o uso de desincorporador de ar melhorou a aderência e a resistência à compressão das argamassas constituídas por P2 e R.A. Além disso, as propriedades do estado fresco dessas duas argamassas também foram satisfatórias, bem como o seu módulo de elasticidade. Assim, as argamassas que apresentaram melhores resultados e foram selecionadas para testes com peças de 16 MPa foram a Mista+P2 0,24%+D.A.0,06% e Mista+R.A.0,2%+D.A. 0,08% e, também, a argamassa mista sem aditivos.

#### **4.2.3. Argamassas em peças de 16 MPa**

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos em mini-prismas com peças de 16 MPa, com as três argamassas selecionadas no estudo anterior. Posteriormente a tais testes, optou-se por estudar, também, mais duas argamassas. A primeira delas foi a

Mista+P2 0,24%+D.A.0,1%, para verificar se mesmo com valores baixos (menores que 6%), a diminuição do ar incorporado influencia significativamente na aderência. A segunda delas foi uma mista com retentor de água com um traço mais rico (1:0,57:4 ao invés de 1:0,57:4,85 em massa).

Após o estudo com essas 5 argamassas em mini-prismas, foram selecionadas as melhores delas para confecção de prismas de 3 fiadas (resistência à compressão) e de 4 fiadas (aderência).

O traço das argamassas pode ser visualizado na Tabela 19.

Tabela 19: Traço das argamassas empregadas nos mini-prismas de 16 MPa

Argamassas Blocos de 16 MPa	Traço em massa					
	cimento:cal:areia:a/c				Aditivo (%) <sup>1</sup>	
					Princ	D. A.
Mista	1	0,57	4,85	1,07	0,00	0,00
Mista + P2 0,24% + D.A. 0,06%	1	0,57	4,85	1,17	0,24	0,06
Mista + P2 0,24% + D.A.0,1%	1	0,57	4,85	1,17	0,24	0,10
Mista + R.A. 0,2% + D.A 0,08%	1	0,57	4,85	1,15	0,20	0,08
Mista + R.A. 0,2% + D.A. 0,08% rico	1	0,57	4	1,03	0,20	0,08

<sup>1</sup>Teor de aditivo em relação aos materiais secos. Princ: aditivo principal; D.A.: aditivo desincorporador de ar.

#### 4.2.3.1. Resultado do estado fresco

Os resultados dos testes no estado fresco podem ser observados na Tabela 20.

Tabela 20: Resultados do estado fresco das argamassas – Parte 1.

Argamassas Blocos de 16 MPa	Trabalhabilidade <sup>1</sup>				Consistência Flow Table (mm)
	Inicial		Final		
	L.I.	G	L.I.	G	
Mista	18,5	9	19,0	16	223
Mista + P2 0,24% + D.A. 0,06%	16,0	12	17,5	25	174
Mista + P2 0,24% + D.A.1%	16,5	19	18	33	178
Mista + R.A. 0,2% + D.A 0,08%	14,0	9	15,0	11	159
Mista + R.A. 0,2% + D.A. 0,08% rico	12,5	3	16	11	174

Tabela 20: Resultados do estado fresco das argamassas – Parte 2.

Argamassas Blocos de 16 MPa	Retenção de água (min)			Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Ar incorp. (%) <sup>2</sup>	
	5	10	15		Grav.	Pic.
Mista	92,6	88,9	87,3	2017,7	2,4	2,8
Mista + P2 0,24% + D.A. 0,06%	99,3	98,1	97,2	1985,2	5,7	4,6
Mista + P2 0,24% + D.A.1%	98,7	97,6	96,8	1992,1	5,4	3,0
Mista + R.A. 0,2% + D.A 0,08%	98,7	97,8	97,2	2001,0	5,2	5,6
Mista + R.A. 0,2% + D.A. 0,08% rico	99,6	99,1	98,8	1.984,4	5,6	3,9

<sup>1</sup>Trabalhabilidade medida pelo GTec Teste onde L.I é a leitura inicial e G o número de golpes para espessura de 10 mm; <sup>2</sup> Ar incorporado (%) pelo método gravimétrico (Grav.) e picnômetro (Pic.).

Na Figura 65 pode-se analisar a trabalhabilidade das argamassas de acordo com os resultados do GTec Teste. As argamassas com aditivo R.A. apresentaram leitura inicial menor do que o limite recomendado para o teste (15-18,5mm), o que significa que as misturas estavam mais fluidas do que o ideal. Em relação à plasticidade, a argamassa Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico apresentou plasticidade em excesso, enquanto que Mista+P2 0,24%+D.A.1% não estava plástica o suficiente. As demais argamassas estavam dentro do limite de plasticidade para o ensaio (7-14 golpes). Vale salientar que o assentamento dos mini-prismas não ficou prejudicado com nenhuma argamassa.

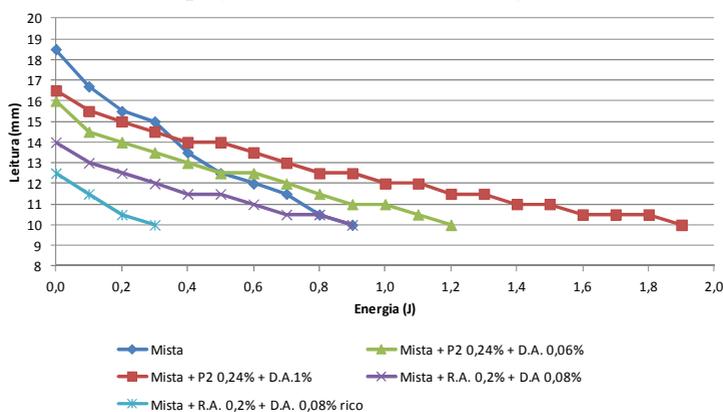


Figura 65: Resultados do GTec Teste.

Após 30 minutos de mistura, as argamassas perderam trabalhabilidade, como é possível observar na Figura 66 que mostra o resultado do GTec Teste momentos após a mistura (leitura inicial e golpes inicial) e passados 30 minutos (leitura final e golpes final). A argamassa que mais perdeu consistência foi a Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico, e as que mais perderam plasticidade foram as constituídas pelo aditivo P2. As argamassas que tiveram a menor perda de trabalhabilidade foram a Mista e Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%. Desta forma, percebe-se que, apesar da presença de aditivos retentores de água, esses não impediram a perda de trabalhabilidade em 30 minutos. No entanto, essa perda foi menos acentuada do que aquela observada nas argamassas industrializadas.

Analogamente às análises dos tópicos anteriores, não se percebeu relação entre os resultados do GTec Teste e o Flow Table, indicando que esse último não é um ensaio que caracteriza adequadamente a consistência de uma argamassa de assentamento. É possível observar na Figura 67 que a argamassa Mista possui a maior abertura no *Flow*, o que indica maior fluidez entre as argamassas estudadas. Entretanto, no GTec Teste, essa mesma mistura apresentou a maior Leitura Inicial, o que significa que é a mais consistente das misturas estudadas.

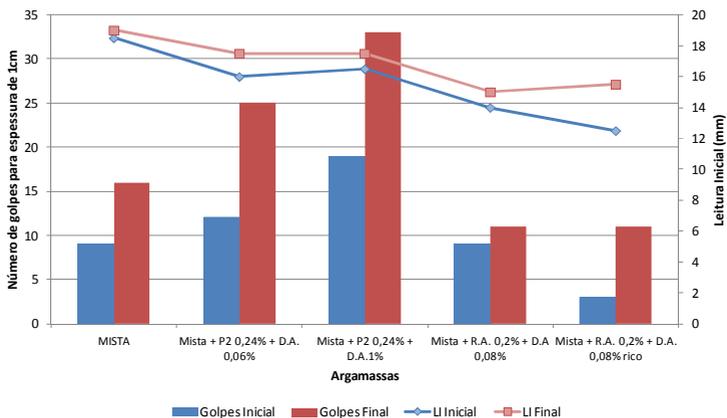


Figura 66: Perda de trabalhabilidade das argamassas após 30 minutos de mistura, de acordo com os parâmetros do GTec Teste.

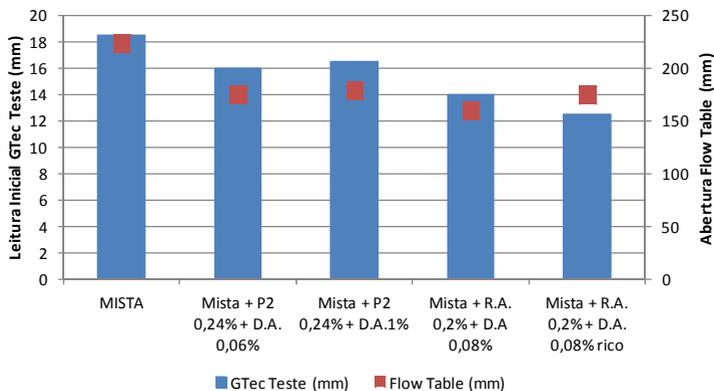


Figura 67: Relação entre os resultados do GTec Teste e do Flow Table.

A curva de retenção de água em função do tempo de sucção é apresentada na Figura 68, na qual se pode notar que as argamassas com aditivos P2 ou R.A. apresentaram retenção de água semelhante, sempre acima de 96%. A argamassa mista foi a que mais perdeu água, apresentando 87,3% aos 15 minutos.

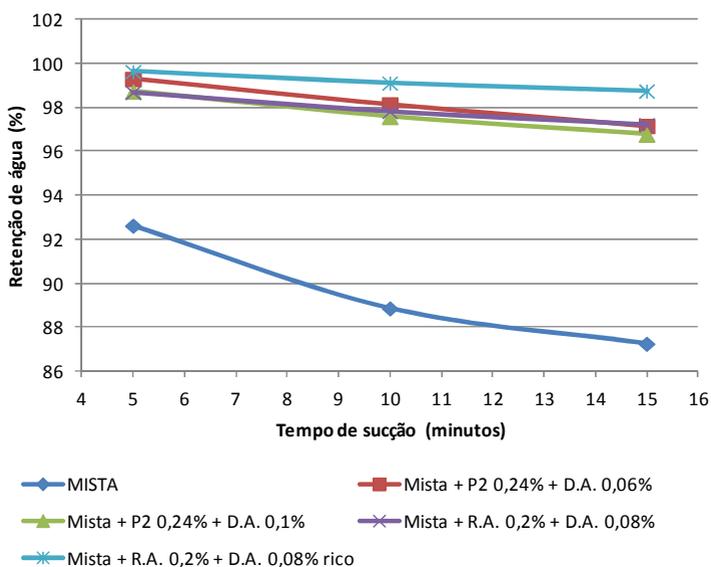


Figura 68: Curva de retenção de água.

O teor de ar incorporado pelas argamassas pode ser visualizado na Figura 69.

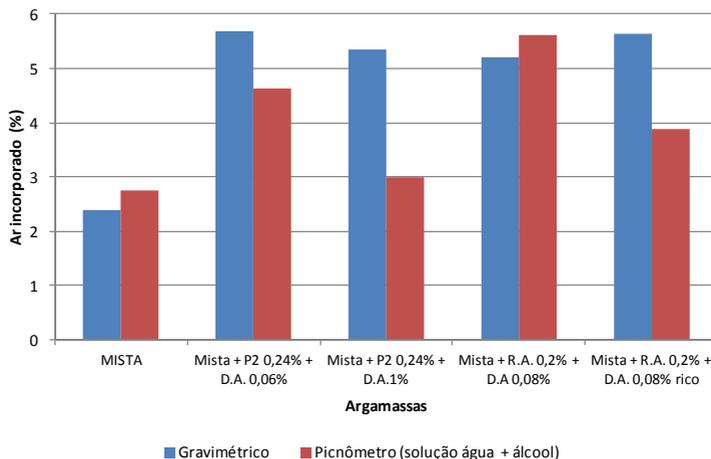


Figura 69: Teor de ar incorporado determinado através do método gravimétrico e do método do picnômetro.

Pode-se perceber que o uso do desincorporador de ar nas argamassas estudadas resultou em uma incorporação de ar semelhante entre as cinco misturas em questão, variando, no máximo, cerca de 3% em relação à argamassa mista, independente do método de ensaio. Percebe-se, também, que o aumento do teor de desincorporador de ar de 0,06 para 0,1% na mistura contendo P2 reduziu 35% o teor de ar incorporado pelo método do picnômetro, e 6% pelo método gravimétrico. Como o método gravimétrico possui um adensamento diferente do que o picnômetro, que faz uso de uma junta de assentamento idêntica àquela utilizada no assentamento nos mini-prismas, essa variação é justificável.

#### 4.2.3.2. Propriedades do estado endurecido

A Figura 70 mostra as propriedades do estado endurecido das argamassas: resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos e cúbicos, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade. Percebe-se que as únicas argamassas que não cumprem o requisito de resistência citado anteriormente (resistência aos 7 dias superior a 7,7MPa para resultar em resistências iguais ou superiores que 10 MPa aos 28 dias com corpos-de-prova cúbicos) são as constituídas de aditivo

P2. A argamassa com P2 e teor de D.A de 0,06% apresentou resistência 9% inferior ao desejado, enquanto que a argamassa com 0,1% de D.A ficou muito próxima do aceitável (menos de 1%).

Em relação à resistência à tração na flexão, todas as argamassas apresentaram desempenho semelhante e considerado bom.

O módulo de elasticidade das argamassas variou de 7,20 até 9,6 GPa, portanto adequados para o uso a que se destinam.

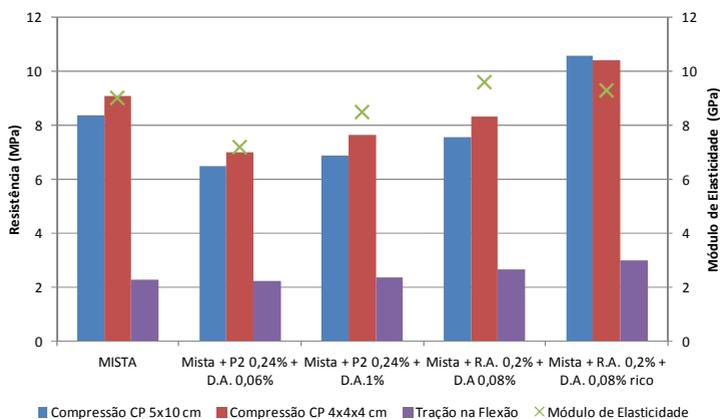


Figura 70: Propriedades do estado endurecido das argamassas.

A Figura 71 mostra a aderência de todos os mini-prismas rompidos, separados por argamassa e relacionados com a absorção por área de contato média e da peça na qual ocorreu a ruptura. Percebe-se que o aumento do teor de desincorporador de ar na argamassa composta por P2, apesar de ter diminuído o ar incorporado, não refletiu em um aumento de aderência. A argamassa Mista foi a que resultou nos piores resultados, enquanto que a argamassa com R.A. apresentou os melhores. A maior aderência média encontrada foi para a argamassa Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico.

Analogamente ao que ocorreu nos outros mini-prismas, não ficou clara uma relação entre a aderência e a absorção do substrato, tampouco em relação à altura de ascensão capilar, como pode ser visualizado na Figura 71 e na Figura 72.

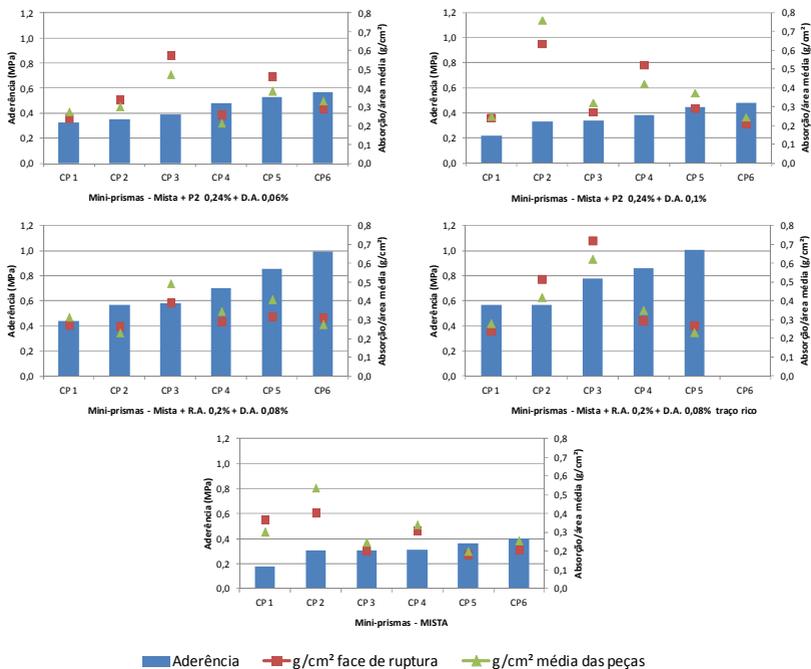


Figura 71: Aderência dos mini-prismas separados por argamassa e correlacionados com a absorção por área de contato média e da face que ocorreu a ruptura.

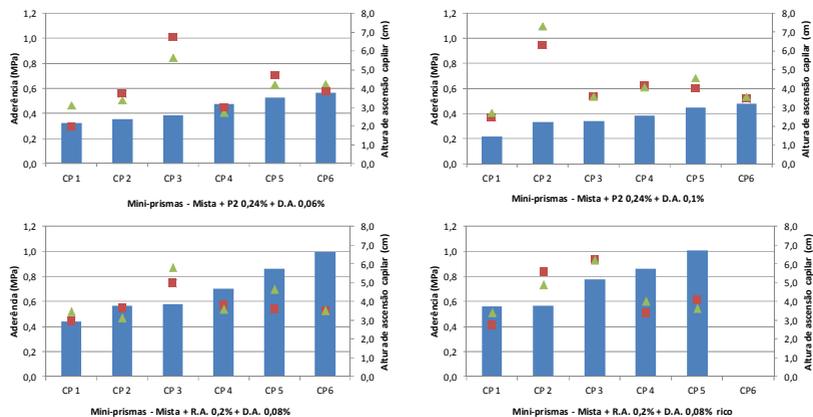


Figura 72: Aderência dos mini-prismas correlacionada com a altura de ascensão capilar média e da face que ocorreu a ruptura. (continua)

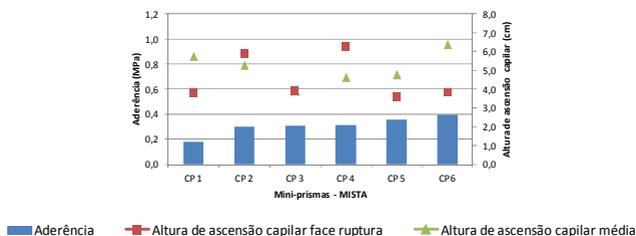


Figura 72: (Continuação) Aderência dos mini-prismas separados por argamassa e correlacionados com a altura de ascensão capilar média e da face que ocorreu a ruptura.

A Figura 73 mostra a relação da aderência média dos mini-prismas com o ar incorporado pelas argamassas determinado por meio do método do picnômetro, para se obter um indicativo da extensão de aderência entre a interface bloco/argamassa.

Observa-se que não existe uma relação linear e proporcional em relação à aderência e ao ar incorporado. Percebe-se que o aumento do teor de ar nas argamassas com aditivos P2 não resultou em aumento de aderência, e sim diminuição. Por outro lado, em relação às argamassas contendo aditivo R.A. o decréscimo do ar incorporado foi acompanhado de um aumento na aderência. No entanto, esse aumento possivelmente foi mais influenciado pelo aumento do consumo de cimento do traço mais rico, do que pela diminuição do ar.

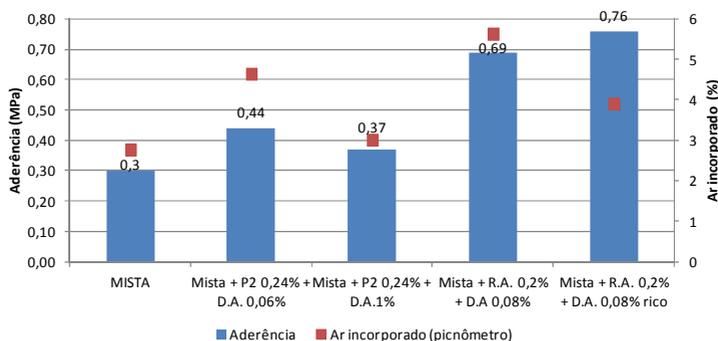


Figura 73: Aderência das argamassas comparadas com o teor de ar incorporado.

Já a retenção de água parece influenciar a aderência de forma mais acentuada. Percebe-se na Figura 74 que, quanto maior a retenção

de água da argamassa, maior sua aderência. A argamassa Mista+P2 0,24%+D.A.0,1% apresentou uma queda de retenção de água acompanhada de um decréscimo da aderência em relação à argamassa Mista+P2 0,24%+D.A.0,06%. A maior retenção de água ocorreu na mistura Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico, que foi também a que apresentou a maior aderência entre as argamassas em questão.

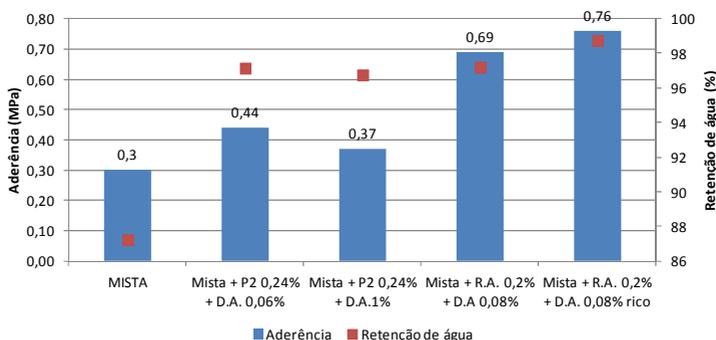


Figura 74: Aderência das argamassas comparadas com a retenção de água aos 15 minutos de sucção pela bomba de vácuo.

#### 4.2.4. Seleção das argamassas para moldagem dos prismas.

Diante dos resultados das argamassas no estado fresco, estado endurecido e do comportamento do mini-prisma à flexão, algumas argamassas foram selecionadas para estudo em prismas.

Optou-se por utilizar as três argamassas industrializadas empregadas no trabalho e uma mistura de AE 10 com 20% de argamassa colante. Isso foi realizado visando obter uma solução imediata para os fabricantes das argamassas industrializadas, já que essas são muito criticadas quanto ao seu desempenho para assentamento de alvenaria estrutural.

Dentre as argamassas estudadas no item 4.2.3, que já são fruto de um refinamento realizado na etapa descrita no item 4.2.2, optou-se por testar em prismas a melhor solução dentre os traços testados que foi a Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico e também a argamassa mista sem aditivos a título de comparação. Como o traço dessas duas argamassas foi distinto, moldou-se também um prisma com argamassa mista não aditivada com o traço mais rico (1:0,57:4 em massa).

A escolha da melhor solução estudada no item 4.2.3 baseou-se nos seguintes critérios:

- **Trabalhabilidade:** para que fosse aplicada sem dificuldades pelo assentador, apresentando consistência, coesão e plasticidade adequada;
- **Resistência à compressão:** para que não sofresse esmagamento da junta com cargas inferiores à ruptura do prisma, ou seja, se a argamassa esmagasse, isso deveria ocorrer muito próximo da ruptura do prisma para que a resistência do bloco fosse utilizada na sua totalidade;
- **Aderência:** para que a alvenaria tivesse resistência à tração e evitasse a ruptura por tração normal às fiadas e tração paralela às fiadas.

Vale salientar que a argamassa Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico não apresentou trabalhabilidade ideal de acordo com o GTec Teste, pois proporcionou baixa consistência e alta plasticidade. Como a consistência vai aumentando com o tempo e a plasticidade vai diminuindo, passados alguns minutos da mistura esses dois fenômenos aconteceram gradualmente, o que permitiu o assentamento dos mini-prismas sem problemas. Desta forma, durante a mistura dessa argamassa para confecção dos prismas, pôde-se dispor de menor quantidade de água para que a mesma se enquadrasse dentro dos limites estipulados no GTec Teste. Aliado a isso, a moldagem de todos os prismas (8 prismas, sendo metade deles de 3 fiadas e outra metade de 4 fiadas) costuma demorar mais que 30 minutos, que foi o tempo de moldagem dos mini-prismas. Desta forma, o uso de uma argamassa mais fluida inicialmente, possibilita a moldagem de todos os prismas sem a necessidade de re-dosagem durante o processo.

Em relação à resistência à compressão, as duas argamassas escolhidas (Mista e Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico) foram a que apresentaram as maiores resistências. Como o trabalho visa a aplicação em alvenaria estrutural de edifícios altos, ou seja, que apresentam carregamento elevado, e que necessitam de blocos de alta resistência (16 MPa), a argamassa deve possuir resistência à compressão acima de 10 MPa e menor que 16 MPa, aos 28 dias. Observou-se que as resistências crescem, aproximadamente, 30% dos 7 para os 28 dias, em corpos-de-prova cúbicos. Desta forma, as argamassas que não teriam potencial para a resistência de 10 MPa foram as duas moldadas com ao aditivo P2. Em relação aos corpos-de-prova cilíndricos, que tendem a apresentar resistências um pouco menores que os cúbicos, somente as

argamassas Mista e Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico apresentaram potencial para a resistência requerida aos 28 dias.

A aderência mínima entre a junta de argamassa e bloco segundo a ABNT NBR 15961 (2011) é de 0,20MPa, para argamassa com resistência à compressão acima de 7 MPa. Sabe-se que a aderência dos mini-prismas tende a ser maior do que dos prismas de 4 fiadas. Segundo Casali (2008), a resistência de aderência na flexão obtida em mini-prismas, é, na verdade, uma resistência potencial de aderência, isto é, a resistência máxima que pode ser obtida pelo material. Isso ocorre porque alguns procedimentos são realizados que diferem da realidade dos prismas: a amostra utilizada de bloco de concreto é mais homogênea, pois são controladas as absorções; o assentamento, alinhamento e nivelamento das unidades são mais fáceis, portanto mais eficientes; após o assentamento da junta no mini-prisma, a mesma não sofre mais nenhuma perturbação, já no caso dos prismas após o assentamento da junta inferior (primeira junta), ocorre o assentamento das próximas juntas superiores que podem movimentar o bloco que já estava devidamente ajustado.

Desta forma, Casali (2008) determinou a relação entre a aderência encontrada nos prismas e dos mini-prismas, e concluiu que essa proporção é distinta para cada argamassa utilizada, variando de 0,50 até 0,88.

Isso justifica a opção pela argamassa que apresentou a maior aderência nos estudos em mini-prismas (0,76MPa), uma vez que, a variação da proporção entre prismas e mini-prismas encontrada por Casali (2008) é grande, e também porque as argamassas empregadas no estudo da respectiva autora diferem daquelas testadas no presente estudo, o que poderia resultar em outras proporções, maiores ou menores. A argamassa mista, apesar de não apresentar uma aderência adequada (0,30 MPa), foi testada em prismas a título de comparação, e também por ser um traço bastante empregado na região.

#### 4.3. RESULTADOS DOS PRISMAS

Para confecção dos prismas foram utilizadas sete tipos de argamassas, sendo quatro delas argamassas industrializadas e três argamassas mistas, denominadas de Mista traço pobre, Mista traço rico e Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico.

A argamassa Mista traço pobre possui traço em massa de 1:0,57:4,85 (cimento:cal:areia), enquanto que a Mista traço rico apresenta 1;0,57;4,00. A argamassa Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico

possui traço 1:0,57:4,00 com a presença de aditivo retentor de água e desincorporador de ar.

#### 4.3.1.1. Propriedades do estado fresco das argamassas empregadas nos prismas

A Tabela 21 apresenta as propriedades do estado fresco das sete argamassas testadas em prismas. O teor de água em relação aos materiais secos adicionado na mistura está apresentado na mesma Tabela. Cabe salientar que nas argamassas industrializadas a quantidade de água ficou dentro dos limites prescritos pelo fabricante (Tabela 10), exceto a argamassa M.U. na qual colocou-se menos água do que o estipulado, pois a mistura já apresentava trabalhabilidade adequada.

Tabela 21: Propriedades do estado fresco das argamassas utilizadas na moldagem dos prismas – Parte 1.

Argamassas	Teor água (%)	Trabalhabilidade <sup>1</sup>				Consistência Flow Table (mm)
		Inicial		Final		
		L.I.	G	L.I.	G	
AE 10	15,65	15,5	10	18,0	38	243
AE 5	15,52	16,0	11	18,5	42	254
M.U.	13,22	16,5	9	18,0	32	200
AE 10 + 20% colante	16,06	12,5	3	17,0	15	238
Mista traço pobre	17,95	17,5	8	18,5	19	259
Mista traço rico	18,42	17,5	6	19,5	15	247
Mista + R.A.0,2% + D.A.0,08% rico	18,41	14,0	7	17,5	17	171

<sup>1</sup> Trabalhabilidade: medida pelo GTec Teste, momentos após o término da mistura (Inicial) e passados aproximadamente 50 minutos (Final), sendo que L.I corresponde a primeira leitura no aparelho, e G o número de golpes necessários para que a junta presente espessura de 1,0 cm.

Tabela 21: Propriedades do estado fresco das argamassas utilizadas na moldagem dos prismas – Parte 2.

Argamassas	Retenção de água (min)			Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Ar incorp. (%) <sup>2</sup>			
	5	10	15		Grav.	Pres.	Picnômetro	
							antes	depois
AE 10	88,9	85,0	83,5	2112,5	5,7	4,5	6,7	4,2
AE 5	94,0	90,7	88,5	2126,6	5,5	4,2	3,7	3,6
M.U.	89,3	86,3	84,2	1872,8	19,1	9,5	16,4	10,6
AE 10 + 20% colante	96,7	93,6	91,2	1987,9	5,2	7,0	7,7	7,9
Mista traço pobre	90,0	87,8	87,1	2051,6	2,8	3,2	2,9	1,5
Mista traço rico	94,1	91,4	90,5	2045,7	2,7	3,1	4,0	1,0
Mista + R.A.0,2% + D.A.0,08% rico	98,3	97,7	97,1	2033,9	2,7	2,9	3,0	2,8

<sup>2</sup> Ar incorporado: Medido pelos métodos padronizados Gravimétrico e Pressométrico e, também, pelo método do Picnômetro (solução água e álcool), testando a junta de argamassa antes do assentamento do bloco, e também posterior ao adensamento e nivelamento do prisma.

As argamassas que apresentaram consistência mais baixa do que a adequada pelo GTec Teste (leitura inicial) foram a AE 10+20%colante e a Mista+R.A.0,2%+D.A. 0,08% rico. No entanto, essa última apresentou valor muito próximo ao ideal, e foi adequada em relação à plasticidade, diferentemente da primeira mistura citada, que se apresentou demasiadamente mole.

As curvas de energia x deformação das argamassas medidas por meio do GTec Teste podem ser observadas na Figura 75, lembrando que cada golpe equivale a uma energia aplicada de 0,1J. Pode-se notar que a argamassa AE10+20% foi a mistura que teve maior problema em relação à trabalhabilidade, apresentando plasticidade e fluidez excessivas.

A retenção de água das argamassas está apresentada na Figura 76, na qual se pode notar que a argamassa AE 10 possui a menor retenção de água entre as argamassas estudadas. A maior retenção, como era esperado, foi da argamassa Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico, que apresentou retenção superior a 97% aos 15 minutos.

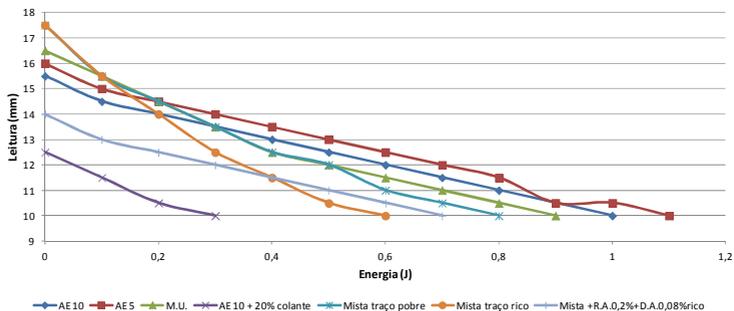


Figura 75: Resultado do GTec Teste.

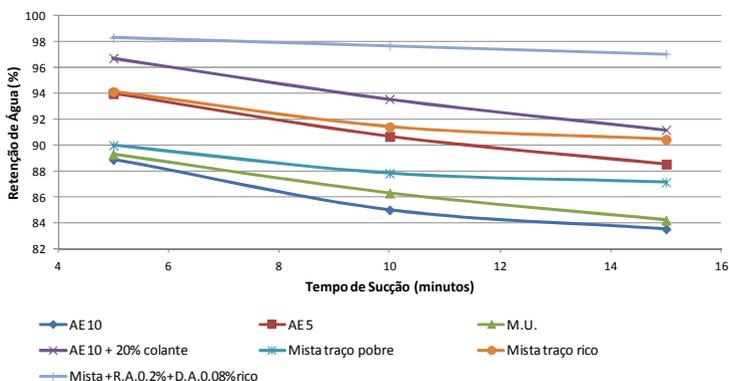


Figura 76: Curva de retenção de água das argamassas empregadas na moldagem dos prismas.

A presença de retentor de água na argamassa Mista+R.A. 0,2%+D.A.0,08% rico não evitou que a mesma perdesse trabalhabilidade aos 50 minutos. Contudo, essa perda foi normal (acontece em todas as misturas com o passar do tempo), e não foi acentuada o bastante para impedir sua aplicação de forma eficiente.

O mesmo não se pode dizer das argamassas AE 10, AE 5 e M.U. que, além de perderem fluidez, apresentaram grande perda de plasticidade, o que dificultou a moldagem após 30 minutos de mistura. Optou-se por não acrescentar mais água nessas misturas, pois os demais testes realizados não seriam representativos de todo o conjunto e não havia material suficiente para que todos os ensaios fossem refeitos. Optou-se então por marcar os últimos prismas assentados, para verificar

se houve perda de sua capacidade de aderência. As demais argamassas não apresentaram problemas dessa ordem. Acredita-se que na argamassa AE10+20%colante o efeito da perda de trabalhabilidade não foi sentido, pois inicialmente a mistura estava mais “mole” do que as demais argamassas industrializadas.

A perda de trabalhabilidade das misturas pode ser analisada na Figura 77.

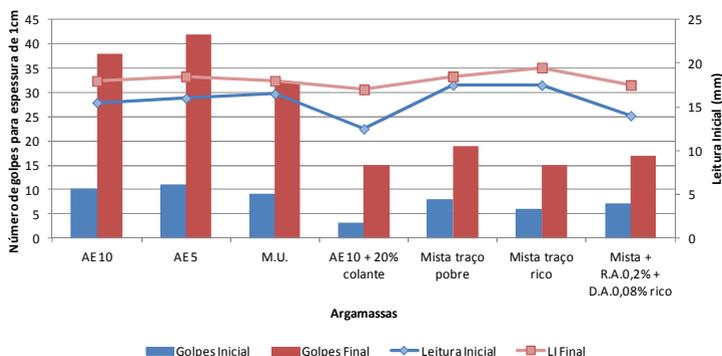


Figura 77: Variação da trabalhabilidade das argamassas logo após a mistura (Leitura e Golpes Inicial) e passados aproximadamente 50 minutos (Leitura e Golpes Final).

Como já citado anteriormente, além da determinação do ar incorporado nas argamassas a título de caracterizá-las, foi realizado neste trabalho um estudo comparativo entre métodos de determinação dessa propriedade e, também, a proposição de um método prático e preciso para se conhecer o teor de ar presente em uma junta de argamassa, que foi denominado de método do picnômetro (explanado anteriormente).

Nas argamassas empregadas nos mini-prismas foram utilizados o método gravimétrico e do picnômetro para a determinação do ar presente na mistura. Na moldagem dos prismas, mais um método foi empregado, o pressométrico, no qual se faz uso de um aparelho composto por um recipiente dotado de um manômetro. Esse método possui um inconveniente de necessitar de uma grande quantidade de material, que não poderá ser reutilizada, sendo esse o motivo de não utilizá-lo nos testes de argamassas em mini-prismas.

Além disso, determinou-se o ar incorporado na junta de argamassa retirada do prisma, antes do assentamento da próxima fiada, e

após esse assentamento, por meio do método do picnômetro. Como o uso desse procedimento, pode-se conhecer, de maneira mais precisa, o teor de ar presente na junta de argamassa no prisma, e também o teor de ar desincorporado durante o assentamento da alvenaria.

Os resultados dos três ensaios realizados podem ser visualizados na Figura 78. Cabe salientar que o resultado denominado de Picnômetro corresponde à medida antes do assentamento da próxima fiada. Percebe-se que os resultados não diferem muito entre si, exceto na argamassa M.U., na qual o método pressométrico obteve valores bem inferiores aos outros dois métodos.

Realizando uma análise estatística por meio de comparação múltipla de médias, conclui-se com 95% que não existe diferença significativa entre os métodos estudados.

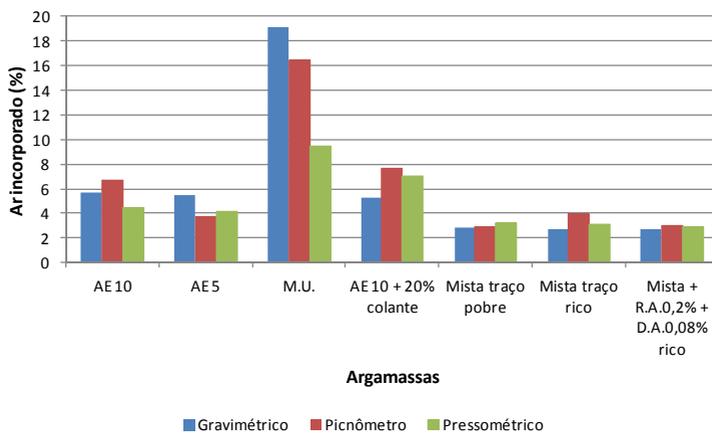


Figura 78: Teor de ar incorporado nas argamassas empregadas na moldagem dos prismas, determinado por três métodos: gravimétrico, picnômetro e pressométrico.

Na Figura 79, pode-se analisar o teor de ar antes e após o assentamento da próxima fiada dos prismas. Nota-se que há uma perda de ar incorporado durante o assentamento do bloco em todas as argamassas testadas, exceto na argamassa AE10+20%colante, na qual houve um pequeno acréscimo na quantidade de ar (cerca de 3% em relação à amostra da junta anterior ao assentamento).

Percebe-se que as argamassas não seguem um padrão em relação à perda do ar incorporado, como por exemplo a M.U., que apresentava 16% de ar e passou para 10%, o que significa uma perda de 37%,

enquanto que a argamassa mista rica obteve uma variação de 4 para 1% do teor de ar incorporado, representando uma diminuição de 75%. Houve também pequenas diminuições, tal qual a AE 5 (3,7 para 3,6%) que perdeu apenas 2% do teor de ar.

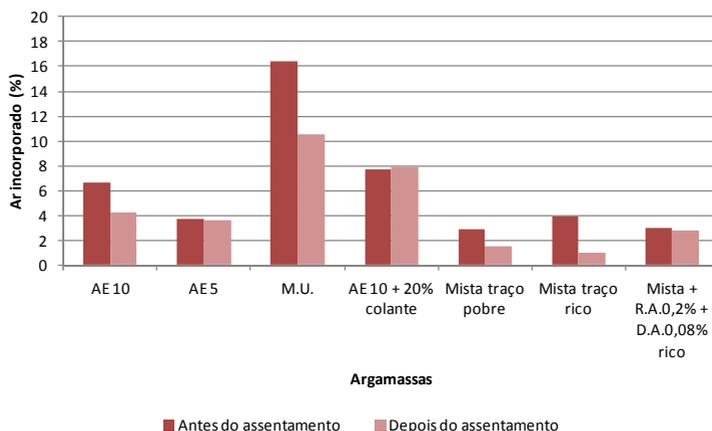


Figura 79: Teor de ar incorporado na junta de argamassa antes e após o assentamento da unidade superior, realizado pelo método do picnômetro.

Além dos ensaios de argamassa, foram realizados os ensaios de adesão inicial, avaliados visualmente e também pela norma RILEM MR 5 (1982), conforme descrito no item 3.1.

De acordo com o teste visual de adesão da junta vertical, com exceção da argamassa M.U. e da Mista traço pobre, todas as demais apresentaram adesão adequada, ou seja, após o encabeçamento do bloco, a argamassa se mantinha unida a ele até o posicionamento do mesmo.

No entanto, nenhuma das argamassas estudadas apresentou adesão adequada de acordo com o método da norma RILEM, uma vez que, após cerca de dois minutos do assentamento da unidade na junta de argamassa, no momento em que se retirava o bloco, o rompimento ocorria na interface substrato/junta. Esse resultado já era esperado, pois esse teste é considerado muito rigoroso por pesquisadores do assunto. Casali (2008) testou a adesão inicial de argamassas mistas com diferentes composições, de acordo com a norma RILEM, e constatou que, em todos os casos, o rompimento ocorria na interface entre o bloco de concreto e a argamassa, mesmo se o tempo de contato fosse aumentado para 20 minutos, ao invés de 2 como prescreve a norma.

#### 4.3.1.2. Propriedades do estado endurecido das argamassas empregadas na moldagem dos prismas

A Figura 80 apresenta os resultados de resistência à compressão, tração na flexão e módulo de elasticidade das argamassas empregadas na confecção dos prismas. A resistência à compressão foi determinada em corpos-de-prova cilíndricos, os quais também serviram para a determinação do módulo de elasticidade, e com corpos-de-prova cúbicos, sendo que esses últimos apresentaram resistências superiores aos cilíndricos em todas as argamassas, como era de se esperar pelo efeito do confinamento dos pratos da prensa.

A resistência à tração na flexão variou de 2,11 até 5,4 MPa, sendo que a argamassa AE 5 apresentou os piores resultados e a Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08% rico os melhores. A argamassa Mista traço rico e AE10+20% colante também apresentaram bons resultados (3,7 e 4,26 MPa respectivamente).

O módulo de elasticidade da maioria das argamassas variou de 9 até 11 GPa, representando cerca de 38% do módulo dos blocos, o que, segundo a literatura, é uma relação adequada ( $E_a/E_b$ ). A argamassa AE 10 foi a que apresentou o módulo mais alto, 13,90 GPa, que corresponde a 54% do módulo do bloco, podendo ser um indicativo da menor capacidade de absorção de deformação entre as argamassas estudadas. No entanto, esse tipo de conclusão não é um consenso no meio técnico, já que muitos pesquisadores acreditam que a relação entre o módulo da argamassa e do bloco não indica um determinado desempenho da alvenaria.

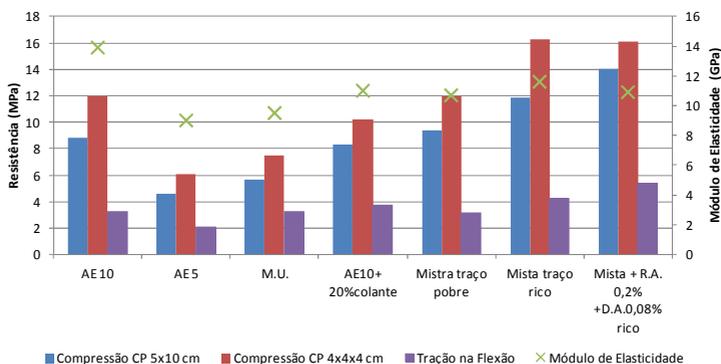


Figura 80: Propriedades do estado endurecido das argamassas empregadas na moldagem dos prismas.

### 4.3.1.3. Resultados dos ensaios em prismas de três fiadas

A Tabela 22 apresenta um resumo das propriedades do estado endurecido dos prismas de três fiadas: resistência à compressão média e potencial (maior valor obtido), o fator de eficiência (relação entre a resistência à compressão do prisma e do bloco) médio e potencial da alvenaria e módulo de elasticidade.

Tabela 22: Resultados dos ensaios no estado endurecido dos prismas de três fiadas.

Argamassas	Resistência Prismas (MPa)		Fator de Eficiência		Módulo de elasticidade (GPa)
	Média	Potencial	Média	Potencial	
AE 10	9,29	11,73	0,5	0,63	9,09
AE 5	7,77	11,32	0,42	0,61	7,43
M.U.	8,59	9,84	0,46	0,53	9,88
AE 10 + 20% colante	11,83	14,07	0,62	0,75	13,55
Mista traço pobre	11,58	13,13	0,68	0,7	10,98
Mista traço rico	15,08	16,59	0,81	0,9	13,96
Mista+R.A.0,2% + D.A.0,08% rico	13,6	14,65	0,73	0,79	11,82

Percebe-se que os melhores resultados de resistência à compressão foram da argamassa Mista traço rico e Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico, seguidas da AE10+20%colante. No entanto, somente as duas primeiras apresentaram fator de eficiência médio maior que 0,7, que representa um bom desempenho da alvenaria. Observa-se, também, que as argamassas industrializadas AE 10, AE 5 e M.U. obtiveram fator de eficiência médio abaixo de 0,5, sendo que a AE 5 apresentou o menor valor médio entre as argamassas estudadas.

A Figura 81 relaciona a resistência à compressão e fator de eficiência dos prismas com a resistência à compressão das argamassas (corpos-de-prova cilíndricos). Observa-se que as menores resistências, tanto das argamassas como dos prismas, ocorreu com o uso de AE 5 e M.U.

Percebe-se também, que apesar da resistência à compressão da argamassa ter diminuído 6% com a adição de argamassa colante na AE 10, a resistência do prisma aumentou 27%, causando o aumento de seu fator de eficiência. Isso pode ter ocorrido devido à presença de aditivo retentor de água, que contribuiu para o assentamento de uma junta com menos defeitos e menos fissuras por ter um maior tempo em aberto.

É interessante observar, também, que a argamassa Mista traço rico apresentou valores cerca de 28% maiores do que a argamassa Mista traço pobre. No entanto, o aumento de 19% da resistência à compressão da argamassa observado na Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico refletiu em uma diminuição de 10% na resistência do prisma. 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 (1996) e Prudêncio Jr. et al. (2003).

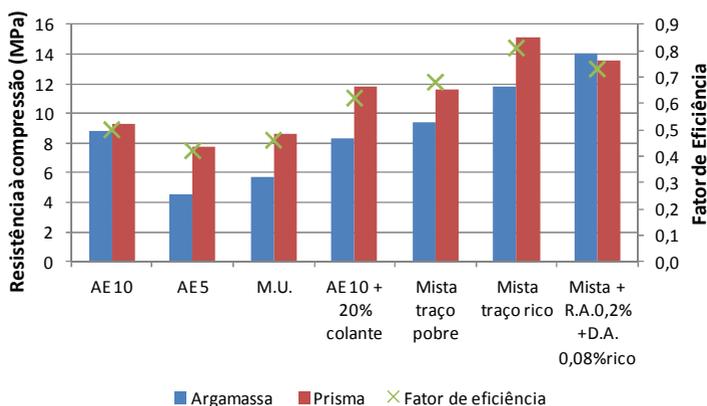


Figura 81: Resistência à compressão e fator de eficiência dos prismas e resistência à compressão da argamassa.

A Figura 82 apresenta a curva tensão x deformação dos prismas. Como já mencionado anteriormente, a argamassa Mista traço rico foi a que gerou prismas com as maiores resistência à compressão, e também foi a que apresentou o maior módulo de elasticidade, 13,96 GPa. A argamassa AE 5 apresentou o menor módulo de elasticidade, as demais argamassas apresentaram módulos semelhantes (entre 9-11 GPa).

Na Figura 83 é possível observar a relação entre a resistência média e o módulo de elasticidade médio dos prismas, na qual se percebe que existe uma correlação significativa entre as duas variáveis

(regressão com 95% de confiabilidade), sendo elas diretamente proporcionais.

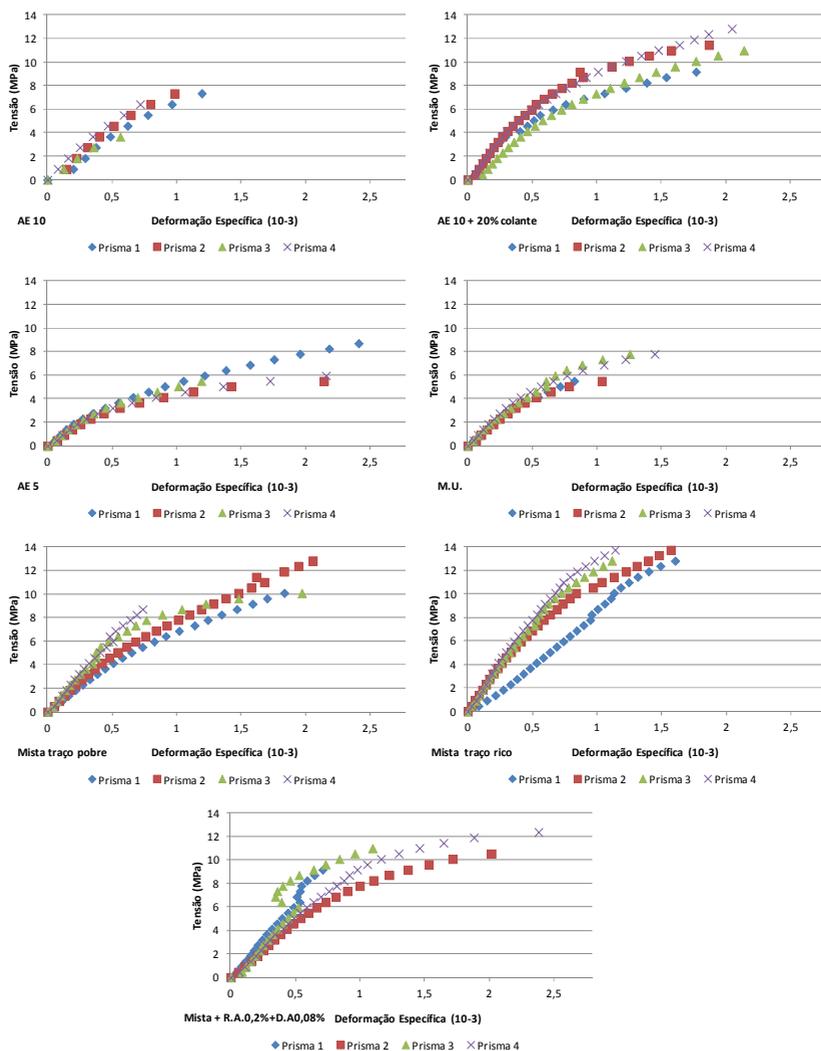


Figura 82: Curva tensão x deformação (longitudinal) dos prismas separados por tipo de argamassa.

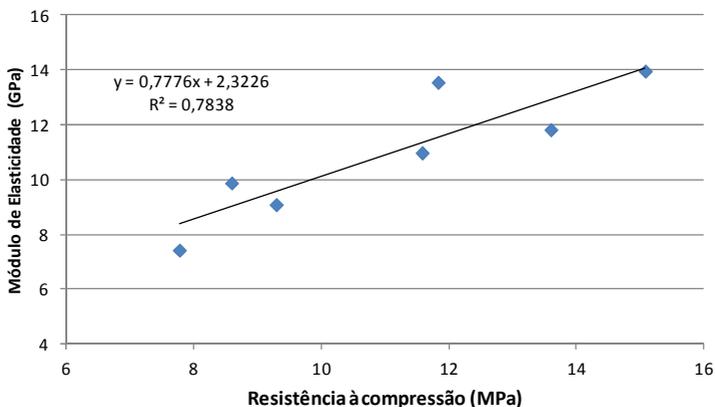


Figura 83: Relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dos prismas (valores médios).

Ainda em relação ao módulo de elasticidade dos prismas, pode-se constatar que o mesmo não apresenta uma influência evidente do módulo de elasticidade da argamassa que o constitui. Na Figura 84, essas duas propriedades são apresentadas, e pode-se perceber que a argamassas mais rígidas não originaram prismas mais rígidos, como por exemplo, a argamassa AE 10 que apresentou o maior módulo de elasticidade, mas não causou o mesmo efeito no prisma.

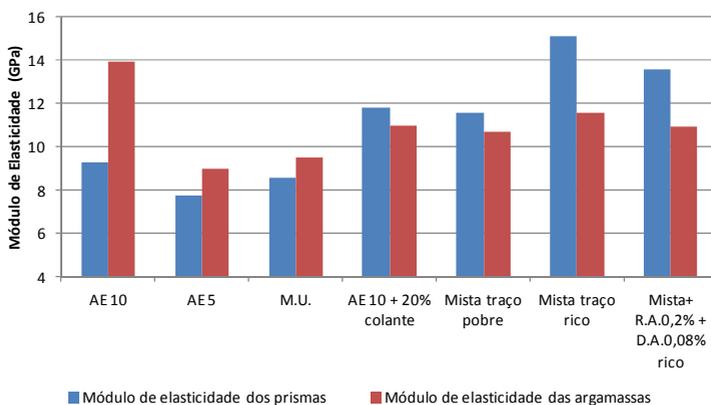


Figura 84: Módulo de elasticidade dos prismas e das argamassas que os constituem.

A fim de se conhecer o comportamento da alvenaria desde o momento em que ela deixa de ser um conjunto monolítico até sua ruptura, durante a instrumentação dos prismas anotou-se o nível de carregamento no qual o prisma estava submetido no momento em que foi visível o esmagamento da junta de argamassa e, também, o aparecimento de fissuras nos blocos. A carga de esmagamento da argamassa fornece um indicativo de uma modificação acentuada do comportamento estrutural do prisma, entretanto, o escoamento da argamassa ocorreu em cargas inferiores àquelas em que se pôde constatar visualmente o esmagamento.

Para mensurar a tensão de escoamento da argamassa, definiu-se que a mesma ocorria quando a deformação específica dobrava seu valor de uma leitura para outra, com intervalo de carga de 25 KN. Desta forma, pode-se obter uma estimativa do momento em que o prisma deixou de apresentar um comportamento monolítico, como pode ser observado na Tabela 23, na qual estão listados os valores de escoamento calculados, esmagamento visual, fissuração dos blocos visual, tensão de ruptura, relação entre a tensão de escoamento e a tensão de ruptura do prisma e, finalmente, a forma de ruptura observada.

A análise dos resultados expostos na Tabela 23 permite concluir que os prismas moldados com argamassas industrializadas começaram a apresentar grandes deformações muito antes de romperem (com menos de 70% da tensão de ruptura), exibindo esmagamento visível em seguida. A argamassa Mista traço pobre não apresentou esmagamento pronunciado e o valor correspondente a ele na Tabela diz respeito ao momento em que a junta começou a esfacelar levemente. Já as argamassas Mista traço rico e Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08%rico não apresentaram esmagamento da junta, rompendo por tração no bloco. O valor calculado para o escoamento deu-se pelo critério estabelecido (no momento que a deformação dobrou de uma leitura para outra), muito embora os níveis de deformação fossem mais baixos do que nas outras argamassas.

A forma de ruptura dos prismas pode ser visualizada na Figura 85 e na Figura 86, que mostram os dois tipos de ruptura que ocorreram no rompimento dos prismas: esmagamento da junta e tração no bloco.

Tabela 23: Comportamento dos prismas durante a aplicação de carga compressiva até o rompimento.

Arg.	CP	Junta de argamassa:		Fissuração do bloco	Rompimento Prisma	Escoam. / Ruptura	Forma de Ruptura
		Escoam. <sup>1</sup>	Esmag. <sup>2</sup>				
AE 10	P1	7,33	7,51	8,00	9,87	0,74	Esmagamento da junta
	P2	7,50	8,24	-	11,10	0,68	
	P3	-	-	-	4,45		
	P4	8,00	9,52	-	11,73	0,68	
	<b>média</b>						
AE 5	P1	3,60	8,55	8,97	11,32	0,32	Esmagamento da junta
	P2	3,21	4,74	-	5,40	0,59	
	P3	3,50	-	6,14	8,12	0,43	
	P4	3,20	4,20	-	6,24	0,51	
	<b>média</b>						
M.U	P1	3,66	5,59	4,40	7,70	0,48	Esmagamento da junta
	P2	4,50	6,34	-	7,32	0,61	
	P3	6,60	7,88	6,96	9,84	0,67	
	P4	5,04	7,45	7,71	9,51	0,53	
	<b>média</b>						
AE10 + 20% colante	P1	5,95	8,97	9,16	9,23	0,64	Esmagamento da junta
	P2	7,00	13,22	12,23	14,07	0,50	
	P3	7,50	11,54	11,54	11,85	0,63	
	P4	8,20	11,34	6,96	12,16	0,67	
	<b>média</b>						
Mista traço pobre	P1	6,87	7,60*	7,67	10,38	0,66	Ruptura do Conjunto
	P2	10,99	12,45*	11,72	13,13	0,84	
	P3	7,78	8,42*	5,49	10,05	0,77	
	P4	9,20	-	6,59	12,76	0,72	
	<b>média</b>						
Mista traço rico	P1	12,82	-	9,89	14,10	0,91	Tração no bloco
	P2	10,92	-	10,26	16,59	0,66	
	P3	11,45	-	8,06	15,38	0,74	
	P4	12,36	-	8,61	14,22	0,87	
	<b>média</b>						
Mista + R.A 0,2% + D.A 0,08% rico	P1	10,53	-	10,81	14,10	0,75	Tração no bloco
	P2	9,24	-	10,26	11,90	0,78	
	P3	9,76	-	6,78	13,74	0,71	
	P4	10,70	-	10,26	14,65	0,73	
	<b>média</b>						

<sup>1</sup> Escoamento; <sup>2</sup> Esmagamento; \* não ocorreu esmagamento da junta e sim um leve esfacelamento da mesma.



Figura 85: Prisma com ruptura por esmagamento da junta.

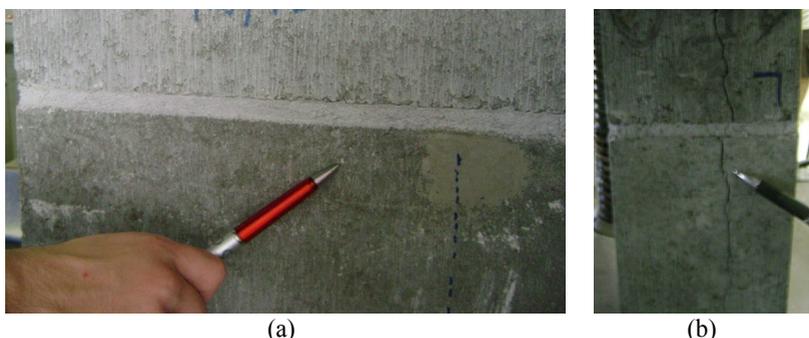


Figura 86: Prisma com rompimento por tração no bloco. (a) junta de argamassa intacta após o rompimento; (b) fissuras no bloco na parte lateral do prisma.

Pode-se notar, pela Figura 87, que a resistência à compressão dos prismas é influenciada pelo ar incorporado presente na junta de argamassa. Os prismas que geraram as maiores resistências à compressão foram aqueles que apresentaram os menores teores de ar, com exceção dos prismas moldados com AE10+20%colante, que apresentou resistência alta mesmo com teor de ar incorporado próximo a 8%.

No entanto, é válido lembrar que a AE10+20%colante foi a única argamassa que não desincorporou ar durante o assentamento, apresentando um pequeno aumento em relação à porcentagem de vazios antes e após o assentamento. A resistência à compressão elevada, e também a aderência discutida a seguir, sugerem que possa ter ocorrido um erro na determinação do teor de ar presente na junta da argamassa após o assentamento do bloco.

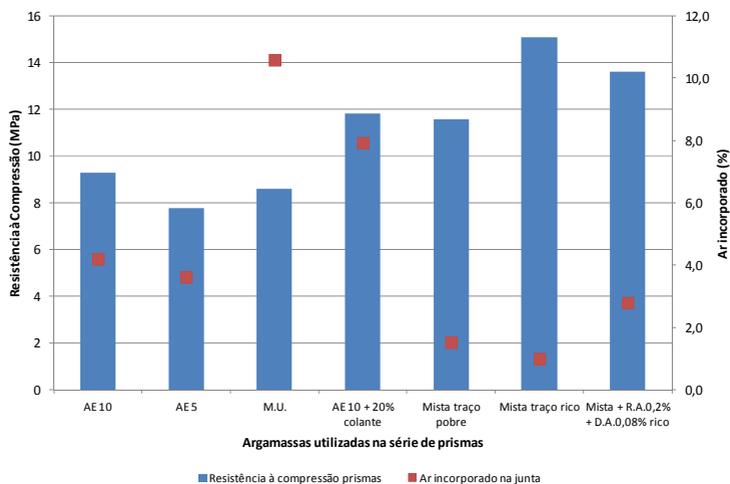


Figura 87: Resistência à compressão média dos prismas e o ar incorporado na junta de argamassa.

#### 4.3.1.4. Aderência dos prismas de quatro fiadas

A Tabela 24 apresenta os resultados de aderência média e potencial dos prismas moldados com as respectivas argamassas. A aderência foi calculada de acordo com equações da resistência dos materiais (BEER e JOHNSTON, 1996) e análise estrutural (na área líquida e como viga bi-apoiada com balanço, segundo Süssekind, 1991) e também com as fórmulas prescritas pela ABNT NBR 15961 (2011), conforme explicado no item 3.3.5.

Tabela 24: Resultado da aderência dos prismas de quatro fiadas.

Argamassas	Aderência (MPa)		Aderência (MPa) NBR 15961	
	Média	Potencial	Média	Potencial
AE 10	0,057	0,099	0,047	0,080
AE 5	0,044	0,094	0,038	0,076
M.U.	0,028	0,031	0,025	0,027
AE 10 + 20% colante	0,061	0,119	0,050	0,096
Mista traço pobre	0,043	0,060	0,036	0,049
Mista traço rico	0,046	0,056	0,038	0,046
Mista +R.A.0,2%+D.A.0,08% rico	0,048	0,079	0,040	0,049

Os melhores resultados de aderência nos prismas ocorreram com a argamassa industrializada AE 10, sendo que a adição de 20% de argamassa colante melhorou essa propriedade em cerca de 7%. O pior resultado foi observado com a argamassa M.U. As argamassas mistas apresentaram valores medianos em relação ao conjunto de argamassas, havendo uma melhora na aderência com o uso de argamassas mais ricas e também com o uso de aditivo retentor de água e desincorporador de ar. A argamassa Mista traço rico apresentou aderência 7% superior que a Mista traço pobre, e 4% inferior que a Mista+R.A0,2%+D.A0,08%rico. As validações estatísticas desses resultados serão discutidas no próximo tópico.

Em relação à resistência à compressão e à aderência entre os blocos e as juntas de argamassa, pode-se dizer que, com os resultados obtidos neste trabalho, não se pode afirmar que essas propriedades estejam diretamente interligadas, isso porque argamassas que geraram prismas de alta resistência à compressão não necessariamente resultaram nas melhores aderências bloco/junta. Na Figura 88, pode-se observar a relação entre o fator de eficiência dos prismas e a aderência. Percebe-se que o maior fator de eficiência ocorreu com o uso de argamassa Mista traço rico. No entanto, em relação à aderência, foi classificada como a terceira melhor argamassa.

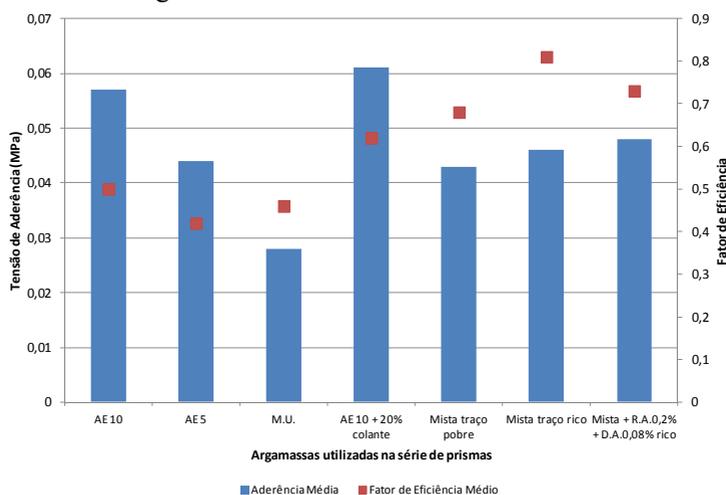


Figura 88: Fator de eficiência e aderência dos prismas.

A aderência dos prismas foi também correlacionada com o teor de ar incorporado da junta de argamassa, dados expostos na Figura 89.

Não se pode dizer que o teor de ar afeta sensivelmente essa propriedade, como era esperado pela questão da extensão de aderência. Apesar dos prismas moldados com M.U apresentarem as piores aderências e também os maiores teores de ar incorporado, as demais argamassas não apresentaram tal comportamento, em especial, as argamassas industrializadas AE 10, AE 5 e AE10+20% colante, nas quais o teor de ar incorporado parece não ser o principal influente. Contudo, não é possível saber, se as mesmas argamassas, confeccionadas com teores de ar inferiores, pudessem levar a aderências maiores. Uma forma de obter tal informação seria confeccionar as argamassas com tempos de mistura distintos, já que nesse trabalho esse tempo foi padronizado para todas as misturas.

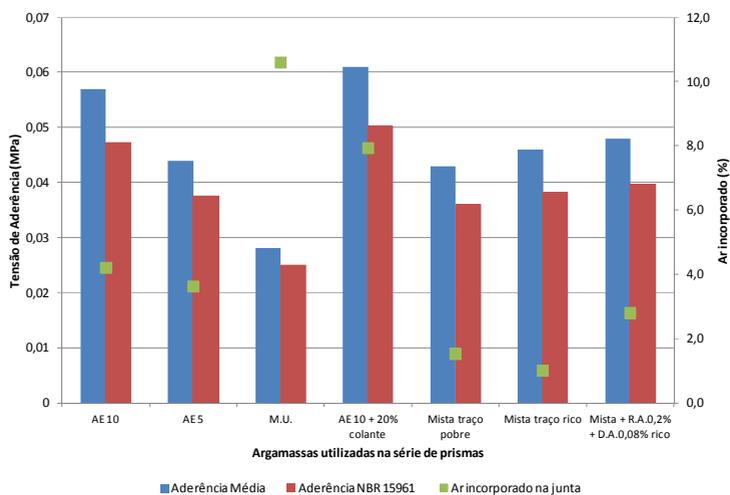


Figura 89: Aderência dos prismas e o ar incorporado na junta de argamassa.

Durante o desenvolvimento desse trabalho, percebeu-se que o aumento da retenção de água das argamassas influenciava de forma positiva a aderência dos mini-prismas. No entanto, nos prismas, isso não ficou tão evidente. Na Figura 90 é possível observar a aderência e a retenção de água em 15 minutos de sucção das argamassas. Percebe-se que, em relação às argamassas mistas, quanto maior a retenção de água, maior foi a tensão de aderência. Nas argamassas industrializadas constituídas de AE 10, percebe-se que a adição de retentor de água presente na argamassa colante aumentou a retenção de água em cerca de 9%, enquanto o aumento de aderência foi de aproximadamente 7%. No

entanto, quando se comparam as argamassas mistas com as industrializadas, apesar das primeiras apresentarem maior retenção média de água, nem sempre apresentaram a melhor aderência, especialmente quando a comparação é feita com argamassa AE 10.

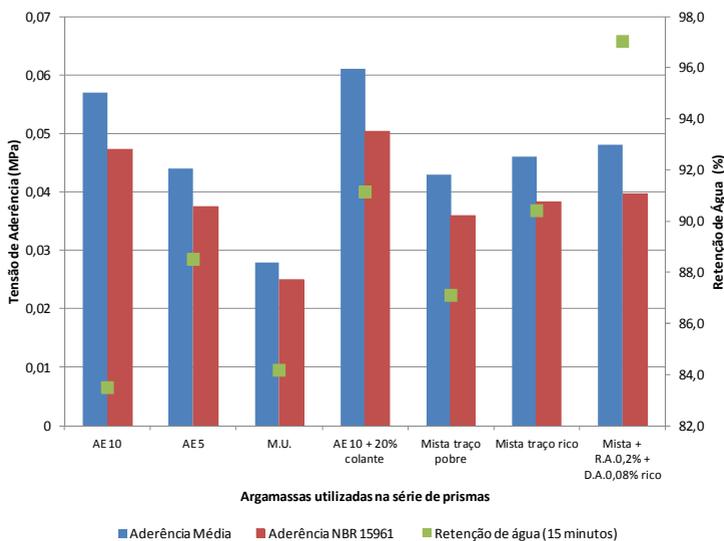


Figura 90: Adesão dos prismas e retenção de água das argamassas.

Anteriormente foi comentado que as argamassas industrializadas, com exceção da AE 10+20%colante, apresentaram grande perda de trabalhabilidade, o que dificultou a assentamento da última fiada do terceiro e quarto prisma moldado. Nas três argamassas em questão, o último prisma que foi confeccionado apresentou ruptura pelo peso próprio, indicando que a aderência pode ter sido prejudicada pela falta de trabalhabilidade da argamassa. No entanto, o penúltimo prisma a ser finalizado, não apresentou o mesmo comportamento, sendo que com a argamassa AE 10 e AE 5, esse foi o prisma que apresentou maior aderência em cada uma das argamassas. Já na série moldada com M.U., o terceiro e quarto prisma romperam pelo peso próprio enquanto que o primeiro e o segundo suportaram a colocação de cargas pontuais.

Outro fato interessante no rompimento dos prismas de quatro fiadas foi a junta em que ocorreu a ruptura. Na maioria dos prismas (cerca de 75% deles), houve rompimento da junta central, o que era de se esperar, pois é a junta submetida ao maior momento fletor. No entanto, todos os demais prismas romperam na junta superior do prisma

e nunca na junta inferior. Isso pode estar atrelado a duas causas. A primeira seria a questão da trabalhabilidade citada anteriormente. Como as juntas superiores são as últimas a serem moldadas, a argamassa se apresenta mais consistente e menos plástica do que estava quando ocorreu o assentamento das primeiras juntas. Isso pode aumentar as falhas de contato entre a argamassa e o substrato, promovendo perda de aderência. A segunda pode ser oriunda do peso que age sobre a junta de argamassa. A fiada inferior está submetida a um peso maior que a fiada superior, oriunda da massa dos blocos, e essa compressão pode ajudar na adesão inicial e, conseqüentemente, na aderência. Enquanto a junta superior está submetida ao peso de um bloco constituinte do prisma e mais um bloco de sobrepeso, a junta inferior sofre a compressão do peso de quatro blocos (três do prisma e um sobrepeso).

Diante disso, pode-se concluir que a aderência dos prismas é influenciada tanto pela argamassa utilizada como pelo processo construtivo aplicado.

Os maiores resultados de aderência média e potencial ocorreram com a argamassa AE 10+20% colante. No entanto, esses resultados ficaram muito aquém do desejado, uma vez que, a ABNT NBR 15961 (2011) prescreve que a aderência entre bloco e junta de prismas deve ser no mínimo 0,2 MPa, para argamassas com resistência à compressão acima de 7 MPa. Sendo assim, nenhuma das argamassas estudadas satisfaz as exigências da norma.

Cabe salientar, que mesmo se fossem utilizados os valores potenciais de cada argamassa para análise dessa propriedade, ao invés dos resultados médios, nenhuma argamassa alcançaria aderência superior a 0,12 MPa. Conforme pode ser analisado na Tabela 24, os maiores valores potenciais foram da AE 10+20%colante, seguida da AE 10, AE 5 e Mista+R.A0,2%+D.A0,08%rico. Sendo assim, percebe-se que as argamassas industrializadas estruturais geram prismas mais aderentes do que as demais argamassas. No entanto, a aderência proporcionada ainda não é suficiente para um desempenho satisfatório da parede.

#### **4.3.2. Análises Estatísticas**

Algumas análises estatísticas já foram realizadas durante a apresentação e discussão dos resultados, visando validar as conclusões expostas. No entanto, neste tópico são apresentadas as principais análises do trabalho, que consistem na avaliação de resistência à compressão e de aderência dos prismas moldados com as diferentes

argamassas. É apresentada, também, a correlação entre os valores de aderência dos mini-prismas e dos prismas, a fim de avaliar se a metodologia utilizada foi satisfatória.

#### 4.3.2.1. Análise Estatística da Resistência à Compressão de Prismas

Inicialmente, as médias de resistência à compressão dos prismas obtidas por tipo de argamassa foram submetidas a uma análise múltipla de médias e, posteriormente, ao teste de Duncan para verificar quais médias diferiram significativamente entre si. A Tabela 25 apresenta os resultados obtidos na ANOVA com um nível de significância de 5%. O resumo das conclusões obtidas pelo teste de Duncan está apresentado na Tabela 26 e na Tabela 27.

Tabela 25: Resultados obtidos na comparação múltipla de médias das resistências à compressão dos prismas.

<b>Resistência à compressão dos prismas</b>				
<b>Fonte</b>	<b>Soma dos quadrados SQ</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Médias Quadradas MQ</b>	<b>F (0,05)</b>
Entre grupos	173,84	6	28,97	7,055
Residual	86,25	21	4,11	2,573
Total	177,95	27		

Tabela 26: Resultados do teste de Duncan

rk	2	3	4	5	6	7
GDL = 21	2,943	3,568	3,945	4,223	4,430	4,600
Rk	2,981	3,615	3,997	4,278	4,489	4,661

Tabela 27: Conclusão do teste de Duncan para as médias das resistências à compressão dos prismas.

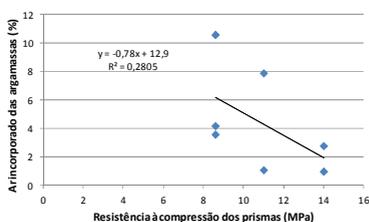
AE 5	M.U	AE 10	Mista traço pobre	AE10+20% colante	Mista+R.A.0,2% + D.A. 0,08%	Mista traço rico
7,770	8,594	9,288	11,582	11,827	13,599	15,076

Essa análise mostrou que as argamassas mistas com traço rico (com e sem aditivos) não diferem significativamente entre si, tampouco em relação a argamassas AE 10+20%colante. As argamassas industrializadas AE 10, AE 5 e M.U. também não apresentam comportamento distinto em relação à compressão dos prismas confeccionados com elas.

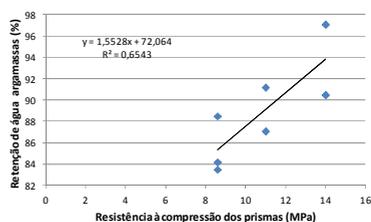
Mostrou também que a adição de 20% de argamassa colante na AE 10 aumentou a resistência dos prismas de forma significativa, com 95% de confiabilidade.

Pode-se dizer também que as argamassas AE10, AE 5 e M.U. originaram prismas menos resistentes que as argamassas mistas de traço rico (com ou sem aditivos) e a AE10+20%colante.

Para avaliar as variáveis que influenciam na resistência à compressão dos prismas, as argamassas que não apresentaram diferença significativa avaliada pelo teste de Duncan foram alocadas em um mesmo grupo com a mesma resistência à compressão. A resistência à compressão dos prismas foi correlacionada por meio de regressão linear com as seguintes características das argamassas: teor de ar incorporado, retenção de água, resistência à compressão e resistência à tração. O resultado das regressões pode ser visualizado na Figura 91, na qual é possível concluir que das variáveis citadas, somente o ar incorporado não apresenta relação significativa com a resistência à compressão dos prismas, com 95% de confiabilidade.

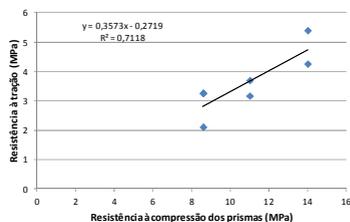


(a) Com 95% de confiabilidade, não existe relação significativa entre as variáveis.

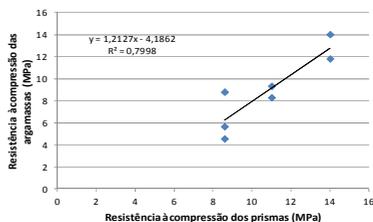


(b) Com 95% de confiabilidade, existe uma relação significativa entre as variáveis.

Figura 91: Regressões lineares entre resistência à compressão dos prismas (continua).



(c) Com 95% de confiabilidade, existe uma relação significativa entre as variáveis.



(d) Com 95% de confiabilidade, existe uma relação significativa entre as variáveis.

Figura 91: (Continuação) Regressões lineares entre resistência à compressão dos prismas e (a) ar incorporado; (b) retenção de água; (c) resistência à tração; (d) resistência à compressão da argamassa.

#### 4.3.2.2. Análises Estatísticas da Aderência dos prismas

A comparação múltipla de médias realizada com os valores de resistência de aderência dos prismas de quatro fiadas, com as diferentes argamassas utilizadas, mostrou que não existe diferença significativa entre as médias, com 95% de confiabilidade. Os resultados da ANOVA estão expostos na Tabela 28.

Tabela 28: Resultado obtidos pela comparação múltipla de médias das aderências dos prismas.

<b>Aderência dos prismas</b>				
<b>Fonte</b>	<b>Soma dos quadrados SQ</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Médias Quadradas MQ</b>	<b>F</b>
Entre grupos	0,001611	6	0,000269	0,668
Residual	0,008438	21	0,000402	2,573
Total	0,010049	27		

#### 4.3.2.3. Correlação entre os valores obtidos de resistência de aderência de mini-prismas e prismas

A Figura 92 apresenta a correlação entre a resistência de aderência na flexão média obtida nos prismas e a resistência de aderência média obtida nos mini-prismas.

Os resultados mostraram que houve uma boa correlação entre as resistências de aderência média. Cabe ressaltar que foi escolhida uma

correlação linear, pois a quantidade de dados era reduzida, além de ter sido a função que apresentou o maior coeficiente de correlação.

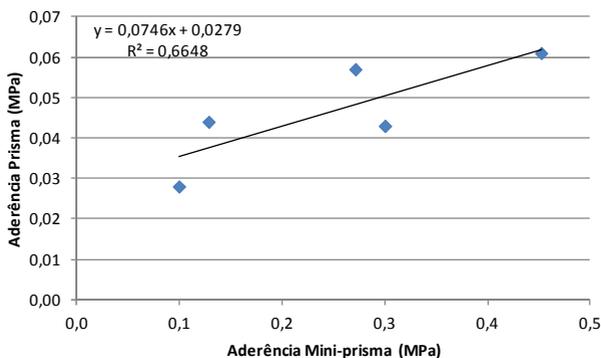


Figura 92: Correlação entre a aderência dos mini-prismas e dos prismas.

Como esperado, a resistência de aderência na flexão dos mini-prismas foi sempre superior àquela observada para os prismas, pois a situação no mini-prisma é otimizada e sofre menos influência de fatores externos.

Cabe salientar, também, que a proporção entre a resistência de aderência do prisma e do mini-prisma foi distinta para cada argamassa, como pode ser observado na Tabela 29. A média dessa relação foi de 0,20 com desvio padrão de 0,10. Observa-se que na correlação da Figura 92, os resultados proporcionados pela argamassa Mista+R.A.0,2%+D.A.0,08% rico não foram utilizados por se tratar de um valor espúrio. Retirando esses valores para o cálculo da média, a mesma sobe para 0,22 com desvio padrão de 0,09.

Tabela 29: Relação entre a resistência de aderência do mini-prisma e do prisma.

Argamassa	Aderência (MPa)		Relação <sup>1</sup>
	Mini-prisma	Prisma	
AE 10	0,271	0,057	0,21
AE 5	0,128	0,044	0,34
M.U.	0,099	0,028	0,28
AE 10 + 20% colante	0,452	0,061	0,13
Mista traço pobre	0,300	0,043	0,14
Mista + R.A.0,2% + D.A.0,08% rico	0,760	0,048	0,06

<sup>1</sup> razão entre a aderência no prisma e a aderência no mini-prisma.

No estudo realizado por Casali (2008) a correlação entre os valores de aderência dos prismas e dos mini-prismas foi maior que o encontrado nesse trabalho, assim como a relação entre as aderências, que variou de 0,51 até 0,88. Os blocos utilizados no estudo da autora tinham resistência nominal de 6 MPa, e como mencionado na discussão da aderência dos mini-prismas, os blocos de 6 MPa apresentam absorção e aderências distintas em relação aos blocos de 16 MPa, que foram o foco desse trabalho.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

São apresentadas nesse tópico algumas considerações sobre o comportamento de alvenaria estrutural constituídas de blocos de concreto de alta resistência, que puderam ser concluídas com a realização do programa experimental desta dissertação.

Ao final deste capítulo são apresentadas também algumas sugestões para o desenvolvimento de novos trabalhos, visando contribuir para o desenvolvimento do método construtivo em alvenaria estrutural de blocos de concreto para edifícios altos.

### 5.1. CONCLUSÕES

Com o trabalho realizado, foi possível tecer algumas conclusões sobre os blocos de alta resistência, argamassas industrializadas, argamassas mistas e a presença de aditivos retentores de água, polímeros PVA e desincorporadores de ar nas misturas; assim como a influência de tais argamassas nas características dos prismas.

Em relação aos blocos de concreto de 16 MPa, observaram-se diferenças significativas entre as faces superior e inferior dos mesmos, especialmente em relação à porosidade, resultado do processo de fabricação das unidades. Essa diferença reflete diretamente na aderência das faces, sendo importante a avaliação distinta da extremidade fina (inferior) e da grossa (superior) nos estudos relacionados com a interação da argamassa e do bloco.

Aliado a isso, com o estudo de blocos de resistências inferiores aos empregados neste trabalho (6 MPa), pode-se concluir que a distribuição dos poros é bem diferenciada entre os dois tipos de blocos, e que a compacidade elevada das unidades mais resistentes tem um efeito negativo na resistência de aderência entre a junta de argamassa e o substrato. Percebeu-se que os blocos de 16 MPa apresentam absorção por área de contato menor do que os de 6 MPa e que eles apresentam um maior refinamento dos poros, o que contribuiu para um aumento da altura de ascensão capilar. Aliado a isso, a maior altura de ascensão capilar indica que há uma maior continuidade e ligação entre os poros nos blocos de 16 MPa do que nos de 6 MPa.

O método utilizado para avaliação da aderência com corpos-de-prova reduzidos (mini-prismas) mostrou-se adequado e válido para estimar de forma qualitativa as argamassas, de modo a excluir traços inadequados, e não quantitativa, a ponto de selecionar bons traços, pois os resultados de aderência entre os dois métodos foram muito distintos.

Em relação às argamassas estudadas, pode-se concluir que as argamassas industrializadas disponíveis no mercado atualmente apresentam problemas quanto à manutenção da trabalhabilidade. Todas as argamassas testadas tiveram perda acentuada de sua trabalhabilidade após trinta minutos da mistura, o que prejudicava fortemente seu assentamento. Outra propriedade importante do estado fresco é o ar incorporado durante o assentamento. As argamassas estruturais de 5 e 10 MPa não apresentaram teor de ar excessivo (inferior a 10%), diferentemente da argamassa múltiplo uso (M.U) que apresentou grande incorporação de ar, chegando a valores próximos a 20%, o que é desaconselhável para o uso em assentamento de alvenaria estrutural, devido à diminuição da extensão de aderência que esse teor de ar é capaz de causar.

Quanto ao desempenho à compressão, as argamassas estruturais de 10 MPa e de 5 MPa (AE 10 e AE 5) não atingiram as resistências nominais prescritas na embalagem aos 28 dias de idade (ensaiadas com corpos-de-prova cilíndricos), mesmo sendo utilizada uma menor quantidade de água do que a recomendada pelo fabricante. A argamassa múltiplo uso (M.U) atingiu a resistência à compressão a que se propunha. No entanto, nenhuma das três argamassas industrializadas estudadas apresentou desempenho satisfatório na compressão de prismas de três fiadas. Todos os prismas moldados com essas argamassas apresentaram ruptura por esmagamento da junta, sendo que esse esmagamento iniciava em níveis de tensão muito inferiores aos de ruptura. Esse resultado mostra a incompatibilidade dessas argamassas com blocos de concreto de 16 MPa para uso em alvenaria estrutural.

Em relação à aderência entre a junta de argamassa e o bloco de concreto, as argamassas industrializadas apresentaram um comportamento razoável, em especial a argamassa estrutural de 10 MPa, que proporcionou os melhores resultados de aderência entre as argamassas estudadas. Apesar disso, a resistência de aderência apresentada não foi suficiente para considerá-la adequada nesse quesito em relação à norma ABNT NBR 15961 (2011), pois gerou prismas com aderências inferiores a 0,20 MPa, valor considerado apropriado pela referida norma.

Uma das alternativas propostas neste trabalho para a melhora da aderência entre bloco e junta da argamassa foi a utilização de argamassas colantes associadas às argamassas industrializadas utilizadas para assentamento estrutural. Apesar de ter gerado um aumento da resistência de aderência, ainda não foi suficiente para satisfazer as prescrições da norma. O uso de 20% de argamassa colante associada à

argamassa estrutural de 10 MPa também melhorou o desempenho à compressão dos prismas, que tiveram seu fator de eficiência aumentando de 0,5 para 0,62, no entanto o rompimento continuou ocorrendo por esmagamento da junta.

Além das argamassas industrializadas, foram estudadas argamassas mistas que, segundo a literatura, são consideradas mais adequadas para o assentamento de alvenaria estrutural. Apesar de resultarem em fatores de eficiência maiores do que os apresentados pelas argamassas industrializadas, percebeu-se que é necessária a utilização de traços mais ricos do que o habitualmente empregados na construção civil para que resultem em fatores de eficiência acima de 0,70. As argamassas mistas apresentaram características no estado fresco superiores que as das argamassas industrializadas, pois não tiveram perda acentuada da trabalhabilidade, tampouco apresentaram incorporação de ar elevada. Por outro lado, o desempenho na aderência foi inferior ao observado nas argamassas estruturais industrializadas, embora estatisticamente os resultados de aderência não diferissem entre si com 95% de confiabilidade.

Quando se incorporou a essas argamassas aditivos retentores de água e a base de polímeros PVA, a fim de aumentar a aderência na interface bloco/junta, ocorreu uma incorporação de ar elevada, que teve de ser corrigida com a adição de desincorporador de ar, para não prejudicar a extensão de aderência e a resistência à compressão.

O uso desses aditivos em argamassas mistas, em média, proporcionou um aumento da aderência quando comparado com argamassas mistas sem aditivos, no entanto não foram suficientes para superarem a argamassa estrutural AE 10 e, tampouco, cumpriram os requisitos da norma. As argamassas mistas com aditivo retentor de água e desincorporador de ar apresentaram características satisfatórias no estado fresco e resistência à compressão adequada para utilização no assentamento de alvenaria com blocos de elevada resistência, já que resultaram em valores acima de 10 MPa aos 28 dias de idade. Apresentaram também excelente resistência à tração na flexão (maior que 5 MPa) sendo a maior entre as argamassas estudadas. Quando utilizadas nos prismas à compressão, resultaram em fatores de eficiência maiores que 0,70 e não apresentaram esmagamento da junta, resultando em rupturas por tração no bloco.

Com o estudo das argamassas mistas com aditivos retentores de água, pode-se constatar que a retenção de água das argamassas é um fator de forte influência nas características do estado endurecido (aderência e resistência à compressão), sendo que, quanto maior a

retenção de água apresentada pelas argamassas, melhores eram as características dos prismas.

No início do estudo de aderência entre bloco e argamassa, supunha-se que o teor de ar incorporado na mistura seria um dos principais influentes dessa propriedade. No entanto, isso não ficou evidente nos estudos em prismas, muito embora tenham apresentado uma relação inversamente proporcional nos ensaios em mini-prismas. Cabe salientar, que o método proposto para determinação do teor de ar incorporado das juntas de argamassa por meio do picnômetro com solução de água e álcool foi eficiente, conduzindo a valores muito próximos dos métodos normalizados. No entanto, esse procedimento possui a vantagem de indicar o teor de vazios que efetivamente está presente na junta de argamassa, permitindo uma avaliação da extensão de aderência entre o bloco e a argamassa.

Em relação ao módulo de elasticidade dos prismas, percebeu-se que esse apresenta uma relação diretamente proporcional com a resistência à compressão dos mesmos. No entanto, não apresentaram nenhuma tendência com o módulo de elasticidade das argamassas que os constituíam, talvez pela desincorporação de ar que ocorre no assentamento da junta, que corresponde a quantidade de ar real presente, e difere da situação do corpo-de-prova cilíndrico de 5x10 cm.

Diante dos resultados apresentados neste trabalho, pode-se constatar que nenhuma das argamassas estudadas é adequada para o emprego no assentamento de alvenaria estrutural de edifícios altos, combinadas com blocos de elevada resistência. As argamassas mistas com traços mais pobres (1:1:4 em volume), comumente utilizadas no assentamento estrutural, não atingiram aderência nem fatores de eficiência que justifiquem seu emprego. As argamassas mistas com traços mais ricos (1:1:3,3 em volume) tem a capacidade de produzir alvenarias com desempenho à compressão satisfatórios (alto fator de eficiência), entretanto possuem capacidade de aderência inferior ao desejado. Já as argamassas industrializadas (estruturais de 5 e 10 MPa e múltiplo uso) apresentam trabalhabilidade, resistência à compressão e aderência inadequados para esse tipo de aplicação.

Como as argamassas estudadas são muito utilizadas atualmente no assentamento estrutural (mistas sem aditivos e as industrializadas) existe uma preocupação em relação ao desempenho dessas estruturas, especialmente em relação à aderência, já que edifícios altos estão mais sujeitos a ações do vento e podem apresentar problemas decorrentes de esforços de tração normais ou paralelos às fiadas quando a resistência de aderência for inferior às tensões aplicadas.

Atualmente, estão sendo comercializadas massas prontas para o assentamento de alvenaria a base de materiais sintéticos e não cimentícios que proporcionam elevada aderência, agindo como um espécie de cola que visa substituir as argamassas de assentamento. O grande problema desses materiais se concentra na pequena espessura do filete, que compromete o nivelamento da parede e absorção das deformações. Não existem estudos que avaliem o desempenho desse material em alvenaria estrutural de blocos de concreto, a fim de responder as questões sobre fatores de eficiência, resiliência e a trabalhabilidade desse produto.

Acredita-se que, da forma em que ele se apresenta atualmente, seja muito improvável que proporcione um desempenho satisfatório no assentamento de alvenaria estrutural. No entanto, argamassas específicas de assentamento podem ser aprimoradas em relação à aderência com o uso de aditivos presentes nessas massas colantes.

De forma geral, pode-se dizer que argamassas mistas com traços ricos (1:1:3 em volume) são as argamassas de melhor desempenho para assentamento de alvenaria estrutural de edifícios altos. No entanto, vale salientar, que essas argamassas podem não apresentar todas as características desejáveis para tal aplicação, conforme exposto anteriormente.

Sendo assim são necessários outros estudos que tragam soluções para os problemas apresentados e assim, viabilizem a construção de edifícios altos em alvenaria estrutural de blocos de concreto com mais segurança estrutural e menos patologias localizadas.

## 5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se a continuação do estudo para formulação de uma argamassa adequada para assentamento de alvenaria estrutural com blocos de elevada resistência, objetivando a construção de edifícios altos (acima de 12 pavimentos). Para tanto, recomenda-se os seguintes trabalhos:

- Testes com argamassas mistas constituídas por aditivos que proporcionem melhor aderência, tais quais aqueles utilizados nas massas colantes para assentamento de alvenarias de vedação;
- Estudos relacionados à trabalhabilidade da argamassa e a manutenção dessa, por meio de maiores tempos em aberto da mistura, por meio da execução de juntas em diferentes tempos

após a mistura da argamassa para verificar a influência da perda de trabalhabilidade na aderência entre o bloco e a junta de argamassa;

- Verificação da influência do peso atuante na junta de argamassa pelos blocos das fiadas subsequentes, na adesão e aderência entre o bloco e argamassa;
- Avaliar a influência dos assentadores (técnicas de assentamento) na aderência de prismas;
- Avaliar a influência de diferentes composições granulométricas e traços de argamassas com diferentes teores de cal, nas propriedades do estado endurecido dos prismas;
- Estudos em alvenaria armada como sistema construtivo para edifícios altos;
- Investigação da microestrutura dos blocos de elevada resistência, para o conhecimento da rede de poros na qual será feita a ancoragem da argamassa.

## 6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 67**: Standard test methods of sampling and testing bricks and structural clay tile. Philadelphia, 1991.

\_\_\_\_\_. **ASTM 90**. In: Annual Book os ASTM Standarts. Philadelphia, 2011.

\_\_\_\_\_. **ASTM C 91**: Specification for masonry cement. Philadelphia: ACI, 1916.

\_\_\_\_\_. **ASTM C 270**: Mortar for unit masonry. Philadelphia, 1987.

\_\_\_\_\_. **ASTM C 952**: Test of bond strength of mortar to masonry units. Philadelphia, 1976.

\_\_\_\_\_. **ASTM E 518-80**: Test method for flexural bond strength of masonry. Philadelphia, 2003.

\_\_\_\_\_. **ASTM C 1072**: Standard method for measurement of masonry flexural bond strength. Philadelphia, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 8215**: Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – preparo e ensaio à compressão – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983. (cancelada).

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 7217**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522**: Concreto: determinação do módulo de elasticidade estática e diagrama tensão x deformação – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 8798**: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985. (cancelada)

\_\_\_\_\_. **NBR 8949**: Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985.

\_\_\_\_\_. **NBR 10837**: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989. (cancelada)

\_\_\_\_\_. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15961**: Alvenaria Estrutural – Blocos de concreto. Parte 1 e 2. Rio de Janeiro, 2011.

AFRIDI, M.U.K.; OHAMA, Y.; IQBAL, M.Z. ; DEMURA, K. **Water retention and adhesion of powdered and aqueous polymer-modified mortars**. Cement e Concrete Comp. 17 (2) (1995).

ALVES, N.J.D.; DO Ó, S.W. **Aditivos incorporadores de ar e retentores de água.** In: Revestimentos de argamassa: Características e peculiaridades. Editor: Elton Bauer. 2005.

ARANHA, I.B.; LUCAS, E.F. **Poli (álcool vinílico) modificado com cadeias hidrocarbônicas: avaliação do balanço hidrófilo/lipófilo.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 11, nº 4 – 2001.

ARAÚJO, F. E. **Técnicas construtivas de edifícios residenciais em alvenaria estrutural não armada de blocos vazados de concreto.** Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina.

BARBOSA, C. S.; HANAI, J. B.; BARBO, R. R. C. **Influência do processo de cura nas propriedades mecânicas da argamassa de assentamento para alvenaria estrutural.** Anais do VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Florianópolis, 2005. p. 443 - 447.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

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: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Florianópolis – SC, 2005.

BAUER, R.J.F. **Patologias em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.** Caderno técnico de alvenaria estrutural – CT5. 2002.

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

BEER, F.P.; JOHNSTON, E.R. **Resistência dos Materiais.** Pearson Education. 3ª Edição. 1996.

BOYNTON, R. S.; GUTSCHICK, K. A. **Aderência de argamassas a elementos de alvenaria – Fatores que influenciam a resistência, extensão e durabilidade da aderência.** Tradução IPT-ABCP, Notas técnicas n. 3, 1964.

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.

CALLISTER, W.D., Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CAMACHO, J.S. **Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica.** 1995. 157f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** 996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

CARASEK, H. **Argamassas.** In: ISAIAS, G. C. (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais.* Ispis Gráfica e Editora, São Paulo, 2007. Cap. 26. p. 863 - 904.

CARASEK, H. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas.** In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas. Salvador – BA, 1997.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L.M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília –DF, 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.; PRUDÊNCIO JR, L. R. **New 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.

CASALI, J. M.; WEIDMANN, D. F.; PRUDÊNCIO 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.

CASALI, J.M. **Estudo comparativo do comportamento de diferentes tipos de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

CASALI, J.M. **Estudo da interação entre argamassa de assentamento e bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência.** Florianópolis, 2008. 310 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

CAVANI, G.R.; ANTUNES, R.P.N.; JOHN, V.M. **Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas.** In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas. Salvador – BA, 1997.

CHEEMA, T.S.; KLINGNER, R E. (1986). **Compressive strength of masonry prisms.** ACI Journal, vol. 83, n.1, pp. 88–97.

CHU, T.-J.; KIM, J.-H.; PARK, C.; ROBERTSON, R.E.  
**Microestrutura do Cement-Based Systems / ligação e interfaces em materiais cimentícios,** S. Diamond et al. (Eds.) Mater Res. Soc. Proc. 370 - 1995.

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

CINCOTTO, M.A.; QUARCIONI, V.A.; JOHN, V.M.. **Cal na construção civil.** In: ISAIAS, G. C. (Ed.) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais. Ispis Gráfica e Editora, São Paulo, 2007. Cap. 22.1. p. 695 - 726.

COSTA, F.L.; SHMIDT, M.V.; GLEIZE, P.J.P.; GÓMEZ, L.A.  
**Metodologia para verificação da ocorrência e evolução de fissuras**

**em argamassas cimentícias.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Florianópolis – SC, 2005.

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. **Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2006.

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.

DA MATA, R.C.; LA ROVERE, H. L.; PRUDÊNCIO 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.

DÍAZ, J.J.; NIETO, P.J; RABANAL, F.P; MARTÍNEZ-LUENGAS. **Design and shape optimization of a new type of hollow concrete masonry block using the finite element method.** Engineering Structures 33, 2011.

DRYSDALE, R. G.; HAMID, A. A.; BAKER, L. R. **Masonry Structural Behavior and Design.** New Jersey, Prentice-Hall, 1993.

FELICIANO, F.M.H.; FERREIRA, L.T.S.; FERREIRA, K.I.I. **Alvenaria estrutural através de uma analogia com o concreto armado.** Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Curitiba, PR – 2009.

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

FRASSON JR., A.. **Metodologia de dosagem e processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

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.

FREITAS, J.M.C. **Influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassa de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2007.

GALLEGOS, H. **Albañileria Estructural**. Pontificia Universidade Católica do Peru. Lima, 1989.

GONÇALVES JR., L.A. **Avaliação de incertezas em modelo de dano com aplicação a prismas de alvenaria sob compressão**. Dissertação (mestrado em engenharia de estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos – SP, 2008.

HELENE, P.R.L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, 1993. 231p. Tese (livre docência). Escola politécnica da USP.

HENDRY, A.W. **Masonry walls: materials and construction**. Volume 14, Issue 8. Construction and Building materials. 2001.

HENDRY, A.W. **Structural Brickwork**. London, The MacMillan Press, 1981. 211p.

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.

IZQUIERDO, I.S. **Uso de fibra natural em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (mestrado em engenharia de estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos – SP, 2011.

JENNI, A.; ZURBRIGGEN, R.; HOLZER, J.; HERWEGH, M. **Changes in microstructures and physical properties of polymer-modified mortars during wet storage.** Cement and Concrete Research 36 – 2006.

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

KHALAF, F.M.; HENDRY, A.W.; FAIRBAIRN, D.R. **Study of the compressive strength of blockwork masonry.** Struct J, ACI 1994.

KIM, J.; ROBERTSON, R.E. **Prevention of air void formation in polymer-modified cement mortar by pre-wetting.** Cement and Concrete Research, vol. 27, nº 2 – 1996.

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.

MAMEDE, F.C.. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural.** Dissertação (Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

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.

MARTIN, J.F.M. **Aditivos para Concreto.** In: Isaia, G.C. Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações. Ibracon. Iphis Gráfica e Editora. São Paulo, SP, 2005.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Aderência bloco/argamassa: determinação da resistência à flexão de prismas**. Proceedings of 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, Florianópolis, 1994, p. 270 - 277.

MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. **Aderência bloco/argamassa: determinação da resistência à flexão de prismas**. In 5th International Seminar on Structural Masonry Developing Countries. Florianópolis – Brasil, 1994.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedade e materiais**. São Paulo. Pini, 2008.

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

MOHAMAD, G.; LOURENÇO, P.B.; ROMAN, H. R. **Mechanics of hollow concrete block masonry prisms under compression: Review and prospects**. Cement & Concrete Composites 29, 2007b.

MOHAMAD, G.; ROMAN, H. R.; RIZZATTI, E.; ROMAGNA, R. **Alvenaria Estrutural**. In: ISAIAS, G. C. (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*. Ispis Gráfica e Editora, São Paulo, 2007a. Cap. 30. p. 1007 - 1036.

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.

NAKAKURA, E.H.; CINCOTTO, M.A. **Revisão de norma NBR 13581 como instrumento para melhor representar o desempenho de argamassas industrializadas em obra**. In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001. P. 387-394

OHAMA, Y.; **Polymer-based admixtures**, Cement e Concrete Comp. 20 (2-3) – 1998.

OLIVEIRA, M.B. **Verificação de algumas propriedades de argamassas com saibro da região de Uberlândia para assentamento**

**de tijolos cerâmicos.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

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

PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS, 2007.

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

PATURAL, L.; MARCHAL, P.; GOVIN, A.; GROSSEAU, P.; RUOT, B.; DEVÉS, O. **Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars.** Cement and Concrete Research 41 – 2011.

PELETEIRO, SUZANA C. (2002). **Contribuições à modelagem numérica de alvenaria estrutural.** São Carlos, 2002. 143p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

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

POURCHEZ, J.; RUOT, B.; DEBAYLE, J.; POURCHEZ, E.; GROSSEAU, P. **Some aspects of cellulose ethers influence on water transport and porous structure of cement-based materials.** Cement and Concrete Research 40 – 2010.

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

PRUDÊNCIO JR., L.R. **Materiais de Construção Civil**. Notas de aula, Curso de Graduação em Engenharia Civil – UFSC, 1994.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. **Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes**. 1986. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1986.

QUARCIONI, V.A.; CINCOTTO, M.A.; THOMAZ, O.; OLIVEIRA, M.C.B.. **Caracterização da porosidade de argamassa mista endurecida de cimento e cal com vistas à durabilidade**. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília –DF, 2001.

RAMALHO, M. A. e CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2003. 174 p.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATORIES D'ESSAIS DE MATÉRIAUX ET DE CONSTRUCTION – RILEM  
Recommendations. **Testing methods of mortars and renderings**: MR 1-21. Paris, France. RILEM, 1982.

ROMAN, H. R. **Alvenaria estrutural**. Revista TÊCHNE, Ficha Técnica, Ano 4, n. 24. 1996.

ROMAN, H.R.; MUTTI, C. N; ARAÚJO, H.N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Editora da UFSC, Florinópolis, SC, 1999.

SABBATINI, F. H. ; ALY, Vitor L C . **Determinação de Correlações de Resistência Mecânica de Paredes de Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto**. In: International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 1994, Florianópolis. Proceedings. Florianópolis: UFSC/ANTAC, 1994. p. 115-126.

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

SABBATINI, F.H. **Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

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

SAVI, T.; VALDUGA, L.; VOLPATO, V. **Estudo de aderência de argamassa de assentamento**. Anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 2006. p. 3099 - 3107.

SCHUBERT, P e HOFFMANN, G. **Compressive strength of mortar in masonry significance, influences, test methods, requirements**. Proceedings of 10th International Brick and Block Masonry Conference, Calgary, Canada, 1994, p. 1335 - 1344.

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.

SILVA, A.F.; CAMACHO, J.S.; SILVA, W.J. **Correlação da resistência de diferentes corpos-de-prova de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. In: Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves, RS- 2007.

SILVA, C.O.; NAKAKURA, E.H. **A utilização de argamassa de revestimento em obras de pequeno porte – estudo de caso de argamassa preparada em obra x argamassa industrializada**. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília –DF, 2001.

SOLÓRZANO, M. G. P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Dissertação apresentada a Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994. 203 p.

STEIL, R. O. **Comparação do desempenho à compressão de prismas não grauteados produzidos a partir de blocos de concreto fabricados na região sul do Brasil**. 2003. Dissertação (mestrado em

Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

STEIL, R.O.; CALÇADA, L.M.L.; OLIVEIRA, A.L.; MARTINS, C.V.; PRUDÊNCIO JR. 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.

STEIL, R.O.; PRUDÊNCIO JR. JR.. **Influência da geometria do bloco no fator de eficiência das alvenarias estruturais de blocos de concreto.** In: Anais do VII International Seminar on Structural Masonry. Belo Horizonte. September, 2002.

STREETER, V. L. **Mecânica de los fluidos.** New York: McGraw-Hill, 1968.

SÜSSEKIND, J.C. **Curso de análise estrutural.** Vol.1 Editora Globo. 8ª Edição. 1991.

TAUBE, C. R.; GAVA, G. P.; COURI PETRAUSKI, S. M. F. **Avaliação das propriedades de uma argamassa de revestimento industrializada em comparação a uma argamassa produzida em obra.** In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, SÃO PAULO, 2003. Anais. p. 221-232.

TAUIL, C.A.; NESE, F.J.M. **Alvenaria Estrutural.** Editora Pini. São Paulo-SP, 2010.

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

**Anexo 1** - Tabelas com as propriedades do estado endurecido das argamassas, que foram apresentadas em gráficos no corpo do texto.

Tabela 30: Resultados do estado endurecido das argamassas industrializadas empregadas nos mini-prismas.

Propriedade	Média e coeficiente de variação (CV)	AE 10	AE 5	M.U	M.U.+ 10%col +20%ar	M.U.+ 10%col +10%ar	AE10 + 10% colante	AE10 + 20% colante
Resistência à compressão (MPa)	CP 5x10 cm	8,50	3,42	5,91	3,11	4,20	8,29	8,66
	CV (%)	5,9	7,5	4,4	9,4	5,0	7,8	4,0
	CP 4x4x4 cm	9,51	4,38	7,06	4,59	4,30	8,56	9,26
	CV (%)	5,0	3,3	9,0	11,6	6,1	3,1	10,0
Resistência à tração na flexão (MPa)	CP 4x4x16 cm	2,86	1,39	2,91	1,90	2,00	2,85	2,98
	CV (%)	10,7	8,6	2,6	3,3	5,2	10,4	12,3
Módulo de elasticidade (GPa)	CP 5x10 cm	9,61	4,56	7,91	6,73	5,49	11,60	9,60
	CV (%)	9,0	11,0	10,0	14,0	7,0	18,0	12,0

Tabela 31: Resultados do estado endurecido das argamassas empregadas nos mini-prismas de 6 MPa.

Argamassas	Resistência à compressão				Resistência à tração na flexão		Módulo de elasticidade	
	CP 5x10 cm	CV	CP Cúbico 4 cm	CV	CP 4x4x16	CV	CP 5x10 cm	CV
Mista	7,76	1,9	9,95	1,9	2,75	13,1	10,81	5,0
Mista Maturada	7,42	3,1	9,27	3,4	2,53	3,8	10,24	7,0
Mista + P1 0,1%	4,10	16,3	4,99	5,2	1,47	15,2	3,70	29,8
Mista + P2 0,1%	4,00	1,4	5,20	3,4	1,61	7,7	5,03	5,0
Mista + P1 0,2%	3,69	1,0	4,74	6,5	1,94	6,8	7,41	21,0
Mista + P2 0,2%	4,05	0,8	5,19	5,7	1,89	8,6	6,47	1,2
Mista + P1 0,3%	3,79	1,3	3,09	11,3	1,76	15,8	6,59	11,1
Mista + P2 0,3%	3,72	2,3	3,53	10,7	1,80	7,3	10,22	3,0
Mista + R.A. 0,08%	4,05	2,0	3,89	6,9	1,72	10,5	7,40	8,9
Mista + R.A. 0,2%	3,47	5,2	3,28	5,8	1,66	2,5	4,78	24,8
Mista +P2 0,24%+D.A. 0,06%	6,30	2,4	7,20	5,3	2,14	5,8	7,00	18,0
Mista +R.A.0,2% + D.A.0,08%	7,44	3,1	8,03	6,0	2,47	4,9	6,40	14,0
Cimento +P2 0,24%+ D.A0,06%	9,20	0,3	12,03	14,5	4,02	14,3	14,87	16,9
Cimento+ R.A.0,2%+D.A0,08%	10,90	1,9	11,28	10,0	4,14	4,5	13,56	9,8

Tabela 32: Resultados do estado endurecido das argamassas empregadas nos mini-prismas de 16 MPa.

Argamassas	Resistência à compressão				Resistência à tração na flexão		Módulo de elasticidade	
	CP 5x10 cm	CV	CP Cúbico 4 cm	CV	CP 4x4x16	CV	CP 5x10 cm	CV
MISTA	8,34	6,1	9,10	3,4	2,26	9,4	9,02	10,0
Mista + P2 0,24% + D.A. 0,06%	6,50	0,4	7,00	7,9	2,24	9,4	7,20	15,0
Mista + P2 0,24% + D.A.1%	6,87	0,6	7,64	4,5	2,35	8,6	8,50	10,0
Mista + R.A. 0,2% + D.A 0,08%	7,54	3,9	8,31	3,9	2,65	5,8	9,60	15,0
Mista + R.A. 0,2% + D.A. 0,08% rico	10,59	2,7	10,41	5,3	2,98	6,9	9,30	4,0

Tabela 33: Resultados do estado endurecido das argamassas empregadas nos prismas.

<b>Propriedade</b>	<b>Corpo-de-prova e coeficiente de variação (CV)</b>	<b>AE 10</b>	<b>AE 5</b>	<b>M.U.</b>	<b>AE10+ 20% colante</b>	<b>Mista traço pobre</b>	<b>Mista traço rico</b>	<b>Mista + R.A. 0,2% +D.A.0,08% rico</b>
Resistência à Compressão (MPa)	CP 5x10 cm	8,81	4,57	5,67	8,31	9,35	11,83	14,04
	<i>CV (%)</i>	3,8	2,4	1,0	1,4	2,6	12,3	2,3
	CP 4x4x4cm	11,95	6,07	7,48	10,19	11,98	16,24	16,05
	<i>CV (%)</i>	4,5	3,7	10,7	9,2	3,3	4,3	5,1
Resistência à tração na flexão	CP 4x4x16 cm	3,26	2,11	3,27	3,70	3,17	4,26	5,40
	<i>CV (%)</i>	6,9	10,1	6,1	9,4	3,8	29,8	4,3
Módulo de Elasticidade (GPa)	CP 5x10 cm	13,90	9,00	9,50	11,00	10,70	11,60	10,90
	<i>CV (%)</i>	43,0	8,0	47,0	17,0	13,0	3,0	10,0

**Anexo 2 – Altura de ascensão capilar e absorção por área de contato de todas as peças utilizadas na confecção dos mini-prismas.**

Tabela 34: Altura de ascensão capilar média e absorção por área de contato (g/cm<sup>2</sup>) das peças retiradas dos blocos de 6 MPa.

Peças finas	Altura média (cm)	g/cm <sup>2</sup>	Peças grossas	Altura média (cm)	g/cm <sup>2</sup>	Peças finas	Altura média (cm)	g/cm <sup>2</sup>	Peças grossas	Altura média (cm)	g/cm <sup>2</sup>
1B	4,144	0,338	1A	5,683	0,554	8F	4,036	0,287	8E	4,560	0,322
1D	3,946	0,287	1C	8,274	0,871	8H	3,364	0,222	8G	3,099	0,196
1F	6,920	0,687	1E	7,265	0,660	9B	3,755	0,267	9A	5,810	0,458
1H	5,517	0,427	1G	5,197	0,457	9D	3,927	0,302	9C	5,700	0,834
20B	4,197	0,341	20A	6,701	0,582	9F	3,354	0,254	9E	4,057	0,358
20D	4,847	0,443	20C	8,938	0,939	9H	4,333	0,343	9G	4,416	0,318
20F	4,248	0,326	20E	6,553	0,605	10B	4,092	0,301	10A	6,023	0,489
20H	4,687	0,409	20G	4,643	0,475	10D	2,796	0,222	10C	3,370	0,304
2B	4,102	0,272	2A	5,952	0,474	10F	3,978	0,208	10E	3,701	0,244
2D	4,664	0,404	2C	7,538	0,686	10H	3,299	0,200	10G	4,178	0,285
2F	4,230	0,408	2E	4,741	0,429	11B	3,724	0,274	11A	4,801	0,347
2H	3,778	0,284	2G	4,188	0,391	11D	3,630	0,322	11C	5,278	0,454
3B	3,707	0,297	3A	4,292	0,349	11F	3,482	0,215	11E	4,794	0,363
3D	3,930	0,355	3C	3,383	0,273	11H	4,468	0,343	11G	7,882	0,677
3F	4,188	0,385	3E	3,912	0,301	13B	3,848	0,326	13A	5,892	0,715
3H	3,770	0,308	3G	4,022	0,362	13D	3,450	0,218	13C	4,149	0,537
4B	3,939	0,292	4A	4,204	0,350	13F	3,591	0,259	13E	4,130	0,291
4D	3,238	0,175	4C	3,304	0,212	13H	4,038	0,288	13G	5,755	0,591
4F	3,571	0,302	4E	4,369	0,353	16B	4,267	0,362	16A	7,491	0,768
4H	4,624	0,385	4G	5,025	0,466	16D	3,901	0,268	16C	6,169	0,572
5B	5,101	0,471	5A	8,403	0,774	16F	3,738	0,253	16E	5,130	0,353
5D	6,336	0,530	5C	8,780	0,866	16H	4,088	0,338	16G	4,327	0,404
5F	5,234	0,529	5E	8,960	1,003	17B	4,075	0,425	17A	5,361	0,529
5H	4,080	0,407	5G	8,595	1,018	17D	3,018	0,242	17C	4,059	0,396
6B	3,502	0,266	6A	4,789	0,385	17F	3,369	0,332	17E	3,717	0,291
6D	4,427	0,338	6C	4,654	0,457	17H	4,033	0,324	17G	5,227	0,534

Peça Fina	Altura média	$g/cm^2$	Peça Grossa	Altura Média	$g/cm^2$	Peça Fina	Altura média	$g/cm^2$	Peça Grossa	Altura Média	$g/cm^2$
6F	4,222	0,461	6E	7,005	0,615	18B	3,545	0,255	18A	4,150	0,369
6H	4,229	0,353	6G	6,611	0,597	18D	4,603	0,463	18C	4,745	0,437
7B	5,698	0,489	7A	7,462	0,731	18F	3,858	0,312	18E	3,216	0,225
7D	6,023	0,499	7C	7,912	0,814	18H	3,839	0,281	18G	4,133	0,211
7F	4,417	0,435	7E	5,780	0,566	19B	4,957	0,444	19A	8,873	1,080
7H	3,143	0,268	7G	5,457	0,596	19D	4,121	0,339	19C	6,357	0,652
8B	3,520	0,280	8A	2,984	0,203	19F	3,368	0,215	19E	8,671	0,722
8D	3,175	0,287	8C	4,414	0,348	19H	4,412	0,343	19G	9,881	1,050

Tabela 35: Altura de ascensão capilar média e absorção por área de contato ( $g/cm^2$ ) das peças retiradas dos blocos de 16 MPa empregadas nos mini-prismas.

Peças finas	Altura (cm)	$g/cm^2$	Peças grossas	Altura (cm)	$g/cm^2$	Peças finas	Altura (cm)	$g/cm^2$	Peças grossas	Altura (cm)	$g/cm^2$
1	3,375	0,262	3	2,950	0,355	13f	5,053	0,270	13e	4,026	0,720
2	4,501	0,230	4	1,947	0,389	13h	3,833	0,388	13g	3,348	0,523
5	5,693	0,368	6	8,254	0,749	14b	3,576	0,514	14a	4,872	0,885
7	3,957	0,096	8	5,369	0,756	14d	6,472	0,336	14c	3,843	0,636
11	6,220	0,226	9	4,077	0,623	14f	5,853	0,323	14e	3,615	0,524
13	5,480	0,184	10	6,687	0,499	14h	3,042	0,796	14g	4,065	1,178
15	3,677	0,134	12	4,632	0,199	15b	8,719	0,193	15a	3,933	0,326
17	4,729	0,544	14	3,739	0,428	15d	8,587	0,305	15c	5,320	0,573
20	3,660	0,322	16	6,765	0,301	15f	5,824	0,293	15e	3,440	0,295
21	3,668	0,240	18	5,397	0,424	15h	5,965	0,244	15g	4,168	0,255
23	4,443	0,242	19	5,048	0,433	1b	4,188	0,403	1a	3,831	0,322
25	6,263	0,314	22	3,629	0,619	1d	6,204	0,202	1c	3,516	0,216
27	3,150	0,231	24	4,632	0,343	1f	3,962	0,237	1e	5,900	0,372
28	3,590	0,345	26	4,281	0,282	1h	6,716	0,226	1g	3,928	0,370
31	5,771	0,262	29	2,987	0,308	2b	5,108	0,189	2a	4,122	0,367
34	4,881	0,315	30	3,305	0,433	2d	4,570	0,309	2c	7,173	0,293
37	5,964	0,218	32	2,461	0,368	2f	2,385	0,523	2e	5,937	0,745
41	4,267	0,344	33	6,184	0,272	2h	4,083	0,206	2g	3,843	0,430

Peça Fina	Altura média	g/cm <sup>2</sup>	Peça Grossa	Altura Média	g/cm <sup>2</sup>	Peça Fina	Altura média	g/cm <sup>2</sup>	Peça Grossa	Altura Média	g/cm <sup>2</sup>
43	4,076	0,239	36	3,792	0,414	3b	6,642	0,393	3a	6,084	0,669
44	4,815	0,217	38	4,100	0,541	3d	7,401	0,181	3c	3,670	0,303
46	4,996	0,273	39	5,577	0,417	3f	9,949	0,201	3e	8,342	0,263
47	4,272	0,320	40	3,723	0,268	3h	3,711	0,287	3g	3,502	0,306
48	8,568	0,232	42	3,064	0,338	5b	3,759	0,304	5a	5,928	0,375
50	3,978	0,458	51	4,977	0,256	5d	8,394	0,220	5c	5,175	0,405
57	4,710	0,247	53	3,187	0,550	5f	3,783	0,245	5e	3,300	0,434
58	2,839	0,326	54	4,495	0,513	5h	5,188	0,211	5g	3,230	0,469
60	3,973	0,341	55	2,576	0,300	6b	3,724	0,383	6a	3,662	0,615
61	4,094	0,323	59	4,140	0,487	6d	4,965	0,243	6c	6,791	0,437
62	4,746	0,239	65	3,515	0,540	6f	3,113	0,309	6e	8,909	0,390
63	4,847	0,308	66	3,897	0,572	6h	3,409	0,368	6g	5,115	0,563
64	4,916	0,261	67	2,957	0,250	7b	5,241	0,315	7a	5,390	0,397
68	8,040	0,202	69	4,045	0,459	7d	4,357	0,258	7c	2,485	0,310
10b	4,888	0,273	10a	4,039	0,308	7f	2,951	0,194	7e	5,208	0,320
10d	3,467	0,292	10c	6,274	0,369	7h	4,257	0,281	7g	3,599	0,457
10f	6,140	0,308	10e	3,410	0,498	8b	3,699	0,369	8a	8,248	0,373
10h	3,917	0,291	10g	9,128	0,283	8d	4,940	0,274	8c	5,599	0,264
12b	2,724	0,320	12a	4,516	0,594	8f	3,750	0,289	8e	6,320	0,268
12d	4,500	0,210	12c	5,488	0,355	8h	7,529	0,323	8g	6,139	0,458
12f	6,595	0,217	12e	7,662	0,372	9d	4,693	0,873	9a	5,687	0,396
12h	6,695	0,264	12g	5,293	0,460	9f	3,471	0,460	9e	5,390	0,983
13b	6,398	0,337	13a	2,743	0,541	9h	4,314	0,351	9g	5,916	0,417
13d	4,674	0,239	13c	3,872	0,404						