

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO – CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – ECV

PAULO RICARDO DE MATOS

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSA ESTABILIZADA
EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa
Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto
Prudêncio Júnior

Co-orientadora: Rudiele A. Schankoski

Florianópolis, 2013

Paulo Ricardo de Matos

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSA
ESTABILIZADA EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE
BLOCOS DE CONCRETO**

Este Trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 29 de novembro de 2013.

Prof. Luiz Alberto Gómez, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

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

Rudiele Aparecida Schankoski, M.Sc.
Co-orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Janaíde Cavalcante Rocha, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Juliana Machado Casali, Dr.^a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

O emprego de argamassas estabilizadas vem ganhando espaço nos últimos anos, tanto no Brasil como no mundo. Isso se deve a diversas vantagens que essas misturas proporcionam: redução de perdas, limpeza da obra, maior produtividade, misturas mais constantes, redução da responsabilidade de dosagem em obra, entre outras. Estas vantagens refletem econômica e ambientalmente na indústria da construção civil. Entretanto, apesar de ainda serem poucos os estudos neste tema, esse tipo de argamassa vem sendo empregado em situações que requerem responsabilidade estrutural, como é o caso do assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto. Isso poderá resultar em problemas patológicos futuros, caso a argamassa empregada não atenda aos requisitos necessários para gerar paredes com a qualidade estrutural exigida, tais como resistências mecânicas inadequadas ou baixa durabilidade. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de argamassas estabilizadas de diferentes resistências, em diferentes tempos de armazenagem. Foram estudadas três argamassas de resistências nominais distintas (6 MPa, 9 MPa e 14 MPa), sendo utilizados blocos de concreto com resistências compatíveis a cada uma delas. Para isso, foram avaliadas as propriedades no estado fresco de cada argamassa (consistência, plasticidade, trabalhabilidade, massa específica e teor de ar incorporado), com dois tempos de utilização: logo após a confecção das mesmas e 36 horas depois. A fim de avaliar as propriedades no estado endurecido, foram moldados, para cada idade, corpos-de-prova prismáticos de 4x4x16 cm (ensaios de flexão e compressão) e cilíndricos de 5x10 cm (ensaios de compressão) de argamassa, além de prismas de três e quatro fiadas (para ensaios de resistência à compressão/módulo de elasticidade e aderência, respectivamente), sendo todos ensaiados 28 dias após a moldagem. A análise dos resultados indicou que as argamassas de 6 MPa e 9 MPa mostraram bons desempenhos, tanto nos corpos-de-prova quanto nos prismas confeccionados, com baixos teores de ar incorporados. Entretanto, a aderência das mesmas mostrou-se um pouco abaixo dos valores preconizados pela norma. Já a argamassa de 14 MPa não apresentou bons resultados, sendo a baixa aderência e resistência mecânica dos prismas atribuídas à trabalhabilidade inadequada da mesma, dificultando a moldagem dos corpos-de-prova e prismas. Nenhuma das alvenarias ensaiadas apresentou fator de eficiência adequado. De modo geral, pode-se afirmar que o uso de argamassas estabilizadas em alvenaria estrutural de blocos de concreto é viável

tecnicamente, sendo recomendado para edificações de médio porte (com blocos de até 9 MPa).

Palavras-chave: Alvenaria estrutural, argamassa estabilizada, blocos de concreto.

ABSTRACT

The use of stabilized mortar is growing in recent years, both in Brazil and in the world. This is due to the many advantages that these mixtures provide: loss reduction, cleaning construction site, higher productivity, mixtures constant, reduced dosage responsible at the construction site, among others. These benefits reflect economic and environmentally in the construction industry. However, although a few studies on this issue, this type of mortar has been used in structural situations, such as the settlement of concrete blocks in structural masonry. This may result in future pathological problems, if the mortar used does not meet the requirements needed to generate the structural walls with required quality, such as inadequate durability or low strengths. Thus, this study aimed to evaluate the performance of stabilized mortars of different resistances at different storage time. Three mortars were studied, with different nominal resistances (6 MPa to 9 MPa and 14 MPa), using concrete blocks with resistance compatible with each of them. For this, we evaluated the properties in the fresh state of each mortar (consistency, plasticity, workability, density and content of entrained air), with two storage times: after preparation and 36 hours later. In order to evaluate the properties in the hardened state, were molded, for each storage time mortar, prismatic specimen 4x4x16 cm (bending tests and compression), cylindrical specimen 5x10 cm (compression tests), and prisms with three and four blocks (for testing compressive strength / tensile modulus and adhesion, respectively), all tested 28 days after molding. The results indicated that the mortars of 6 MPa and 9 MPa showed good performances in both specimen as the prisms made with low levels of incorporated air. However, the adherence of the same proved somewhat below the levels recommended by the standard. The mortar of 14 MPa did not produce good results, with poor adherence and mechanical strength of the prisms attributed to inadequate workability of the same, hindering molding of the specimen and prisms. None of the tested masonry presented appropriate efficiency factor. In general, it can be stated that the use of mortars stabilized in structural masonry concrete block is technically feasible and is recommended for medium sized buildings (with blocks of up to 9 MPa).

Keywords: Structural masonry, stabilized mortar, concrete blocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Influência dos componentes sobre as propriedades da argamassa	26
Figura 2 - Consistência das argamassas	28
Figura 3 – Fatores que influenciam na aderência de argamassas sobre bases porosas.....	33
Figura 4 - Resistência à compressão de blocos, argamassas e prismas de três fiadas.	38
Figura 5– Comportamento da alvenaria sob compressão	40
Figura 6 – Principais ensaios realizados.....	41
Figura 7 – Descarga e armazenamento da argamassa estabilizada.....	44
Figura 8 – Geometria e dimensões dos blocos.	47
Figura 9 – Curva (distribuição) granulométrica das areias utilizadas. ..	50
Figura 10 - Curva (distribuição) granulométrica da composição de areias.	51
Figura 11 – Ensaio de absorção de blocos.....	54
Figura 12 – Procedimento para determinação do ar incorporado pelo método do picnômetro.....	55
Figura 13 – Esforços nos prismas de quatro e cinco fiadas.....	59
Figura 14 – Suporte para os prismas	60
Figura 15 – Carregamento através de uma prensa hidráulica.....	60
Figura 16 – Juntas dos prismas após ruptura à compressão	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das argamassas	20
Tabela 2 - Influência do teor de finos (partículas < 0,075 mm) da mistura seca na plasticidade das argamassas.....	29
Tabela 3 – Fatores de eficiência para alvenaria de blocos de concreto.	39
Tabela 4 - Traços das argamassas ensaiadas.	48
Tabela 5 – Características do cimento Portland utilizado.	48
Tabela 6 - Caracterização das areias utilizadas.	49
Tabela 7 – Caracterização da composição de 70% agregado miúdo natural + 30% agregado miúdo industrial.	50
Tabela 8 – Dados técnicos do plastificante incorporador de ar.	52
Tabela 9 – Dados técnicos do plastificante retardador.	52
Tabela 10 – Resistências e absorções dos blocos.	61
Tabela 11 – Propriedades das argamassas no estado fresco.	62
Tabela 12 – Propriedades das argamassas no estado endurecido	64
Tabela 13 – Resultados dos ensaios dos prismas.	65

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	OBJETIVOS	13
1.1.1.	Objetivo Geral.....	13
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	13
2.	ALVENARIA ESTRUTURAL	14
2.1.	BLOCOS DE CONCRETO	15
2.1.1.	Definição.....	15
2.1.2.	Concreto	15
2.1.3.	Materiais constituintes	16
2.1.3.1	Cimento	16
2.1.3.2	Agregado Miúdo	16
2.1.3.3	Agregados Graúdos.....	17
2.1.3.4	Aditivos.....	17
2.1.4.	Propriedades no Estado Endurecido.....	17
2.1.4.1	Resistência à compressão.....	17
2.1.4.2	Resistência à tração.....	18
2.2.	ARGAMASSA.....	18
2.2.1.	Classificações.....	20
2.2.2.	Materiais constituintes	21
2.2.2.1	Cimento Portland	21
2.2.2.2	Cal	21
2.2.2.3	Agregado Miúdo	22
2.2.2.4	Água	23
2.2.2.5	Aditivos.....	23
2.2.3.	Propriedades.....	25
2.2.3.1	Estado Fresco	26

2.2.3.2	Estado Endurecido	31
2.3.	ALVENARIA	36
2.3.1.	Resistência mecânica	37
2.3.2.	Fator de Eficiência	38
2.3.3.	Mecanismos de Ruptura.....	39
2.4.	ENSAIOS.....	40
2.5.	ARGAMASSA ESTABILIZADA.....	43
2.5.1.	Constituintes.....	44
2.5.2.	Aplicações.....	45
2.5.3.	Vantagens e desvantagens.....	45
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1.	MATERIAIS.....	47
3.1.1.	BLOCOS DE CONCRETO	47
3.1.2.	ARGAMASSA ESTABILIZADA.....	48
3.1.4.	Agregados Miúdos	49
3.1.5.	Aditivos.....	51
3.2.	MÉTODOS	53
3.2.1.	BLOCOS DE CONCRETO	53
3.2.2.	ARGAMASSA ESTABILIZADA.....	54
3.2.2.1	Propriedades no Estado Fresco	54
3.2.2.2	Propriedades no Estado Endurecido.....	56
3.2.3.	AVALIAÇÃO DA ALVENARIA (PRISMAS)	57
3.2.3.1	Confecção dos Prismas	57
3.2.3.2	Ensaio de Resistência à Compressão e Módulo de Elasticidade	58
3.2.3.3	Ensaio de Resistência de Aderência na Flexão.....	58
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61

4.1.	BLOCOS DE CONCRETO	61
4.2.	ARGAMASSA ESTABILIZADA	62
4.3.	PRISMAS	65
5.	CONCLUSÕES	69
5.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
5.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	70
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um dos sistemas construtivos mais antigos existentes, porém vem se modificando ao longo dos anos de acordo com a evolução científica e industrial (MOHAMAD, 1998). Trata-se de um tipo de estrutura na qual as paredes são elementos portantes compostos por unidades de alvenaria (blocos ou tijolos), unidas por juntas de argamassa, capazes de resistir a outras cargas além de seu peso próprio (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003).

Apesar da criação dos blocos de concreto ter ocorrido em 1850, na Inglaterra, somente por volta de 1950 ocorreu o surgimento da alvenaria estrutural de blocos de concreto propriamente dita. No Brasil, os primeiros edifícios construídos com este método surgiram em 1966, em São Paulo. Na década de 80 ocorreram intensas e importantes pesquisas sobre o tema, sendo que muitas construtoras passaram a executar obras com blocos de concreto, apesar do pouco conhecimento desta técnica construtiva e da inexperiência dos profissionais. Isto resultou no surgimento de problemas para as edificações, prejudicando a imagem deste sistema construtivo e fazendo com que o uso da alvenaria estrutural fosse atrofiado por alguns anos. Entretanto, desde o ano 2000, os bons resultados obtidos nas construções (provenientes do desenvolvimento das técnicas de projeto estrutural e o aprimoramento do nível de detalhamento) vêm gradativamente substituindo a imagem negativa deixada, sendo que este método vem sendo aplicado, inclusive, em obras de alto padrão (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003).

Este processo construtivo apresenta uma série de aspectos técnico-econômicos que o destaca principalmente em relação aos métodos tradicionais. A principal vantagem reside no grande potencial de racionalização de todas as etapas de construção, através da otimização de recursos temporais, materiais e humanos (MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

Também, com o intuito de racionalizar a construção, na década de 1950 surgiram as argamassas industrializadas (argamassas previamente dosadas, necessitando apenas a adição de água). Porém, foi na década de 70 que surgiram as argamassas estabilizadas: argamassas que chegam à obra prontas para uso, capazes de serem armazenadas por até três dias, mantendo suas características inalteradas.

Apesar do seu crescente emprego em revestimentos e assentamento de alvenaria de vedação, as argamassas estabilizadas ainda

são pouco utilizadas em aplicações nas quais têm responsabilidade estrutural, como é o exemplo da alvenaria estrutural de blocos de concreto. Isso conduz à necessidade de estudos quanto à viabilidade técnica da aplicação deste material para tais fins.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo estudar o desempenho de argamassas estabilizadas de diferentes resistências, tanto no estado fresco quanto endurecido, para diferentes tempos de utilização, em alvenarias estruturais de blocos de concreto.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Verificar as propriedades das argamassas no estado fresco: plasticidade, consistência, ar incorporado e coesão;
- Analisar o comportamento mecânico da argamassa estabilizada no estado endurecido: resistência à compressão e resistência à tração na flexão;
- Determinar a influência da argamassa no comportamento da alvenaria, por meio de prismas: resistência à compressão, modo de ruptura dos prismas, fator de eficiência e aderência bloco/junta por meio da tração na flexão.
- Verificar a diferença no desempenho da argamassa estabilizada moldada logo após a mistura e após 36 horas de estabilização.

2. ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo no qual as paredes têm a função de vedação e, ao mesmo tempo, atuam como elementos resistentes da estrutura (MOHAMAD, 1998).

Os principais materiais constituintes de uma alvenaria estrutural são as unidades de alvenaria (tijolos e blocos), argamassa e graute. As unidades podem ser confeccionadas com diferentes materiais e formas, sendo que suas propriedades físicas e mecânicas, bem como o desempenho da alvenaria construída com os mesmos, dependem fundamentalmente desses parâmetros. (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003).

A NBR 10837:2000 classifica a alvenaria estrutural em três categorias: não-armada (contém armaduras com finalidade construtiva ou de amarração, não sendo considerada na absorção dos esforços calculados), armada (cujas cavidades são preenchidas continuamente com graute, contendo armaduras envolvidas o suficiente para absorver os esforços calculados, além daquelas armaduras com finalidade construtiva ou de amarração) e parcialmente armada (aquela em que algumas paredes são construídas segundo as recomendações da alvenaria armada, e as demais de acordo com as prescrições da alvenaria estrutural não armada).

Segundo Prudêncio Jr, Oliveira e Bedin (2003), as paredes devem ser dimensionadas para resistir basicamente a quatro tipos de esforços:

- **Compressão:** sem dúvida é o tipo de solicitação mais importante, porque é o tipo de esforço ao qual a alvenaria estrutural não-armada apresenta melhor resistência. Provém das cargas verticais de peso próprio e acidentais, geralmente definindo o conjunto bloco-argamassa a ser utilizado.
- **Cisalhamento:** ocorre nas paredes de contraventamento devido à transmissão de esforços por meio das lajes nelas apoiadas (as quais recebem o carregamento lateral, principalmente proveniente do vento, transmitido pelas paredes de fachada). As tensões de cisalhamento devem ser resistidas pela aderência dos blocos à argamassa, nos planos definidos nas juntas horizontais.
- **Flexão no plano:** As solicitações de flexão no plano geram tensões adicionais de compressão em uma das extremidades das paredes, e de tração na outra. Tais tensões de tração devem ser neutralizadas pela compressão devido ao peso

próprio, caso contrário, implicarão no emprego de armaduras verticais para suportar estes esforços.

- Flexão fora do plano: ocorre nas paredes externas das edificações sujeitas a esforços transversais de vento ou empuxos de terra (como em cortinas, por exemplo), sendo que sua magnitude depende da natureza da sollicitação e da altura da parede. Como no caso anterior, será necessário armar as paredes ou utilizar enrijecedores (para aumentar a inércia das mesmas) se os esforços de tração ultrapassarem os de compressão.

Esta composição de materiais e os diferentes tipos de esforços a que a alvenaria está sujeita, impõem certas dificuldades em se analisar a mesma (MOHAMAD, 1998). Desta forma, torna-se imprescindível o conhecimento das propriedades dos materiais, bem como o comportamento da alvenaria como um todo, para otimizar o seu uso.

2.1. BLOCOS DE CONCRETO

2.1.1. Definição

Medeiros e Sabbatini (1993) definem bloco de concreto como sendo a unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo, conformada por meio de vibração e prensagem, possuindo dimensões superiores a 250x120x55 mm (comprimento x altura x largura). Segundo os autores, a maioria das normas definem blocos de concreto de forma incompleta, ora buscando o conceito dos materiais constituintes, ora utilizando as dimensões e geometria destas unidades. Desta forma, será adotada a definição citada acima.

2.1.2. Concreto

O concreto utilizado na produção dos blocos deve ter uma alta consistência, que permita sua imediata desforma (este tipo de concreto é conhecido como “concreto seco”). Sua dosagem baseia-se na formulação de uma mistura a qual apresente coesão suficiente que permita a produção e desforma, que seja facilmente compactável (gerando o menor volume de vazios possível) e proporcione uma textura

superficial adequada. Este estudo ainda é feito de forma empírica, sendo que metodologias mais elaboradas ainda são pouco conhecidas e utilizadas (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003). Segundo os autores, a dosagem geralmente inicia-se pelo estudo da composição ideal entre os agregados e, posteriormente, são confeccionados traços com diferentes teores de cimento, de modo a se obter uma curva de resistência para cobrir a faixa especificada em norma ou a de interesse do fabricante. A quantidade de água deve ser estabelecida experimentalmente na própria fábrica, pois é função dos materiais utilizados e dos equipamentos disponíveis. Misturas com pouca água podem deixar o material muito poroso e com baixa resistência; já o excesso de água dificulta (ou até impede) a conformação do material pela vibro-prensa.

2.1.3. Materiais constituintes

Os principais materiais empregados na fabricação de blocos de concreto são: brita e pedregulho natural, areia natural e artificial, cimento Portland, aditivos, pigmentos e água (MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

2.1.3.1 Cimento

O cimento mais utilizado para a produção de blocos é o CPV-ARI (Alta Resistência Inicial), pois proporciona uma elevada resistência inicial, acelerando a etapa de desforma e paletização (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003). Entretanto, podem ser utilizados outros tipos de cimento, desde que normalizados.

2.1.3.2 Agregado Miúdo

A qualidade dos agregados é fundamental para a obtenção das propriedades dos blocos de concreto, sendo que as características destes materiais podem interferir na aderência com a pasta de cimento, alterando a homogeneidade e a resistência do concreto constituinte (MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

Os agregados miúdos empregados na produção dos blocos de concreto possuem características similares às dos utilizados nos concretos convencionais. Em geral, são areias médias e grossas especificadas pela ABNT NBR 7211:2005, com módulo de finura em

torno de 3,0. Entretanto, em certos casos (como na produção de blocos de baixa resistência, onde o consumo de cimento é reduzido) é necessário o acréscimo de areias finas para melhorar a coesão e textura superficial da mistura (PRUDÊNCIO Jr. et al., 2003).

As areias naturais usadas para a produção de blocos de concreto devem possuir grãos duros, compactos, duráveis e limpos, sem apresentar quantidades elevadas de material fino e matéria orgânica. Podem-se empregar também areias de britagem, desde que respeitem os limites de qualidade para as características. (MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

2.1.3.3 Agregados Graúdos

A resistência mecânica dos agregados tem influência na resistência do bloco (uma vez que estes ocupam a maior parte do volume existente no concreto) além de permitir um maior ou menor grau de compactação, de acordo com a distribuição granulométrica. (MEDEIROS e SABBATINI, 1993). Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003) indicam a adição de agregado graúdo com dimensão máxima característica de, no máximo, 9,5 mm.

2.1.3.4 Aditivos

Na fabricação de blocos de concreto, quase sempre são empregados aditivos incorporadores de ar, a fim de melhorar a coesão da mistura e a textura superficial do produto, principalmente na produção de blocos de baixa resistência, onde o consumo de cimento é muito reduzido. Além disso, o emprego destes aditivos pode diminuir a energia necessária para a compactação, o que aumenta a produtividade das fábricas ou, se necessário, a resistência à compressão dos blocos (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003).

2.1.4. Propriedades no Estado Endurecido

2.1.4.1 Resistência à compressão

A resistência mecânica do bloco é o mais importante parâmetro para definir a resistência da alvenaria, sendo assim fundamental o seu estudo. Segundo Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003), para um mesmo material constituinte e mesma geometria, quanto maior a resistência à

compressão da unidade, geralmente maior será a resistência à compressão da alvenaria. Esse fato se dá porque um aumento da resistência à compressão da unidade faz com que sua resistência à tração cresça, aumentando diretamente a resistência da parede (que será melhor explicado no item 2.3.1). Contudo, Silva (2007) afirma que o aumento do valor da resistência do bloco não significa um aumento proporcional da resistência da alvenaria, justificando que, com o aumento da resistência do bloco, aumenta ainda mais a diferença entre a resistência do bloco e da argamassa.

2.1.4.2 Resistência à tração

Quando uma alvenaria está sob compressão, incide um esforço de tração transversal na região de contato da unidade de alvenaria com a junta de argamassa. (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003). Segundo os autores, como os dois materiais estão aderidos, são forçados a se deformarem igualmente em suas interfaces. Com isso, aparece um esforço de compressão transversal no topo e na base das juntas e um esforço de tração, também transversal, de igual magnitude, nas faces superiores e inferiores das unidades.

Segundo Mohamad (1998), há duas maneiras de determinar a resistência à tração dos blocos: testes diretos e indiretos. O autor afirma que, devido à dificuldade de realização de testes diretos, geralmente são utilizados testes indiretos, sendo o mais conhecido deles o “Teste Brasileiro” (compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos), normatizado pela ABNT NBR 7222:2011. Silva (2007), baseado em ensaios de Mohamad (1998), concluiu que a resistência à tração dos blocos está na ordem de 10% de sua resistência à compressão.

2.2. ARGAMASSA

As argamassas são materiais de construção com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais (CARASEK, 2007). As argamassas são empregadas com diversas finalidades na construção civil (assentamento de alvenarias, revestimento, assentamento de peças cerâmicas, regularização de superfícies, entre outras) Entretanto, o presente trabalho irá tratar apenas da função de assentamento de alvenaria estrutural.

Sabbatini (1986) aponta as principais funções da argamassa em uma parede de alvenaria:

- Unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir os esforços laterais;
- Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área das unidades;
- Absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;
- Selar as juntas contra a penetração de água da chuva.

Ainda segundo o autor, para que a argamassa tenha a capacidade de prover as funções citadas, ela deve apresentar as seguintes características:

- Ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) suficiente para que o pedreiro produza, com rendimento otimizado, um trabalho satisfatório, rápido e econômico;
- Ter capacidade de retenção de água suficiente para que uma elevada sucção do bloco não prejudique as suas funções primárias;
- Adquirir rapidamente alguma resistência após assentamento das unidades para resistir a esforços que possam atuar durante a construção;
- Desenvolver resistência adequada com o passar do tempo para não comprometer a alvenaria de que faz parte. Não deve, no entanto, ser mais resistente que os blocos que ela une;
- Ter adequada aderência às unidades, a fim de que a interface possa resistir a esforços cisalhantes e de tração e prover a alvenaria de juntas estanques;
- Ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo;
- Ter suficiente resiliência (módulo de elasticidade inferior ao do bloco) para que acomode as deformações da parede (retração na secagem, retração térmica, movimentações estruturais de pequena amplitude, entre outras) sem fissurar.

Além das propriedades intrínsecas das argamassas, o desempenho da alvenaria estrutural depende de fatores construtivos, tais como o tipo de argamassamento (total ou parcial) e a espessura das juntas de argamassa (SCHANKOSKI, 2012).

Visto isso, é essencial o entendimento do comportamento da argamassa, bem como suas propriedades e constituição, para um bom uso da mesma.

2.2.1. Classificações

A classificação de uma argamassa depende do parâmetro que está sendo avaliado (propriedades, constituição, aplicação, confecção, etc.). Carasek (2007) propõe a classificação das argamassas em relação a vários critérios, conforme exposto na Tabela 1:

Tabela 1 - Classificação das argamassas

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa aérea • Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa simples • Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa pobre ou magra • Argamassa média ou cheia • Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa leve • Argamassa média • Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa preparada em obra • Mistura semipronta para argamassa • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central

Fonte: CARASEK (2007).

As argamassas estudadas neste trabalho podem ser classificadas como hidráulicas, de cimento, simples e industrializadas, sendo as demais classificações dependentes dos seus desempenhos.

2.2.2. Materiais constituintes

As características e propriedades das argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, se devem principalmente às características e proporções dos materiais constituintes das mesmas. Desta forma, é importante conhecer a função de cada um destes materiais, a fim de selecionar os tipos e quantidades (dosagem) mais adequadas para cada mistura.

2.2.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland proporciona resistência às argamassas, aumenta a aderência, trabalhabilidade e retenção de água. Entretanto, o excesso de cimento (mais de 1/3 do volume total da argamassa) aumenta exageradamente a retração, atentando contra a durabilidade da aderência (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003). Segundo os autores, os cimentos que apresentam maior superfície específica têm potencial para tornar as argamassas mais trabalháveis e com maior retenção de água; já os cimentos de endurecimento mais lento, em geral, produzem argamassas mais resilientes (com maior capacidade de absorver pequenas deformações). Desta forma, os cimentos Portland Pozolânicos (CP-IV) e Alto-forno (CP-III) podem compor argamassas tecnicamente melhores (do que aquelas obtidas com cimento Portland Comum), pois apresentam as duas propriedades.

2.2.2.2 Cal

A cal, além de ser um material aglomerante, possui importantes propriedades plastificantes e de retenção de água, devido à sua finura. Logo, a cal proporciona um preenchimento da superfície do substrato de forma mais fácil e completa, proporcionando maior extensão de aderência. (CARASEK, 2007).

Usualmente, para o preparo de argamassas de assentamento, utiliza-se a cal hidratada, mas também podem ser utilizadas cales extintas em obra. Atualmente em Santa Catarina (especialmente na

região da Grande Florianópolis) é comum o emprego de argamassas usinadas de cal e areia, sendo o cimento Portland e a água adicionados na obra. Neste caso, a cal utilizada nas usinas é a cal virgem (em pó), sendo sua extinção feita em reatores (tanques contendo pás giratórias) durante aproximadamente 8 horas. (CARASEK, 2007; PRUDÊNCIO Jr., 2007)

Esse aglomerante, deve apresentar teor de componentes ativos (CaO e MgO) superior a 88%. Entretanto, Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003) afirmam que, segundo estudos realizados pelo IPT-ABCP, a cal hidratada comercializada no país não possui, em muitos casos, boa qualidade e não atende às especificações das normas brasileiras.

2.2.2.3 Agregado Miúdo

Segundo Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003) a areia, atuando como agregado inerte na mistura, reduz a proporção dos aglomerantes, reduzindo o custo da argamassa e diminuindo os efeitos nocivos do excesso de cimento. Os autores definem que uma boa areia para argamassa deve passar integralmente pela peneira 1,2mm, não ter mais do que 10% de material pulverulento (passante na peneira 200 - 0,075mm) e ter uma granulometria bem distribuída na malha intermediária. Como já conhecido na prática, as areias de britagem (industriais) costumam apresentar maiores parcelas de material retido nas peneiras superiores (1,2 mm – 4,8 mm) e de materiais finos (passante na peneira 0,075 mm). Já as areias naturais, em geral, apresentam maior porcentagem de material retido nas peneiras intermediárias (0,6 mm e 0,3 mm). Desta forma, é comum utilizar composições com estes dois tipos de materiais, a fim de se obter um material mais contínuo e adequado às zonas granulométricas ótimas/utilizáveis.

As propriedades das argamassas que interferem fortemente no desempenho da alvenaria estrutural - trabalhabilidade, aderência e resiliência - são fundamentalmente dependentes das características da areia empregada na confecção da argamassa. (SABBATINI, 1986). Isso faz com que a escolha de uma areia adequada seja fortemente influenciada pelo caráter técnico da mesma, e não apenas pelo econômico.

Além disso, Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003) afirmam que existem claras evidências de que as areias grossas aumentam a resistência à compressão da argamassa. Esta afirmação é comprovada

por Casali (2003): a autora observou que argamassas constituídas de areias finas (módulo de finura de 1,71) apresentaram resistência à compressão 44% inferiores às constituídas de areia grossa (módulo de finura de 2,67), sendo os demais componentes inalterados.

Sabbatini (1986) concluiu que ocorre uma interdependência entre os parâmetros mineralógicos (origem, presença ou não de siltes e argilominerais) e granulométricos (dimensões, distribuição granulométrica e forma dos grãos), sendo mais válido medir as propriedades das argamassas ao serem compostas por uma determinada areia, do que procurar inferir as propriedades a partir das características da areia em si.

2.2.2.4 Água

A trabalhabilidade, principal propriedade das argamassas no estado fresco, está intimamente ligada à quantidade de água adicionada. Esta quantidade deve ser tal que garanta uma boa produtividade no assentamento, sem que cause a segregação dos constituintes da argamassa. Além disso, o teor de água influencia nas propriedades do estado endurecido das argamassas, tais como a resistência mecânica (relacionada à relação a/c), aderência bloco/junta, durabilidade (influenciando na retração, a qual está ligada ao aparecimento de fissuras), entre outras (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003).

Vale ressaltar que, além da quantidade, a qualidade da água utilizada na confecção de argamassas deve ser observada. Segundo Carasek (2007), a presença de substâncias, como sais e matéria orgânica, pode alterar o tempo de pega. Atualmente, está em vigor a ABNT NBR 15900:2009, a qual trata da água para amassamento do concreto (podendo ser aplicada a argamassas), trazendo os procedimentos de amostragem e análises que devem ser feitas (presença de zinco, chumbo, nitratos, cloretos, sulfatos, fosfatos, álcalis e açúcares).

2.2.2.5 Aditivos

Aditivos são substâncias adicionadas durante o processo de mistura, geralmente em pequenas quantidades (em geral, até 5% da massa de cimento, relativo à massa total do aditivo), as quais alteram determinadas propriedades de concretos, argamassas, pastas e grautes. (PRUDÊNCIO Jr., 2007). A seguir, serão apresentados os aditivos mais

utilizados na confecção de argamassas para assentamento de alvenaria estrutural: redutores de água, incorporadores de ar e retardadores.

a) Redutores de água: plastificantes e superplastificantes:

Segundo ABNT NBR 11768: 2011, os plastificantes/redutores de água são aditivos que permitem aumentar a fluidez do concreto, sem alterar sua quantidade de água, ou reduzir o conteúdo de água do concreto fresco¹ em no mínimo 6%, sem modificar sua consistência. De acordo com Prudêncio Jr (2007), esta redução de água pode chegar a 15%. A norma ainda define os superplastificantes de forma similar, apenas alterando a intensidade do efeito plastificante: estes devem promover uma redução de, no mínimo, 12% da água de amassamento para obter uma mesma trabalhabilidade (sendo que, de acordo com Hartmann et al. (2011), esta redução pode chegar a 40%).

Além dos dois tipos citados, existem os aditivos conhecidos como polifuncionais. Estes apresentam um desempenho intermediário entre os plastificantes e superplastificantes, permitindo uma redução de água entre 5% e 18%. Apesar de não existirem normas específicas para classificá-los, estes são os aditivos mais empregados, atualmente, em centrais dosadoras de concreto (HARTMANN et al., 2011).

Desta forma, segundo Hartmann et al. (2011), a utilização destes aditivos tem como finalidade reduzir o consumo de água para uma mesma consistência (aumentando a resistência e durabilidade), aumentar a fluidez do concreto ou argamassa sem alterar o consumo de água (e, conseqüentemente, a resistência mecânica) e/ou reduzir a quantidade de cimento, mantendo a relação água/cimento constante (reduzindo a retração, fluência e tensões térmicas, além dos custos).

b) Incorporadores de ar:

São substâncias cuja função principal é produzir um número elevado de finas bolhas de ar, estáveis, separadas entre si e distribuídas uniformemente (PRUDÊNCIO Jr., 2007). No estado fresco, os incorporadores de ar podem melhorar a reologia de misturas com baixo consumo de cimento ou em traços que contenham agregados com

¹ Não existe, atualmente, uma norma que classifique especificamente aditivos para argamassas. Entretanto, como são os mesmo aditivos aplicados a concretos, ABNT NBR 11768:2011 (Aditivos para Concreto de Cimento Portland) contempla satisfatoriamente os aditivos usados em argamassas.

granulometria pobre em finos. Nesses casos, este aditivo melhora a trabalhabilidade, aumenta a coesão e reduz a exsudação (HARTMANN et al., 2011).

Contudo, é importante ficar atento ao uso excessivo deste aditivo. Segundo Silva (2007), o uso de incorporadores de ar torna a argamassa mais plástica, reduzindo a água necessária para obter uma trabalhabilidade adequada (diminuindo a relação a/c e, conseqüentemente, podendo aumentar a resistência final). Entretanto, Carasek (2007) afirma que, apesar de melhorar as características do estado fresco, a presença de incorporador de ar geralmente reduz a resistência mecânica e a aderência da argamassa ao substrato (em seu valor e extensão), já que a presença de bolhas aumenta o teor de vazios e provoca uma redução de superfície de contato na interface junta/unidade. Desta forma, a dosagem deste aditivo deve ser feita cuidadosamente para não prejudicar o desempenho da alvenaria.

c) Retardadores:

Os aditivos retardadores têm a função de retardar a hidratação inicial dos grãos de cimento, atuando na redução da dissolução dos constituintes anidros e da cristalização dos compostos hidratados. Entretanto, após a pega, não interferem no processo de endurecimento. Devido a sua composição (ácidos e açúcares), tendem a plastificar a mistura. O aumento da superfície de cimento em contato com a água provoca melhor hidratação dos grãos, resultando em maiores volumes de cristais e densidade e, conseqüentemente, um aumento da resistência mecânica em idades superiores, menor permeabilidade e fissuração. (PRUDÊNCIO Jr., 2007; MEHTA e MONTEIRO, 2008; HARTMANN et al., 2011). A ABNT NBR 11768 (2011) especifica que os aditivos retardadores devem proporcionar à mistura um tempo de início de pega de no mínimo 1,0 hora e no máximo 3,3 horas maior que uma mistura de controle (idêntica, sem o aditivo).

2.2.3. Propriedades

Como já citado anteriormente, os materiais constituintes (em suas características e quantidades) influenciam fortemente nas propriedades das argamassas, tanto no estado fresco como no estado endurecido. A seguir, na Figura 1, está um resumo das principais propriedades e influências dos constituintes sobre elas.

Figura 1– Influência dos componentes sobre as propriedades da argamassa

Estado	Propriedade	Componentes				
		Cimento	Cal	Areia		Água
				Grossa	Fina	
Fresco	Fluidez	+	+	o	o	++
	Plasticidade	+	++	-	+	o
	Coessão	+	++	-	+	o
	Retenção de água	+	++	-	+	o
Endurecido	Tensão de aderência	++	o	o	o	o
	Extensão de aderência	-	++	-	+	+
	Durabilidade da aderência	-	++	o	o	o
	Resistência à compressão	++	-	+	-	-

+ Indica que aumenta;

- Indica que diminui;

o Indica que tem pouca influência

Fonte: SABBATINI (1986)

2.2.3.1 Estado Fresco

a) Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a propriedade da argamassa no estado fresco que determina a facilidade com que ela pode ser misturada, transportada, aplicada, consolidada e acabada, em condições homogêneas (CARASEK, 2007). Segundo Sabbatini (1986), a trabalhabilidade provém do rolamento dos grãos de agregados lubrificadas pela pasta cimentante, sendo uma combinação de vários parâmetros reológicos: plasticidade, coessão, consistência, viscosidade, adesão e densidade. A trabalhabilidade, entretanto, é uma propriedade difícil de quantificar porque envolve conceitos muito mais subjetivos do que físicos, tais como preferência do operador, tradição construtiva, propriedades do substrato (como absorção de água e textura superficial),

além de características inerentes à própria argamassa (OLIVEIRA, 1992).

Sabbatini (1986) cita o interessante fato que os ingleses utilizam a proporção 1:3 (cimento + cal : areia) em volume, como traço básico, partindo do princípio que, com esta proporção, os vazios da areia são preenchidos pela pasta aglomerante. Desta forma, ao se alterarem as proporções relativas entre cal e cimento, a trabalhabilidade fica mais ou menos assegurada.

b) Consistência / Fluidez

Do ponto de vista prático, consistência é a propriedade que exprime o quão mole ou rígida está a argamassa. Já do ponto de vista do comportamento reológico, a consistência está associada à capacidade da mistura em resistir ao escoamento (argamassas com consistência mais fluidas apresentam menores valores de tensão de escoamento, e vice-versa) e com a sua viscosidade (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003; CARASEK, 2007).

A determinação desta propriedade normalmente é feita segundo a ABNT NBR 13276 (2005), que apresenta a metodologia de ensaio utilizando a mesa de consistência (flow table): molda-se um tronco de cone de argamassa, submetendo-o a 30 quedas da mesa de uma altura padrão e medindo a abertura da base do tronco. Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003) afirmam que os valores encontrados para argamassas usuais estão na faixa de 230 a 280 mm, dependendo muito da composição da argamassa (em especial, da granulometria dos agregados). Os autores salientam que o fato de uma argamassa apresentar consistência dentro desta faixa não garante por si só sua trabalhabilidade, podendo não apresentar plasticidade e coesão adequadas. Por este motivo, o ensaio de flow table por si só não caracteriza adequadamente uma argamassas de assentamento.

Carasek (2007) propõe a classificação das argamassas, segundo sua consistência, conforme a Figura 2:

Figura 2 - Consistência das argamassas

CONSISTÊNCIA	Argamassa Seca	A pasta aglomerante somente preenche os vazios entre os agregados, deixando-os ainda em contato. Existe o atrito entre as partículas que resulta em uma massa áspera.	
	Argamassa Plástica	Uma fina camada de pasta aglomerante “molha” a superfície dos agregados, dando uma boa adesão entre eles com uma estrutura pseudo-sólida.	
	Argamassa Fluida	As partículas de agregado estão imersas no interior da pasta aglomerante, sem coesão interna e com tendência de depositar-se por gravidade (segregação). Os grãos de areia não oferecem nenhuma resistência ao deslizamento, mas a argamassa é tão líquida que se espalha sobre a base, sem permitir a execução adequada do trabalho.	

Fonte: CARASEK (2007)

c) Plasticidade

Em termos reológicos, a plasticidade está relacionada com a viscosidade da argamassa. Carasek (2007) define esta propriedade como sendo a capacidade da argamassa de manter-se deformada após a

retirada da tensão que a deformou. Essa propriedade é influenciada pelos tipos e quantidades de aglomerantes e agregados, tempo e intensidade de mistura, além da presença de aditivos, principalmente incorporadores de ar. Desta forma, a autora propõe a classificação das argamassas quanto à plasticidade conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Influência do teor de finos (partículas < 0,075 mm) da mistura seca na plasticidade das argamassas.

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

Fonte: CARASEK (2007).

Entretanto, a influência dos agregados não se manifesta apenas pela fração fina dos mesmos (partículas menores que 0,075 mm), e sim pela granulometria como um todo. Casali e Prudêncio Jr. (2008), ao estudarem a variação das propriedades das argamassas mistas de assentamento com diferentes areias, constataram que, quanto menor o módulo de finura do agregado, maior o índice de plasticidade da argamassa (mm/J), isto é, menor é a energia utilizada para obter uma junta de 1 cm de espessura.

d) Retenção de água

Carasek (2007) define retenção de água como sendo a capacidade que a argamassa fresca possui de manter sua trabalhabilidade quando exposta a solicitações que provocam perda de água (evaporação e/ou absorção pelo substrato). Segundo Sabbatini (1986), uma argamassa tende a conservar água necessária para molhar a superfície dos grãos (agregados e aglomerantes), sendo a água em excesso cedida à base por meio de sucção. Desta forma, o aumento da superfície específica dos constituintes da argamassa, ou o uso de aditivos (os quais absorvem água ou impedem a percolação), aumenta a capacidade de retenção de água. Isto explica porque a cal apresenta boas características de retenção de água: além de sua elevada superfície específica, possui grande capacidade adsortiva de seus cristais (até 100% do seu volume).

As desvantagens da retenção de água inadequada são apontadas por Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003): uma baixa retenção de água faz com que a argamassa enrijeça, dificultando (ou até impossibilitando) o assentamento correto dos blocos, além da hidratação parcial do cimento; já uma retenção muito elevada prejudica a aderência bloco/junta, pois dificulta a percolação da água a qual carrega materiais cimentícios para os poros do bloco, além de prejudicar a manutenção da espessura das juntas após o processo de assentamento e na confecção das fiadas subsequentes.

A retenção de água, além de influenciar as propriedades no estado fresco das argamassas (acabamento e retração plástica), afeta as propriedades no estado endurecido, tais como a aderência, resistência mecânica e durabilidade. Isso se dá porque, depois de endurecidas, as argamassas dependem de uma adequada retenção de água para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes (hidratação e carbonatação) ocorram de forma apropriada (CARASEK, 2007).

Atualmente, a ABNT NBR 13278 (2005) (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água) substituiu a ABNT NBR 9287 (1986), a qual era específica para a determinação da retenção de água para argamassas de assentamento para alvenaria estrutural.

e) Adesão inicial

Prudêncio Jr. (2007) define esta propriedade como sendo a capacidade que a argamassa no estado fresco possui de permanecer adequadamente unida à base de aplicação após o seu lançamento. Segundo o autor, esta propriedade é fortemente influenciada pela plasticidade e coesão da argamassa, além das propriedades do substrato no qual é aplicada (absorção inicial e rugosidade), e tem ligação direta com a aderência que a argamassa terá no estado endurecido.

A adesão inicial é diretamente relacionada com a tensão superficial da argamassa, a qual pode ser modificada pela alteração de sua composição: maiores teores de cimento, cal e uso de aditivos incorporadores de ar e retentores de água diminuem a tensão superficial, contribuindo para molhar de maneira mais eficiente a superfície dos agregados e do substrato. Este fenômeno propicia um maior contato físico da pasta com os grãos de agregado e com a base, melhorando a adesão (CARASEK, 2007).

f) Massa específica e Teor de ar incorporado

A massa específica de uma argamassa varia com o teor de ar incorporado e com a massa específica dos materiais constituintes (principalmente dos agregados, pois estes ocupam o maior volume), sendo um indicativo de compacidade da mesma. Cabe salientar que a massa específica da argamassa endurecida é ligeiramente menor que da argamassa no estado fresco, pois ocorre a saída de parte da água (CARASEK, 2007).

O teor ar incorporado é a quantidade de ar retido em uma argamassa, no estado fresco. Um bom parâmetro para servir de base é o proposto por Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003): um teor de ar incorporado inferior a 10%, em geral não é um valor capaz de causar prejuízos na resistência à compressão e na extensão de aderência entre a junta de argamassa e o bloco. Esta propriedade pode ser medida pelo método gravimétrico (ABNT NBR 13278 (2005) para argamassas ou adaptação da ABNT NBR 9833 (2008) para concretos), pressométrico (ASTM C 780:1996), ou pelo método do picnômetro, desenvolvido pelo GTec – UFSC e descrito no item 4.2.

2.2.3.2 Estado Endurecido

Segundo Solórzano e Sabbatini (1995), dentre todo requisitos que as juntas de argamassa devem atender, destacam-se três: aderência, resistência à compressão e módulo de deformação. O destaque não está relacionado apenas à importância que apresentam, mas também porque são passíveis de serem avaliadas através de ensaios normalizados, simples e extremamente difundidos. Entretanto, serão apresentadas outras propriedades importantes além destas.

a) Aderência (resistência, extensão e durabilidade)

A aderência pode ser entendida como a capacidade de uma argamassa de se fixar no substrato onde é aplicada (medida por seu valor e extensão), sendo a propriedade mais importante da argamassa endurecida. Logo, esta não é uma propriedade intrínseca da argamassa, pois depende também das características das unidades que irá ligar (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003; PRUDÊNCIO Jr., 2007).

A resistência de aderência pode ser definida como a capacidade da interface bloco/argamassa de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem se romper. Já a extensão de aderência é definida como a razão entre a área de contato argamassa-substrato efetiva e a área total possível de ser unida (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003; CARASEK, 2007).

Entretanto, o valor da resistência de aderência não é constante ao longo do tempo. Segundo Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003), o fato de existirem dois materiais distintos juntos (argamassa e unidades), sujeitos à esforços solicitantes (variações dimensionais devido à mudança de temperatura e umidade), faz com que a tensão de aderência possa ser reduzida com o tempo. Logo, a durabilidade da aderência remete à ideia da manutenção da aderência com o passar do tempo. Segundo os autores, é provável que a única forma de se mensurar este parâmetro seja avaliando o desempenho de construções que já tenham sido submetidas a tais solicitações.

A aderência é um fenômeno essencialmente mecânico, de nível micro e macroscópico, devendo-se basicamente à penetração da pasta ou da própria argamassa nos poros e/ou rugosidades da base de aplicação. Existem ainda ligações secundárias, em nível de ligação atômica, menos significativas. Seja qual for a natureza da ligação, quanto melhor for o contato entre a argamassa e o substrato, maior será a aderência obtida (CARASEK, 2007).

Os materiais que compõem a argamassa exercem grande influência em sua aderência, seja pela natureza ou pelas proporções dos mesmos. Carasek (2007) aponta algumas destas influências:

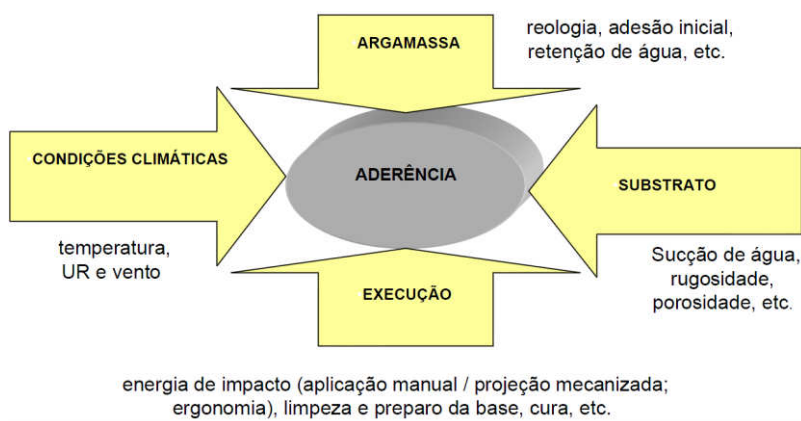
- Cimento: o tipo, características físicas e teor do cimento podem influenciar na aderência. O parâmetro mais significativo é a finura: quanto mais fino o cimento, maior a resistência de aderência obtida, tanto em idades iniciais quanto em idades superiores. As argamassas com elevados teores de cimento apresentam as maiores resistências de aderência, mas podem ser menos duráveis pelo fato de possuírem maior tendência à fissuração.
- Cal: além de ser um material aglomerante, possui importantes propriedades plastificantes e retentoras de água, devido a sua finura. Logo, as argamassas com cal preenchem melhor (de maneira mais fácil e completa) a superfície do substrato, proporcionando maior extensão de aderência. Outra vantagem do uso desse aglomerante em argamassas se dá pelo

fenômeno de restabelecimento ou reconstituição autógena: a reação de carbonatação, processada ao longo do tempo, proporciona à argamassa a habilidade de evitar fissuras e preencher vazios, aumentando a durabilidade da aderência.

- Areia: de forma geral, com um aumento do teor de areia, há uma redução na resistência de aderência. Entretanto, a areia contribui para a durabilidade da aderência, reduzindo a retração, pois compõe o esqueleto indeformável da argamassa. Vale ressaltar que, dentro do campo das areias que produzem argamassas trabalháveis, uma granulometria mais grossa produz argamassas com melhores resistências de aderência. Uma das hipóteses apontadas pela autora diz que, após a aplicação da argamassa, quando o substrato exerce sucção sobre a mesma, a parcela de finos (partículas menores que 0,075 mm) da areia pode penetrar no interior de seus poros, tomando o lugar de produtos hidratados do cimento que se formariam na interface e promoveriam o travamento da argamassa.

Desta forma, pode-se perceber que a aderência das argamassas depende de diversos fatores. Carasek (2007) aponta alguns deles na Figura 3, tais como condições climáticas, modo de execução, características do substrato, além de propriedades da argamassa propriamente dita.

Figura 3 – Fatores que influenciam na aderência de argamassas sobre bases porosas



Fonte: CARASEK (2007).

b) Resistência à compressão

A resistência à compressão depende fundamentalmente da relação água/cimento. Entretanto, é importante salientar que o valor obtido não representa a resistência do material aplicado, pois a quantidade de água que permanece na argamassa após o assentamento varia em função da capacidade de retenção de água da mesma e da absorção inicial do bloco (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003).

Esta propriedade geralmente é quantificada pelo ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (5x10 cm). Contudo, este ensaio não reproduz o estado de tensões real ao qual o material está submetido na alvenaria, não correspondendo à resistência efetiva da argamassa em serviço. Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003) afirmam que, para um mesmo tipo de argamassa, um aumento na resistência à compressão da mesma não implica em um aumento substancial na resistência da alvenaria, pois o módulo de deformação da argamassa não aumenta na mesma proporção que a resistência. Esta afirmação é confirmada por diversos autores, tais como Steil (2003) e Silva (2007): o primeiro autor obteve um aumento 8,8% na resistência da alvenaria para um aumento de 78% na resistência da argamassa; já a segunda autora obteve, para um aumento da resistência da argamassa de 116%, um aumento de 21,9% na resistência de prismas moldados com de blocos 12 MPa e um aumento de 2,2% na resistência de prismas moldados com blocos de 22 MPa.

Por este motivo, Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003) consideram inadequada a exigência ABNT NBR 15961 (2011), a qual estabelecia que a resistência mínima da argamassa para alvenaria estrutural e blocos de concreto deve ser de 9 MPa. Mohamad (1998) concluiu que deve haver uma compatibilidade entre as resistências da argamassa e dos blocos, recomendando a que a resistência da argamassa fique entre 0,7 e 1 vez a resistência do bloco.

Como Schankoski (2012) cita, é importante lembrar que uma grande resistência à compressão da argamassa não é necessariamente sinônimo de uma melhor solução estrutural, pois a argamassa deve resistir aos esforços aos quais a parede está submetida, sem exceder a resistência dos blocos na área líquida, de maneira que as fissuras que venham a ocorrer no conjunto ocorram na junta.

Desta forma, percebe-se que não basta analisar a resistência mecânica da argamassa separadamente, sendo essencial a análise em

conjunto com outros parâmetros, tais como a deformabilidade da mesma e a resistência das unidades empregadas. Todas estas propriedades se relacionam a dois fatores que são, provavelmente, os mais importantes no estudo da alvenaria estrutural: o mecanismo de ruptura e o fator de eficiência da alvenaria (explanado posteriormente nos item 2.3.3 e 2.3.2, respectivamente).

c) Deformabilidade e Módulo de Elasticidade

Como já mencionado anteriormente, segundo Sabbatini (1986), uma argamassa de assentamento deve ter suficiente resiliência para que acomode as deformações da parede sem fissurar. Logo, além da resistência mecânica, é muito importante conhecer a deformabilidade da argamassa. Para quantificar esta deformabilidade, têm-se o módulo de elasticidade (ou módulo de deformabilidade), o qual consiste na relação entre a tensão uniaxial aplicada a um corpo e a deformação unitária por ele apresentado. Este valor é obtido pela declividade da curva tensão x deformação aplicada ao corpo.

Silva (2007) afirma que, entre os fatores que influenciam na resistência da alvenaria, um dos mais importantes é o módulo de elasticidade, pois a relação entre a rigidez dos materiais utilizados define a resistência final da alvenaria e seu modo de ruptura. Segundo Mohamad (1998), o módulo de elasticidade das argamassas varia com o aumento das tensões transversais de confinamento e com a composição da argamassa. Em sua pesquisa, o autor constatou que, para um traço 1:1:6 (cimento : cal : areia, em volume), o aumento da tensão de confinamento provocou uma diminuição no módulo de elasticidade da argamassa; já para os traços 1:0,25:3 e 1:0,5:4,5, foram verificados aumentos nos módulos de elasticidade com o acréscimo das tensões transversais.

d) Retração

A retração é resultado de um mecanismo complexo, associado com a variação volumétrica da pasta aglomerante, apresentando papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à durabilidade e estanqueidade. Parte da retração é consequência das reações químicas de hidratação, mas a parcela principal é devido à secagem (CARASEK, 2007).

Vários fatores influenciam na magnitude deste fenômeno. A seguir estão alguns deles, adaptados de Prudêncio Jr. (2007) e Carasek (2007):

- Teor de aglomerante: determina a retração por hidratação e por carbonatação (relacionada ao processo de endurecimento da pasta). O aumento do teor de cimento eleva o potencial de retração da argamassa, pois as tensões de tração oriundas deste fenômeno estão diretamente ligadas ao seu módulo de elasticidade.
- Volume de água: quanto maior o volume de água utilizado na confecção da argamassa, maior será a retração da mesma, devido ao aumento volumétrico da pasta (uma vez que o volume proporcional de agregado será reduzido).
- Granulometria do agregado: A granulometria da areia determina o volume de vazios, os quais serão preenchidos pela pasta. Quanto mais elevado for este volume, maior o teor de pasta necessário, elevando o potencial de retração da argamassa. Outro ponto importante a ser considerado é o teor de material pulverulento: devido à sua alta superfície específica, esta fração demanda elevada quantidade de água de amassamento para obter uma trabalhabilidade adequada. Esta água não é consumida pela hidratação, gerando tensões nos poros ao evaporar, causando fissuração (retração plástica).
- Condições ambientais: se a secagem é lenta, a argamassa tem tempo suficiente para atingir uma resistência à tração capaz de suportar as tensões internas que surgem devido à retração. Climas quentes, secos e com ventos fortes facilitam a saída da água, acarretando na fissuração da argamassa.

2.3. ALVENARIA

Embora se trate de uma operação simples, a execução das paredes estruturais exige materiais adequados e cuidados específicos com o projeto, a mão-de-obra e o controle de qualidade. A propriedade primordial na análise do comportamento mecânico da alvenaria é a capacidade resistente da parede à ação de esforços de compressão normais ao seu plano vertical (MEDEIROS e SABBATINI, 1993). Entretanto, esta capacidade resistente não depende apenas da resistência mecânica dos materiais constituintes, mas também de fatores os quais

serão vistos a seguir: resistência mecânica, fator de eficiência e mecanismo de ruptura.

2.3.1. Resistência mecânica

Silva (2007) afirma que os principais fatores que determinam a resistência mecânica da alvenaria estão relacionados aos blocos (geometria, absorção, resistência à compressão e resistência à tração), argamassa (resistência, retenção de água, resiliência, espessura e disposição da junta) e ao conjunto (proporção da rigidez entre argamassa e bloco). Entretanto, segundo Hamid e Drysdale (1979), citados em Mohamad (1998), a alvenaria é um elemento composto pela união de componentes heterogêneos, o que dificulta o desenvolvimento de modelos matemáticos que expliquem fielmente o seu comportamento estrutural.

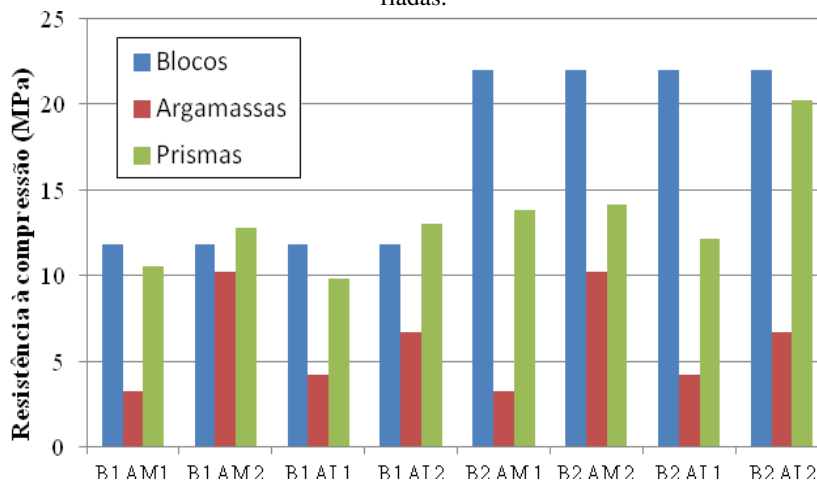
Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003) explicam alguns fenômenos conhecidos na prática, referentes à resistência mecânica das alvenarias:

- Quanto maior a espessura da junta, menor é a resistência da alvenaria: com uma espessura maior, a argamassa torna-se mais deformável, aumentando o esforço de tração transversal na unidade.
- Quanto menor a altura da unidade, menor é a resistência da alvenaria: quanto maior for a altura do bloco, maior será sua seção transversal para resistir aos esforços de tração; além disso, unidades mais altas deformam-se mais transversalmente, reduzindo as tensões transversais que ocorrem na interface argamassa/unidade.
- Quanto maior o módulo de deformação da unidade, menor é a resistência da alvenaria: o módulo de deformação da junta (argamassa), em geral, é baixo. Blocos muito rígidos aumentam a diferença de deformabilidade entre a junta e as unidades, aumentando as tensões na interface entre as mesmas.
- A resistência da alvenaria pode ser maior do que a da argamassa da junta: quando a argamassa está aplicada na junta, ela encontra-se confinada lateralmente, sendo necessário um carregamento maior para levá-la à ruptura do que quando é ensaiada à compressão simples (estado uniaxial de tensão).

- A resistência da alvenaria dificilmente ultrapassa a resistência da unidade. Isto se dá pelo fato de que, quando ensaiada a unidade à compressão, suas extremidades estão confinadas pela prensa; já quando as unidades estão aplicadas na alvenaria, suas extremidades estão submetidas às tensões de tração transversal.

Diversos autores realizaram estudos comparativos entre as resistências dos blocos, argamassas e alvenaria, explicando as duas últimas afirmações citadas anteriormente. Entre eles, está Silva (2007), que realizou os ensaios em prismas de duas e três fiadas, painéis (um quarto e meia parede) e paredes, com argamassas mistas de cimento e cal (AM) e argamassas industrializadas (AI), utilizando blocos de 12 MPa (B1) e 22 MPa (B2). A Figura 4, adaptada da autora, ilustra os resultados dos prismas de três fiadas .

Figura 4 - Resistência à compressão de blocos, argamassas e prismas de três fiadas.



Fonte: Adaptado de SILVA (2007)

2.3.2. Fator de Eficiência

O fator de eficiência é a relação entre a resistência à compressão do prisma e da unidade. É possível observar variações entre fatores de eficiência obtidos para unidades de mesma classe de resistência e diferentes fabricantes. Isso se deve, principalmente, a suas diferenças

geométricas (formato, conicidade dos furos e espessura das paredes). Desta forma, o fator de eficiência não é um parâmetro que pode ser generalizado para uma classe de bloco, devendo ser previamente conhecido ou determinado experimentalmente para ser utilizado em projetos (PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN, 2003).

A Tabela 3 a seguir, adaptada de Schankoski (2012), apresenta um resumo dos fatores de eficiência encontrados por alguns autores, para ensaios em alvenarias de blocos de concreto:

Tabela 3 – Fatores de eficiência para alvenaria de blocos de concreto.

Autor	Resistência à compressão da unidade	Fator de eficiência
MOHAMAD (1998)	15 MPa	0,56 - 0,75
STEIL e PRUDÊNCIO Jr. (2002), CASALI (2003)	7 - 10 MPa	0,92 - 0,75
RAMALHO e CORRÊA (2003)	(não especificado)	0,5 - 0,9

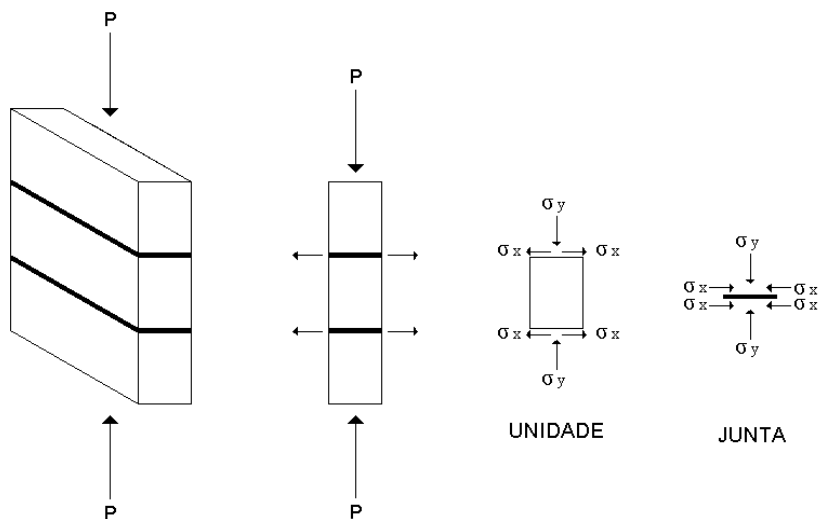
Fonte: Adaptado de SCHANKOSKI (2012).

Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003) afirmam que, de modo geral, considera-se adequado um fator de eficiência igual ou maior a 0,7 para alvenaria estrutural de blocos de concreto.

2.3.3. Mecanismos de Ruptura

O mecanismo de ruptura pode ser entendido como a forma pela qual se dá o colapso da alvenaria e, segundo Steil (2003) e Silva (2007), em função das características das argamassas (resistência, módulo de elasticidade e retenção de água), das unidades (resistência, módulo de elasticidade, porcentagem de vazios e absorção), e do conjunto (resistência de aderência da alvenaria). De acordo com Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003), quando a alvenaria está submetida à compressão, a junta tende a se deformar transversalmente, mais que as unidades (devido ao efeito de Poisson). Como os materiais estão aderidos, são forçados a se deformar igualmente nas interfaces, aparecendo um esforço de compressão transversal no topo e na base das juntas e um esforço de tração transversal nas faces das unidades, conforme ilustra a Figura 5. Tais esforços têm igual magnitude e são responsáveis pela ruptura das unidades e/ou argamassa.

Figura 5– Comportamento da alvenaria sob compressão



Fonte: PRUDÊNCIO Jr., OLIVEIRA e BEDIN (2003).

Segundo Passos et al. (2009), existem três formas de ruptura da alvenaria:

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

Vale ressaltar que, alterando alguns fatores aparentemente simples (como a altura dos blocos ou espessura das juntas, conforme citado no item 2.3.1), pode-se alterar a forma de ruptura da alvenaria.

2.4. ENSAIOS

A Figura 6 a seguir apresenta um resumo dos principais a serem ensaios realizados no decorrer deste trabalho.

Figura 6 – Principais ensaios realizados

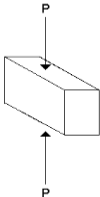
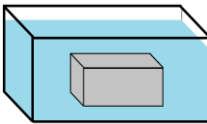
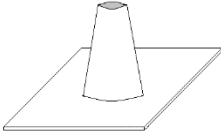
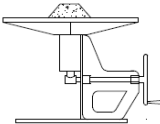
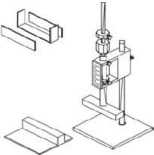
Objeto de avaliação	Ensaio	Prescrição	Ilustração	Propriedade(s) avaliada(s)
Blocos	Resistência à compressão	NBR 12118 (2011)		Resistência à compressão
	Absorção	NBR 12118 (2011)		Absorção de água
Argamassas	Slump Test	NBR NM 67 (1998)		Trabalhabilidade
	Mesa de Consistência (flow table)	NBR 13276 (2005)	 <p>(a)</p>	Consistência e plasticidade
	GTec Teste	Casali (2003)	 <p>(b)</p>	Consistência, coesão e plasticidade

Figura 6 – (Continuação) Principais ensaios realizados



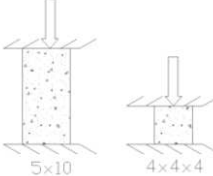
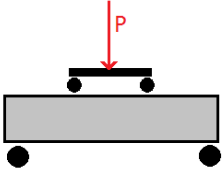
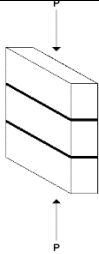
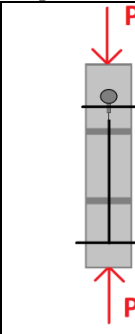
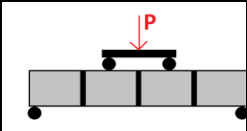
Argamassas	Massa Específica	NBR 13278 (2005)	 (c)	Massa específica e teor de ar incorporado
	Ar Incorporado (picnômetro)	Schankoski (2012)	 (d)	Teor de ar incorporado
	Resistência à Compressão	NBR 7215 (1997) - cilíndricos NBR 15961:1-2 (2011) - cúbicos	 (e)	Resistência à compressão
	Resistência à flexão	NBR 13279 (2005)		Resistência à flexão
Prismas	Resistência à compressão	NBR 10387 (1989)		Resistência à compressão

Figura 6 – (Continuação) Principais ensaios realizados

Prismas	Módulo de Elasticidade	NBR 15961 (2011)		Módulo de Elasticidade
	Flexão à quatro pontos	NBR 8798 (1985)		Resistência à flexão

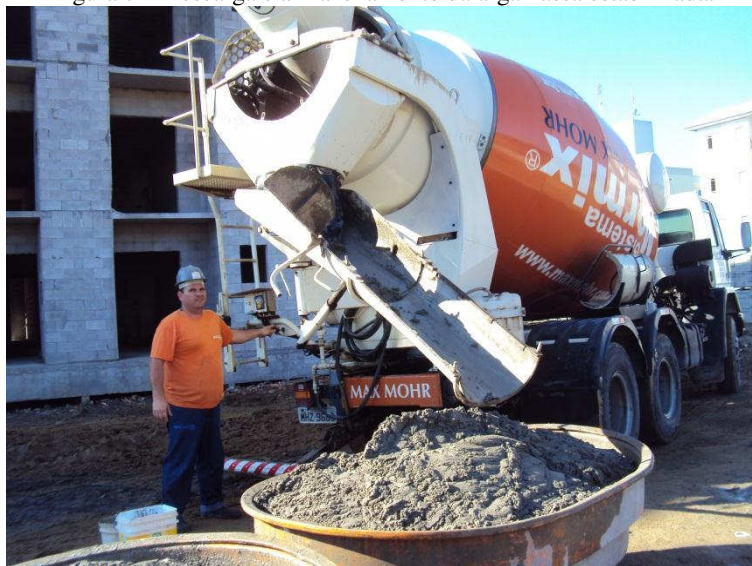
FONTE: (a) CARASEK, 2007; (b) CASALI (2003); (c) SCHANKOSKI, 2012; (d) SCHANKOSKI, 2012; (e) SCHANKOSKI, 2012;

2.5. ARGAMASSA ESTABILIZADA

A industrialização da argamassa surgiu na década de 50, com o objetivo de propiciar maior padronização e rapidez no processo (SILVA, 2007). Entretanto, apenas na década de 70, na Alemanha, surgiu uma tecnologia de argamassa pronta (úmida), capaz de ser armazenada por até três dias, mantendo suas características de uso: a argamassa estabilizada. No Brasil, este ainda é um produto pouco produzido e utilizado. Segundo Shmid (2011), no ano de 2007, a Europa contava com mais de 500 fábricas de argamassa estabilizada, as quais produziam anualmente cerca de 18 mil m³ deste material, enquanto o Brasil dispunha de 12 fabricantes, os quais produziam 0,4 mil m³/ano.

As argamassas estabilizadas são dosadas em centrais, misturadas e transportadas em caminhões betoneira, de forma semelhante aos concretos usinados. Ao chegar à obra, é armazenada em recipientes previamente instalados (Figura 7), próximos aos locais de aplicação, devidamente acondicionados (a argamassa não deve ser exposta à insolação, vento ou demais condições que ocasionem a perda prematura de água).

Figura 7 – Descarga e armazenamento da argamassa estabilizada.



2.5.1. Constituintes

A composição das argamassas estabilizadas é semelhante às das argamassas industrializadas ou preparadas em obra, porém geralmente não contém cal. Logo, são utilizados aditivos incorporadores de ar, a fim de melhorar a trabalhabilidade e acabamento das misturas (melhorias estas promovidas usualmente pela cal). Entretanto, a maior diferença entre este tipo de argamassa em relação às demais é a adição de aditivos estabilizadores de hidratação.

Os aditivos estabilizadores atuam principalmente no controle de hidratação do C_3S , promovendo moderada manutenção de abatimento e retardo de pega. Entretanto, quando utilizados em altos teores, o atraso da pega torna-se imprevisível, podendo ocorrer a inibição muito prolongada da hidratação ou pega instantânea devido a uma ativação excessiva do C_3S (HARTMANN et al., 2011). Benini (2005), citado em Hartmann et al. (2011), afirma que o teor de aditivo é determinado pelas características dos materiais e idade da mistura, pela reatividade do aglomerante, pela temperatura e pelo tempo desejado de estabilização. Segundo Prudêncio Jr. (2007), estes aditivos são recomendados para

situações em que o tempo de retardamento dos aditivos convencionais não é suficiente ou para situações especiais, como por exemplo, para estabilizar e reutilizar a sobra de concreto nos caminhões betoneira, evitando seu descarte no meio ambiente.

2.5.2. Aplicações

Este tipo de argamassa já vem sendo bastante utilizado em diversas aplicações na construção civil, tais como revestimento (chapisco, emboço e reboco interno e externo), regularização de pisos e assentamento de alvenaria de vedação. Entretanto, sua utilização em aplicações que exijam responsabilidade estrutural (alvenaria estrutural, por exemplo) ainda é pequena.

2.5.3. Vantagens e desvantagens

Algumas vantagens trazidas pelo uso deste tipo de argamassa são:

- Aumenta o rendimento: evita paradas para aguardar a confecção da argamassa, além do período no início do expediente. Segundo Schmid (2011), este rendimento pode ser até 35% maior.
- Redução de perdas: a argamassa não precisa ser utilizada toda em um dia, evitando que, ao final da jornada de trabalho, a sobra seja descartada.
- Limpeza da obra: reduz os resíduos provenientes da confecção de argamassas em obra (embalagens de cimento, cal e aditivos, por exemplo);
- Misturas mais constantes, devido ao fato do proporcionamento dos materiais ser feito em central, em massa, com maior controle;
- Reduz a responsabilidade da dosagem em obra.
- Melhora a logística dentro do canteiro de obra: os recipientes contendo a argamassa podem ser descarregados próximos aos locais de utilização, reduzindo o transporte dentro da obra.
- Reduz a demanda de mão de obra, já que dispensa o processo de mistura e reduz o transporte dentro do canteiro de obras.

- Maior precisão no custo da argamassa, devido ao proporcionamento mais rigoroso.

Entretanto, o uso deste tipo de argamassa trás algumas desvantagens em relação às argamassas mistas de cal e cimento, tais como:

- É necessário um planejamento preciso da quantidade diária à ser usada, evitando assim que falte argamassa;
- Em dias muito úmidos, as argamassas podem demorar mais do que o desejado para adquirir rigidez: o endurecimento da argamassa depende da perda da água de amassamento, seja pela absorção do substrato ou por evaporação (sendo esta reduzida quando a umidade é elevada).

Diante dos fatos expostos, fica evidente a necessidade de um estudo referente ao desempenho destas argamassas, a fim de certificar (ou não) a viabilidade técnica do seu uso.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

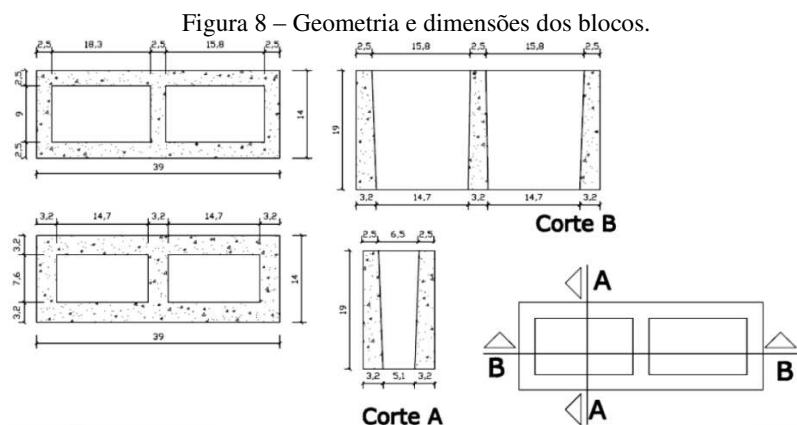
3.1. MATERIAIS

Este tópico apresentará os materiais empregados nos ensaios, bem como suas características. Vale lembrar que, apesar de terem sido ensaiadas argamassas de diferentes resistências, todas são constituídas dos mesmos materiais, apenas alterando a proporção entre eles (sendo esta consideração válida também para os blocos).

3.1.1. BLOCOS DE CONCRETO

Foram utilizados blocos de concreto de três classes (resistências nominais) distintas: 6 MPa, 9 MPa e 14 MPa. Todos os blocos tinham dimensões de 14 x 19 x 39 cm (largura x altura x comprimento), de paredes finas (aproximadamente 2,5 cm). O peso dos blocos variou entre 12,5 kg e 17,5 kg, de acordo com a classe de resistência dos mesmos (blocos mais pesados, para uma mesma geometria, apresentam-se mais compactos, logo, mais resistentes).

A Figura 8 ilustra a geometria e as dimensões das unidades, na qual é possível observar que uma das faces da unidade tem espessura de 2,5 cm (face fina ou inferior) e a outra de 3,2 cm (face grossa ou superior). Esta denominação provém da orientação do bloco no assentamento: as unidades são assentadas com as faces de espessura mais fina para baixo.



3.1.2. ARGAMASSA ESTABILIZADA

Foram ensaiadas três argamassas estabilizadas, dosadas para 48 horas, sendo a resistência de cada uma delas compatível com a dos blocos utilizados. Segundo a empresa que forneceu as argamassas, as mesmas foram compostas de cimento, areias, água e aditivos, nas devidas proporções apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Traços das argamassas ensaiadas.

Componente	Proporções (traços)		
	6 MPa	9 MPa	14 MPa
Cimento Portland CP IV	1,00	1,00	1,00
Agregado Miúdo Natural	6,43	5,41	4,54
Agregado Miúdo Industrial	2,79	2,35	1,97
Água	1,50	1,21	1,07
Plastificante Incorporador de ar	0,23%	0,20%	0,18%
Plastificante Retardador	0,70%	0,70%	0,70%

3.1.3. Cimento

Segundo o fornecedor das argamassas, a produção das mesmas foi feita com cimento CP IV-32 RS. A seguir, na Tabela 5, está um resumo das características químicas e físicas, fornecidas pelo fabricante do cimento.

Tabela 5 – Características do cimento Portland utilizado.

Característica	Unidade	Limite de Norma	Média	D.Pad.
Massa Específica	g/cm ³	-	2,82	-
Perda ao fogo	%	=< 4,5	3,17	0,17
Resíduo insolúvel	%	-	28,67	1,55
MgO	%	=< 6,5	4,97	0,17
SO ₃	%	=< 4,0	2,34	0,11
CO ₂	%	=< 3,0	2,74	0,17

Tabela 5 – (Continuação) Características do cimento Portland utilizado.

1 dia*	MPa	-	14,71	1,3
3 dias*	MPa	10	24,55	1,53
7 dias*	MPa	20	29,65	1,71
28 dias*	MPa	32	42,03	1,95
# 200	%	=< 8,0	0,56	0,19
# 325	%	-	1,91	0,37
Blaine (cm ² /m)	cm ² /m	-	4583	115
Início de pega	min	>= 60	255	17
Fim de pega	min	=< 720	328	19
Expansão à quente	mm	=< 5,0	0	0

* Resistência à compressão

3.1.4. Agregados Miúdos

Para a confecção das argamassas, foram utilizadas dois agregados miúdos, sendo uma delas natural e a outra de britagem (industrial). Na

Tabela 6 e Figura 9, estão resumidas as características dos dois agregados utilizadas, como: módulo de finura, material pulverulento e massa específica.

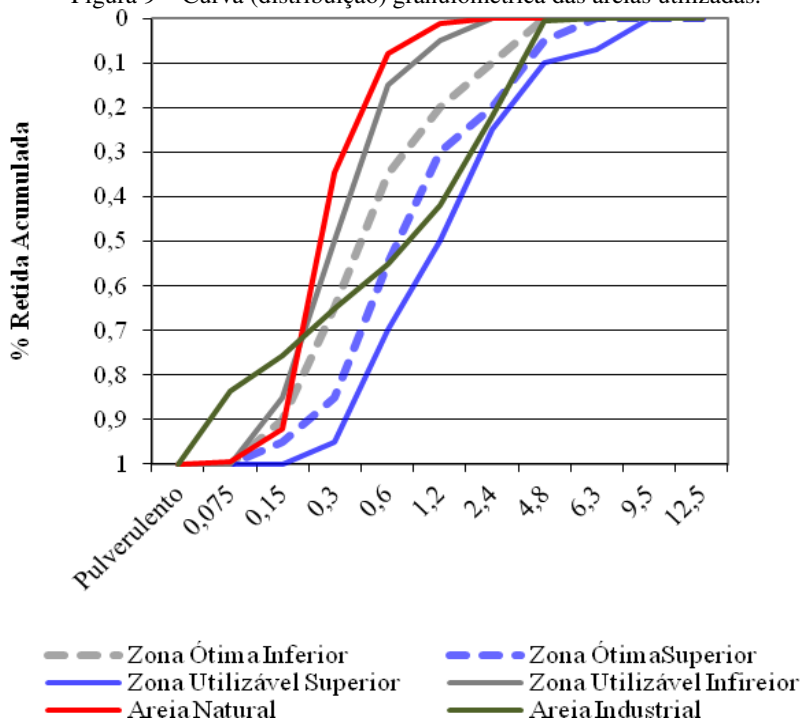
Tabela 6 - Caracterização das areias utilizadas.

Propriedade	Norma	Areia Natural	Areia Industrial
Módulo de finura	NBR 7217	1,359	2,604
Material Pulverulento (%)	NBR 7219	0,50	16,30
Massa Específica (g/cm ³)	NBR 9776	2,650	2,560

A Figura 9 ilustra a distribuição granulométrica das duas areias empregadas, bem como os limites ótimos e utilizáveis, conforme prescrito na ABNT NBR NM 248 (2003). Pode-se observar que nenhuma das duas areias se enquadra adequadamente nos limites prescritos².

² Os limites impostos por tal norma referem-se à agregados miúdos e graúdos para concreto. Para emprego em argamassas, a distribuição granulométrica deve se localizar mais próxima à zona ótima/utilizável inferior.

Figura 9 – Curva (distribuição) granulométrica das areias utilizadas.

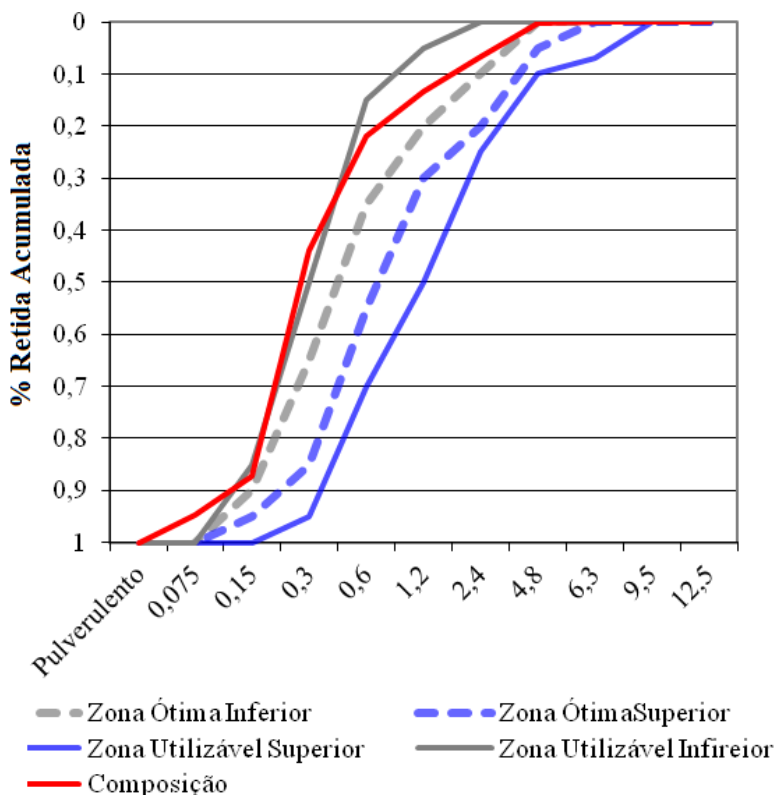


A composição de agregados miúdos possibilita a obtenção de um material com distribuição granulométrica mais adequada, com um módulo de finura próximo de 2,0 (conforme literatura, é considerado o ideal). Para as argamassas utilizadas neste trabalho, a composição das areias foi de 70% agregado miúdo natural e 30% agregado miúdo industrial, apresentando as características representadas na Tabela 7 e Figura 10:

Tabela 7 – Caracterização da composição de 70% agregado miúdo natural + 30% agregado miúdo industrial.

Propriedade	Norma	Composição
Módulo de finura	NBR 7217	1,733
Material Pulverulento (%)	NBR 7219	5,24
Massa Específica (g/cm ³)	NBR 9776	2,713

Figura 10 - Curva (distribuição) granulométrica da composição de areias.



3.1.5. Aditivos

Foram usados dois tipos distintos de aditivos na confecção das argamassas: um plastificante incorporador de ar e um plastificante retardador. Segundo a fabricante dos aditivos, ambos atendem aos requisitos da NBR 11768 (2011), tipos P e IAR³ para o primeiro aditivo e tipos P, R e PR para o segundo. O aditivo plastificante incorporador de

³ Tipo P: Aditivo Plastificante; Tipo IAR: Aditivo Incorporador de Ar; Tipo R: Aditivo Retardador; Tipo PR: Aditivo Plastificante Retardador.

ar deve ser utilizado nas dosagens de 0,1 a 0,6 % (em massa de cimento), sendo suas características técnicas fornecidas pelo fabricante e apresentadas na Tabela 8:

Tabela 8 – Dados técnicos do plastificante incorporador de ar.

Propriedade	Especificação	Unidade
Base química	Resinas sintéticas	-
Aparência	Líquido castanho avermelhado	visual
pH (23°C)	10 - 12	-
Densidade (23°C)	1,000 - 1,040	g/cm ³
Sólidos	4,0 - 6,0	%

Já o aditivo plastificante retardador deve ser utilizado nas dosagens de 0,2 a 2,0 % (em massa, sobre a massa de cimento). Suas características técnicas são apresentadas na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 – Dados técnicos do plastificante retardador.

Propriedade	Especificação	Unidade
Base química	Poli sacarídeos	-
Aparência	Líquido amarelo	visual
pH (23°C)	8 - 11	-
Densidade (23°C)	1,160 - 1,200	g/cm ³
Sólidos	38 - 42	%

3.2. MÉTODOS

A fim de avaliar o desempenho de argamassas estabilizadas no assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto, foram testados blocos de três resistências distintas e argamassas estabilizadas fabricadas por uma empresa fornecedora desse produto (com resistência à compressão próxima a unidade utilizada), conforme já citado.

Para cada classe de bloco (e respectiva argamassa), foi aplicado o mesmo procedimento de ensaio, o qual pode ser dividido em três etapas: blocos de concreto, argamassas estabilizadas e avaliação da alvenaria (por meio de prismas).

3.2.1. BLOCOS DE CONCRETO

As caracterizações e estudos dos blocos de concreto foram compostos pelos seguintes passos:

- **Pesagem e classificação:** conforme Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003), é conhecida a influência da compactidade do bloco na sua resistência à compressão (para blocos de mesmo volume, os mais pesados tendem a ser mais resistentes devido a maior compactação imposta). Desta forma, os blocos foram classificados em três grupos: leves, intermediários e pesados. Cada lote era composto por 80 blocos, sendo necessárias 33 unidades intermediárias (8 blocos para serem assentados nas posições centrais dos prismas de compressão, 12 para flexão, 6 para realização dos ensaios de compressão e 3 para absorção de água). Os grupos de blocos leves e pesados foram utilizados no assentamento das fiadas inferior e superior, respectivamente, dos prismas de compressão e flexão.
- **Resistência à compressão:** os blocos de concreto foram capeados e rompidos conforme a ABNT NBR 12118 (2011).
- **Absorção de água:** as prescrições da ABNT NBR 12118 (2011) consiste em deixar as unidades no ambiente do laboratório por 24 h, sendo então pesadas (m_3). Posteriormente levar os corpos-de-prova para a estufa a 110°C e mantê-los por 24 h. Determinar a massa da amostra seca (m_1). Os blocos, então, devem ficar expostos a temperatura ambiente, até o equilíbrio com a mesma. Em seguida, imergi-los em água (23°C) e mantê-los por 24 h (Figura 11). Pesar cada unidade na

condição saturada com superfície seca(m_2). A pesagem de m_1 e m_2 deverá ser repetida até constância da massa conforme descreve a norma em questão. Na Figura 5 pode-se visualizar o ensaio realizado. A absorção é calculada pela Equação 1, onde a = Absorção de água.

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Figura 11 – Ensaio de absorção de blocos.



3.2.2. ARGAMASSA ESTABILIZADA

Para a avaliação de desempenho das argamassas estabilizadas, foram realizados ensaios nos estados fresco e endurecido. O armazenamento das mesmas foi realizado em recipientes similares às caixas d'água, em local protegido do sol e vento. No primeiro dia, após o uso, as argamassas foram cobertas com uma lona. Em seguida, foi adicionada uma película d'água sobre a lona, a fim de evitar a evaporação sem alterar a quantidade de água de amassamento.

3.2.2.1 Propriedades no Estado Fresco

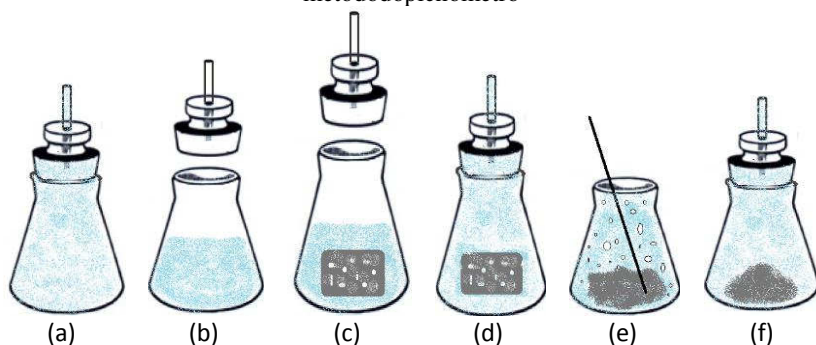
As propriedades avaliadas no estado fresco foram: consistência, coesão, plasticidade, massa específica aparente e teor de ar incorporado.

- Avaliação da trabalhabilidade (consistência, coesão e plasticidade) através do GTec Teste: “Esse ensaio avalia a trabalhabilidade através da simulação de um assentamento real, por meio da deformação inicial da junta de argamassas após a colocação da unidade, e a energia necessária para que a junta se deforme e apresente uma espessura de 1,0 cm. Os limites estipulados por Casali (2003) para

que uma argamassa seja considerada adequada para o assentamento são: leitura inicial (L_i) entre 1,55 a 1,80 cm e número de golpes entre 7 e 15.” (SCHANKOSKI, 2012)

- Consistência através do slump test: Conforme prescreve a ABNT NBR NM 67 (1998 para concretos. Esse ensaio foi realizado para comparação da trabalhabilidade (consistência da mistura) com os valores da fábrica, já que a mesma dispunha desse ensaio para avaliar a trabalhabilidade da argamassa;
- Massa específica aparente: descrito na ABNT NBR 13278 (2005);
- Teor de ar incorporado pelo método do picnômetro, utilizado por Schankoski (2012): método desenvolvido pelo GTec, no qual o teor de ar incorporado é medido pela variação de volume em um recipiente contendo argamassa e um líquido, antes e depois da retirada do ar. Conforme explanado pela autora, o ensaio consiste em fazer uma mistura com aproximadamente 50% de álcool e 50% de água e, com o auxílio de um picnômetro de boca larga (utilizados para massa específica de agregados graúdos), balança de precisão 0,1 g e uma haste de vidro, realizar o procedimento apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Procedimento para determinação do ar incorporado pelo método do picnômetro



Fonte: SCHANKOSKI (2012).

A sequência do ensaio é:

- (a): Pesar o picnômetro cheio da solução água e álcool (P_{ic+sol});
- (b): Retirar um pouco da solução do picnômetro e pesar (m_B);
- (c): Colocar cuidadosamente um filete de argamassa no picnômetro, de modo que a solução contida no recipiente não seja perdida, e pesar (m_A);

(d): Preencher o picnômetro com a solução, movimentando o conjunto o menos possível para que o ar incorporado na argamassa não seja desincorporado, e pesar ($V_{c/ar}$);

(e): Retirar a tampa do picnômetro e, com auxílio de uma haste de vidro, mexer o conteúdo constantemente até que se perceba a ausência de bolhas no líquido (aproximadamente 3 minutos);

(f): Colocar a tampa no picnômetro novamente, e preencher o recipiente com a solução, pesar ($V_{s/ar}$).

O teor de ar incorporado é calculado pela Equação2:

$$\begin{aligned}
 m &= m_A - m_B \\
 V_{c/ar} &= Pic_{+sol} - (Pic_{c/ar} - m) \\
 V_{s/ar} &= Pic_{+sol} - (Pic_{s/ar} - m) \\
 Ar (\%) &= \frac{V_{c/ar} - Vol_{s/ar}}{V_{c/ar}} \times 100
 \end{aligned}$$

Equação2

Onde:

m_A : peso do picnômetro contendo a solução e um filete de argamassa;

m_B : peso do picnômetro contendo a solução;

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

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

Ar: ar incorporado em porcentagem.

3.2.2.2 Propriedades no Estado Endurecido

As propriedades avaliadas no estado endurecido foram: resistência à compressão e resistência à flexão.

- Determinação da resistência à compressão: foram moldados corpos-de-prova cilíndricos (5x10 cm), como prescreve a ABNT NBR 7215 (1997). As metades dos corpos-de-prova dos ensaios de resistência à flexão (citado a seguir) foram rompidas à compressão, a fim de atender aos requisitos da ABNT NBR 15961 (2011) que prescreve a moldagem de corpos-de-prova cúbicos (4 cm) para determinação da resistência à compressão.

- Determinação da resistência à flexão: com corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm) conforme prescreve a ABNT NBR 13279 (2005).

3.2.3. AVALIAÇÃO DA ALVENARIA (PRISMAS)

Para cada argamassa, foram moldados oito prismas, tanto no primeiro dia (5 horas de armazenamento) quanto no segundo dia (36 horas de armazenamento), sendo quatro unidades de três fiadas (para ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e fator de eficiência) e quatro unidades de quatro fiadas (para ensaios de tração na flexão).

3.2.3.1 Confeção dos Prismas

O assentamento dos blocos de concreto foi realizado com desempenadeiras de madeira, executando o argamassamento total da alvenaria. Conforme advertem Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003), alguns cuidados foram tomados nesta etapa, sendo eles:

- Os blocos de concreto do topo (para prismas de compressão) e da base (prismas de compressão e flexão) foram devidamente capeados com pasta de cimento (neste caso, os blocos de concreto foram capeados antes da confeção dos prismas);
- Os blocos de concreto estavam secos ao ar e mantidos em laboratório;
- As juntas de argamassa foram feitas com espessuras de (10 ± 3) mm.

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

Em uma parede real, o peso próprio da alvenaria confere à argamassa uma pressão que auxilia na penetração da pasta/argamassa nos poros da mesma. Logo, foi tomado o cuidado de assentar os blocos de concreto pesados nas fiadas superiores, tanto nos prismas para compressão quanto para flexão, para compensar a ausência de fiadas superiores.

3.2.3.2 Ensaios de Resistência à Compressão e Módulo de Elasticidade

Os ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade foram realizados simultaneamente em cada prisma, 28 dias após a confecção dos mesmos, seguindo as respectivas normas ABNT NBR 10387 (1989) e ABNT NBR 15961 (2011).

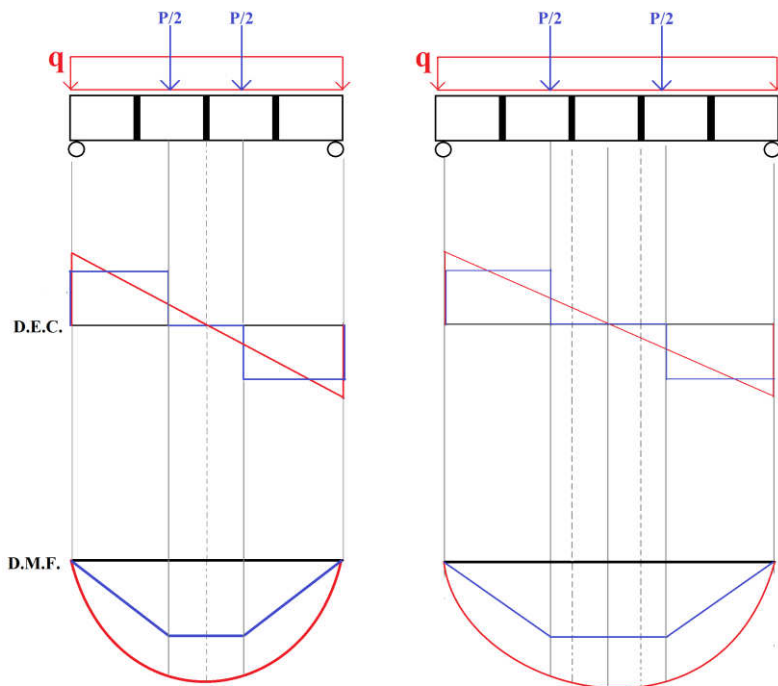
Os prismas foram submetidos à compressão axial, sendo avaliadas as deformações por meio de extensômetros digitais com leituras instantâneas a cada 20 KN, até o escoamento da argamassa. Após o escoamento, os aparatos de medição de deformação eram removidos e os prismas levados à ruptura. Caso a argamassa começasse a esfarelar (indicando esmagamento da mesma), a carga aplicada era anotada.

3.2.3.3 Ensaios de Resistência de Aderência na Flexão.

A fim de medir a aderência argamassa/bloco, foram realizados ensaios de tração na flexão a quatro pontos, com prismas de quatro fiadas, seguindo a norma antiga (ABNT NBR 8798:1985). Este ensaio difere da nova norma (ABNT NBR 15961:2011), a qual prescreve a moldagem de prismas de cinco fiadas. Esta escolha é justificada pelo seguinte fato: no ensaio de flexão com prismas de quatro blocos, a seção central do mesmo, composta pela junta de argamassa, está submetida à flexão pura, não sendo submetida a cisalhamento; já no caso do prisma de cinco blocos as juntas de argamassa do bloco central estão submetidas a uma parcela de cisalhamento, além de não estarem submetidas à flexão máxima (flexão esta correspondente à seção central do prisma, composta pelo bloco). Tais explicações são ilustradas na

Figura 13, na qual (q) representa a carga distribuída referente ao peso próprio dos prismas e (P/2) representa as metades da carga concentrada aplicada no ensaio.

Figura 13 – Esforços nos prismas de quatro e cinco fiadas



Imediatamente antes da realização dos ensaios, os prismas foram colocados em suportes, (Figura 14) confinando-os com o intuito de evitar o desprendimento dos blocos e/ou a aplicação de cargas pontuais antes do ensaio. Posteriormente, foram cuidadosamente carregados e posicionados sobre o aparato para a realização do ensaio.

Este ensaio é convencionalmente executado com a aplicação do carregamento por meio de blocos e/ou peças metálicas sobre o aparato de distribuição de carga. Entretanto, para uma maior precisão, o carregamento foi realizado através de uma prensa hidráulica (Figura 15). Os prismas foram carregados até a ruptura bloco/junta, sendo esta carga utilizada posteriormente para o cálculo da resistência à de aderência na flexão.

Figura 14 – Suporte para os prismas



Fonte: SCHANKOSKI (2012).

Figura 15 – Carregamento através de uma prensa hidráulica



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios, referente aos blocos de concreto, argamassas estabilizadas e prismas.

4.1. BLOCOS DE CONCRETO

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados dos ensaios dos blocos de concreto.

Tabela 10 – Resistências e absorções dos blocos.

Resistência à Compressão (MPa)		Fbk (MPa)	Absorção (%)
Nominal	Efetiva		
6 MPa	9,78	9,63	6,97
	9,93		
	10,08		
	10,3		
	11,18		
	11,64		
Média	10,49		
Desvio	0,75		
CV	7,16%		
9 MPa	18,06	17,34	6,62
	19,44		
	20,16		
	21,77		
	23,71		
	24,07		
Média	21,2		
Desvio	2,4		
CV	11,34%		
14 MPa	23,48	23,17	6,48
	23,64		
	23,95		
	26,68		
	27,75		
	29,31		
Média	25,8		
Desvio	2,47		
CV	9,56%		

As resistências à compressão apresentaram-se bem acima do esperado, sendo as resistências características (fbk) 61%, 93% e 66% acima das resistências nominais, para os blocos de 6 MPa, 9 MPa e 14 MPa, respectivamente. Os resultados de absorção mostraram-se abaixo do limite máximo de 10% prescrito pela ABNT NBR 6136 (2007).

4.2. ARGAMASSA ESTABILIZADA

4.2.1. Propriedades no Estado Fresco

Os resultados dos ensaios das argamassas no estado fresco estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Propriedades das argamassas no estado fresco.

Argamassa		Slump Test (mm)	Gtec Teste Consistência (mm)	GTec Teste Plasticidade (golpes)	Massa Específica (kg/m ³)	Ar Incorporado (%)
6 MPa	1° dia	75	16,5	4	2119,75	5,94
	2° dia	70	17,5	8	2115,8	7,18
9 MPa	1° dia	40	15,5	7	2194,18	6,22
	2° dia	10	15	7	2218,71	5,89
14 MPa	1° dia	10	18	18	2077,34	9,00
	2° dia *	40	18	8	2060,29	10,72

*: foi adicionada mais água.

Pode-se observar que as argamassas, de modo geral, se enquadraram nos limites estipulados por Casali (2003) para o ensaio GTec Teste (consistência entre 15,5 e 18,0 mm, plasticidade entre 7 e 15 golpes). De acordo com esse ensaio, elas perderam pouca trabalhabilidade do primeiro para o segundo dia de armazenamento. Entretanto, pôde-se notar uma variação do resultado do slump com o tempo de armazenamento.

Desta forma, os resultados de plasticidade e consistência do GTec Teste não apresentaram correlação com os valores de slump. Tal fato foi comprovado na prática, durante o assentamento dos blocos, sendo mais evidenciado em dois casos: para argamassa de 6 MPa, o valor do slump test apresentou pouca variação de um dia para o outro (75 para 70 mm), enquanto o GTec Teste indicou uma variação de plasticidade de 50% (4 para 8 golpes); já para a argamassa de 9 MPa, tanto os valores de plasticidade como os de consistência não apresentaram variação significativa, sendo que o resultado do slump test variou 75% (de 40 para 10 mm). Isso ocorre, provavelmente, porque o teor de ar incorporado influencia na deformação de forma mais acentuada no GTec Teste do que no slump (o procedimento de adensamento realizado durante o ensaio slump test remove grande quantidade de ar, reduzindo a influência deste parâmetro no ensaio).

Quanto ao teor de ar incorporado, para as argamassas de 6 MPa e 9 MPa, foi sempre inferior a 7,20%. Como já citado, segundo Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003), um teor de ar incorporado inferiores a 10%, em geral não é um valor capaz de causar prejuízos na resistência à compressão e na extensão de aderência entre a junta de argamassa e o bloco. Entretanto, a argamassa de 14 MPa apresentou, no segundo dia, um teor de 10,72% de ar incorporado. Esse teor de ar elevado deve-se, provavelmente, a adição de água que foi necessária para o assentamento dessa argamassa, uma vez que, a mistura apresentou-se demasiadamente seca após 36 horas.

4.2.2. Estado Endurecido

Na Tabela 3 são apresentadas as propriedades do estado endurecido das argamassas.

Tabela 12 – Propriedades das argamassas no estado endurecido

Argamassa		CP	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
				4x4	5x10
6 MPa	1º dia	1	3,72	11,33	10,76
		2	3,69	11,42	10,9
		3	3,59	10,95	11,02
		Média	3,67	11,28	10,89
		Desvio	0,07	0,25	0,13
		CV	1,85%	2,20%	1,19%
	2º dia	1	2,72	8,10	10,7
		2	2,71	7,01	10,31
		3	2,72	7,93	11,11
		Média	2,72	7,51	10,71
		Desvio	0,01	0,59	0,40
		CV	0,21%	7,79%	3,74%
9 MPa	1º dia	1	4,94	14,68	14,27
		2	4,31	14,38	14,23
		3	4,42	15,26	14,23
		Média	4,56	14,78	14,25
		Desvio	0,34	0,45	0,02
		CV	7,38%	3,03%	0,16%
	2º dia	1	4,00	15,25	14,88
		2	4,56	14,03	15,24
		3	4,49	16,30	14,6
		Média	4,35	15,19	14,91
		Desvio	0,31	1,14	0,32
		CV	7,01%	7,48%	2,15%
14 MPa	1º dia	1	3,57	13,31	12,59
		2	3,57	12,79	13,02
		3	3,57	13,39	13,08
		Média	3,57	13,16	12,90
		Desvio	-	0,33	0,27
		CV	0,00%	2,48%	2,07%
	2º dia	1	3,09	9,90	10,36
		2	3,11	10,60	8,16
		3	2,63	10,28	10,79
		Média	2,94	10,26	9,77
		Desvio	0,27	0,35	1,41
		CV	9,23%	3,39%	14,43%

As resistências à compressão foram superiores ao previsto nas argamassas de 6 e 9MPa (em alguns casos até 68% maiores). No entanto, as argamassas de 14 MPa não atingiram a resistência nominal. Isso ocorreu, provavelmente, porque essa mistura não estava com a consistência adequada (muito seca), o que gerou falhas na moldagem no 1º dia e necessidade de incorporação de água no 2º dia, para que pudessem ser moldados os prismas, reduzindo a resistência à compressão.

Na flexão, as argamassas de 6 MPa e 9 MPa apresentaram excelente desempenho. Entretanto, a argamassa de 14 MPa apresentou resistências à flexão inferiores ao esperado, pela mesma explicação da perda de resistência à compressão dada anteriormente.

4.3. PRISMAS

Os resultados dos ensaios dos prismas (tanto de 3 quanto de 4 fiadas), no estado endurecido, estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados dos ensaios dos prismas.

Argamassa	Prisma	Resistência (MPa)	Fator de Eficiência	E (GPa)	Flexão (MPa)	
6 MPa	1º dia	1	7,2	0,69	5,06	0,208
		2	5,43	0,52	3,98	0,168
		3	5,71	0,55	5,86	0,294
		Média	6,11	0,59	4,97	0,223
		Desvio	0,95	0,09	0,94	0,064
		CV	15,56%	15,47%	19,00%	28,83%
	2º dia	1	4,35	0,42	4,4	0,168
		2	4,02	0,38	3,37	0,147
		3	6	0,57	3,66	0,132
		4	6,24	0,6	4,46	0,126
		Média	5,15	0,49	3,97	0,135
		Desvio	1,13	0,11	0,54	0,019
		CV	21,92%	22,08%	13,64%	13,06%

Tabela 13 – (Continuação) Resultados dos ensaios dos prismas.

9 MPa	1º dia	1	9,64	0,47	5,94	0,088
		2	14,36	0,7	11,87	0,22
		3	10,47	0,51	5,05	0,1
		4	12,69	0,62	8,6	0,334
		Média	11,79	0,58	7,87	0,186
		Desvio	2,14	0,1	3,07	0,116
		CV	18,18%	18,21%	38,99%	62,29%
	2º dia	1	11,53	0,56	11,88	0,12
		2	13,72	0,66	8,25	0,117
		3	11,84	0,57	7,5	0,085
		Média	12,36	0,6	9,21	0,107
		Desvio	1,19	0,06	2,34	0,019
		CV	9,59%	9,23%	25,43%	18,07%
		14 MPa	1º dia	1	6,04	0,23
2	6,63			0,26	8,35	0,138
3	10,12			0,39	5,86	0,104
Média	7,6			0,29	7,62	0,119
Desvio	2,2			0,09	1,53	0,017
CV	29,00%			29,00%	20,10%	14,73%
2º dia	1			8,97	0,35	11,2
	2		5,32	0,21	9,92	0,155
	3		6,83	0,26	8,21	0,187
	Média		7,04	0,27	9,78	0,153
	Desvio		1,83	0,07	1,5	0,035
	CV		26,01%	26,01%	15,31	22,52%

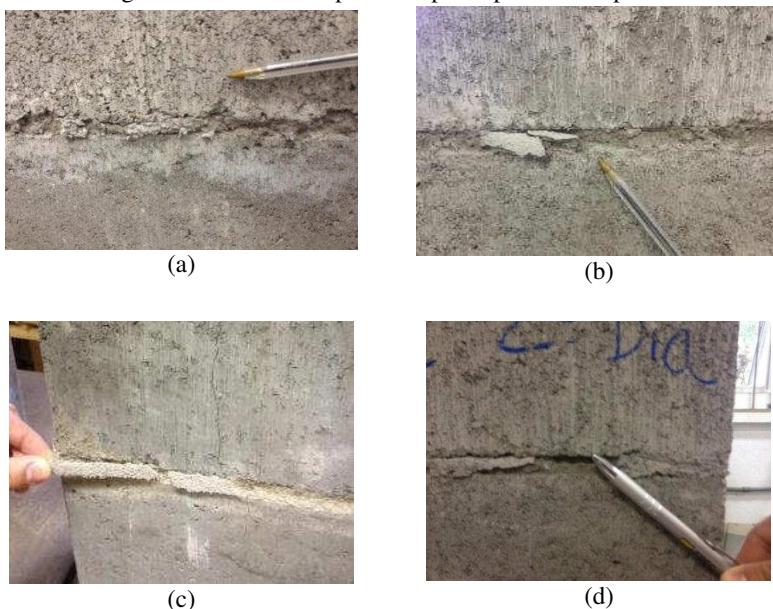
As resistências à compressão foram superiores às esperadas para os prismas de 6 MPa e 9 MPa. Contudo, o fator de eficiência foi sempre menor que 0,70 (valor este considerado o mínimo ideal para que a alvenaria trabalhe de forma otimizada). Já para os prismas de 14 MPa, as resistências foram bem inferiores ao esperado, com fator de eficiência inferior a 0,30, tanto para os prismas moldados no 1º dia quanto para os moldados no 2º dia. Essa grande perda de resistência se deu pela queda de resistência da argamassa, explicada anteriormente.

Vale salientar que os blocos de concreto apresentaram resistências efetivas muito superiores às nominais (75%, 135% e 84%, respectivamente, para os blocos de 6 MPa, 9 MPa e 14 MPa), sendo que as argamassas foram dosadas para alvenarias com blocos de resistências menores que as obtidas. Este fato certamente influenciou no fator de

eficiência dos prismas, sendo que o mesmo provavelmente seria maior se os blocos tivessem resistências mais próximas às nominais.

Observou-se que a forma de ruptura sempre foi por esmagamento da junta de argamassa, ocorrendo próximo à carga de ruptura do prisma, conforme pode ser visualizado na Figura 16. Percebeu-se também o tempo de armazenamento tende a ter pouca influência na resistência à compressão dos prismas pois, para os mesmos conjuntos de argamassa e unidade, as resistências variaram pouco do primeiro para o segundo dia de moldagem.

Figura 16 – Juntas dos prismas após ruptura à compressão



(a) 6 MPa – 1° dia; (b) 6 MPa – 2° dia; (c) 9 MPa – 1° dia;
(d) 9 MPa – 2° dia.

A ABNT NBR 15961:2011 especifica que, para argamassas com resistência à compressão entre 3 e 7 MPa, a resistência de aderência na flexão para devem ser, no mínimo, de 0,15 MPa. Tal resistência de aderência foi alcançado pelos prismas moldados com a argamassa de 6 MPa no primeiro dia da mistura (0,22 MPa). Entretanto, no segundo dia o valor de aderência médio foi de 0,14 MPa.

Para argamassas com resistência à compressão superior a 7 MPa, a norma estipula o valor de 0,20 MPa como o mínimo de aderência desejada. Os prismas moldados com argamassa de 9 MPa não atenderam à essa exigência, sendo que os prismas moldados no primeiro dia apresentaram aderência média de 0,19 MPa e para os moldados no segundo dia, esse valor diminuiu para 0,11 MPa. Os prismas moldados com argamassa de 14 MPa também não atenderam à exigência da norma, sendo as aderências médias de 0,12 MPa e 0,15 MPa, respectivamente, para o primeiro e segundo dia de moldagem.

Algumas hipóteses foram levantadas para explicar o desempenho inadequado dos prismas de 14 MPa. Em comparação com as demais argamassas, foi utilizado um menor teor de aditivo incorporador de ar, o qual promove trabalhabilidade à mistura; a trabalhabilidade inicial, assim como sua manutenção, pode ter sido prejudicada por este fato. Além disso, o fato de blocos de concreto mais resistentes serem mais compactos implica em uma menor porosidade dos mesmos, dificultando a percolação de materiais cimentícios da argamassa (lembrando que os blocos de concreto de 14 MPa apresentaram resistências efetivas de aproximadamente 26 MPa). Isso pode ser observado nos resultados dos ensaios de flexão: quanto maior a resistência da alvenaria, menor a aderência da mesma. Desta forma, o fato da argamassa de 14 MPa conter maior quantidade de cimento pode exigir o aumento do teor de incorporador de ar e/ou estabilizador para melhorar a trabalhabilidade inicial e sua manutenção, assim como a aderência do conjunto junta/bloco.

Diante desses resultados, percebe-se que o tempo decorrido desde a mistura dos constituintes até a utilização da argamassa influencia, principalmente, a aderência entre bloco e junta (fato esse desconsiderado para os prismas de 14 MPa, devido a adição de água no segundo dia).

5. CONCLUSÕES

Com o trabalho realizado foi possível tecer algumas conclusões sobre o emprego de argamassas estabilizadas no assentamento de alvenaria estrutural, expostas a seguir. Além disso, mediante as limitações deste trabalho, serão feitas algumas sugestões para trabalhos futuros, a fim de aprofundar os estudos e propor novas pesquisas referentes a este tema.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação a consistência, não foi possível correlacionar os valores obtidos pelo abatimento de tronco de cone com os do GTec Teste, sendo que o primeiro ensaio não representou satisfatoriamente a trabalhabilidade das argamassas, enquanto o segundo ensaio foi mais adequada para essa medida.

A argamassa de 6 MPa mostrou desempenho satisfatório em todos os ensaios realizados. No estado fresco, tanto no primeiro quanto no segundo dia de armazenamento, apresentou consistência e plasticidade adequadas, com teor de ar incorporado de no máximo 7,18%. No estado endurecido, apresentou resistência à compressão bem acima da resistência nominal, tanto na resistência à compressão de corpos-de-prova (5x10 cm) quanto (4x4 cm). Referente aos prismas, os que foram moldados no primeiro dia de armazenamento apresentaram boa resistência de aderência (47% acima do mínimo prescrito por norma) e resistência mecânica igual à nominal, apesar de um fator de eficiência de 0,59. Já os moldados no segundo dia de armazenagem apresentaram aderência um pouco abaixo do mínimo (7% inferior), além de resistência mecânica 15% inferior à nominal e fator de eficiência de 0,49.

Em relação à argamassa de 9 MPa, houve uma boa manutenção de trabalhabilidade, sendo que sua plasticidade e consistência permaneceram praticamente inalterados durante o tempo de armazenagem. A resistência à compressão mostrou-se aproximadamente 65% maior em relação à nominal, tanto para o primeiro como para o segundo dia de aplicação. Quanto aos prismas, apesar de apresentarem resistência à compressão cerca de 50% maiores que a nominal, o fator de eficiência dos mesmos ficou em torno de 0,60, para os dois dias de moldagem. A aderência ficou 5% e 45% abaixo do exigido pela norma,

respectivamente, para o primeiro e segundo dia de moldagem dos mesmos.

No caso das argamassas de 14 MPa, os resultados não foram satisfatórios. No primeiro dia, a argamassa apresentou trabalhabilidade inadequada (muito consistente), dificultando tanto a moldagem dos corpos-de-prova quanto dos prismas. Este fato provavelmente explica as baixas resistências à compressão (aproximadamente 30% abaixo da nominal) e baixa aderência (40% abaixo mínimo). No segundo dia, foi necessário a adição de água para permitir a moldagem, o que ocasionou um decréscimo na resistência mecânica (cerca de 25% em relação ao primeiro dia). Com a melhora da trabalhabilidade, houve um aumento na resistência de aderência, entretanto esta ainda ficou abaixo do mínimo prescrito em norma. A resistência à compressão dos prismas mostrou-se aproximadamente 50% abaixo da nominal, sendo que o fator de eficiência dos mesmos não passou de 0,29.

Devido ao bom desempenho dos prismas (com exceção dos prismas de 14 MPa), é possível afirmar que as argamassas apresentam desempenho satisfatório mesmo depois de 36 horas. Desta forma, pode-se concluir que a utilização de argamassas estabilizadas em alvenaria estrutural de blocos de concreto é viável tecnicamente, sendo recomendada especialmente para edificações de médio porte (nas quais geralmente são empregados blocos de até 9 MPa).

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a manutenção/perda de trabalhabilidade das argamassas estabilizadas com o tempo;
- Estudar o teor ótimo de aditivo estabilizador / incorporador de ar;
- Avaliar diferentes unidades e argamassas, buscando maiores fatores de eficiência.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 8798**: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

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

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

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

_____. **NBR 11768**: Aditivos para Concreto de Cimento Portland. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 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.; PRUDÊNCIO JR, L. R. **New test method for the evaluation of the workability of concrete block masonry bedding mortars**. Proceedings of 14th International Brick and Block Masonry Conference, Sidney, 2008.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*. Iphis Gráfica e Editora, São Paulo, 2007. Cap. 26. p. 863 - 904.

HARTMANN, C.; JEKNAVORIAN, A.; SILVA, D.; BENINI, H. **Aditivos químicos para concretos e cimentos**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) *Concreto: Ciência e Tecnologia*. Iphis Gráfica e Editora, São Paulo, 2011. Cap. 10. p. 347 - 380.

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

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedade e materiais**. Editora Pini, São Paulo, 2008.

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

OLIVEIRA, M. B. **Verificação de algumas propriedades de argamassas com saibro da região de Uberlândia para assentamento de tijolos cerâmicos**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

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

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

PRUDÊNCIO JR., L.R. **Materiais de Construção Civil**. Notas de aula, Curso de Graduação em Engenharia Civil – UFSC, 2007.

SABBATINI, F. H. **Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

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.

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

SOLÓRZANO, M. G. P.; SABBATINI, F. H. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

STEIL, R.O.; PRUDÊNCIO JR. JR.. **Influência da geometria do bloco no fator de eficiência das alvenarias estruturais de blocos de concreto**. In: Anais do VII International Seminar no Structural Masonry. Belo Horizonte, 2002.

STEIL, R. O. **Comparação do desempenho à compressão de prismas não grauteados produzidos a partir de blocos de concreto fabricados na região sul do Brasil**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SHMID, A. G. **Argamassa estabilizada, uma importante ferramenta para melhorar a sustentabilidade na construção**. 53º Congresso Brasileiro de Concreto, Florianópolis, 2011.