



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

**CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

RICARDO DE SOUZA VIEIRA

**Estudo de Argamassas
Industrializadas para
Assentamento de Alvenaria
Estrutural de Bloco de Concreto**

**FLORIANÓPOLIS – SC
2019**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

RICARDO DE SOUZA VIEIRA

**ESTUDO DE ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS PARA
ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO
DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Lima de Oliveira.

FLORIANÓPOLIS, 2019.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

VIEIRA , Ricardo de Souza

ESTUDO DE ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS PARA ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO DE CONCRETO / Ricardo de Souza VIEIRA ; orientação de Alexandre Lima de OLIVEIRA . - Florianópolis, SC, 2019.

86 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Argamassa de assentamento. 2. Alvenaria estrutural.
3. Blocos de concreto. I. OLIVEIRA , Alexandre Lima de . II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Construção Civil. III. Título.

**ESTUDO DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA PARA
ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO
DE CONCRETO**

RICARDO DE SOUZA VIEIRA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil em 2019 e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 1º de julho de 2019.

Banca examinadora:



Prof. Alexandre Lima de Oliveira, Dr., IFSC.



Prof. Luciana Maltez Calçada, Dra., IFSC.



Eng. Civil Paulo Ricardo de Matos, Dr.

RESUMO

A necessidade de racionalização e sistematização do canteiro de obras tem impulsionado os projetos de pesquisa na busca de novas tecnologias para os materiais da construção civil. Com isso, os sistemas construtivos que otimizam os processos e trazem benefícios econômicos e ambientais se sobressaem nesse mercado. Neste cenário, a alvenaria estrutural de blocos de concreto tem se destacado nos últimos anos no Brasil, por apresentar estas características. Entretanto, o mercado possui uma carência de argamassa industrializada ensacada para a utilização no assentamento de alvenaria estrutural não-armada de blocos vazados de concreto e, as que existem não têm sido indicadas para edifícios altos, devido, principalmente, às argamassas não apresentarem aderência suficiente ao bloco e, ainda, influenciarem negativamente no fator de eficiência. Diante disso, este trabalho teve como objetivo estudar o desempenho das argamassas industrializadas ensacadas de resistências nominais de 4 a 14 MPa para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto de resistências variadas. Para as argamassas, foram avaliadas a trabalhabilidade, a retenção de água e a resistência à compressão. Para os prismas, a resistência à compressão, a tração na flexão, o módulo de elasticidade, o fator de eficiência e o mecanismo de ruptura. As análises foram realizadas aos 28 e aos 90 dias de idade e os resultados indicaram que as argamassas industrializadas estudadas apresentaram, no geral, um bom desempenho em relação às propriedades nos estados fresco e endurecido, além de obter um bom desempenho nos ensaios de resistência à compressão e tração na flexão dos prismas de bloco de concreto, onde o fator de eficiência, aos 90 dias, ultrapassou os 90%. Diante dos resultados obtidos, pode-se verificar que as argamassas industrializadas estudadas apresentaram um bom desempenho para a utilização em assentamento de alvenaria estrutural, inclusive para os prismas com blocos de resistência nominal de 12 MPa.

Palavras-chave: Argamassa de assentamento. Alvenaria estrutural. Blocos de concreto.

ABSTRACT

The need to rationalize and systematize the construction site has accelerated research projects in the search for new technologies for construction materials. Thereby, the construction systems that optimize the processes and bring economic and environmental benefits stand out in this market. In this scenario, the structural masonry of concrete blocks, due to these characteristics, has been highlighted and intensified in recent years in Brazil. However, the market has a shortage of bagged mortars for use in laying non-reinforced masonry of cast concrete blocks. The ones that exist have not been indicated for high buildings, mainly due to the fact that those mortars do not present sufficient adhesion to the block and negatively influence the efficiency factor. Therefore, the objective of this work was to analyze the performance of industrial mortars with nominal strength from 4 to 14 MPa for the laying of structural masonry of concrete blocks of various strengths. To the mortars, were analyzed the results of workability, water retention and compressive strength. To the prisms, the compressive resistance results, flexural tensile strength, modulus of elasticity, efficiency factor and mechanism of prism rupture. The analysis showed that, at 28 and 90 days of age, industrial mortars presents, in general, a good performance in relation to the properties in fresh and hardened states. In addition, the analysis showed that the industrial mortars obtained an excellent performance in the tests of resistance to compression and tensile strength in the flexure of the concrete blocks prisms, where the efficiency factor, at 90 days of age, exceeded 90%. In the obtained results, the industrial mortars presented an excellent performance for the use in laying of structural masonry, even for the prisms with blocks of nominal resistance of 12 MPa.

Keywords: Industrialized mortar. Structural masonry. Concrete Blocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bloco vazado de concreto	16
Figura 2 – Equipamento utilizado no GTec Teste	23
Figura 3 – Equipamento utilizado no <i>squeeze flow</i>	24
Figura 4 - Resistência à tração na flexão de prismas – 5 blocos	33
Figura 5 - Esforços no prisma – 4 blocos	33
Figura 6 - Momentos fletores no prisma – 4 blocos.....	34
Figura 7 - Momentos fletores no prisma – 5 blocos.....	34
Figura 8 - Curva de correlação entre a profundidade de cravação de pinos e a resistência à compressão das argamassas	36
Figura 9 - Absorção de água dos prismas.....	43
Figura 10 - Determinação da resistência à compressão	44
Figura 11 - GTec Teste	47
Figura 12 – Ensaio <i>flow table</i>	48
Figura 13 - Ensaio do <i>squeeze flow</i>	48
Figura 14 - Funil de Buchner modificado com bomba de vácuo.....	49
Figura 15 - Ensaio de densidade de massa da argamassa	50
Figura 16 - Ensaio de resistência à compressão das argamassas	51
Figura 17 – Corpos de prova de argamassa 5x10cm.....	52
Figura 18 - Módulo de elasticidade da argamassa.....	52
Figura 19 - Prismas para ensaios à Tração na Flexão e à Compressão.....	53
Figura 20 – Execução ensaio tração na flexão dos prismas	54
Figura 21 – Ensaio tração na flexão dos primas	55
Figura 22 - Ensaio de resistência à compressão dos prismas	57
Figura 23 – Execução ensaio módulo de deformação do prisma.....	58
Figura 24 - Ensaio de cravação pneumática de pinos na argamassa	59
Figura 25 - Resultados de trabalhabilidade das argamassas – Gtec teste	64
Figura 26 - Módulos de deformação dos prismas aos 28 e aos 90 dias	72
Figura 27 - Mecanismo de ruptura dos prismas	75
Figura 28 - Ensaio de cravação de pinos	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração para blocos de concreto	16
Tabela 2 - Influência dos materiais constituintes nas propriedades da argamassa...	20
Tabela 3 – Tipos de argamassas mistas	30
Tabela 4 - Fator de eficiência de prismas de blocos de concreto.....	37
Tabela 5 - Tabela Resumo do programa experimental - Ensaio dos Blocos.....	41
Tabela 6 - Resumo do programa experimental - Ensaio das Argamassas	41
Tabela 7 - Resumo do programa experimental - Ensaio dos Prismas	42
Tabela 8 - Resistência do bloco e argamassa industrializada por primas.....	53
Tabela 9 - Resultados de resistência à compressão (MPa) e absorção (%) dos blocos de concreto aos 28 dias de idade dos prismas	62
Tabela 10 - Teor de água, índice de consistência, retenção de água e densidade de massa das argamassas.....	65
Tabela 11 - Resultados de resistência à compressão das argamassas aos 28 e 90 dias de idade e módulo de deformação aos 28 dias de idade.....	68
Tabela 12 - Resistência à compressão, módulo de deformação secante inicial (Eci) para os prismas de blocos de concreto aos 28 e 90 dias de idade e a tensão de aderência na flexão para os prismas aos 28 dias de idade.....	70
Tabela 13 – Ganho do módulo de deformação dos prismas dos 28 aos 90 dias de idade.....	72
Tabela 14 – Previsão da resistência da junta da argamassa	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivos.....	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
2	ALVENARIA ESTRUTURAL	13
2.1	Componentes da alvenaria estrutural	14
2.1.1	Blocos de Concreto	15
2.1.2	Argamassa de Assentamento	18
2.2	Propriedades da argamassa de assentamento no estado fresco.....	20
2.2.1	Trabalhabilidade.....	20
2.2.2	Plasticidade	21
2.2.3	Coesão.....	21
2.2.4	Consistência.....	21
2.2.5	Retenção de Água	24
2.2.6	Densidade de Massa	25
2.2.7	Exsudação	25
2.2.8	Adesão inicial	25
2.2.9	Caracterização Reológica	26
2.3	Propriedades da argamassa de assentamento no estado endurecido	27
2.3.1	Resistência de aderência	27
2.3.2	Resistência à Compressão	27
2.3.3	Módulo de elasticidade	28
2.3.4	Retração.....	29
2.4	Tipos de Argamassa	29
2.4.1	Argamassa preparada em obra.....	29
2.4.2	Mistura semipronta para argamassa	30
2.4.3	Argamassa dosada em central.....	31
2.4.4	Argamassa industrializada	31
2.5	Considerações sobre os prismas	32
2.5.1	Resistência à tração na flexão de prismas.....	32
2.5.2	Resistência à compressão de prismas.....	35
2.5.3	Módulo de deformação	35
2.5.4	Avaliação da resistência da junta de argamassa	35
2.6	Pesquisas existentes	36
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	38
3.1	Condições Ambientais.....	38
3.2	Materiais.....	39
3.2.1	Blocos de Concreto	39
3.2.2	Argamassa industrializada	39
3.3	Métodos	40
3.3.1	Blocos de Concreto	43
3.3.2	Argamassa Industrializada	45
3.3.3	Prismas	53

4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	61
4.1	Blocos de Concreto	61
4.2	Argamassa Industrializada.....	63
4.2.1	Propriedades da Argamassa no Estado Fresco.....	63
4.2.2	Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido.....	67
4.3	Prismas	69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
5.1	Conclusões.....	78
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	80
	REFERÊNCIAS.....	81
	ANEXO A.....	84

1 INTRODUÇÃO

O setor de construção civil utiliza, cada dia mais, novos processos tecnológicos para satisfazer às necessidades do mercado. A busca pela racionalização e sistematização do canteiro de obras tem impulsionado os projetos de pesquisa e a utilização de novos materiais na construção. Neste contexto, insere-se a alvenaria estrutural, um sistema construtivo no qual são empregadas paredes de alvenaria e lajes enrijecedoras com estrutura de suporte, dimensionadas segundo métodos de cálculo racionais e de confiabilidade determinável (SABBATINI, 1989). Este sistema apresenta uma série de aspectos técnicos e econômicos, destacando-se o potencial de racionalização de todas as etapas de construção, por meio da otimização do uso de recursos temporais, materiais e humanos (MEDEIROS, SABBATINI, 1993).

Dentro do sistema de alvenaria estrutural, a alvenaria não-armada de blocos vazados de concreto é a mais promissora, sendo indicada para edificações residenciais com até 12 pavimentos (RAMALHO, CORRÊA, 2003). A restrição de número de pavimentos deve-se, principalmente, à diminuição do fator de eficiência entre o prisma e o bloco de concreto, influenciada pela resistência e pela aderência entre a argamassa de assentamento e a unidade de alvenaria (SCHANKOSKI, 2012). À medida que se eleva o número de pavimentos, as deformações da edificação aumentam consideravelmente e o mecanismo de ruptura da alvenaria é alterado de ruptura por tração transversal nos blocos para ruptura por esmagamento das juntas (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

As argamassas utilizadas neste tipo de sistema de construção, em geral, são as argamassas industrializadas. A homogeneidade e o controle de qualidade são vantagens técnicas dessas argamassas, tanto no acerto da composição como na qualidade dos insumos empregados. Estas características são importantes, pois eliminam a necessidade de correções, adaptações e outras intervenções feitas na obra (PIAZZA, 2012). Por ser um material essencial na constituição da alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, a argamassa de assentamento precisa estar com as propriedades adequadas para atender às funções de juntas de argamassa em paredes de alvenaria e, simultaneamente, obter o fator de eficiência acima de 70%, valor este considerado viável na utilização em edificações de alvenaria não-armada de blocos vazados de concreto (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

Alguns estudos já foram realizados para avaliar o comportamento de diferentes argamassas em prismas de blocos de concretos, como os realizados por Schankoski (2012) e Matos (2013). Estes estudos, entretanto, concluíram que as argamassas avaliadas não obtiveram um desempenho satisfatório para edifícios altos, devido principalmente à queda do fator de eficiência. Por este motivo, este trabalho propõe um estudo do uso de uma argamassa industrializada ensacada, a qual apresenta uma formulação com pozolana e cal hidratada, que poderão melhorar as propriedades da mistura para assentamento em alvenaria estrutural. Assim, foram avaliadas argamassas de diferentes resistências e verificada sua influência nas propriedades mecânicas de prismas de blocos de concreto, visando a avaliação do desempenho desta argamassa industrializada no assentamento de blocos de concreto de alvenaria estrutural.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral verificar o desempenho de argamassas industrializadas ensacadas de diferentes resistências nominais em prismas de blocos de concreto para alvenaria estrutural de resistências compatíveis com as argamassas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Avaliar as propriedades das argamassas de assentamento industrializadas com resistências nominais de 4 MPa, 7 MPa, 10 MPa e 14 MPa e dos blocos de concreto com resistência característica nominal (f_{bk}) de 4 MPa, 6 MPa, 8 MPa e 12 MPa;
- b) Avaliar as resistências à compressão e à tração na flexão, o módulo de deformação, o fator de eficiência e o mecanismo de ruptura dos prismas, aos 28 e aos 90 dias de idade;
- c) Determinar a resistência das juntas de assentamento da alvenaria estrutural, por meio de ensaio de cravação pneumática de pino; e
- d) Comparar o desempenho dos prismas produzidos com os resultados apresentados na literatura.

2 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria é o conjunto de unidades justapostas, unidas em sua interface por uma argamassa apropriada, formando um elemento coeso, o qual é utilizado para vedar e resistir a cargas (TAUIL, NESE, 2010), podendo ter ou não função estrutural. Quando a alvenaria atua estruturalmente, de forma a substituir os pilares e as vigas dos sistemas tradicionais, obtém-se o sistema construtivo de alvenaria estrutural. Neste sistema, as paredes são elementos portantes, compostos por unidades de alvenaria, unidos por juntas de argamassa capazes de resistirem a outras cargas, além do seu peso próprio (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003). É um sistema construtivo completo, mas necessita de materiais adequados, perfeita integração entre os projetos e um cuidado especial na sua execução. Como a estrutura é a própria alvenaria, o processo de execução deve ser detalhado, compatibilizado à utilização de produtos normatizados confiáveis e de mão de obra qualificada (TAUIL, NESE, 2010).

O principal conceito estrutural ligado à utilização da alvenaria estrutural é a transmissão de ações por meio de tensões de compressão. Existem tensões de tração em determinadas peças, entretanto é esperado que estas tensões se restrinjam a pontos específicos da estrutura, além de não apresentarem valores muito elevados. Do contrário, a estrutura poderá ser tecnicamente viável, mas dificilmente será economicamente adequada (RAMALHO, CORRÊA, 2008).

Tais transmissões de ações, segundo a NBR 15961-1 (ABNT, 2011), são dimensionadas por meio de cálculos racionais, que devem ser realizados considerando-se o equilíbrio de cada um dos seus elementos e da estrutura como um todo, bem como o caminho descrito pelas ações, de modo a receber todas as influências ambientais e ações que sobre ela produzam efeitos. Com a realização deste dimensionamento, é possível verificar por qual elemento citado abaixo a edificação será projetada:

- a) **Elemento de alvenaria não armado:** estrutura suficientemente elaborada de alvenaria, constituída da reunião de dois ou mais componentes, na qual não há armadura dimensionada para resistir aos esforços solicitantes;
- b) **Elemento de alvenaria armado:** estrutura suficientemente elaborada de alvenaria, constituída da reunião de dois ou mais componentes, na

qual são utilizadas armaduras passivas que são consideradas para resistir aos esforços solicitantes;

- c) **Elemento de alvenaria protendido:** estrutura suficientemente elaborada de alvenaria, constituída da reunião de dois ou mais componentes, na qual são utilizadas armaduras ativas dimensionadas para resistir aos esforços solicitantes.

Em qualquer uma destas três estruturas citadas, pode ser utilizado graute. A NBR 15961-1 (ABNT, 2011), p.10, conceitua graute como “o componente utilizado para preenchimento dos espaços vazios dos blocos, com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente”. Segundo Calçada (1998), graute pode ser definido como um microconcreto de alta fluidez que permite preencher completamente os vazados dos blocos sem que haja segregação.

O foco deste trabalho é dado no elemento de alvenaria não armado, o qual precisa resistir a quatro tipos de esforços: compressão, cisalhamento, flexão no plano e flexão fora do plano da alvenaria. Segundo Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), a solicitação de compressão provém do peso próprio e das cargas acidentais e gera tensões importantes na alvenaria. Geralmente esta solicitação define o conjunto bloco-argamassa a ser utilizado na confecção das paredes. A solicitação de cisalhamento ocorre devido a cargas laterais, como o vento. A solicitação de flexão no plano acontece devido à transmissão de esforços nas paredes por meio das lajes e a solicitação de flexão fora do plano ocorre nas paredes externas, onde há esforços transversais do vento ou empuxo de terra.

Os esforços recaem sobre a alvenaria, que precisa resisti-los. Cada componente da alvenaria recebe esforços, porém, como os componentes são de materiais diferentes, reagem de forma diferente para cada solicitação, pois possuem propriedades mecânicas distintas. Logo, para determinar o desempenho da alvenaria é preciso compreender as propriedades de cada material constituinte e verificar seu comportamento quando empregados em conjunto, pois este estudo é determinante para se alcançar o desempenho final satisfatório da parede de alvenaria estrutural.

2.1 Componentes da alvenaria estrutural

Segundo a NBR 15961-1 (ABNT, 2011), componente é a menor parte constituinte dos elementos da estrutura. Os principais componentes da alvenaria

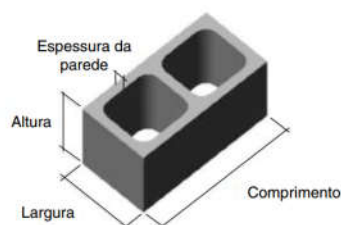
estrutural são as unidades de alvenaria, a junta de argamassa, o graute e a armadura. Estes componentes possuem em suas composições materiais com características mecânicas próprias, responsáveis pela resistência e pelo módulo de elasticidade da alvenaria. Este trabalho, no entanto, abordará somente a interação do conjunto bloco e junta de argamassa, ou seja, abordará a alvenaria estrutural não armada e não grauteada.

Dentre as unidades de alvenaria, destacam-se os blocos cerâmicos, os blocos sílico-calcário e os blocos de concreto. Os blocos cerâmicos apresentam boas resistências, porém demonstram uma razão entre a resistência a compressão do prisma e a do bloco (fator de eficiência) inferiores a 60%. Segundo Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), este fator de eficiência baixo pode ser explicado pela geometria destes blocos, como o formato, a conicidade dos furos e a espessura das paredes. Além disso, os blocos cerâmicos podem apresentar mais facilmente, em virtude da característica de sua matéria prima, alterações em suas dimensões na fabricação, resultando em pequenas diferenças no acabamento superficial. Os blocos sílico-calcário não são utilizados de forma generalizada no Brasil, pois os materiais para sua composição e seu sistema construtivo não estão disponíveis em todas as regiões do país, tornando inviável a execução da alvenaria estrutural em locais distantes da sua produção pelo alto custo envolvido.

Os blocos de concreto são os mais utilizados, por haver materiais constituintes disponíveis em todo o país, possuir alta precisão nas dimensões dos blocos durante a fabricação e por possuir um módulo de elasticidade similar ao da junta de argamassa, aproximando a resistência da alvenaria à do bloco (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003; RAMALHO, CORRÊA, 2008).

2.1.1 Blocos de Concreto

O Bloco vazado de concreto simples é o componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida deve ser igual ou inferior a 75 % da área bruta, NBR 6136 (ABNT, 2016), conforme Figura 1.

Figura 1 – Bloco vazado de concreto

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2016).

Segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016), a área líquida corresponde à área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontadas as áreas médias dos vazios. Já a área bruta é a área da seção perpendicular aos eixos dos furos, porém sem o desconto das áreas dos vazios.

O bloco é o componente básico da alvenaria estrutural. É o principal responsável pela definição das características resistentes da estrutura (RAMALHO, CORRÊA, 2008). Por isso, os blocos devem ser fabricados e executados atendendo a todos os requisitos da norma brasileira.

Os blocos de concreto são elementos vibroprensados, constituídos de uma mistura de cimento Portland, agregados e água, os quais devem apresentar aspecto homogêneo e compacto. Além disso, devem possuir arestas vivas, sem trincas e textura adequada à aderência de revestimentos (MANZIONE, 2004). Segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016), os blocos de concreto são classificados em Classe A, B e C e devem atender a requisitos físicos e mecânicos específicos, no que diz respeito à resistência característica à compressão axial, à absorção de água e à retração linear, devido à secagem do material, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração para blocos de concreto

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial ^a (MPa)	Absorção %				Retração ^d %
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$			

^a Blocos fabricados com agregado leve (ver definição na NBR 9935).
^b Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na NBR 9935).
^c Blocos fabricados com agregado leve (ver definição na NBR 9935).
^d Ensaio facultativo.

Fonte: Adaptado de NBR 6136 (ABNT, 2016).

Ainda de acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2016), quando da utilização abaixo do nível do solo, mesmo que não tenham função estrutural, os blocos de concreto deverão ser Classe A. Admite-se o uso de blocos Classe C com função estrutural em edificações de até cinco pavimentos, dependendo da largura do pavimento.

A resistência à compressão é a “relação entre a carga de ruptura e a área bruta do corpo de prova quando submetido ao ensaio de compressão axial”, conforme NBR 12118 (ABNT, 2013), p.7. Ela indica a qualidade do concreto com relação à dosagem e aos insumos, à eficiência na prensagem, cura e idade dos blocos de concreto. Essa propriedade do concreto relaciona-se à segurança e à estabilidade estrutural.

A absorção de água, segundo a NBR 12118 (ABNT, 2013), p.7, é a “relação entre a massa de água contida no bloco saturado e a massa do bloco seco em estufa até constância da massa, expressa em porcentagem”. Ela indica a quantidade de vazios e consequente durabilidade do bloco. O limite de absorção de água, estabelecido pela norma, se dá pela facilidade do bloco em absorver água da argamassa e dificultar, por isso, a aderência entre os materiais (CALÇADA, 1998). Ainda, segundo a mesma autora, a retração indica o quanto um bloco pode se retrair por perder umidade. Esta retração pode provocar fissuras na alvenaria e diminuir sua vida útil.

Uma observação sobre os requisitos da norma sobre absorção de água é que ela não especifica uma absorção mínima para a utilização do bloco. Os blocos de concreto com absorção de água muito baixa podem prejudicar a aderência entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto (CASALI, 2008). Nestas condições, os blocos de concreto não promovem o enrijecimento das juntas, causando perturbação nas juntas inferiores da parede, o que acarreta desalinhamentos e desaprumos. Esses blocos de concreto só devem ser especificados em condições especiais, pois exigem o uso de argamassas especiais para promover a aderência (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

Em relação às dimensões, os blocos de concreto podem ser classificados, segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016), em modulares ou não modulares. São blocos modulares aqueles cujas medidas atendem ao módulo básico $2M \times 2M \times 4M$ (largura $\times$ altura $\times$ comprimento), ou seja, com comprimento igual a duas vezes a largura (mais

a junta). A tolerância permitida nas dimensões das paredes é de 1,0 mm. O conjunto desses componentes, os quais interagem modularmente entre si e com outros elementos construtivos são definidos pela norma de família de blocos, podendo constituir-se de bloco inteiro, meio bloco, bloco de amarração, bloco compensador e bloco canaleta. A vantagem de utilizar a família de blocos é a agilidade na execução da alvenaria, através da técnica de coordenação modular, e a eliminação de blocos com medidas especiais, diminuindo o número de blocos de dimensões diferentes na obra e otimizando o tempo de construção (MANZIONE, 2004).

A NBR 6136 (ABNT, 2016) estabelece, também, a menor dimensão do furo dos blocos de concreto. Para blocos de concreto de largura nominal de 140 mm, Classe A e B, a dimensão mínima do furo é de 70 mm e, para blocos de concreto de largura nominal de 190 mm dessas mesmas classes, 110 mm. Além disso, devem possuir mísulas de acomodação com raio mínimo de 40 mm. Esta norma cita ainda que os blocos de alvenaria que se apresentarem aparentes, poderão conter as faces lisas ou com texturas, porém serão admitidas tolerâncias dimensionais maiores para as faces com texturas.

2.1.2 Argamassa de Assentamento

A argamassa é uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou instalação própria”, de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), p.6.

Conforme a finalidade, as argamassas podem ser de assentamento ou revestimento. A argamassa de assentamento, que é o foco deste trabalho, pode ser de três tipos: argamassa para assentamento de alvenaria de vedação, para complementação de alvenaria (encunhamento) e para assentamento de alvenaria estrutural. Esta última é de extrema importância neste estudo e pode ser definida, segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), p. 6, como a “argamassa indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural”.

As argamassas de assentamento são responsáveis por manter a estabilidade do edifício. As juntas de argamassa preenchidas de modo incompleto ou sem uniformidade, podem gerar tensões indesejáveis, provocando diminuição da resistência inicial da parede e fissuração precoce (MEDEIROS, SABBATINI, 1993).

As argamassas de assentamento possuem funções primárias bem definidas em uma parede de alvenaria, segundo Sabbatini (1984), *apud* Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003):

- a) unir solidamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- b) distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos componentes da alvenaria;
- c) absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita; e
- d) selar as juntas contra a penetração de água de chuva.

Para que a argamassa de assentamento tenha a capacidade de prover as funções citadas, ela deve apresentar as seguintes características:

- ter trabalhabilidade 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 das unidades não prejudique as suas funções primárias;
- adquirir rapidamente alguma resistência depois de assentada para resistir a esforços que possam atuar durante a construção;
- desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria da qual faz parte, não devendo, no entanto, ser mais resistente que os componentes que ela une;
- ter adequada aderência aos componentes a fim de que a interface possa resistir a esforços cisalhantes e de tração e prover a alvenaria de juntas estanques à água da chuva;
- ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo; e
- ter suficiente resiliência (baixo módulo de deformação) de maneira a acomodar as deformações intrínsecas (retração na secagem e de origem térmica) e as decorrentes de movimentos estruturais de pequena amplitude da parede de alvenaria, sem fissurar. (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003, p.36).

Para atender a estas características, a argamassa de assentamento precisa que, em sua composição, sejam empregados materiais com propriedades específicas e que seu proporcionamento seja adequado para a aplicação em alvenaria estrutural. Para isso, é fundamental o conhecimento da influência que cada material constituinte da argamassa exerce sobre a mistura. A Tabela 2 apresenta uma síntese da influência dos materiais nas propriedades da argamassa, segundo Sabbatini (1984), *apud* Casali (2008).

Tabela 2 - Influência dos materiais constituintes nas propriedades da argamassa

Estado	Propriedades	Componentes				
		Cimento	Cal	Areia		Água
				Grossa	Fina	
Fresco	Fluidez	+	+	o	o	++
	Plasticidade	+	++	-	+	o
	Coesão	+	++	-	+	o
	Retenção de água	+	++	-	+	o
Endurecido	Resistência de Aderência	++	o	o	o	o
	Extensão de Aderência	-	++	-	+	+
	Durabilidade	-	++	o	o	o
	Resistência à Compressão	++	-	+	-	-
++ indica que influencia fortemente aumentando a propriedade						
+ indica que aumenta - indica que diminui o indica pouca influência						

Fonte: Sabbatini (1984), *apud* Casali (2008).

Estas propriedades serão detalhadas a seguir, para um melhor entendimento de suas características e uma melhor compreensão de sua função na mistura.

2.2 Propriedades da argamassa de assentamento no estado fresco

As seguintes propriedades das argamassas de assentamento no estado fresco serão detalhadas neste trabalho: trabalhabilidade, plasticidade, coesão, consistência, retenção de água, densidade de massa, exsudação, adesão inicial e parâmetros reológicos.

2.2.1 Trabalhabilidade

Para Carasek (2007), a trabalhabilidade é a propriedade, no estado fresco das argamassas, que determina a facilidade com que podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas.

A trabalhabilidade é uma propriedade com conceito subjetivo, a qual deve ser entendida como a maior ou menor facilidade de dispor a argamassa em sua posição final de forma adequada, sem comprometer a execução da obra em termos de rendimento e custo (PIAZZA, 2012).

A trabalhabilidade não pode ser avaliada por uma só característica. Ela é uma combinação de propriedades como consistência, plasticidade e coesão, que dependem, além da forma de aplicação, do tipo e teor de aglomerante, da

granulometria e forma dos grãos e da quantidade de água. Quando adequadamente empregados, facilitam o manuseio e espalhamento da argamassa sobre o bloco, garantem adesão que permite a formação das juntas verticais, mantêm a consistência durante um intervalo razoável de tempo e estabelecem coesão da argamassa, além de manterem a espessura da junta mesmo após a confecção das fiadas subsequentes (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

2.2.2 Plasticidade

Para Carasek (2007), a plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a manter-se deformada após a retirada ou alívio das tensões de deformação. A plasticidade é influenciada pelo teor de finos presentes na mistura, ou seja, com presença de partículas menores que 0,075 mm. Uma argamassa com aditivo plastificante é considerada rica em plasticidade se contiver mais de 20% de finos e pobre, com menos de 10%. Já uma argamassa sem aditivo plastificante é considerada rica em plasticidade se contiver mais de 25% de finos e pobre, com menos de 15%. Outro fator que influencia no índice de plasticidade é o teor de cal na mistura. (CARASEK, 2007).

2.2.3 Coesão

A coesão refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante (CARASEK, 2007). Ela é importante na execução do assentamento das fiadas, para que a argamassa não segregue e escorra pelas paredes do bloco inferior. Esta propriedade está diretamente ligada ao tipo e teor de finos.

2.2.4 Consistência

A consistência é a maior ou menor facilidade de a argamassa deformar-se sob ação de cargas (CARASEK, 2007). Para Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), é a propriedade que exprime o quão rígida ou mole está a argamassa. Porém, deve-se observar que uma consistência aparentemente adequada não garante, por si só, sua trabalhabilidade, pois, como visto anteriormente, ela depende de outros fatores.

Acrescenta-se que, se o bloco de concreto possuir maior massa e/ou estiver sob superfícies irregulares, a argamassa empregada no assentamento deve apresentar maior consistência, evitando deslocamentos causados pela ação do peso

próprio do bloco ou das fiadas subsequentes (PIAZZA, 2012). Cabe ressaltar que deve ser deixado um tempo superior a 15 minutos do assentamento da fiada inferior para a fiada superior, para que não ocorra uma redução significativa na espessura da junta. (CASALI, 2003).

No Brasil, a determinação do índice de consistência em laboratório é descrita na NBR 13276 (ABNT, 2016). Basicamente, é realizada por meio da mesa consistência (*flow table*). Após a modelagem da argamassa em formato troncônico sobre a mesa, esta é submetida a impactos sucessivos de 30 quedas da mesa de uma altura padrão em 30s, medindo-se, imediatamente após a última queda, o diâmetro do espalhamento da argamassa em duas medidas perpendiculares, em mm, adotando a média das leituras como resultado. Ainda, segundo Lozovey (2018), este ensaio pode medir a plasticidade, visto que o método impõe à argamassa uma deformação por meio de vibração ou choque.

Entretanto, para Casali (2003), o índice de consistência não parece ser adequado para definir a consistência ideal de uma argamassa de assentamento de bloco de concreto. Na prática, este índice não representa a real condição da argamassa em relação à resistência oferecida pelo filete, quando submetido à ação do peso próprio do bloco. Isto ocorre pelo fato deste ensaio não ser capaz de medir a real consistência de uma argamassa, pois o ensaio *flow table* submete a argamassa a esforços dinâmicos, enquanto a propriedade de consistência define a resistência de deformação, quando submetido a uma carga estática.

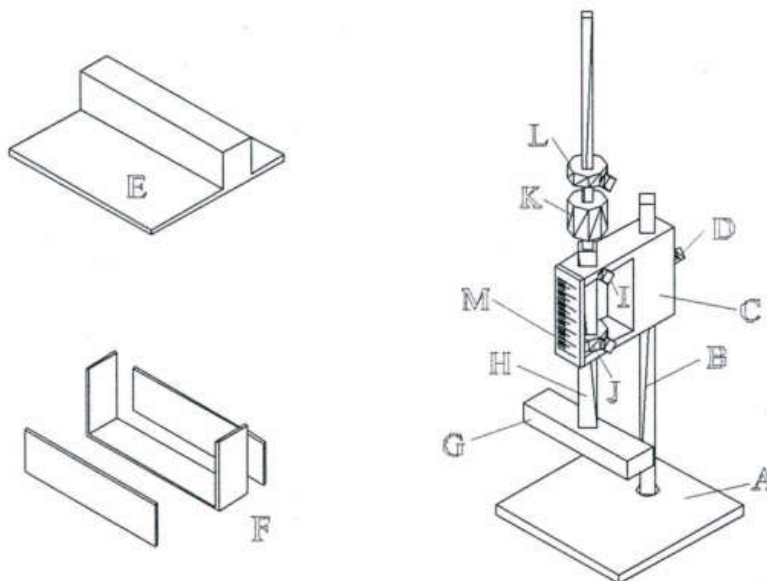
Por este motivo, além do *flow table*, o equipamento empregado para a realização do ensaio de consistência, plasticidade e coesão foi o aparelho GTec Teste, desenvolvido por Casali (2003), que se mostrou simples e eficiente para a determinação de propriedades específicas da argamassa.

O GTec Teste, ilustrado na Figura 2, avalia o comportamento de um filete de argamassa de 2 cm de altura, 2,5 cm de largura e 10 cm de comprimento, submetido a um esforço equivalente ao peso de um bloco de concreto sendo assentado. Além da consistência, obtida através da medida inicial do equipamento (dada por L_0 , correspondente à deformação do filete quando a sonda é liberada estaticamente), o ensaio ainda determina a plasticidade, pela energia despendida para deformar a argamassa até uma junta final de 1 cm (dada por L_n , correspondente ao número de golpes necessários para a junta atingir 1 cm de espessura), e verifica a

coesão, pela ocorrência de seccionamento da argamassa, caso aconteça (CASALI, 2003).

O equipamento utilizado no GTec Teste é o ilustrado na figura 2.

Figura 2 – Equipamento utilizado no GTec Teste



A – Base de suporte	D – Parafuso fixador	G – Base da sonda	J/L – Anel 1/Anel 2
B – Coluna	E – Base do recipiente da argamassa	H – Haste da sonda	K – Massa deslizante da sonda
C – Massa deslizante	F – Recipiente da argamassa	I – Parafuso fixador da sonda	M – Escala de medida profundidade sonda

Fonte: CASALI (2003).

Os valores de L_o para blocos de concreto, segundo Casali (2003), deverão ficar entre 15 e 18 mm. Para Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), os valores de L_n medem a energia necessária para conformar a junta na sua espessura final, ou seja, se correlacionam com a plasticidade da mistura, que se recomenda estar entre 6 a 12 quedas. Ainda, caso haja rompimento antes da junta atingir a espessura final de 1 cm, significa que falta coesão à argamassa (CASALI, 2003). Uma argamassa com características dentro destes parâmetros possui trabalhabilidade satisfatória para que seja aplicada como argamassa de assentamento.

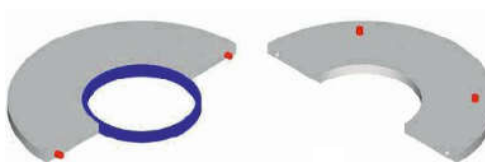
Entretanto, mesmo simulando o processo de assentamento de um bloco de concreto, o GTec Teste não determina, diretamente, a caracterização reológica da argamassa, ou seja, o estudo do fluxo e deformação dos materiais, quando

submetidos a uma determinada tensão em determinado período de tempo (CASALI, 2008).

O método utilizado para a caracterização reológica da argamassa de assentamento foi o *squeeze flow*, que consiste em medir o esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra cilíndrica entre duas placas paralelas, sendo tal esforço empreendido normalmente por uma máquina de ensaio à compressão. Com isso, é possível obter o perfil reológico para argamassa de assentamento (CASALI, 2008).

O equipamento utilizado no *squeeze flow* é o ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Equipamento utilizado no *squeeze flow*



(a)



(b)

a – Molde	b – Punção
-----------	------------

Fonte: NBR 15839 (ABNT, 2010).

2.2.5 Retenção de Água

A retenção de água é a capacidade que a argamassa possui, no seu estado fresco, de manter a água quando exposta a um substrato poroso e/ou absorvente (CASALI, 2008). Como os blocos de concreto são constituídos por materiais absorventes, as argamassas de assentamento precisam possuir uma boa retenção de água, pois, caso contrário, elas irão perder água para o bloco e a hidratação do cimento presente na argamassa não será total. Entretanto, as argamassas de assentamento também não devem possuir uma retenção de água muito elevada, devido, no estado fresco, prejudicar a manutenção da espessura da junta e, no estado

endurecido, comprometer a aderência da argamassa com o bloco de concreto (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

As argamassas devem possuir uma retenção de água mínima de 75%. Entretanto, deve-se ter cuidado com retentividades muito altas, pois, no estado fresco, podem prejudicar a manutenção da espessura da junta e, no estado endurecido, comprometer a aderência da argamassa com o bloco de concreto (CALÇADA, 1998; PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

A retenção de água das argamassas varia de acordo com sua composição, sendo classificadas por Carasek (2007), de menor para maior retenção de água, consecutivamente: argamassas de cimento, argamassas mistas de cimento e cal, argamassas com aditivos incorporadores de ar e argamassas com aditivos retentores de água.

2.2.6 Densidade de Massa

A densidade de massa de uma argamassa varia com o volume de vazios que ela contém e conforme a densidade de massa dos materiais constituintes da mistura. Quanto maior o teor de ar incorporado na argamassa, menor a densidade de massa da mistura. Carasek (2007), classifica as argamassas segundo sua densidade de massa em leve, menor que $1,40 \text{ g/cm}^3$; normal, de $1,40$ a $2,30 \text{ g/cm}^3$; e pesada, maior que $2,30 \text{ g/cm}^3$.

2.2.7 Exsudação

Exsudação é a tendência de separação da água e, consequentemente, da pasta da argamassa, de modo que a água sobe, pelo fato dos agregados descenderem devido ao efeito da gravidade. Este efeito faz com que se altere a homogeneidade da mistura e prejudique o desempenho da argamassa de assentamento. (CARASEK, 2007).

2.2.8 Adesão inicial

Adesão inicial é a união inicial da argamassa no estado fresco ao substrato. A adesão inicial é influenciada pela tensão superficial da argamassa: quanto menor for a tensão superficial, maior será a adesão inicial da argamassa ao bloco de concreto. Logo, a diminuição da tensão superficial da argamassa facilita a argamassa

molhar o substrato, o que aumenta a região de contato entre eles, além de reduzir o ângulo de contato (CASALI, 2008).

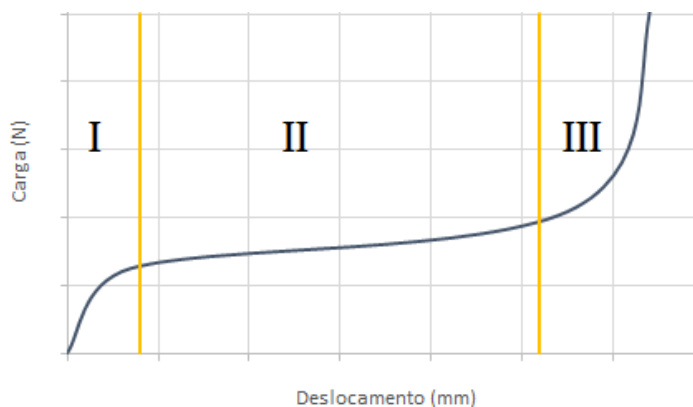
Ainda, segundo essa autora, a adição de alguns materiais pode diminuir a tensão superficial da argamassa, como a cal, os incorporadores de ar e os retentores de água. Essa diminuição é importante, pois uma boa adesão inicial é necessária para que, durante o processo de encabeçamento do bloco para a disposição na fiada, a argamassa se mantenha aderida ao bloco até o posicionamento final.

2.2.9 Caracterização Reológica

Segundo a NBR 15839 (ABNT, 2010), reologia é o comportamento do fluxo e da deformação da matéria, sendo a viscosidade a característica mais relevante. Os parâmetros reológicos da argamassa são determinados pelo método *squeeze flow*, no qual a argamassa é comprimida e deformada geometricamente. De acordo com Cardoso, Pillege e John (2010), esse processo está relacionado com o atrito entre as placas e a argamassa com os mecanismos internos de deformação da mistura. A argamassa sofre cisalhamento interno, sem grande deformação, quando o atrito entre as placas e a argamassa é maior que o atrito interno da argamassa. Quando o atrito interno é maior, a argamassa espalha-se radialmente de forma significativa.

O perfil típico obtido de um ensaio de *squeeze flow* é apresentado no gráfico carga x deslocamento, conforme ilustra o Gráfico 1, apresentando três estágios bem definidos.

Gráfico 1 - Carga x deslocamento *squeeze flow*



Fonte: Adaptado de Cardoso, Pillege e John (2010).

Segundo os autores, no estágio I, a argamassa apresenta deformação elástica linear. No estágio II, a argamassa sofre deformação radial e cisalhamento, apresentando um comportamento plástico. Este estágio apresenta um comportamento que favorece a produtividade na aplicação da argamassa. No estágio III, as forças de atrito são predominantes na argamassa, ocorrendo um aumento exponencial da carga necessária para produzir a sua deformação. Neste estágio a argamassa tem sua aplicação e acabamento dificultados.

2.3 Propriedades da argamassa de assentamento no estado endurecido

As seguintes propriedades das argamassas de assentamento no estado endurecido serão revisadas neste trabalho: aderência, resistência à compressão, módulo de elasticidade e retração.

2.3.1 Resistência de aderência

Para Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), aderência é a capacidade que o bloco/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem se romper. Logo, a aderência não depende somente das características da argamassa, mas também da unidade de alvenaria ao qual irá se ligar, visto que é esta propriedade que ligará a argamassa ao substrato, por meio de contato da pasta com os poros e por ligações atômicas, os quais são responsáveis por manter a parede de alvenaria um conjunto monolítico.

Para Sabbatini (1993), a insuficiência de aderência entre bloco e argamassa pode comprometer todas as propriedades de uma parede de alvenaria. Para ele, além das propriedades intrínseca de cada componente do conjunto, a aderência depende da forma em que é executada a ligação.

De acordo com Carasek (2007), os fatores que exercem influência direta na aderência de argamassas sobre as bases porosas são: a adesão inicial argamassa/bloco, a retenção de água da argamassa, a sucção de água do bloco, a limpeza e preparo da base, a rugosidade/porosidade do substrato, a energia de impacto na execução, a temperatura, a umidade e o vento.

2.3.2 Resistência à Compressão

Para Schankoski (2012), a resistência à compressão é um parâmetro que indica variações da qualidade em relação à dosagem ou insumos de uma argamassa.

Entretanto, a resistência à compressão não é a característica mais importante em uma argamassa, visto que ela precisa de uma boa trabalhabilidade, que está relacionada diretamente com a relação água/insumos.

Sobre as argamassas de assentamento para alvenaria estrutural, Sabbatini (1993) sugere não usar argamassa com resistências maiores que aquela exatamente necessária para propiciar a resistência requerida para a alvenaria, ou seja, a resistência à compressão das argamassas não deve alcançar um valor acima da resistência dos blocos de concreto.

Para Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), o uso de argamassas altamente resistentes pode trazer propriedades indesejadas à argamassa. É inviável uma argamassa com elevada resistência se esta não possuir uma boa aderência e/ou trabalhabilidade. Para se obter uma elevada resistência na mistura, é necessário um consumo elevado de cimento e isso pode causar retração na argamassa e o consequente aparecimento de fissuras na interface argamassa/bloco.

2.3.3 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade está relacionado à deformação. Quanto mais deformável for a unidade, menor será seu módulo de elasticidade e maior o coeficiente de Poisson. Este coeficiente determina que ao mesmo tempo em que as tensões normais provocam deformação em sua direção também o fazem em direções perpendiculares a sua.

Segundo Piazza (2012), o módulo de elasticidade e a deformação estão intimamente ligados. As argamassas devem apresentar um módulo de elasticidade baixo para que adquiram a capacidade de absorver, por deformação, as tensões internas geradas pela movimentação da estrutura e/ou dos materiais que a compõem. A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) estabelece um valor de módulo de deformação máximo de 16GPa para as propriedades de deformação na alvenaria.

Para Piazza (2012), o módulo de elasticidade de um material está correlacionado com sua resistência de compressão. Assim, argamassas com grande deformabilidade (baixo módulo de elasticidade), devem apresentar menores resistências à compressão. O entendimento dessa relação entre resistência mecânica e módulo de elasticidade pode ser utilizado para orientar os processos de dosagem de argamassas com a mínima resistência mecânica necessária, obtendo-se, consequentemente, baixo módulo de elasticidade.

2.3.4 Retração

A retração de uma argamassa é um fenômeno diretamente ligado ao movimento da água no interior da argamassa, ou dela para o exterior, sendo que sua consequência é a fissuração (PIAZZA, 2012). Como a argamassa é formada por aglomerantes minerais, a quantidade de agregado na mistura terá influência sobre a estabilidade de volume, pois a retração é restrita somente à pasta. Logo, a dosagem de uma argamassa deve ser realizada considerando a maior estabilidade de volume possível, para que seja minimizado o aparecimento de retração.

Para Carasek (2007), a retração é resultado de um mecanismo complexo e é fundamental a sua observância no desempenho quanto à estanqueidade e à durabilidade das argamassas aplicadas.

2.4 Tipos de Argamassa

Como visto anteriormente, argamassa é a mistura de uma pasta com agregados miúdos, com ou sem aditivos ou adições. Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), as argamassas podem ser classificadas quanto à natureza, tipo e número de aglomerantes; quanto às propriedades; e quanto às condições de fornecimento e preparo. Neste trabalho, no entanto, somente será explicitada a classificação quanto às condições de fornecimento e preparo, visto que se tem como pressuposto os insumos já selecionados e disponibilizados na obra para o preparo ou utilização direta de argamassa de assentamento.

A classificação quanto às condições de fornecimento e preparo, segundo a norma, é a que segue:

2.4.1 Argamassa preparada em obra

A argamassa preparada em obra é a “argamassa cujos materiais constituintes são medidos e misturados na própria obra”, de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), p.11. Segundo Piazza (2012), estas argamassas podem ser preparadas com cimento e agregados e, quando possuírem além do cimento como aglomerante também a cal, são chamadas argamassas mistas. Estas argamassas são preparadas no próprio canteiro de obras, a partir de proporcionamento estabelecido de materiais aglomerantes, agregados e água, podendo conter aditivos ou adições. Uma das desvantagens neste modo de preparo da argamassa é o descuido na

dosagem dos componentes, comum no canteiro de obras, muitas vezes feito de forma inadequada pelo servente, prejudicando o desempenho final da argamassa no sistema construtivo.

Segundo Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), as normas americanas especificam quatro tipos de argamassas mistas, as quais são classificadas conforme o uso, indicadas Tabela 3.

Tabela 3 – Tipos de argamassas mistas

Tipo de Argamassa	Traço em Volume			Resistência esperada (MPa)	Aplicação em Alvenarias:
	Cimento	Cal	Areia		
M	1	0 – 1/4	*	17,2	Em contato com o Solo
S	1	1/2	*	12,4	Sujeita a Esforços à Flexão
N	1	1	*	5,2	Expostas, mas sem contato solo
O	1	2	*	2,4	Com compressão <0,70MPa

* De 2,25 a 3 vezes o volume do cimento e cal

Fonte: Adaptado de Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003).

Entretanto, esses traços servem apenas como referência e deve sempre ser realizada uma verificação de suas características antes de sua utilização.

2.4.2 Mistura semipronta para argamassa

A mistura semipronta para argamassa é uma particularidade das argamassas preparadas em obras, cuja definição é dada pela NBR 13529 (ABNT, 2013), p.11, como sendo a “mistura fornecida embalada ou a granel, cujo preparo é completado em obra, por adição de aglomerante(s) e, eventualmente, aditivo(s)”. São as argamassas de cal e areia chamadas de “intermediárias ou brancas”, com inserção do cimento Portland na mistura para obtenção das argamassas finais. A proporção de cimento adicionado à mistura vai depender dos diferentes tipos de emprego dessas argamassas, o que determinará as características finais distintas para cada tipo de composição. A qualidade desta argamassa dependerá da qualidade dos insumos empregados, processo de dosagem, da eficiência da mistura e do traço adotado (PIAZZA, 2012).

Segundo este mesmo autor, a mistura semipronta para argamassa apresenta como vantagem o menor custo frente às demais argamassas, porém exigem conhecimento e cuidado no seu emprego.

2.4.3 Argamassa dosada em central

A argamassa dosada em central é a “argamassa cujos materiais constituintes são medidos e misturados em central dosadora, fornecida no estado fresco, pronta para uso”, definição dada pela NBR 13529 (ABNT, 2013), p.11. Estas argamassas são chamadas “argamassas estabilizadas”, as quais são produzidas e fornecidas como o concreto dosado em central. São produzidas, basicamente, com cimento Portland, agregado miúdo, água, aditivo incorporador de ar e aditivo estabilizador de hidratação, podendo conter pozolanas ou cargas minerais sem atividade química significativa. São recebidas na obra pronta para a aplicação (úmida) e podem ser armazenadas por até 72 horas, sem perda de trabalhabilidade e sem que ocorra o início da pega do cimento, em função do teor de aditivo estabilizador de hidratação (PIAZZA, 2012; LOZOVEY, 2018).

Segundo Lozovey (2018), a argamassa estabilizada vai ao encontro à racionalização de sistemas em alvenaria estrutural, pois possui produção industrializada e o risco de erros de dosagem é minimizado. Possuem diversas vantagens como o de controle de qualidade, redução de desperdício na obra, agilidade na execução e manutenção de um canteiro limpo. No entanto, como possui aditivos incorporadores de ar, podem apresentar variações na resistência e perda de trabalhabilidade ao longo do tempo, conforme o tipo de misturador e o tempo de mistura. (LOZOVEY, 2018).

Em suma, as argamassas estabilizadas não são argamassas com características diferentes das tradicionais, apenas possuem a inovação de utilização em um amplo prazo temporal (PIAZZA, 2012).

2.4.4 Argamassa industrializada

A argamassa industrializada é a “argamassa proveniente de processo controlado e dosagem precisa, em instalação industrial, fornecida embalada ou a granel” (NBR 13529 (ABNT, 2013), p.11). Segundo Piazza (2012), são argamassas que chegam à obra necessitando apenas do acréscimo de água para estarem prontas para o uso. O fato de serem fornecidas ensacadas ou a granel, simplifica a estocagem

e permite, quando ensacadas, seu armazenamento próximo ao local de mistura e aplicação e, quando fornecidas a granel, permitem seu transporte por via seca ou úmida, diminuindo o tempo de transporte na obra, bem como aumentando o controle sobre o consumo do material na construção.

As argamassas industrializadas ensacadas, foco deste estudo, são bastante utilizadas nas obras, devido à racionalização do canteiro, garantia da homogeneidade e qualidade do produto. Entretanto, por geralmente possuírem aditivos incorporadores de ar, podem apresentar resistências e trabalhabilidade diferente do esperado, dependendo do tempo de mistura e se ela é manual ou mecânica, mesmo utilizando a quantidade de água recomendada pelo fabricante. Por isso a importância de obter informações junto ao fabricante, relativas à umidade e o tempo de mistura para um determinado tipo de misturador adotado. (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

2.5 Considerações sobre os prismas

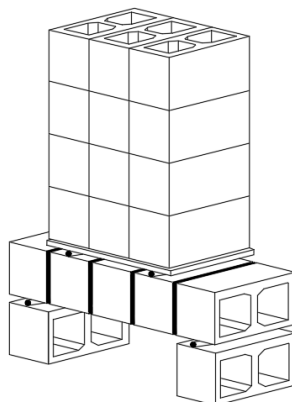
Segundo a NBR 15961-1 (ABNT, 2011), o funcionamento estrutural da alvenaria depende das propriedades elásticas, de expansão térmica, de retração, de fluência e de resistência, os quais, em conjunto, determinam o comportamento da alvenaria. A propriedade de resistência é dividida em resistência à compressão, à tração, ao cisalhamento e aderência. As resistências características da alvenaria estrutural, de acordo com a NBR 15961-1 (ABNT, 2011), devem ser determinadas com base no ensaio de paredes ou serem estimadas como 70% da resistência característica de compressão do prisma ou, ainda, 85% da resistência de pequena parede.

Neste trabalho, foram considerados, para a determinação das resistências características e das propriedades elásticas, os ensaios de prismas. Algumas considerações são importantes em relação a estes ensaios.

2.5.1 Resistência à tração na flexão de prismas

A NBR 15961-2 (ABNT, 2011) cita que cada corpo de prova é um prisma, constituído de 5 blocos sobrepostos, colocados horizontalmente sobre dois roletes de aço, carregados com outros blocos, conforme ilustrado na Figura 4.

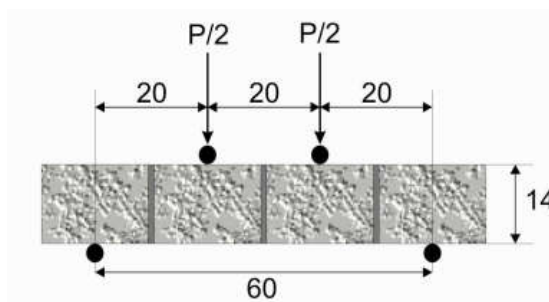
Figura 4 - Resistência à tração na flexão de prismas – 5 blocos



Fonte: Adaptado de NBR 15961-2 (ABNT, 2011).

Entretanto, vários autores como Medeiros e Sabbatini (1993), Casali (2008) e Matos (2013), concordam que este ensaio, que também é utilizado para avaliação da resistência de aderência na flexão, deva ser realizado com a utilização de prismas de alvenaria com 4 blocos de concreto, submetidos à flexão em 4 pontos, ao invés de 5 blocos, como referencia a norma brasileira. A configuração do ensaio do prisma com 4 blocos de concreto está verificada na Figura 5, obtida de Casali (2008).

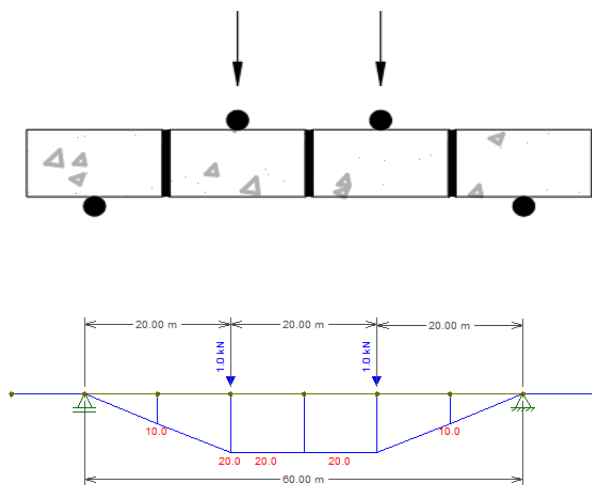
Figura 5 - Esforços no prisma – 4 blocos



Fonte: CASALI (2008).

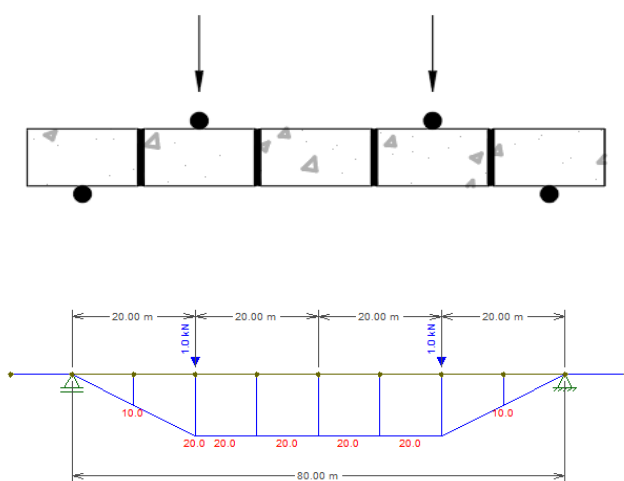
A escolha por este método é baseada em normas americanas e tem como argumento que, ao se utilizar 4 blocos de concreto, o momento máximo atua apenas nos dois blocos centrais do prisma, onde está a junta de argamassa a ser avaliada, enquanto que, ao ensaiar o prisma de 5 blocos, o momento máximo começa a atuar na metade do bloco anterior e continua atuando até metade do bloco posterior, sobrecarregando a junta avaliada, conforme momentos fletores causados por forças de 1 kN escolhidas apenas para ilustração e para fins didáticos, das Figuras 6 e 7.

Figura 6 - Momentos fletores no prisma – 4 blocos



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 7 - Momentos fletores no prisma – 5 blocos



Fonte: Elaboração própria (2019).

Além disso, no prisma de cinco fiadas existe esforço cortante na junta, o que não ocorre no prisma de quatro fiadas.

2.5.2 Resistência à compressão de prismas

A NBR 15961-2 (ABNT, 2011) cita que cada corpo de prova é um prisma, constituído de 2 blocos principais sobrepostos. Entretanto, para Steil (2003), prismas com relação altura/espessura baixa, apresentam o efeito de confinamento, provocado pelos pratos da prensa, alterando a distribuição de tensões ao longo do prisma e mudando o seu mecanismo de ruptura (cisalhamento). Prismas com maiores relações altura/espessura, mantêm a ruptura com fissuração vertical, típica de um estado triaxial, sendo mais interessante realizar o ensaio com 3 blocos principais sobrepostos.

2.5.3 Módulo de deformação

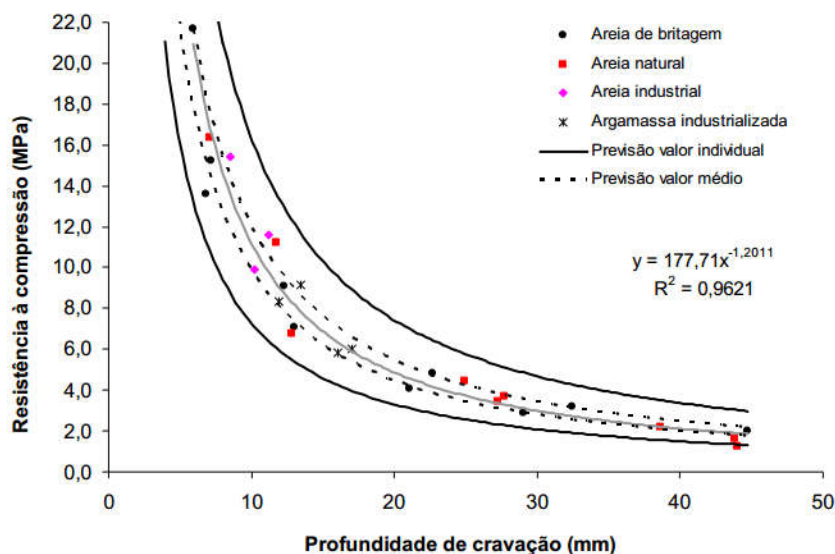
Segundo a NBR 15961-2 (ABNT, 2011), o módulo de deformação (E_p) pode ser obtido durante o ensaio de resistência à compressão. Este módulo deve ser calculado no intervalo correspondente à curva secante de tensão x deformação entre 0,5 MPa e 30% da tensão de ruptura de cada corpo de prova.

2.5.4 Avaliação da resistência da junta de argamassa

A maioria dos métodos de avaliação da resistência da junta de argamassa funciona apenas para argamassas com resistência à compressão menor que 4 MPa, além de não serem práticos para uso em campo (Oliveira *et al.*, 2012). Um método desenvolvido por Casali, Weidmann e Prudêncio Jr. (2005) propõe uma avaliação indireta da resistência à compressão das juntas, através da profundidade de cravação de pinos. Este é um método de ensaio não destrutivo que se apresenta prático e rápido para avaliar a resistência da junta de argamassa no prisma, permitindo, inclusive, a variação da energia de cravação aplicada, dependendo do nível de resistência da argamassa.

Oliveira *et al.* (2012) propôs a curva de correlação entre a profundidade de cravação de pinos e a resistência à compressão das argamassas apresentada na Figura 8, válida para pressão de trabalho de 0,41 MPa (60psi) e pinos T-45.

Figura 8 - Curva de correlação entre a profundidade de cravação de pinos e a resistência à compressão das argamassas



Fonte: OLIVEIRA *et al.* (2012).

2.6 Pesquisas existentes

Segundo Matos (2013), a capacidade resistente da alvenaria não depende apenas da resistência mecânica dos materiais constituintes, mas de um conjunto de fatores que implica no desempenho da alvenaria. Dentre eles, o fator de eficiência é determinante para um desempenho satisfatório da alvenaria estrutural.

Alguns estudos já foram realizados entre as resistências à compressão dos blocos de concreto e os prismas. Essa relação é chamada de fator de eficiência. Segundo Oliveira *et al.* (2003), considera-se adequado, para alvenaria estrutural de blocos de concreto, um fator de eficiência igual ou maior a 70%. Dentre os estudos realizados, pode-se verificar os valores de fatores de eficiência de alguns autores, na Tabela 4.

Tabela 4 - Fator de eficiência de prismas de blocos de concreto

Autores	Tipo de argamassa	Resistência nominal dos blocos dos prismas (MPa)	Fator de Eficiência (%)	Mecanismo de Ruptura
Lozovey (2018)	Estabilizada	4 a 14	45 a 70	Esmagamento da junta/tração no bloco
Matos (2013)	Estabilizada	6 a 14	29 a 69	Esmagamento da junta
Schankoski (2012)	Industrializada	6 e 16	43 a 62	Esmagamento da junta
	Mista	6 e 16	70 a 80	Tração no bloco
Steil (2003)	Industrializada	6	57 a 77	Esmagamento da junta
	Mista	6	75 a 96	Tração no bloco
Calçada (1998)	Mista	6	85 a 99	Tração no bloco

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Os menores fatores de eficiência foram encontrados, em praticamente todos os casos, nos prismas de elevadas resistências nominais dos blocos de concreto. Percebe-se também que, em todos os casos, o maior fator de eficiência encontrado, em cada ensaio, foi nos prismas que obtiveram mecanismo de ruptura por tração no bloco.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Alguns estudos já foram realizados para avaliar o comportamento de diferentes argamassas em prismas de blocos de concretos, como os realizados por Schankoski (2012) e Matos (2013). O objetivo desses estudos era o de verificar o desempenho das argamassas no assentamento de alvenaria estrutural de bloco vazado de concreto não armado. Entretanto, as argamassas avaliadas não chegaram a um desempenho satisfatório para todas as resistências de argamassa estudadas.

Neste contexto, e no intuito de avaliar o desempenho de argamassa industrializada ensacada para assentamento de alvenaria estrutural de bloco de concreto, uma vez que é um material essencial na composição da alvenaria estrutural, este trabalho analisou a interação entre a referida argamassa e o bloco de concreto no conjunto monolítico de prismas. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Solos e Tecnologia dos Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Cabe ressaltar que a argamassa industrializada ensacada analisada neste trabalho possui o diferencial de conter em sua formulação pozolana e cal hidratada e, a intenção deste programa experimental foi de verificar o desempenho dessas argamassas para a viabilidade do emprego para assentamento de paredes de alvenaria estrutural na indústria da construção civil, verificando sua influência nas propriedades físicas e mecânicas de prismas de blocos de concreto.

Nos itens a seguir, será descrita a condição ambiental que foram realizados os ensaios e serão especificados os materiais e os métodos que foram utilizados para alcançar o objetivo deste trabalho.

3.1 Condições Ambientais

As condições ambientais utilizadas para este experimento foram as do Laboratório de Solos e Tecnologia dos Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Florianópolis. Apesar de não apresentar as condições indicadas pela NBR 13277 (ABNT, 2005), NBR 15259 (ABNT, 2005), entre outras, que estabelece uma temperatura de ar de ambientes laboratoriais de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar de 60 ± 5 %, é o ambiente mais favorável disponível para a realização dos ensaios, chegando à temperatura e à umidade do ar próximas à mencionada.

3.2 Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho foram os blocos de concreto e as argamassas industrializadas, que serão descritos nos itens 3.2.1 e 3.2.2. Estes materiais possuem informações de suas características fornecidas pelos respectivos fabricantes; no entanto, também foram caracterizados através de ensaios realizados no Laboratório de solos e tecnologia dos materiais do IFSC para avaliação comparativa.

Os blocos de concreto e as argamassas industrializadas possuem quatro resistências cada, as quais foram compatibilizadas entre si para que estivessem em condições de se obter o melhor desempenho no conjunto monolítico final, verificado por meio da análise dos ensaios dos prismas propriamente ditos.

3.2.1 Blocos de Concreto

Os blocos de concreto estruturais utilizados para a realização deste trabalho foram cedidos por uma fábrica de Blumenau, Santa Catarina, os quais possuíam resistências características nominais (f_{bk}) de 4 MPa, 6 MPa, 8 MPa e 12 MPa, e são classificados, segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016), como Classe B, os dois primeiros, e Classe A, os dois últimos. As resistências à compressão dos blocos de concreto foram escolhidas em função da compatibilidade de resistência com as formulações das argamassas empregadas neste trabalho. Suas dimensões nominais, conforme especificado na NBR 6136 (ABNT, 2016), são de 14 x 19 x 39 cm (largura x altura x comprimento), constituídos por paredes com espessura de, aproximadamente, 2,5 cm.

Os blocos de concreto foram ensaiados e caracterizados pela empresa, conforme Anexo A deste trabalho. Ainda assim, foi realizada a caracterização em laboratório destes blocos para comparação com os valores de resistência nominal especificados pelo fabricante.

3.2.2 Argamassa industrializada

As argamassas industrializadas foram obtidas ensacadas por uma fábrica de Almirante Tamandaré, Paraná, as quais possuem resistência à compressão nominal de 4 MPa, 7 MPa, 10 MPa e 14 MPa, sendo fornecidos quatro sacos de 20 kg para cada formulação. A constituição da argamassa e sua proporção não foram

divulgadas pelo fabricante. A informação prestada é que a argamassa de assentamento de alvenaria estrutural apresenta uma formulação com pozolana e cal hidratada, fazendo com que a argamassa adquira um teor de sílica reativa (SiO_2). Esta reage com hidróxido de cálcio, resultando em silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), que aumentam a resistência mecânica da argamassa. Esta formulação, segundo o fabricante, é o que confere às suas argamassas o diferencial no mercado da construção civil.

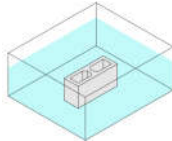
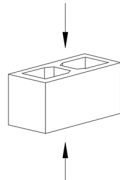
É importante salientar que, apesar das argamassas possuírem resistências distintas, todas são constituídas com a mesma matéria prima, sendo alteradas, apenas, a proporção dos materiais e a quantidade de água necessária posteriormente na mistura.

Foi realizada a caracterização em laboratório destas argamassas para comparação aos valores de resistência nominal especificados, de acordo com a quantidade de água na mistura ideal identificada pelo aparelho GTec Teste, bem como para verificação das propriedades no estado fresco e endurecido, conforme item 3.3.2 deste trabalho.

3.3 Métodos

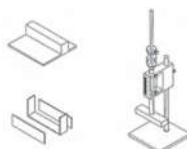
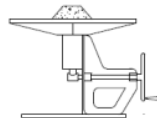
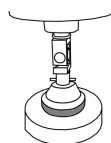
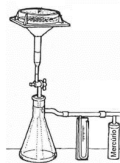
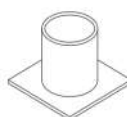
O programa experimental foi elaborado com ensaios nos Blocos de Concreto, nas Argamassas Industrializadas e nos Prismas, os quais estão descritos nas Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 - Tabela Resumo do programa experimental - Ensaio dos Blocos

Objeto Avaliado	Ensaio	Ilustração	Propriedade(s) Avaliada(s)
Blocos	Absorção NBR 12118:2013		Absorção de Água
	Resistência à compressão NBR 12118:2013		Resistência à compressão do bloco

Fonte: Elaboração própria (2019).

Tabela 6 - Resumo do programa experimental - Ensaio das Argamassas

Objeto Avaliado		Ensaio	Ilustração	Propriedade(s) Avaliada(s)
Argamassas	Estado Fresco	Gtec Teste Casali (2003)		Consistência, Plasticidade e Coesão
		Flow Table NBR 13276:2016		Consistência
		Squeeze Flow NBR 15839:2010		Parâmetros reológicos
		Retenção de água NBR 13277:2005		Retenção de água
		Densidade de Massa NBR 13278:2005		Densidade de massa

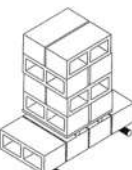
Fonte: Elaboração própria (2019).

Tabela 6.1 – Continuação - Resumo do programa experimental - Ensaio das Argamassas

Objeto Avaliado		Ensaio	Ilustração	Propriedade(s) Avaliada(s)
Argamassas	Estado Endurecido	Resistência à compressão NBR 7215:2019		Resistência à compressão
		Módulo de elasticidade NBR 8522:2017		Deformação

Fonte: Elaboração própria (2019).

Tabela 7 - Resumo do programa experimental - Ensaio dos Prismas

Objeto Avaliado		Ensaio	Ilustração	Propriedade(s) Avaliada(s)
Prismas		Resistência à tração na flexão NBR 15961-2:2011		Resistência à tração na flexão e aderência
		Resistência à compressão NBR 15961-2:2011		Resistência à compressão
		Módulo de deformação NBR 15961-2:2011		Deformação
		Cravação de Pinos Oliveira <i>et al.</i> (2012)		Resistência da junta da argamassa

Fonte: Elaboração própria (2019).

Os métodos que foram realizados para cada ensaio mencionado acima, são descritos nos itens que seguem.

3.3.1 Blocos de Concreto

Os blocos de concreto foram ensaiados no intuito de se determinar as características individuais iniciais, para posterior avaliação de seu desempenho no prisma. As características verificadas para os blocos de concreto neste experimento foram a absorção de água e a resistência à compressão.

a) Absorção de Água

O método utilizado para a determinação de absorção de água dos blocos de concreto, foi o especificado na NBR 12118 (ABNT, 2013), conforme Figura 9.

Figura 9 - Absorção de água dos prismas



Fonte: Elaboração própria (2019).

Foram ensaiados 3 blocos de concreto para cada resistência estudada (4 MPa, 6 MPa, 8 MPa e 12 MPa), totalizando 12 ensaios.

Inicialmente os blocos de concreto foram secos em estufa, à temperatura de 110 ± 5 °C e deixados nessa condição por 24h. Após, determinou-se a massa do bloco seco. Então, foram resfriados ao ar até a temperatura ambiente e imersos em um recipiente com água à temperatura 23 ± 5 °C, mantendo-os imersos por 24h. Após esse período, foram pesados na condição de saturado com superfície seca.

Após a realização dos ensaios, foi calculado o valor da absorção de água de cada bloco pela equação 1.

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

a é a absorção total, expressa em porcentagem;

m_1 é a massa seca; e

m_2 é a massa saturada.

b) Resistência à compressão

O método utilizado para a determinação da resistência à compressão dos blocos de concreto foi o especificado na NBR 12118 (ABNT, 2013), conforme Figura 10.

Figura 10 - Determinação da resistência à compressão



Fonte: Elaboração própria (2019).

Para este ensaio, foi realizado o capeamento do bloco com pasta de cimento em superfície rígida (mesa de vidro), evitando deformações durante a operação de capeamento. Durante o capeamento, foi obedecida a tolerância máxima de $\pm 5\%$ de perpendicularidade entre as faces laterais do bloco e a referida superfície. A espessura não excedeu 3 mm.

O ensaio de resistência à compressão do bloco de concreto foi realizado imediatamente antes do rompimento dos prismas de idade de 28 dias, para que fosse

garantida a real resistência do bloco de concreto no momento da ruptura, para que se pudesse ter um resultado mais fidedigno do fator de eficiência entre o bloco de concreto e o prisma. O valor estimado da resistência característica à compressão da amostra ($f_{bk,est}$) foi calculado conforme a NBR 6136 (ABNT, 2016), a partir da Equação 2.

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b1} + f_{b2} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{bi} \quad (2)$$

Sendo:

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

$i = (n-1)/2$, se n for ímpar.

Onde:

$f_{bk,est}$ é a resistência característica estimada da amostra (MPa);

$f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bi}$ são os valores de resistência à compressão individuais dos corpos de prova, ordenados crescentemente; e

n é a quantidade de blocos da amostra.

Foram ensaiados 9 blocos de concreto para cada resistência nominal estudada, totalizando 36 ensaios. A resistência individual é a resistência de cada corpo de prova. A resistência média é a média das nove resistências ensaiadas à compressão, arredondado ao centésimo mais próximo. O desvio absoluto, é a diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média.

3.3.2 Argamassa Industrializada

As argamassas industrializadas foram ensaiadas no intuito de se determinar as características individuais iniciais, para posterior avaliação de seu desempenho no prisma. Foram realizados os seguintes ensaios de caracterização dessas argamassas:

3.3.2.1 Propriedade da argamassa no estado fresco

As argamassas foram produzidas em betoneira de eixo inclinado com capacidade nominal da cuba de 120 litros, sendo que a quantidade de água de cada

formulação foi definida utilizando-se o GTec Teste (Figura 2 deste trabalho), para assentamento com meia desempenadeira (raspadeira), isto é, deformação inicial de 15 a 18 mm, e número de golpes entre 6 e 12.

a) Consistência, Plasticidade e Coesão

Além de definir a quantidade de água para cada formulação, o GTec Teste, foi utilizado para verificar a consistência, a plasticidade e a coesão da argamassa, sendo utilizado seguindo o orientado por Casali (2003) e a Figura 11 deste trabalho:

- 1) Posicionou-se a base E sobre a base do suporte A;
- 2) Sobre a saliência da base E, apoiou-se o recipiente F;
- 3) Soltou-se o parafuso I e apoiou a base da sonda G sobre o fundo do recipiente F;
- 4) Deslizou-se o anel 1 (J) sobre a sonda e o fixou na posição correspondente ao zero da escala M;
- 5) Suspendeu-se a sonda e a fixou com o parafuso I em uma altura tal que a sua base ficasse acima do topo do recipiente F;
- 6) Retirou-se, do aparelho, o recipiente F e o apoiou sobre uma bancada;
- 7) Transferiu-se o recipiente F do topo da saliência da base E para uma posição adjacente;
- 8) Posicionou-se as laterais do recipiente F e o preencheu com a argamassa com o auxílio de uma espátula;
- 9) Acomodou-se a argamassa no recipiente F, homogeneizando o material com a lâmina da espátula e eliminando vazios de ar aprisionado (sugerido pela autora realizar 10 golpes com espátula);
- 10) Fez-se a rasadura da argamassa alinhando seu topo com o topo das laterais;
- 11) Alinhou-se o topo da saliência da base E com a base da sonda G;
- 12) Posicionou-se o recipiente F com suas laterais sobre a saliência da base E;
- 13) Retirou-se as laterais do recipiente F, deslizando-as para baixo, pois não existe restrição de movimento neste sentido no momento do assentamento;

- 14) Soltou-se o parafuso I, apoiando e soltando a base da sonda sobre o filete de argamassa, determinando a espessura resultante do filete (L_0);
- 15) Suspendeu-se a massa deslizante K até a altura limitada pelo anel 2 (L) (sugerido pela autora uma altura de 5cm);
- 16) Foi solta em queda livre a massa K e medida a nova espessura do filete (L_i);
- 17) Repetiu-se os passos “15” e “16” anotando as leituras $L_2, L_3, \dots, L_i, \dots, L_n$ onde n foi o número de golpes necessários para o filete atingir 1 cm de espessura, sendo registrado a quantidade de golpes (i) onde ocorreu o desprendimento das rebarbas do filete.

Foram ensaiadas 4 argamassas, sendo 1 para cada resistência nominal estudada (4 MPa, 7 MPa, 10 MPa e 14 MPa).

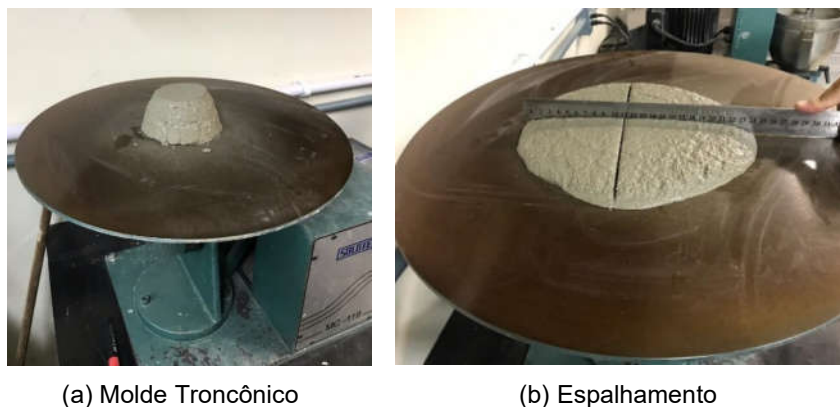
Figura 11 - GTec Teste



Fonte: Elaboração própria (2019).

Para a determinação do índice de consistência, também foi utilizado o método de espalhamento da argamassa na mesa de abatimento (*flow table*). Este ensaio foi realizado conforme NBR 13276 (ABNT, 2016). Após a preparação da argamassa e a retirada do molde troncônico, foram efetuadas 30 quedas em 30 segundos e medido o espalhamento da argamassa, conforme Figura 12.

Figura 12 – Ensaio *flow table*



(a) Molde Troncônico

(b) Espalhamento

Fonte: Elaboração própria (2019).

b) Parâmetros Reológicos

Para a determinação dos parâmetros reológicos, foi utilizado o ensaio *squeeze flow*, no qual foi medido o esforço à compressão uniaxial de amostras cilíndricas de 10 mm e 20 mm entre duas placas paralelas. As amostras de 10 mm são as recomendadas pela norma e, as de 20mm, foram realizadas para simular a junta de argamassa. O ensaio foi realizado, seguindo o orientado pela NBR 15839 (ABNT, 2010), conforme Figura 13, porém a velocidade de deslocamento executada foi apenas a de 3,0 mm/s.

Figura 13 - Ensaio do *squeeze flow*



(a) Preparação

(b) Colocação na Prensa

(c) Ensaio

Fonte: Elaboração própria (2019).

c) Retenção de água

Para o ensaio de retenção de água da argamassa, foi seguido o preconizado na NBR 13277 (ABNT, 2005), utilizando o funil de Buchner modificado com bomba de vácuo, Figura 14. Foi aplicado neste conjunto uma sucção de 51mm de mercúrio durante 15 min. Em seguida, foi calculada a retenção de água Ra através das Equações 3 e 4.

$$Ra = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF \times (m_a - m_v)} \right] \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (4)$$

Onde:

m_a é a massa do conjunto com argamassa (g);

m_s é a massa do conjunto após a sucção (g);

m_v é a massa do conjunto vazio (g);

AF é o fator água/argamassa fresca;

m_w é a massa total de água acrescentada à mistura (g);

m é a massa de argamassa industrializada (g).

Figura 14 - Funil de Buchner modificado com bomba de vácuo



Fonte: Elaboração própria (2019).

Foram realizados 4 ensaios, sendo 1 para cada resistência de argamassa estudada.

d) Densidade de Massa

Para o ensaio de densidade de massa da argamassa, foi seguido o preconizado na NBR 13278 (ABNT, 2005), utilizando três camadas de alturas aproximadamente iguais de argamassa num recipiente cilíndrico, conforme Figura 15 e aplicando 20 golpes com espátula, de modo a penetrar a argamassa na superfície inferior e não ficar vazios entre a argamassa e recipiente. Ao final, foi calculada a densidade da massa de argamassa d , em g/cm^3 , através da Equação 5.

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} \times 1000 \quad (5)$$

Onde:

m_c é a massa do recipiente com argamassa (g);

m_v é a massa do recipiente vazio (g);

v_r é o volume do recipiente (cm^3).

Figura 15 - Ensaio de densidade de massa da argamassa



Fonte: Elaboração própria (2019).

Foram realizados 4 ensaios, sendo 1 para cada resistência de argamassa estudada.

3.3.2.2 Propriedade das Argamassas no Estado Endurecido

a) Aderência da argamassa

A propriedade de aderência da argamassa, conforme recomendado por Sabbatini (1993), foi verificada confeccionando-se um prisma de alvenaria de 4 fiadas e, após o período de cura, realizado o ensaio de flexão para verificação da aderência da argamassa. Este ensaio será especificado no item 3.3.3: Resistência à tração na flexão de prismas.

b) Resistência à compressão da argamassa

Foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm (diâmetro x altura), conforme Figura 16, para a determinação da resistência à compressão para cada resistência de argamassa, apesar da NBR 15961-1 (ABNT, 2011) preconizar o uso de corpos de prova cúbicos (40 mm de arestas) para argamassas para assentamento de alvenaria estrutural. Foram utilizados corpos de prova cilíndricos 5x10 cm (diâmetro x altura) em função da necessidade de determinação do módulo de deformação da argamassa. Antes do ensaio, os corpos de prova cilíndricos foram previamente capeados com enxofre.

Figura 16 - Ensaio de resistência à compressão das argamassas



Fonte: Elaboração própria (2019).

Para comparação, além dos 4 corpos de prova para a determinação da resistência à compressão e do módulo de deformação aos 28 dias de idade para cada resistência de argamassa, foram moldados mais 4 corpos de prova para cada uma

para serem rompidos aos 90 dias de idade. O total de corpos de prova de argamassa ensaiados para a determinação da resistência à compressão e do módulo de deformação foi de 32, conforme Figura 17.

Figura 17 – Corpos de prova de argamassa 5x10cm

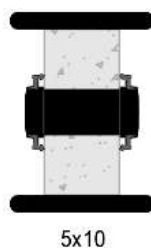


Fonte: Elaboração própria (2019).

c) Módulo de Elasticidade

Este ensaio foi executado conforme NBR 8522 (ABNT, 2017), sendo aproveitado o ensaio de resistência à compressão de corpos de prova 5x10 cm para a determinação do módulo de elasticidade das argamassas. Foram utilizados extensômetros, que efetuam a leitura de deformação eletronicamente, conforme Figura 18.

Figura 18 - Módulo de elasticidade da argamassa



Fonte: Elaboração própria (2019).

Foram realizados 8 ensaios, sendo 2 para cada resistência de argamassa estudada. Os dados foram obtidos pelo software que realiza medições entre 5% e 30% da tensão de ruptura de cada corpo de prova, conforme norma.

3.3.3 Prismas

Os prismas para ensaios à tração na flexão e à compressão, foram moldados com argamassa de acordo com sua compatibilidade de resistência com o bloco de concreto, conforme Tabela 8 e Figura 19.

Tabela 8 - Resistência do bloco e argamassa industrializada por primas

Materiais	Resistências (MPa)			
	PRISMA	PRISMA	PRISMA	PRISMA
Argamassas Industrializadas	4,0	7,0	10,0	14,0
Blocos de Concreto	4,0	6,0	8,0	12,0
	Número de prismas moldados			
Ensaio de resistência à compressão	5	5	5	5
Ensaio de resistência à tração na flexão	3	3	3	3
Total	8	8	8	8
Número total de prismas	32			

Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 19 - Prismas para ensaios à tração na flexão e à compressão



Fonte: Elaboração própria (2019).

Como a literatura indica a resistência à compressão das argamassas igual ou abaixo da resistência dos blocos de concreto, conforme item 2.3.2 deste trabalho, as combinações da Tabela 8 foram determinadas levando-se em consideração as

resistências características dos blocos, que são maiores que as resistências nominais, conforme Anexo A, ficando, assim, compatíveis com o indicado na literatura.

Os prismas foram moldados para a verificação das estruturas de alvenaria, sendo determinadas suas resistências à tração na flexão e à compressão, bem como seu módulo de deformação. Para isso, foi realizado o experimento especificado na NBR 15961-2 (ABNT, 2011), com algumas adaptações, conforme justificado apresentado no item 2.5.

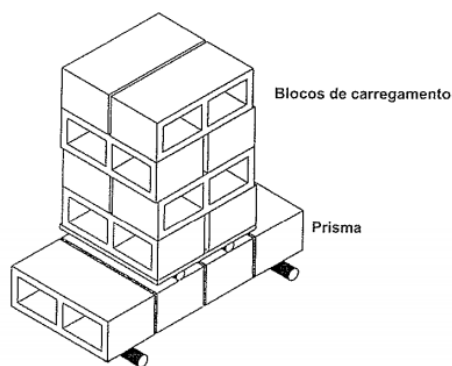
a) Resistência à tração na flexão de prismas

Para o ensaio de resistência à tração na flexão dos prismas foram utilizados prismas de 4 blocos de concreto, em vez de 5 indicados pela NBR 15961 - 2 (ABNT, 2011), conforme dito, no intuito de se aproximar mais de uma situação real para a verificação da aderência da junta de argamassa. Os demais procedimentos de moldagem seguiram o especificado pela referida norma.

Os blocos base dos prismas foram dispostos no chão plano e os blocos de concreto assentados sobre a argamassa, resultando em uma junta com 10 ± 3 mm, cada. A argamassa foi disposta sobre toda a área de contato entre os blocos de concreto. Após as moldagens dos prismas, foi colocado mais 1 bloco de concreto sem assentar sobre o prisma como sobrecarga, conforme Figura 19.

Após a cura ao ar por 28 dias, foi executado o ensaio, conforme Figura 20.

Figura 20 – Execução ensaio tração na flexão dos prismas



Fonte: Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003).

O posicionamento foi realizado de forma cuidadosa, para que não houvesse quebras ou deslocamentos. Foi utilizado um suporte de madeira, Figura 21,

que possibilitou a movimentação do conjunto monolítico sem interferência de cargas pontuais indesejadas antes do ensaio.

Figura 21 – Ensaio tração na flexão dos primas



(a) Posicionamento

(b) Apoio para Carga



(c) Colocação de Carga

(d) Ruptura

Fonte: Elaboração própria (2019).

O valor individual do resultado de cada ensaio foi calculado na área bruta, conforme as Equações 6 e 7.

$$M = \frac{(G \ l \ H)L^2}{8} + \frac{Pb}{2} \quad (6)$$

$$f_t = \frac{6M}{c \ l^2} \quad (7)$$

Onde:

M é o momento máximo;

G é o peso total do prisma;

l é a largura do bloco;

H é a altura do prisma;

L é o comprimento livre entre os apoios;

P é o peso total de sobrecargas (roletes + madeiras + blocos) ou carga de ruptura indicada na máquina de ensaio;

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

c é o comprimento do bloco;

ft é a flexão na tração.

Foram realizados 12 ensaios aos 28 dias de idade, sendo 3 para cada resistência de bloco de concreto estudada. Foram obtidas as cargas individuais de ruptura (N), as resistências individuais, característica e média da tensão de tração na flexão em MPa e a descrição do modo de ruptura do prisma. A tensão de aderência também foi obtida deste ensaio.

b) Resistência à compressão de prismas

Para minimizar o efeito de confinamento dos pratos da prensa no ensaio de resistência à compressão de prismas, conforme argumento apresentado no item 2.5, neste trabalho foram utilizados prismas de 3 blocos, em vez de 2 blocos indicados pela NBR 15961-2 (ABNT, 2011). Com isso, aumenta-se a relação altura/espessura, minimizando, assim, o efeito confinamento. Os demais procedimentos de moldagem seguiram o especificado pela referida norma.

Os prismas foram preparados da mesma forma dos prismas para ensaio de resistência à tração na flexão. Entretanto, os blocos externos foram previamente capeados com pasta de cimento para evitar o acúmulo de tensões com os pratos da prensa. Após a cura ao ar por 28 dias, os prismas foram colocados na prensa, de modo que seu centro de gravidade estivesse no eixo de carga dos pratos da prensa, para que a carga fosse aplicada na direção do esforço que o bloco suporta durante o seu emprego na alvenaria, conforme Figura 22.

Figura 22 - Ensaio de resistência à compressão dos prismas



Fonte: Elaboração própria (2019).

Foram realizados 12 ensaios, sendo 3 para cada resistência de bloco de concreto estudada com idade de 28 dias e mais 8 ensaios, sendo 2 para cada resistência de bloco de concreto estudada, para serem rompidos aos 90 dias de idade, totalizando 20 ensaios de resistência à compressão de prisma. Foram obtidas as cargas individuais de ruptura (N), as resistências individuais, característica e média em MPa.

c) Módulo de Deformação

Este ensaio foi executado conforme disposto por Casali (2003) e Steil (2003), utilizando-se relógios comparadores nos corpos de prova para a medição da deformação.

Para a determinação do módulo de deformação dos prismas, após a cura ao ar por 28 dias, foram fixados aparatos metálicos para suporte de dois relógios comparadores digitais em lados opostos do prisma, com resolução de milésimo de mm, conforme Figura 23. Foram desconsiderados os meios blocos do topo e da base do prisma, para anular o efeito do confinamento. Os ensaios de módulo de deformação dos prismas, foram executados conforme as prescrições da NBR 8522 (ABNT, 2017) - Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão, sendo que o ensaio foi gravado em vídeo e a leitura dos relógios realizadas precisamente, à medida que as cargas pré-estabelecidas de 20 kN iam sendo atingidas. Após o escoamento da argamassa, os aparatos metálicos e de

medição de deformação eram retirados e os prismas continuavam sendo ensaiados à compressão, até chegar à ruptura.

Figura 23 – Execução ensaio módulo de deformação do prisma



Fonte: NBR 15961-1 (ABNT, 2011).

Com os dados de deformação dos prismas, blocos e argamassas, foi possível traçar seus diagramas tensão x deformação específica. Para os prismas, foram determinados os módulos correspondentes à curva secante entre 0,5 MPa e 30% da tensão de ruptura de cada corpo de prova, conforme norma.

Foram realizados 8 ensaios de módulo de deformação, sendo 2 para cada resistência de bloco de concreto estudada para a idade de 28 dias e mais 4 ensaios, sendo 1 para cada resistência de bloco de concreto estudada para a idade de 90 dias, totalizando 12 ensaios.

d) Avaliação da resistência das juntas de argamassa

Foi realizado, neste trabalho, o ensaio de cravação pneumática de pino para avaliação da resistência das juntas de argamassa de assentamento de alvenaria estrutural, o qual foi realizado conforme indicado por Oliveira *et al.* (2012).

Após a cura ao ar por 28 dias dos prismas, inicialmente foram aplicados 10 tiros em cada junta (superior e inferior), com pressão de trabalho de 0,41 MPa (60psi) e pinos T-45, para argamassas com resistência à compressão de 4 MPa, 7 MPa, e 10 MPa. Para as argamassas com resistência à compressão de 14 MPa, os

pinos foram substituídos por pregos de aço 10x10 mm sem cabeça e a pressão adotada foi de 0,45 MPa (65psi).

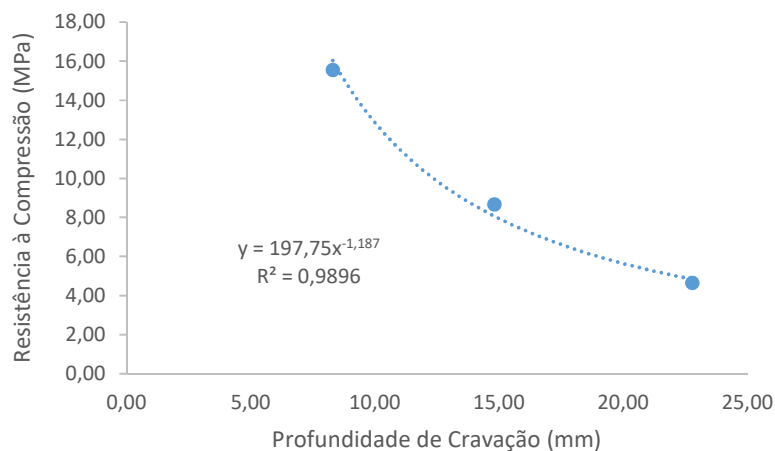
Com um paquímetro digital, seria medido o quanto do pino restou aparente no prisma e a profundidade de cravação seria o tamanho total do pino menos a medida aparente. Em seguida, seria verificado, na curva da Figura 8, a resistência à compressão da argamassa avaliada. Entretanto, as pressões de 0,41 MPa (60psi) e 0,45 MPa (65psi) não foram suficientes para fazer os pregos penetrarem na junta de argamassa dos prismas ensaiados. Foi realizado, então, um teste piloto nos corpos de prova de argamassa 4 MPa, 7 MPa, 10 MPa e 14 MPa de 10x20 (diâmetro x altura), de 28 dias de idade, com uma pressão de 0,55 MPa (80psi). Foram aplicadas 10 cravações em cada argamassa, que ficaram apoiadas cada uma em um suporte de madeira, para facilitar o ensaio, conforme Figura 24. Foram utilizados pregos de aço 10x10 mm sem cabeça, pinador pneumático e um compressor de ar portátil. Este teste piloto seguiu o orientado por Oliveira *et al.* (2012), no artigo “ensaio de cravação pneumática de pino para avaliação da resistência à compressão de juntas de assentamento de alvenaria estrutural”.

Figura 24 - Ensaio de cravação pneumática de pinos na argamassa



Fonte: Elaboração própria (2019).

Após o ensaio, foram realizadas as leituras de profundidade de cravação para cada resistência de argamassa e descartadas as leituras que estavam $\pm 10\%$ da média, sendo possível, então, realizar a curva de correlação entre a profundidade de cravação de pinos e a resistência à compressão das argamassas ensaiadas para uma pressão de cravação de 0,55 MPa (80psi), conforme Gráfico 2.

Gráfico 2 - Resistência à compressão x Profundidade de Cravação

Fonte: Elaboração própria (2019).

Com a obtenção desta nova curva de correlação, foi possível prever a resistência à compressão de juntas de assentamento de argamassas nos prismas ensaiados.

Foram realizados ensaios em 4 corpos de prova de argamassa 10 x 20 cm (diâmetro x altura), sendo 1 para cada resistência de argamassa estudada. Foram realizados ensaios de resistência das juntas de argamassa por cravação pneumática de pinos em 8 prismas, sendo 2 para cada resistência de bloco de concreto estudada, na idade de 28 dias.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com a realização dos ensaios propostos no programa experimental deste trabalho, foi possível obter os resultados que serão apresentados e analisados neste capítulo. Estes resultados, que se referem aos estudos dos blocos de concreto, das argamassas industrializadas e dos prismas, serão apresentados em tabelas e gráficos e serão analisados de forma comparativa, visando verificar a influência da argamassa industrializada nas propriedades mecânicas de prismas de blocos de concreto.

4.1 Blocos de Concreto

Os blocos de concreto foram ensaiados no intuito de verificar suas características individuais e médias, para posterior avaliação do desempenho do prisma, conforme descrito no item 3.3.1.

Os resultados de resistência à compressão individual, médio e característico ($F_{bk,est}$, segundo NBR 6136 (ABNT, 2016)) são apresentados na Tabela 9, além dos resultados de absorção, segundo NBR 12118 (ABNT, 2013). Estes resultados são referentes aos ensaios dos blocos de concreto, realizados aos 28 dias de idade dos prismas.

Tabela 9 - Resultados de resistência à compressão (MPa) e absorção (%) dos blocos de concreto aos 28 dias de idade dos prismas

Propriedade	Resistência nominal dos blocos (MPa)			
	4,0	6,0	8,0	12,0
Resistência à compressão individual (MPa)	6,56	11,19	12,23	16,52
	7,01	11,16	12,18	16,90
	6,05	10,51	12,66	16,00
	6,49	11,13	12,03	15,95
	6,82	10,63	11,68	15,52
	6,60	10,70	12,21	16,77
	6,87	10,82	11,84	16,67
	6,54	11,84	11,77	14,93
	6,76	11,51	12,62	15,79
F_{bm}¹ (MPa)	6,63	11,05	12,14	16,12
Sd² (MPa)	0,279	0,435	0,347	0,654
CV³ (%)	4,21	3,94	2,86	4,06
f_{bk,est}⁴ (MPa)	6,16	10,41	11,49	14,90
Absorção individual (%)	7,36	6,29	6,50	5,45
	7,90	5,55	6,52	5,28
	7,53	5,96	7,23	5,45
Absorção média (%)	7,60	5,93	6,75	5,39
¹ Fbm = Resistência à compressão média ² Sd = Desvio padrão ³ CV = Coeficiente de variação (Sd/Fbm) ⁴ f _{bk,est} = Resistência à compressão característica estimada (NBR 6136 (ABNT, 2016))				

Fonte: Elaboração própria (2019).

Os blocos de concreto ensaiados obtiveram uma variação pequena na resistência à compressão individual, com coeficiente de variação inferior a 5%. Apesar das resistências à compressão característica estimada (f_{bk,est}) apresentarem-se acima das resistências nominais, a f_{bk,est} calculada neste trabalho foi, no geral, próxima a encontrada e informada pelo fabricante (Anexo A), o qual realizou o ensaio antes da entrega dos blocos para este programa experimental. Os ensaios dos blocos de

concreto deste trabalho foram realizados cinco meses após os ensaios realizados pelo fabricante, ficando próximas às resistências dos blocos de concreto neste período. Este fato possivelmente ocorreu pela utilização de cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) na produção dos blocos, o qual garante resistências altas nas primeiras idades.

Em relação à absorção dos blocos, a NBR 6136 (ABNT, 2016) estabelece que os blocos de concreto devem atender aos limites de absorção, descritos na Tabela 1 deste trabalho. Para os valores individuais de um bloco Classe A, $f_{bk} \geq 8,0\%$, é estabelecida uma absorção $\leq 9,0\%$ e, para os valores que compõem a média, uma absorção $\leq 8,0\%$. Conforme a Tabela 9 acima, todos os blocos ensaiados atenderam a estes requisitos.

Com o resultado destes ensaios, pode-se classificar os blocos vazados de concreto deste programa experimental, de acordo com a Tabela 1 deste trabalho, como blocos vazados de concreto Classe A, com função estrutural. A exceção é dos blocos de concreto de 4 MPa que, apesar de possuírem absorção adequada para essa classificação, não atingiram a resistência característica de 8 MPa, ficando estes blocos classificados como Classe B.

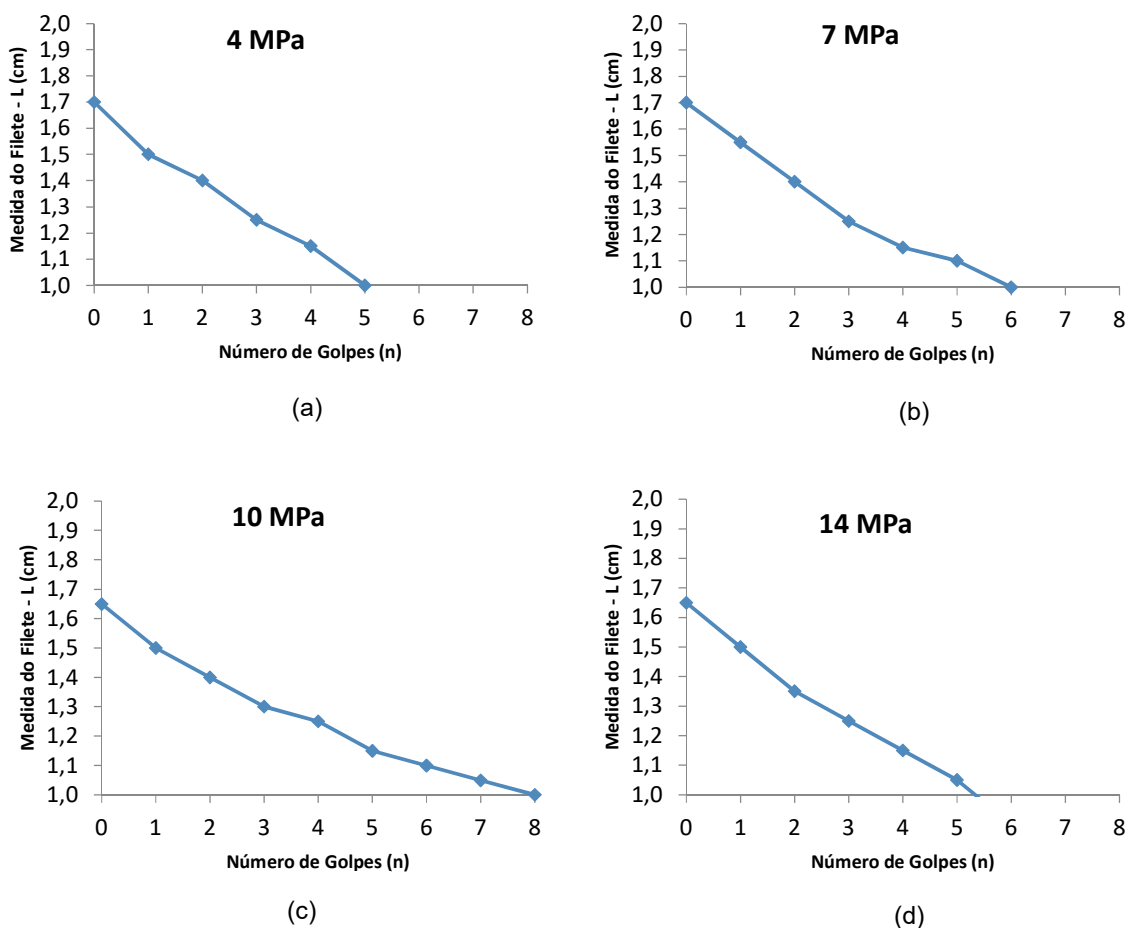
4.2 Argamassa Industrializada

As argamassas industrializadas foram ensaiadas no intuito de serem verificadas suas características individuais e médias, para posterior avaliação do desempenho do prisma, conforme descrito no item 3.3.2.

4.2.1 Propriedades da Argamassa no Estado Fresco

Os resultados das características das argamassas, referentes à consistência, plasticidade e coesão, foram os obtidos no GTec Teste e são apresentados na Figura 25.

Figura 25 - Resultados de trabalhabilidade das argamassas – Gtec teste



Fonte: Elaboração própria (2019).

Todas as argamassas apresentaram uma leitura inicial do filete entre 1,65 e 1,70 cm. Estes valores representam a consistência da argamassa. A Plasticidade é observada no número final de golpes, que é o número necessário para a obtenção de uma junta de 1,0 cm. Como pode ser observado nos gráficos, o número de golpes necessários permaneceu entre 5 e 8. Também foi verificada a coesão na argamassa, pois não houve rompimento da junta antes de ela atingir a espessura final de 1 cm. Logo, conforme indicado por Casali (2003), os resultados encontrados são valores adequados para argamassas de assentamento de blocos de concreto.

Os resultados referentes aos teores de água empregados nas argamassas, bem como os valores de densidade de massa no estado fresco, índice de consistência (espalhamento - *flow table*) e retenção de água, são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Teor de água, índice de consistência, retenção de água e densidade de massa das argamassas

Propriedade	Resistência nominal das argamassas (MPa)			
	4,0	7,0	10,0	14,0
Teor de água (%)	16,0	17,0	16,8	17,0
Índice de consistência (mm)	208,5	249,0	241,5	238,5
Retenção de água (%)	91,97	88,83	84,28	85,89
Densidade de Massa (kg/dm ³)	1,96	2,10	2,12	2,15

Fonte: Elaboração própria (2019).

O teor de água empregado foi o necessário para a obtenção de uma argamassa com boa trabalhabilidade para assentamento, sendo verificado através do equipamento GTec Teste.

A consistência típica para uma argamassa de assentamento no flow table test varia de 230 a 280mm. Os resultados encontrados ficaram, no geral, dentro da variação especificada. Porém, é importante salientar que esse método não é um bom parâmetro para se determinar a capacidade da argamassa para ser empregada como assentamento, pois não garante propriedades de plasticidade e coesão adequadas, por isso, foi adotado o método do GTec Teste para avaliação dessas propriedades.

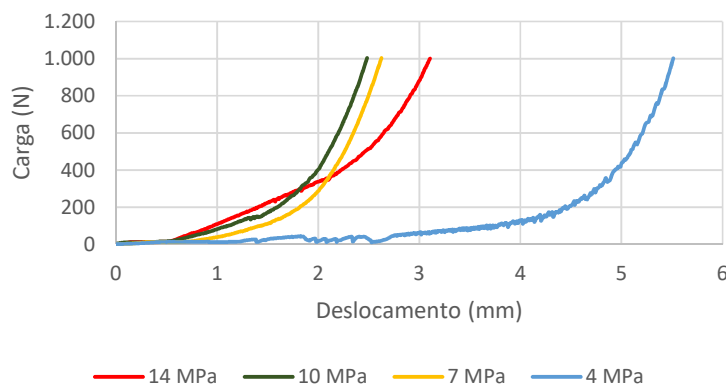
O resultado do ensaio de retenção de água da argamassa manteve-se acima de 75%, evitando perda demasiada de água para os blocos e garantindo a hidratação mais eficiente da argamassa. As argamassas de resistência nominal menores obtiveram uma maior retenção de água, devido, provavelmente, à relação cal x agregados maior neste tipo de argamassa, o que ocasiona um preenchimento dos vazios dos grãos de areia pela cal e, conseqüentemente, uma maior retenção. Outro resultado positivo neste ensaio foi a permanência da retenção de água abaixo de 95%, o que possibilita a manutenção da espessura da junta no estado fresco e uma maior aderência da argamassa com o bloco de concreto no estado endurecido.

A densidade de massa encontrada nos ensaios foi menor para resistências de argamassas menores e maior para resistências maiores. O resultado condiz com a NBR 13278 (ABNT, 2005), visto que a densidade de massa varia inversamente proporcional com o teor de ar nos materiais, ou seja, quanto maior a densidade de

massa, menor o volume de vazios na mistura e, conseqüentemente, maior a resistência.

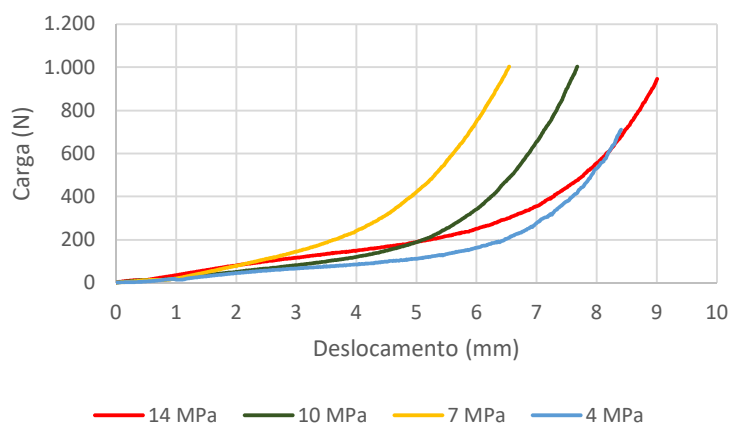
Em relação aos parâmetros reológicos das argamassas, os ensaios foram realizados pelo método *squeeze flow* de altura 10 mm e 20 mm e os resultados estão apresentados nos Gráficos 3 e 4, respectivamente.

Gráfico 3 - Squeeze Flow - Altura de 10mm



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Gráfico 4 - Squeeze Flow - Altura de 20mm



Fonte: Elaboração Própria (2019).

De acordo com a tabela do item 2.2.9, pode-se observar que as amostras de 7 MPa e 10 MPa de altura de 10 mm, analisadas no Gráfico 3, passam pelo estágio de deformação elástica linear e deformação radial e cisalhamento rapidamente, chegando direto ao estágio que ocorre um expressivo aumento da carga necessária para continuar a deformação. Neste caso, as forças de atrito interno são predominantes. Logo no início do ensaio, com um deslocamento inferior a 2 mm e

uma carga próxima a 200 N, já ocorre a inversão do comportamento para enrijecimento da deformação nas argamassas de 7 MPa e 10 MPa, fazendo com que os procedimentos de aplicação e acabamento da argamassa sejam dificultados.

As argamassas de 4 MPa e 14 MPa apresentaram um comportamento plástico um pouco diferente das demais, saindo do padrão obtido para as outras argamassas. Na análise das curvas obtidas pelo GTec Teste (Figura 25), estas argamassas apresentaram um menor número de golpes, o que caracteriza uma maior plasticidade, estando coerente com o resultado obtido pelo método *squeeze flow*. Isto provavelmente ocorreu devido a uma maior quantidade de cal na mistura dessas argamassas, atribuindo-lhes maior plasticidade. Ainda, a argamassa de 4 MPa apresentou oscilações em sua curva, o que sugere a ocorrência de altos níveis de atrito interno no material.

As argamassas de 20 mm de altura, analisadas no Gráfico 4, obtiveram um resultado bastante satisfatório para as argamassas de assentamento, visto que as argamassas de 4 MPa, 10 MPa e 14 MPa mantiveram seu comportamento plástico até o deslocamento de 6 mm e uma carga próxima a 200 N. Este comportamento favorece a produtividade na aplicação da argamassa. A partir deste valor de deslocamento, a interação da mistura tornou-se intensa e as cargas necessárias para prosseguir a deformação elevaram-se exponencialmente. A argamassa de 7 MPa manteve seu comportamento plástico até um deslocamento de 4 mm, invertendo seu comportamento já após este valor. As argamassas de 20 mm de altura obtiveram um resultado mais adequado que as de 10 mm devido, possivelmente, à granulometria da argamassa.

4.2.2 Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido

Os resultados de resistência à compressão individuais e médios obtidos para as argamassas ensaiadas aos 28 e 90 dias de idade, bem como os resultados de módulo de deformação obtidos aos 28 dias, mediante a ruptura dos corpos de prova cilíndricos (5x10 cm), estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados de resistência à compressão das argamassas aos 28 e 90 dias de idade e módulo de deformação aos 28 dias de idade

Propriedade	Resistência nominal das argamassas (MPa)							
	4,0		7,0		10,0		14,0	
	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias
Resistência à compressão individual (MPa)	4,35	4,28	9,02	9,12	16,13	16,31	20,12	20,32
	4,92	5,49	8,01	8,58	15,04	15,82	19,11	22,16
	4,65	4,99	9,08	8,41	14,93	16,30	18,95	22,81
	4,67	5,51	8,54	9,51	16,11	16,57	23,08	22,83
Resistência à compressão média (MPa)	4,65	5,07	8,66	8,91	15,55	16,25	20,32	22,03
Sd (MPa)	0,233	0,58	0,50	0,50	0,66	0,31	1,91	1,18
CV (%)	5,02	11,40	5,74	5,66	4,22	1,92	9,43	5,36
Módulo de deformação individual (GPa)	8,20		11,50		15,70		15,20	
	6,20		11,00		17,30		19,40	
Módulo de deformação médio aos 28 dias (GPa)	7,20		11,25		16,50		17,30	
Sd (MPa)	1,414		0,354		1,131		2,970	
CV (%)	19,64		3,14		6,86		17,17	

Fonte: Elaboração Própria (2019).

As argamassas ensaiadas aos 28 dias apresentaram uma resistência à compressão no ensaio superior à resistência nominal especificada pelo fabricante, chegando a alcançar, na argamassa de 10 MPa, uma diferença de 55,5%.

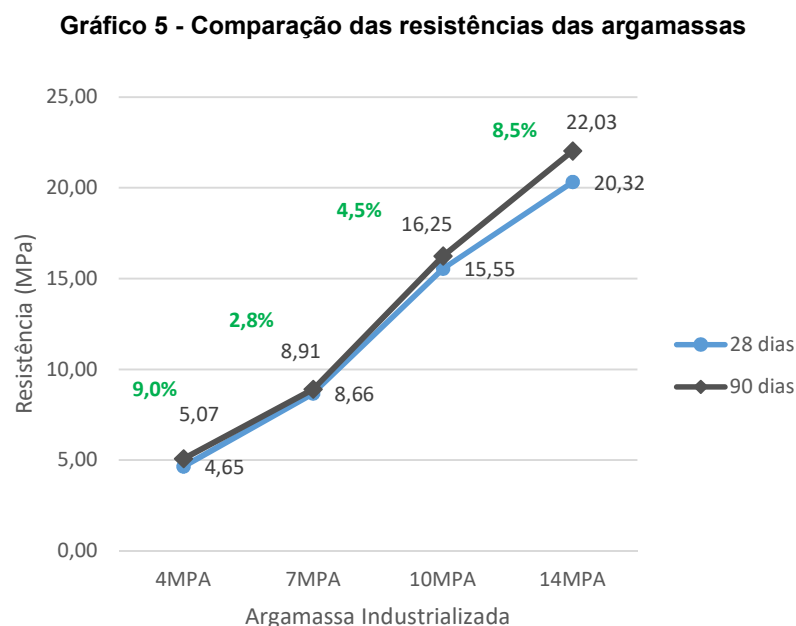
Os valores de módulo de deformação foram análogos aos valores de resistência à compressão. As argamassas de maiores resistências à compressão apresentaram os maiores módulos de deformação, como se esperava. Observou-se, entretanto, uma inversão dos valores do módulo de deformação em relação à resistência à compressão das argamassas de 14 MPa, onde o módulo de deformação passou a ficar abaixo da resistência à compressão da argamassa.

Percebeu-se, ainda, que as resistências à compressão encontradas para as argamassas ficaram acima da resistência à compressão dos blocos de concreto,

implicando nas combinações dos prismas propostos, conforme item 2.3.2 deste trabalho.

Já as argamassas ensaiadas aos 90 dias apresentaram uma resistência à compressão no ensaio superior à resistência nominal especificada pelo fabricante, chegando a alcançar, na argamassa de 10 MPa, uma diferença de 62,5%.

As resistências à compressão das argamassas aos 28 e aos 90 dias de idade podem ser melhor comparadas no Gráfico 5.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

O ganho de resistência à compressão das argamassas dos 28 aos 90 dias de idade está apresentado em porcentagem (%) no Gráfico 5.

Embora as argamassas contivessem pozolana em sua composição, o ganho de resistência de 28 para 90 dias foi inferior a 10%. Vale ressaltar que ganhos muito elevados de resistência poderiam prejudicar o desempenho dos prismas.

4.3 Prismas

Os resultados de resistência à compressão e módulo de deformação para os prismas de blocos de concreto aos 28 e 90 dias de idade, bem como a tensão de aderência na flexão para os prismas aos 28 dias de idade são os apresentados na Tabela 12. Os valores de módulo de deformação secante inicial (E_{ci}) foram calculados

empregando-se o mesmo procedimento adotado para o cálculo do módulo de deformação das argamassas, conforme item 4.2.2.

Tabela 12 - Resistência à compressão, módulo de deformação secante inicial (Eci) para os prismas de blocos de concreto aos 28 e 90 dias de idade e a tensão de aderência na flexão para os prismas aos 28 dias de idade

Propriedade	Resistência nominal dos Blocos (MPa)							
	4,0		6,0		8,0		12,0	
	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias
Resistência à compressão individual (MPa)	4,57	-	7,79	-	8,80	-	8,69 ¹	-
	4,98	5,36	7,36	7,95	7,85	9,64	10,74	15,16
	4,90	5,63	7,66	8,00	7,46	12,51 ²	13,73	14,24
Resistência média (MPa)	4,82	5,50	7,60	7,98	8,04	9,64	12,24	14,70
Sd (MPa)	0,217	0,191	0,221	0,035	0,689	-	2,114	0,651
CV (%)	4,51	3,47	2,90	0,44	8,58	-	17,28	4,43
Módulo de deformação individual (GPa)	4,60	7,32	8,58	9,31	14,58	16,19	16,81	20,91
	5,59	-	8,32	-	15,77	-	21,30	-
Módulo de deformação médio (GPa)	5,05	7,32	8,45	9,31	15,04	16,19	18,80	20,91
Sd (MPa)	0,700	-	0,184	-	0,841	-	3,175	-
CV (%)	13,86	-	2,18	-	5,59	-	16,89	-
Tensão de aderência na flexão potencial ³ (MPa)	0,062		0,205		0,305		0,429	
Fator de eficiência ⁴ (%)	72,61	82,84	68,78	72,14	66,22	79,39	75,92	91,21

¹ Problemas de concentração de carga e ruptura prematura do prisma (valor desconsiderado para efeitos de cálculo da média e do fator de eficiência)
² Valor espúrio (desconsiderado para efeitos de cálculo da média e do fator de eficiência)
³ Maior valor de aderência obtido entre os prismas ensaiados
⁴ Fator de eficiência = (resistência média dos prismas/ resistência média dos blocos) x 100

Fonte: Elaboração Própria (2019).

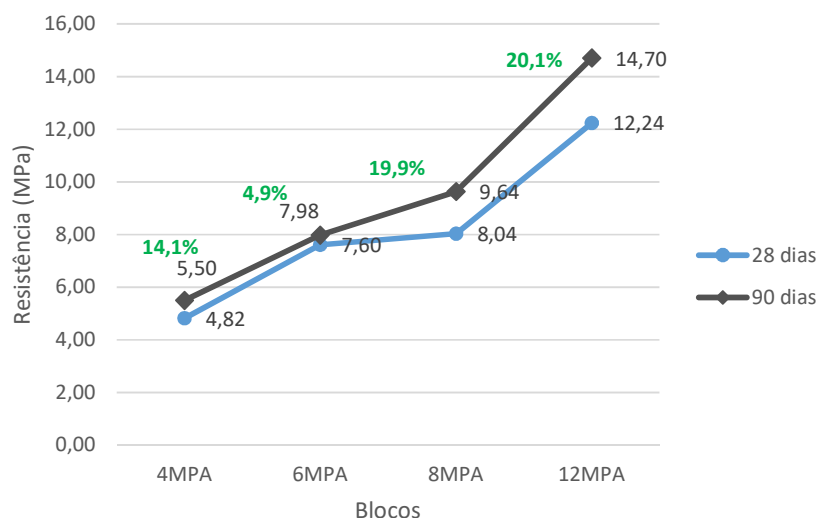
Aos 28 dias de idade, os prismas apresentaram uma resistência à compressão no ensaio próximos à resistência nominal do bloco. O coeficiente de variação ficou abaixo de 10%, ficando acima deste valor apenas no prisma de

resistência de bloco de 12 MPa, devido provavelmente à ruptura prematura de um dos prismas, restando apenas dois deles para os resultados.

Apesar de a resistência à compressão ser satisfatória, observa-se que o módulo de deformação dos prismas foi ligeiramente elevado. A NBR 15961 - 1 (ABNT, 2011), estabelece um valor de módulo de deformação máximo de 16 GPa para as propriedades de deformação na alvenaria e, neste ensaio, o prisma de resistência de bloco de 12 MPa ficou 17,5% acima do limite estabelecido pela norma.

As resistências à compressão dos prismas aos 28 e aos 90 dias de idade podem ser melhor comparadas no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Comparação da compressão dos prismas



Fonte: Elaboração Própria (2019).

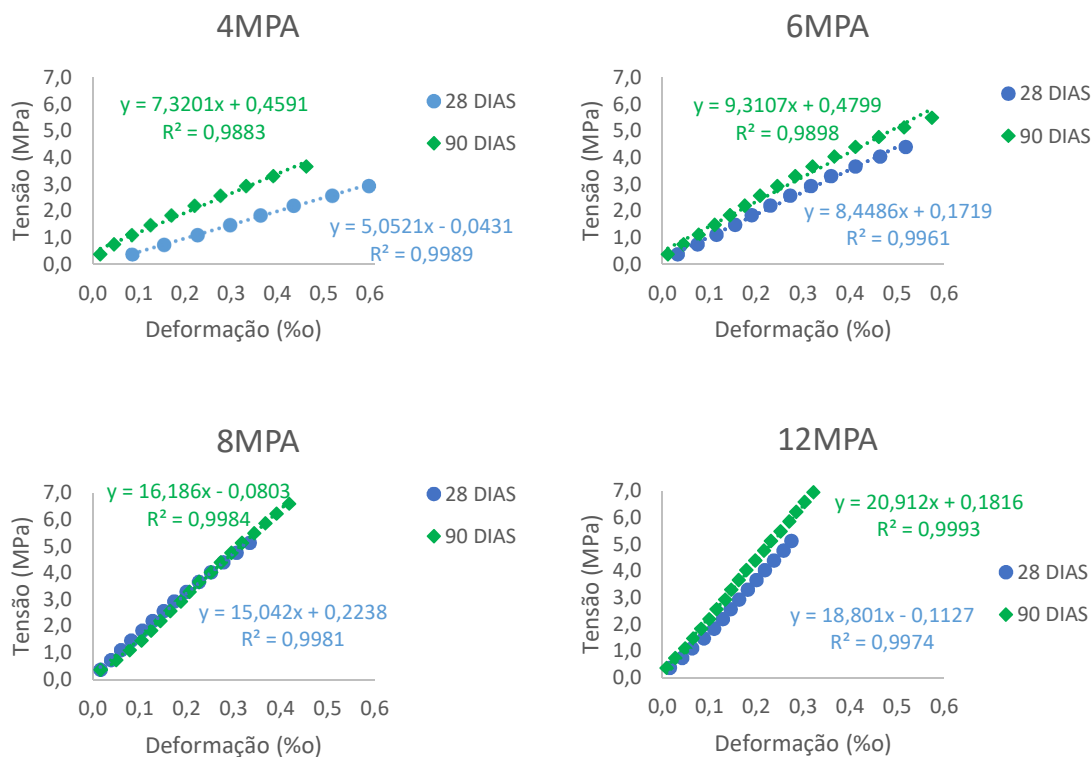
O ganho de resistência à compressão das argamassas dos 28 aos 90 dias de idade está apresentado em porcentagem (%) no Gráfico 6.

As resistências à compressão dos prismas obtiveram um expressivo ganho no período entre 28 e 90 dias. Como a resistência dos blocos praticamente não variou, a responsável pelo resultado expressivo foi a argamassa industrializada.

Como aos 28 dias de idade, aos 90 dias a resistência à compressão foi satisfatória. Entretanto, o módulo de deformação dos prismas ficou um pouco elevado para os prismas de 4 MPa de resistência. Nos prismas de maiores resistências, o valor do módulo de deformação variou próximo a 10%.

A Figura 26 mostra a comparação da média dos resultados de módulo de deformação dos prismas ensaiados aos 28 dias e aos 90 dias.

Figura 26 - Módulos de deformação dos prismas aos 28 e aos 90 dias



Fonte: Elaboração Própria (2019).

O ganho do módulo de deformação dos prismas dos 28 aos 90 dias de idade está apresentado na Tabela 13.

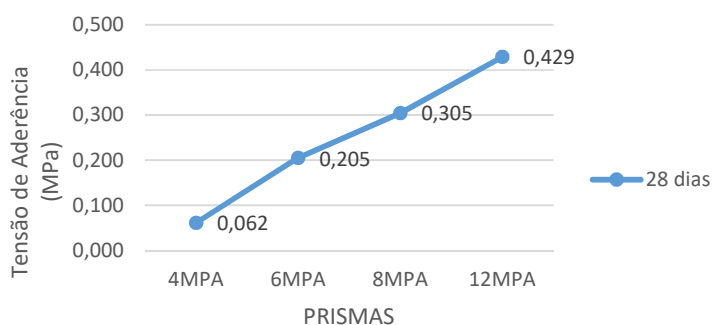
Tabela 13 – Ganho do módulo de deformação dos prismas dos 28 aos 90 dias de idade

Módulo de Deformação (GPa)			
4MPa	6MPa	8MPa	12MPa
28 DIAS			
5,05	8,45	15,04	18,80
90 DIAS			
7,32	9,31	16,19	20,91
GANHO DE RESISTÊNCIA			
44,89%	10,20%	7,61%	11,23%

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Para a tensão de aderência, foi utilizado o maior valor de aderência obtido entre os prismas ensaiados, sendo representados no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Tensão de aderência na flexão

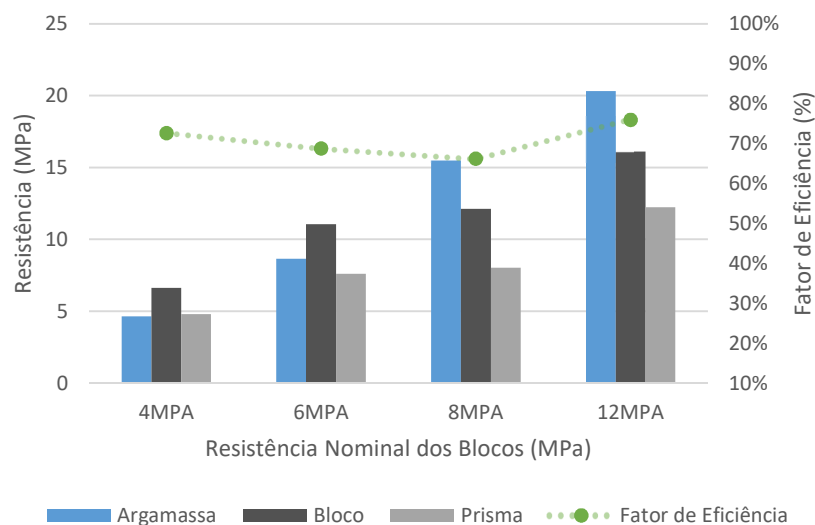


Fonte: Elaboração Própria (2019).

Os resultados apresentam uma aderência satisfatória, visto que não houve descontinuidade para os prismas de elevada resistência e todos os prismas ensaiados romperam, primeiramente, na junta central.

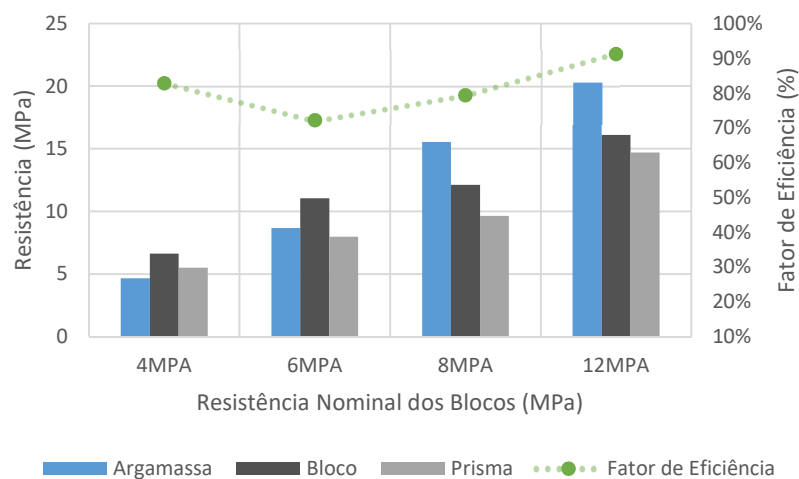
O Fator de Eficiência foi calculado pela relação entre a resistência à compressão do prisma e a do bloco de concreto ensaiado. Para melhor representação, foram elaborados os Gráficos 8 e 9, que mostram a resistência à compressão do prisma, do bloco, da argamassa, assim como o fator de eficiência na idade de 28 e 90 dias. Cabe ressaltar que, para o cálculo do valor do fator de eficiência aos 90 dias, as resistências dos blocos de concreto foram as mesmas utilizadas para os prismas aos 28 dias de idade. Isto porque foi observada uma mínima variação da resistência do bloco de concreto ensaiado pela fábrica e o ensaio realizado neste estudo após cinco meses.

Gráfico 8 - Resistência à Compressão da Argamassa, do Bloco, do Prisma e Fator de Eficiência – aos 28 dias de idade



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Gráfico 9 - Resistência à Compressão da Argamassa, Bloco, Prisma e Fator de Eficiência – aos 90 dias de idade



Fonte: Elaboração Própria (2019).

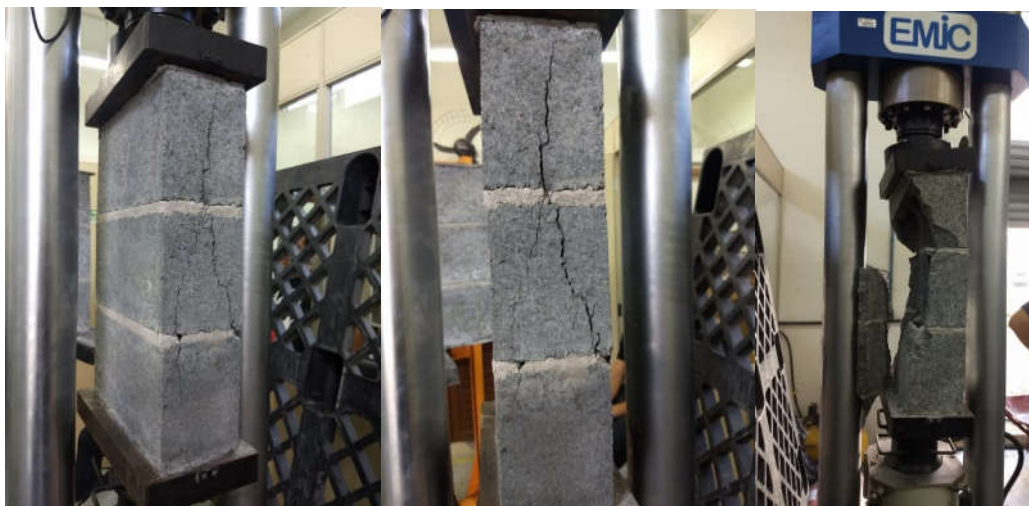
O fator de eficiência encontrado aos 28 dias foi próximo de 70% em todos os prismas, demonstrando um bom resultado da argamassa, em relação à argamassa para assentamento de alvenaria estrutural.

Já o fator de eficiência encontrado aos 90 dias aumentou em todos os prismas, em comparação com os 28 dias, sendo que, nos prismas de maiores

resistências, o fator de eficiência chegou a ultrapassar o valor de 90%, demonstrando o bom resultado da argamassa ensaiada.

Em relação ao mecanismo de ruptura, para todos os prismas ensaiados à compressão, independentemente da resistência da argamassa, ocorreu a ruptura conjunta da junta de assentamento e do bloco, ou seja, por tração transversal nos blocos, conforme ilustra a Figura 27.

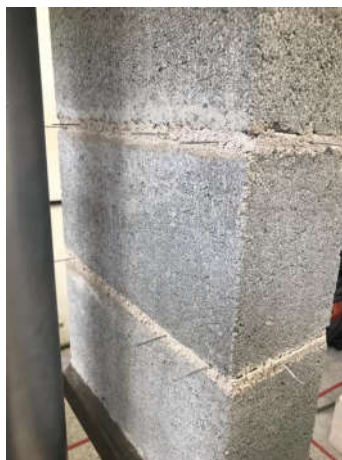
Figura 27 - Mecanismo de ruptura dos prismas



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Antes dos ensaios de resistência à compressão dos prismas, foram realizados ensaios de cravação para verificação das juntas de argamassa, conforme ilustrado na Figura 28.

Figura 28 - Ensaio de cravação de pinos



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Inicialmente, como visto no item 3.3.3, foi realizado um teste piloto que resultou na curva de correlação entre a profundidade de cravação de pinos e a resistência à compressão das argamassas para pinadores atuando com pressão de 0,55 MPa (80psi). Com os ensaios de cravação nas juntas dos prismas aos 28 dias de idade, foi obtida a previsão de resistência à compressão da argamassa na junta, conforme Tabela 14.

Tabela 14 – Previsão da resistência da junta da argamassa

Propriedade	Resistência nominal das Argamassas (MPa)						
	4,0		7,0		10,0		14,0
	Junta Superior	Junta Inferior	Junta Superior	Junta Inferior	Junta Superior	Junta Inferior	Juntas
Profundidade Média (mm)	15,37	17,24	12,63	12,15	10,00	10,28	-
Sd (MPa)	2,938	1,983	1,567	1,347	1,744	2,110	-
CV (%)	19,11	11,50	12,41	11,09	17,44	20,52	-
Previsão de Resistência na Junta (MPa)	7,72	6,73	9,75	10,20	12,86	12,44	-
Resistência à compressão média no CP (MPa)	4,65		8,66		15,55		20,32
Sd (MPa)	2,172	1,475	0,768	1,089	1,906	2,203	-
CV (%)	14,13	8,56	6,08	8,96	19,06	21,42	-

Fonte: Elaboração Própria (2019).

De acordo com a Tabela 14, a previsão de resistência à compressão das juntas das argamassas de 4 MPa e 7 MPa resultou em valores com uma variação próxima a 10% dos valores obtidos nos corpos de provas cilíndricos (5x10 cm), sendo valores satisfatórios para este ensaio. A previsão de resistência à compressão das juntas das argamassas de 10 MPa resultou em um CV próximo a 20%. Essa variabilidade deve ter ocorrido pelo pouco número de pinos cravados efetivamente nas argamassas de maiores resistências. No ensaio da argamassa de resistência nominal de 10 MPa, por exemplo, dos 10 tiros realizados para a cravação dos pinos, apenas 4 foram efetivados. Importante salientar que o número de tentativas para a cravação foi de duas vezes o número de tiros previsto para cada junta, ou seja, 20 tiros.

Não foi possível realizar o ensaio nas argamassas de resistência de 14 MPa, visto que a pressão de 0,55 MPa (80psi) foi insuficiente para a cravação dos pinos na junta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização dos ensaios propostos neste trabalho, foi possível obter conclusões sobre o desempenho das argamassas industrializadas estudadas no assentamento de blocos de concreto de alvenaria estrutural, as quais serão apresentadas no item 5.1. Além disso, serão apresentadas sugestões para trabalhos futuros, item 5.2, no intuito de contribuir para a melhoria das argamassas para assentamento de blocos de concreto de alvenaria estrutural.

5.1 Conclusões

Os estudos realizados mostraram que, no geral, as argamassas testadas apresentaram resultados satisfatórios para uso em alvenaria estrutural de blocos de concreto.

Os teores de água ideais para as argamassas industrializadas estudadas foram definidos pelo GTec Teste e apresentaram resultados adequados de consistência, plasticidade e coesão para argamassas de assentamento. É importante salientar que as quantidades de água foram ajustadas para assentamento com meia desempenadeira (raspadeira). Em caso de emprego de bisnaga, os teores de água devem ser aumentados, para que as argamassas possam ser aplicadas pela referida ferramenta. A retenção de água de todas as argamassas ficou dentro do limite estabelecido em norma.

No estado endurecido, as argamassas de 10 MPa e 14 MPa, apresentaram resistências aos 28 dias ligeiramente superiores às desejadas, ultrapassando os valores nominais indicados pelo fabricante. Uma redução no consumo de cimento ou na composição de cal e pozolana, ou aumento no teor de agregado, poderiam ser alternativas para a solução deste problema, que torna a argamassa mais onerosa desnecessariamente.

Em relação aos ensaios dos prismas, as resistências à compressão ficaram próximas às resistências nominais dos blocos, garantindo um satisfatório fator de eficiência, que chegou a ultrapassar, aos 90 dias de idade, o valor de 90%. Esta relação é um importante quesito para a indicação favorável de uma argamassa para assentamento de alvenaria estrutural. Entretanto, os ensaios de prismas mostraram que as alvenarias produzidas apresentaram um módulo de deformação elevado em relação ao valor máximo especificado em norma. Isto pode deixar as alvenarias muito

rígidas, aumentando o risco de fissuração em casos de deformação da estrutura, como os recalques diferenciais. O teor de pozolana utilizado pode ter sido a causa desta elevada deformação.

Os prismas ensaiados à compressão, independentemente da resistência da argamassa, romperam por ruptura conjunta da junta de assentamento e do bloco. Nenhum dos prismas teve seu mecanismo de ruptura por esmagamento da junta, evidenciando a compatibilidade desta argamassa para o uso em alvenaria estrutural.

Nos ensaios de resistência à tração na flexão dos prismas, as argamassas industrializadas de 4 MPa apresentaram valores abaixo do prescrito na NBR 15961-1 (ABNT, 2011), a qual considera 0,20 MPa como valor mínimo para resistência da argamassa. No entanto, as demais argamassas apresentaram comportamento satisfatório neste quesito.

Com relação aos ensaios de cravação pneumática de pinos nas juntas de argamassa, foi verificado que as pressões de 0,41 MPa (60psi) e 0,45 MPa (65 psi) não foram suficientes para fazer os pinos penetrarem nas juntas de argamassa de resistências previstas neste estudo. Por este motivo, foi realizado um teste piloto que resultou na curva de correlação entre a profundidade de cravação de pinos e a resistência à compressão das argamassas para pinadores atuando com pressão de 0,55 MPa (80psi). Nesta configuração foi possível correlacionar a profundidade de penetração e a resistência da argamassa para as juntas de resistências nominais de 7 e 10 MPa, obtendo-se uma variação de 10%. Para as demais argamassas, o ensaio não se mostrou satisfatório, devido à pressão de 0,55 MPa (80psi) não ser suficiente para penetrar o número razoável de pinos na junta e/ou nos corpos de prova de argamassa 10x20 cm (diâmetro x comprimento).

Diante dos resultados apresentados neste trabalho, pode-se verificar que as argamassas industrializadas estudadas apresentaram, no geral, um desempenho adequado em relação às propriedades nos estados fresco e endurecido, além de obter um bom desempenho nos ensaios de resistência à compressão e resistência de tração na flexão dos prismas de bloco de concreto. Os fatores de eficiência entre os blocos de concreto e os prismas encontrados neste estudo evidenciam adequado desempenho desta argamassa para a utilização em assentamento de alvenaria estrutural, inclusive para os prismas com blocos de resistência nominal de 12 MPa. Desta forma, pode-se concluir que a argamassa industrializada estudada é viável

tecnicamente para o assentamento de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Alguns estudos complementares são necessários para a melhoria e do desempenho das argamassas de assentamento de alvenaria estrutural relatadas neste estudo. As sugestões para trabalhos futuros são explicitadas a seguir:

- Estudo relacionado ao módulo de deformação dos prismas com utilização de argamassas compostas por pozolana e cal hidratada, procurando composições que mantenham os fatores de eficiência elevados e os valores de módulos abaixo do limite normativo;
- Avaliação de argamassas compostas por pozolana e cal hidratada e seu desempenho ao longo do tempo, superiores a 90 dias;
- Verificação da influência das resistências à compressão e tração, e das composições da argamassa na resistência de tração à flexão dos prismas;
- Elaboração de ensaios de cravação pneumática de pino para avaliação da resistência à compressão de juntas de assentamento de alvenaria estrutural para pressões de 0,69 MPa (100psi), para utilização em argamassas de alta resistência.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR**

6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro. 2016.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2005.

_____. **NBR 8522**: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro. 2017.

_____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2013.

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

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

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

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

_____. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - terminologia. Rio de Janeiro. 2013.

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

_____. **NBR 15839**: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos - caracterização reológica pelo método *squeeze-flow*. Rio de Janeiro. 2010.

_____. **NBR 15961-1**: Alvenaria estrutural — blocos de concreto - parte 1: projeto. Rio de Janeiro. 2011.

_____. **NBR 15961-2**: Alvenaria estrutural — blocos de concreto - parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro. 2011.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

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**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 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 resistência à penetração de pino**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6º, Florianópolis, 2005.

CARASEK, H. Argamassas. In: G. C. Isaia. (Org.). *Materiais de Construção Civil*. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2007, v. 1.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G; JOHN, V.M. **Squeeze flow aplicado a argamassas de revestimento: manual de utilização**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

LOZOVEY, A.C.R. **Método de dosagem de argamassa estabilizada para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

MANZIONE, L. **Projeto e execução de alvenaria estrutural**. São Paulo. Editora O nome da Rosa, 2004.

MATOS, P.R. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

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

OLIVEIRA, A.L *et al.* **Ensaio de cravação pneumática de pino para avaliação da resistência à compressão de juntas de assentamento de alvenaria estrutural**. Florianópolis: Instituto Federal de Santa Catarina, 2012. 14p.

PIAZZA, F.A.R. **Conhecendo argamassa**. 2ª Edição. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2012. 189 p.

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

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003. 174 p.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

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

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

TAUIL, C.A; NESE F.J.M. **Alvenaria estrutural: metodologia de projeto, detalhes, mão de obra, normas e ensaios**. Florianópolis: Pini, 2010. 188 p.

ANEXO A

Ensaio de resistência à compressão de blocos de concreto realizados pela fábrica.

A.1 – Ensaio para blocos de concreto de 4 MPa



9 - PEDREIRA VALE DO SELKE LTDA (BLOCO)

PER010 27/09/2018 08:35:27

PÁG: 1

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 1801

LABORATÓRIO DE CONTROLE INTERNO DE PRODUÇÃO

ENSAIO REALIZADO PARA VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

Op: 920273 - 369 EI1440 BL CON CL "B" 4 MPA 14X19X39CM

Máquina: 4.804 COLUMBIA

Data Fabricação: 19/07/2018 Altura: 19,0000 Cm

Data Ensaio: 25/09/2018

Idade(Dias): 68 Fbk Esperado: **4,0 MPA**

Obs:

Densidade do Pó : 2,75 g/cm³ Peso mínimo: 12,34 kg Consumo de cimento: 100,80 % Desempenho: 117,60 %

C.P. Nº	Altura (mm)	Base (mm)	Comp (mm)	Peso (Kg)	Carga (Kn)	Resistência (Mpa)
1	191	140	390	12,5400	330,40	6,05
2	189	140	389	12,2600	295,10	5,42
3	190	140	389	12,3200	304,30	5,59
4	190	139	389	12,3600	305,30	5,65
5	190	140	389	12,2400	302,10	5,55
6	189	140	389	12,2000	301,20	5,53



Fbk: **5,40** MPa

Resistência Média: 5,63 MPa

Absorção de água: %

Menor dimensão furo: mm

Espes. mínima da parede: mm

Desvio Padrão: 0,22 MPa

Coef. de variação: 3,91 %

Verificações

Fbk =

5,40 MPa

4,82 MPa

Fbk: Resistência característica estimada do lote

Responsável Pelos Ensaio: 8019 ALFONSO FELIPPE LUEBKE JUNIOR

A.2 – Ensaio para blocos de concreto de 8 MPa



9 - PEDREIRA VALE DO SELKE LTDA (BLOCO)
PER010 27/09/2018 08:30:12

PÁG: 1

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 1799 LABORATÓRIO DE CONTROLE INTERNO DE PRODUÇÃO

ENSAIO REALIZADO PARA VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

Op: 920586 - 89 E1480 BL CON CL "A" 8 MPa 14X19X39CM

Máquina: 4.804 COLUMBIA

Data Fabricação: 09/07/2018

Altura: 19,0000 Cm

Data Ensaio: 26/09/2018

Idade(Dias): 79

Fbk Esperado: **8,0 MPa**

Obs:

Densidade do Pó: 2,75 g/cm³ Peso mínimo: 12,62 kg Consumo de cimento: 99,25 % Desempenho: 109,97 %

C.P. Nº	Altura (mm)	Base (mm)	Comp (mm)	Peso (Kg)	Carga (Kn)	Resistência (Mpa)
1	190	140	390	12,9400	666,90	12,76
2	190	140	389	12,9600	688,30	12,64
3	189	140	389	12,8400	664,10	12,19
4	190	140	390	13,1400	744,80	13,64
5	190	140	389	12,9400	707,40	12,99
6	190	140	390	13,0000	706,90	13,00



Fbk: 12,07 MPa

Resistência Média 12,87 MPa

Absorção de água: %

Menor dimensão furo: mm

Espes. mínima da parede: mm

Desvio Padrão: 0,48 MPa

Coef. de variação: 3,73 %

Verificações

Fbk = 12,07 MPa

10,85 MPa

Fbk: Resistência característica estimada do lote

Responsável Pelos Ensaio: 8019 ALFONSO FELIPPE LUEBKE JUNIOR

A.3 – Ensaio para blocos de concreto de 12 MPa



9 - PEDREIRA VALE DO SELKE LTDA (BLOCO)
PER010 27/09/2018 08:24:09

PÁG: 1

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 1797 LABORATÓRIO DE CONTROLE INTERNO DE PRODUÇÃO

ENSAIO REALIZADO PARA VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

Op: 920271 - 110 EI1412 BL CON CL "A" 12 MPA 14X19X39CM

Máquina: 4.804 COLUMBIA

Data Fabricação: 11/04/2018

Altura: 19,0000 Cm

Data Ensaio: 27/09/2018

Idade(Dias): 169

Fbk Esperado: **12,0 MPA**

Obs:

Densidade do Pó: 2,75 g/cm³ Peso mínimo: 12,97 kg Consumo de cimento: 105,22 % Desempenho: 104,17 %

C.P. N°	Altura (mm)	Base (mm)	Comp (mm)	Peso (Kg)	Carga (Kn)	Resistência (Mpa)
1	190	140	389	13,5400	888,50	16,31
2	190	140	389	13,5800	865,10	15,89
3	190	140	389	13,6400	875,50	16,08
4	191	140	390	13,7800	907,70	16,62
5	190	140	389	13,6600	889,40	16,33
6	190	140	390	13,5400	877,90	16,08



Fbk: 15,89 MPa

Resistência Média: 16,22 MPa

Absorção de água: %

Menor dimensão furo: mm

Espes. mínima da parede: mm

Desvio Padrão: 0,26 MPa

Coef. de variação: 1,60 %

Verificações

Fbk = 15,89 MPa

14,14 MPa

Fbk: Resistência característica estimada do lote

Responsável Pelos Ensaio: 8019 ALFONSO FELIPPE LUEBKE JUNIOR