

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
COLEGIADO DE ENGENHARIA CIVIL

**USO DE ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENDO RESÍDUO DE
BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO
ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE
CONCRETO**

JOÃO PEDRO ZIVIANI LIMA
JÚLIA KELLER FRANCI

VITÓRIA – ES
2021

JOÃO PEDRO ZIVIANI LIMA
JÚLIA KELLER FRANCI

**USO DE ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENDO RESÍDUO DE
BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO
ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE
CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil do Centro Tecnológico da
Universidade Federal do Espírito Santo,
como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.
Orientadora: Prof. Dr^a Rudiele Aparecida
Schankoski.

VITÓRIA – ES
2021

JOÃO PEDRO ZIVIANI LIMA

JÚLIA KELLER FRANCI

USO DE ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENDO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Engenharia
Civil do Centro Tecnológico da Universidade
Federal do Espírito Santo, como requisito para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovado em 14 de outubro de 2021.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Rudiele Aparecida Schankoski
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

Prof. Dr. Ronaldo Pilar
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Prof.^a Dr.^a Sayonara M. M. Pinheiro
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias, principalmente aos nossos pais e irmãos, a quem tanto amamos e nos deram forças para chegar até aqui.

À Universidade Federal do Espírito Santo pelo ensino gratuito e de qualidade.

Aos técnicos do Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção (LEMAC) pelo auxílio no desenvolvimento de nossa pesquisa, disponibilizando sua ajuda no preparo e execução dos ensaios propostos.

À nossa orientadora Prof. Dr^a Rudiele Aparecida Schankoski, pela orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

À todos os professores do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), que nos propiciaram o conhecimento e a postura de engenheiros formados pela UFES.

À equipe do LCME – Universidade Federal de Santa Catarina e ao Eng. Dr. Paulo Ricardo de Matos pela disponibilização das análises dos resultados do SEM-EDS do resíduo estudado.

Aos colegas de turma, pelas horas de convívio, discussões e bons momentos que passamos juntos, seja virtual ou presencialmente.

À todas as pessoas, que de alguma forma, se fizeram importantes e contribuíram para a execução deste trabalho.

LIMA, J. P. Z.; FRANCI, J. K. **Uso de argamassa estabilizada contendo resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais no assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto.** Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). — Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES — 2021.

RESUMO

A indústria da construção civil é caracterizada por ser uma das principais consumidoras de recursos naturais e uma grande produtora de resíduos. Para transformar esse cenário e com vistas a economia circular, o foco deste trabalho consiste na utilização de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO), em aplicações caracterizadas pela otimização de recursos e diminuição a geração de resíduos: argamassa estabilizada e alvenaria estrutural. Desta forma, este trabalho teve como principal objetivo analisar a utilização de RBRO em argamassas estabilizadas para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto. Para tal, foram dosadas argamassas com 0% e 15% de RBRO, sendo ambas testadas no estado fresco (massa específica aparente, retenção de água, teor de ar incorporado e flow table) e endurecido (resistência à compressão). Foram realizados ensaios de absorção e resistência à compressão dos blocos, e em seguida, prismas de duas fiadas foram moldados para o ensaio de resistência à compressão, sendo utilizado ambas as argamassas avaliadas à 0 e 24 horas. Como resultado, logo após a mistura, as argamassas apresentaram suas propriedades no estado fresco bem próximas, em que a maior variação ocorreu no teor de ar incorporado, com uma pequena diminuição do ar incorporado na argamassa contendo RBRO em relação a referência. Após 24 horas, as propriedades das argamassas também se mostraram semelhantes. Foi constatado o aumento da massa específica, diminuição do teor de ar incorporado e melhora no adensamento dos corpos de provas de ambas as misturas devido à adição de água para manutenção da trabalhabilidade. Nenhuma das argamassas atingiu a resistência nominal no ensaio de resistência à compressão tanto para 0h, como para 24h. Da mesma maneira, nenhum dos prismas atingiu fator de eficiência mínimo esperado de 0,7, fato relacionado ao elevado fbk apresentado pelo bloco (18,32 MPa). No ensaio de resistência a compressão, constatou-se uma diminuição na resistência média dos prismas moldados com argamassa contendo RBRO à 24h causada pelo acréscimo de água necessária à manutenção da trabalhabilidade, observação oposta

à feita para os prismas moldados com argamassa de referência, cuja quantidade de água adicionada foi menor. Portanto, concluiu-se que, embora a adição de RBRO nas misturas se mostrou eficiente para o período de 0 horas de estabilização em comparação com a argamassa de referência, para o período de 24 horas de estabilização a argamassa com resíduo obteve valores de resistência à compressão inferiores aos apresentados pela argamassa de referência, além de influenciar negativamente em sua trabalhabilidade. Em paralelo a essa comparação, a partir da análise dos ensaios dos prismas, concluiu-se que nenhuma das argamassas se mostrou eficiente para a utilização no assentamento de alvenaria estrutural em blocos de concreto de 18 MPa.

Palavras-chave: Resíduo de Beneficiamento de Rocha Ornamental; argamassa estabilizada; alvenaria estrutural.

LIMA, J. P. Z.; FRANCI, J. K. **Uso de argamassa estabilizada contendo resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais no assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto.** Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). — Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES — 2021.

ABSTRACT

The civil construction industry is characterized by being one of the main consumers of natural resources and a major producer of waste. To transform this scenario focusing on the circular economy, the focus of this work is the use of Ornamental Rocks Beneficiation Residue (ORBR), in applications characterized by the optimization of resources and reduction of waste generation: stabilized mortar and structural masonry. This work had as its main objective to analyze the use of ORBR in ready mixed mortars for laying concrete blocks structural masonry. For this purpose, mortars with 0% and 15% of ORBR were dosed, both being tested in fresh state (specific mass, water retention, entrained-air content and flow table) and hardened state (compressive strength). Trials of absorption and compressive strength of the blocks were performed, followed by trials of two-row prisms compressive strength, with both mortars being evaluated at 0 and 24 hours. The results after 24 hours lead to an increase in specific mass, a decrease in the entrained-air content and an improvement in the density of the specimens of both mixtures due to the water addition to maintain the workability was observed. None of the mortars reached the nominal strength in the compressive strength test for 0h and 24h. Likewise, none of the prisms reached the minimum expected efficiency factor of 0.7, this fact is related to the high fbk presented by the block (18.32 MPa). In the compressive strength test, there was a decrease in the average strength of the prisms molded with ORBR mortar at 24h caused by the water addition required to maintain workability. An opposite observation to that was made for the reference mortar prisms, whose amount of added water was smaller. Therefore, it was concluded that, although the addition of ORBR in the mixtures was efficient for the period of 0 hours of stabilization compared to the reference mortar, for the period of 24 hours of stabilization the mortar with residue obtained lower compressive strength values to those presented by the reference mortar, in addition to negatively influencing its workability. In parallel to this comparison, based on the analysis of the prisms' tests,

it was concluded that none of the mortars proved to be efficient for use in laying structural masonry in 18 MPa concrete blocks.

Keywords: Ornamental rocks beneficiation residue; Ready mixed mortar; Structural masonry.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 — Geometria e dimensões dos blocos.....	42
Figura 02 — Posicionamento dos blocos para assentamento dos prismas.....	44
Figura 03 — Distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	46
Figura 04 — Areia utilizada nas argamassas.....	47
Figura 05 — (a) Aditivo Incorporador de ar (b) Aditivo estabilizador.....	47
Figura 06 - Aspecto do fino após peneiramento.....	49
Figura 07 — Morfologia das partículas de RBRO.....	50
Figura 08 — MEV-EDS do RBRO.....	50
Figura 09 — (a) Consistência da argamassa com o traço de referência original à 0h. (b) Consistência da argamassa com o traço de referência alterado à 0h. (c) Consistência da argamassa com RBRO com traço alterado à 0h...	52
Figura 10 — Pesagem da água adicionada às misturas.....	54
Figura 11 — (a) Pesagem dos blocos. (b) Ensaio de resistência à compressão de blocos.....	55
Figura 12 — Pesagem dos blocos em condição saturada superfície seca.....	56
Figura 13 — Blocos submersos para ensaio de absorção.....	56
Figura 14 — (a) Material separado para a mistura da argamassa com RBRO. (b) Mistura inicial dos componentes da argamassa com uso de misturador. (c) Raspagem das laterais do recipiente com auxílio de espátula. (d) Mistura rápida dos componentes.....	59
Figura 15 — (a) Argamassa posicionada na mesa durante a realização das quedas. (b) Aferição com paquímetro do diâmetro do espalhamento da argamassa.....	60
Figura 16 — Aferição da massa do recipiente com a argamassa.....	62
Figura 17 — Moldagem de corpos de prova para ensaios do estado endurecido.....	64
Figura 18 — Corpos de prova desmoldados e identificados.....	65
Figura 19 — (a) Posicionamento na máquina retífica para capeamento das extremidades dos corpos de prova. (b) Resultado do capeamento com máquina retífica.....	65
Figura 20 — Ensaio de compressão dos corpos de prova de argamassa.....	66

Figura 21 — Capeamento das faces dos blocos destinados à confecção dos prismas.....	67
Figura 22 — (a) Confecção dos prismas com auxílio de nível de bolha, martelo de borracha, régua e esquadro. (b) Prismas confeccionados.....	67
Figura 23 — Prisma posicionado na prensa com chapas de distribuição de forças..	69
Figura 24 — Geometria dos blocos de concreto vazados simples.....	70
Figura 25 — Resistência à compressão dos blocos e suas respectivas massas.....	72
Figura 26 — Forma de rompimento dos blocos de concreto.....	72
Figura 27 — Resultados dos ensaios de massa específica.....	74
Figura 28 — Resultados dos ensaios de incorporação de ar.....	75
Figura 29 — Resultados dos ensaios de consistência.....	76
Figura 30 — Resultados dos ensaios de retenção de água.....	77
Figura 31 — Resistência à compressão axial média das argamassas.....	79
Figura 32 — Imperfeições nos corpos de prova de argamassa após capeamento...	80
Figura 33 — Formas de rompimento dos corpos de prova de argamassa.....	81
Figura 34 — (a) Quebra de capeamento. (b) Desprendimento total da argamassa de ambos os blocos do prisma. (c) Desprendimento do bloco superior....	84
Figura 35 — Médias de resultados apresentados pelos prismas testados.....	85
Figura 36 — Resistências dos prismas de argamassa de referência à 0h.....	86
Figura 37 — Esmagamento das juntas de argamassa.....	87
Figura 38 — Fissuras dos blocos.....	87
Figura 39 — Fadiga do prisma de par 138-121 sem fissura do bloco.....	88
Figura 40 — Resistências dos prismas de argamassas com adição de RBRO.....	89
Figura 41 — Rompimento na interface do substrato/junta dos prismas: (a) à 0h. (b) à 24h.....	90
Figura 42 — Resistências à compressão das argamassas e prismas.....	91

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 — Pesos em ordem crescente dos blocos utilizados.....	43
Tabela 02 — Blocos destinados ao ensaio de compressão e absorção.....	44
Tabela 03 — Propriedades do cimento.....	45
Tabela 04 — Caracterização da areia utilizada.....	46
Tabela 05 — Caracterização dos aditivos utilizados.....	48
Tabela 06 — Propriedades físicas do RBRO.....	48
Tabela 07 — Traços originais das argamassas de referência e com adição de RBRO à 0h.....	51
Tabela 08 — Traços alterados das argamassas de referência e com adição de RBRO à 0h.....	53
Tabela 09 — Traços das argamassas de referência e com adição de RBRO à 24h.....	53
Tabela 10 — Valores de Ψ em função da quantidade de blocos.....	57
Tabela 11 — Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração.....	57
Tabela 12 — Pares de blocos formados para confecção dos prismas.....	68
Tabela 13 — Geometria apresentada pelos blocos de concreto.....	70
Tabela 14 — Resistência à compressão e absorção dos blocos.....	71
Tabela 15 — Resultados dos ensaios no estado fresco.....	74
Tabela 16 — Dimensões e resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova de argamassa.....	78
Tabela 17 — Resultados individuais dos ensaios de resistência à compressão de prismas.....	82
Tabela 18 — Prismas danificados.....	84

LISTA SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

η — Fator de eficiência

a/c — Relação água/cimento

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP — Corpo de prova

CP II F — Cimento Portland Composto Com Fíler

CP V ARI — Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

CV — Coeficiente de variação

E — Módulo de elasticidade

E.H. — Aditivo Estabilizador de Hidratação

I.A. — Aditivo desincorporador de ar

kN — Quilonewton

LEMAC — Laboratório de Materiais de Construção

LCME — Laboratório Central de Microscopia Eletrônica

MEV — Microscopia Eletrônica de Varredura

MPa — Megapascal

NBR — Norma Brasileira Registrada

NM — Norma Mercosul

Nº — Número

Ref. — Referência

UFES — Universidade Federal do Espírito Santo

UFSC — Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivos Gerais.....	17
2.2. Objetivos Específicos.....	17
3. ALVENARIA ESTRUTURAL.....	18
3.1. Componentes da Alvenaria estrutural.....	18
3.1.1. Blocos.....	19
3.1.2. Armadura.....	20
3.1.3. Graute.....	21
3.1.4. Argamassa.....	21
3.1.4.1. Constituição.....	21
3.1.4.2. Propriedades das argamassas de assentamento.....	23
3.1.4.2.1. Trabalhabilidade.....	23
3.1.4.2.2. Retenção de água.....	24
3.1.4.2.3. Ar incorporado e massa específica.....	25
3.1.4.2.4. Resistência mecânica.....	26
3.1.4.2.5. Aderência.....	27
3.1.4.3. Tipos de argamassa.....	27
3.2. Desempenho da Alvenaria Estrutural.....	28
3.2.1. Resistência Mecânica.....	29
3.2.2. Aderência Bloco/Argamassa.....	30
3.2.3. Influência da Argamassa no Assentamento.....	31
4. ARGAMASSA ESTABILIZADA.....	32
4.1. Constituição.....	33
4.2. Propriedades das argamassas estabilizadas.....	34
4.2.1. Índice de consistência.....	34
4.2.2. Ar incorporado e densidade de massa.....	35

4.2.3. Resistência mecânica.....	36
4.2.4. Retenção de água.....	37
4.3. Argamassa estabilizada para fins estruturais.....	37
4.4. Argamassa estabilizada contendo Resíduo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais - RBRO.....	39
4.4.1. RBRO.....	39
4.4.2. Impactos.....	39
4.4.3. Influências.....	40
5. METODOLOGIA.....	42
5.1. Materiais.....	42
5.1.1. Bloco de concreto.....	42
5.1.2. Argamassa estabilizada.....	44
5.1.2.1. Cimento.....	45
5.1.2.2. Agregado.....	45
5.1.2.3. Aditivos.....	47
5.1.2.4. Resíduo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais.....	48
5.2. Métodos.....	50
5.2.1. Definição dos traços utilizados.....	51
5.2.2. Bloco de concreto.....	54
5.2.3. Argamassa estabilizada.....	58
5.2.3.1. Propriedades no estado fresco.....	60
5.2.3.2. Propriedades no estado endurecido.....	63
5.2.4. Avaliação da alvenaria (prismas).....	66
5.2.4.1 Confeção dos Prismas.....	67
5.2.4.2. Ensaio de Resistência à Compressão.....	69
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70
6.1. Blocos de concreto.....	70
6.1.1. Análise dimensional.....	70
6.1.2. Resistência à compressão e absorção.....	71

6.2. Argamassa estabilizada.....	73
6.2.1. Propriedades no estado fresco.....	73
6.2.1.1. Massa específica aparente e teor de ar incorporado.....	73
6.2.1.2. Flow table.....	75
6.2.1.3. Retenção de Água.....	77
6.2.2. Propriedades no ensaio endurecido.....	77
6.3. Prismas.....	81
7. CONCLUSÕES.....	92
7.1 Considerações finais.....	92
7.2. Sugestões para trabalhos futuros.....	93
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXO I - LAUDO DO FABRICANTE DE BLOCOS.....	101

1. INTRODUÇÃO

A utilização da alvenaria na construção de edificações é datada de milhares de anos. Ao longo dos séculos, diversas obras importantes ao redor do mundo tiveram em sua concepção utilizando essa técnica, demonstrando a capacidade portante da alvenaria (PRUDÊNCIO Jr. *et al.*, 2002). O Brasil experimentou um grande impulso no uso da alvenaria estrutural, e a concorrência têm levado as empresas a se preocuparem cada vez mais com os custos, acelerando as pesquisas e a utilização de novos materiais (RAMALHO *et al.*, 2008). Aliado à essa crescente busca das empresas no meio técnico por excelência na velocidade de construção, organização do canteiro de obras e eficiência, surge a necessidade do uso de novas tecnologias que apresentem desempenho adequado à técnica construtiva, e supram as necessidades logísticas do dia a dia da obra.

Um dos materiais que possui essas características almejadas é a argamassa estabilizada, uma argamassa úmida à base de cimento que chega na obra pronta para o uso e se mantém trabalhável por longos períodos. Dependendo de sua composição, o tempo para sua utilização costuma variar de 36 a 72 horas (CASALI *et al.*, 2011), fazendo com que seja uma alternativa para substituir as argamassas produzidas em obra. De Matos (2013) aponta que o uso desse tipo de material garante uma série de benefícios, como: redução de perdas; limpeza e organização do canteiro de obras; redução da responsabilidade da dosagem em obra e, conseqüentemente, se obtém misturas mais constantes, por se tratar de argamassa dosada em central; redução de mão de obra; controle de custos mais precisos. Nota-se, portanto, que as vantagens da utilização desse tipo de argamassa vão além de suas propriedades físicas, mas também da otimização logística, financeira e ambiental da obra.

Em paralelo a esse cenário, surge o problema ambiental da destinação dos resíduos gerados pelas indústrias. Historicamente, o Espírito Santo exerce um papel importante no setor das rochas ornamentais, já que é líder nacional na extração, produção e beneficiamento de mármore e granito, e reúne um dos maiores arranjos produtivos do país (ALENCAR, 2013). Entretanto, esse processo produtivo gera um considerável volume de resíduos sem destinação específica. Tendo em vista que a granulometria desses finos é da mesma ordem de grandeza às das cales hidráulicas (VAZZOLER, 2015), frequentemente utilizadas em argamassas para melhorar as propriedades no estado fresco, pode-se fazer uso do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais

1. INTRODUÇÃO

A utilização da alvenaria na construção de edificações é datada de milhares de anos. Ao longo dos séculos, diversas obras importantes ao redor do mundo tiveram em sua concepção utilizando essa técnica, demonstrando a capacidade portante da alvenaria (PRUDÊNCIO Jr. *et al.*, 2002). O Brasil experimentou um grande impulso no uso da alvenaria estrutural, e a concorrência têm levado as empresas a se preocuparem cada vez mais com os custos, acelerando as pesquisas e a utilização de novos materiais (RAMALHO *et al.*, 2008). Aliado à essa crescente busca das empresas no meio técnico por excelência na velocidade de construção, organização do canteiro de obras e eficiência, surge a necessidade do uso de novas tecnologias que apresentem desempenho adequado à técnica construtiva, e supram as necessidades logísticas do dia a dia da obra.

Um dos materiais que possui essas características almejadas é a argamassa estabilizada, uma argamassa úmida à base de cimento que chega na obra pronta para o uso e se mantém trabalhável por longos períodos. Dependendo de sua composição, o tempo para sua utilização costuma variar de 36 a 72 horas (CASALI *et al.*, 2011), fazendo com que seja uma alternativa para substituir as argamassas produzidas em obra. De Matos (2013) aponta que o uso desse tipo de material garante uma série de benefícios, como: redução de perdas; limpeza e organização do canteiro de obras; redução da responsabilidade da dosagem em obra e, conseqüentemente, se obtém misturas mais constantes, por se tratar de argamassa dosada em central; redução de mão de obra; controle de custos mais precisos. Nota-se, portanto, que as vantagens da utilização desse tipo de argamassa vão além de suas propriedades físicas, mas também da otimização logística, financeira e ambiental da obra.

Em paralelo a esse cenário, surge o problema ambiental da destinação dos resíduos gerados pelas indústrias. Historicamente, o Espírito Santo exerce um papel importante no setor das rochas ornamentais, já que é líder nacional na extração, produção e beneficiamento de mármore e granito, e reúne um dos maiores arranjos produtivos do país (ALENCAR, 2013). Entretanto, esse processo produtivo gera um considerável volume de resíduos sem destinação específica. Tendo em vista que a granulometria desses finos é da mesma ordem de grandeza às das cales hidráulicas (VAZZOLER, 2015), frequentemente utilizadas em argamassas para melhorar as propriedades no estado fresco, pode-se fazer uso do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais

como parte constituinte do proporcionamento das argamassas estabilizadas em questão. Dessa forma, o uso desse subproduto possui importâncias que suprem necessidades ambientais, econômicas e operacionais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

Este trabalho tem por objetivo estudar a influência da argamassa estabilizada contendo resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) no desempenho de alvenarias estruturais confeccionadas com blocos de concreto.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as propriedades das argamassas estabilizadas (sem e com RBRO) no estado fresco: consistência, teor de ar incorporado, massa específica e retenção de água;
- Avaliar as propriedades das argamassas estabilizadas (sem e com RBRO) no estado endurecido: resistência à compressão;
- Avaliar a influência da argamassa estabilizada (sem e com RBRO) no comportamento de alvenaria estrutural por meio da moldagem de prismas de blocos de concreto: resistência à compressão, modo de ruptura e fator de eficiência;
- Comparar e analisar as diferenças no desempenho da argamassa logo após a mistura e após 24 horas de estabilização, tanto no que tange suas propriedades individuais, quanto no desempenho no assentamento de prismas.

3. ALVENARIA ESTRUTURAL

O uso alvenaria estrutural vem se intensificando no Brasil nos últimos anos, tornando o país referência mundial em sua utilização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2013). No Brasil, a introdução da Alvenaria Estrutural se deu na década de 1960, sendo estimado que entre 1964 e 1976 foram construídas mais de 2 milhões de unidades habitacionais no país utilizando esta técnica (PRUDÊNCIO JR. *et al.*, 2002). Com um desenvolvimento mais lento a princípio, e mais rápido a partir dos anos 2000, o sistema acabou sendo muito bem aceito, o que se percebe ao se considerar principalmente o número de empresas produtoras de blocos, tanto de concreto como cerâmicos, existentes na atualidade (RAMALHO *et al.*, 2008).

O desenvolvimento de obras utilizando essa técnica construtiva é caracterizado principalmente pela rapidez, qualidade e baixo custo na construção (SCHANKOSKI, 2012), sendo que sua principal vantagem reside no grande potencial de racionalização de todas as etapas de construção, por meio da otimização do uso de recursos temporais, materiais e humanos (JUSTE, 2001).

Esse método utiliza os próprios componentes de vedação como elementos portantes compostos por unidades de alvenaria, unidos por juntas de argamassa capazes de resistirem a outras cargas além de seu peso próprio (PRUDÊNCIO JR. *et al.*, 2002), devendo também atender as condições de isolante térmico e acústico, resistente a impactos e não combustível (AZEVEDO, 1997).

Segundo Ramalho *et al.* (2008), o principal conceito estrutural ligado à utilização da alvenaria estrutural é a transmissão de ações por meio de tensões de compressão. É notório, entretanto, a existência de tensões de tração em determinados elementos do conjunto, porém, essas tensões devem ser restringidas a locais específicos da estrutura, não apresentando valores muito elevados. Tensões de tração generalizadas e com valores relativamente altos podem inviabilizar economicamente a opção pelo elemento construtivo, embora continue sendo tecnicamente viável.

3.1. Componentes da Alvenaria estrutural

Os principais componentes que constituem os elementos da alvenaria estrutural são: blocos, argamassa de assentamento, graute, armadura e acessórios pré-moldados (ARAÚJO, 2001).

Segundo Tauli *et al.* (2010), a alvenaria estrutural pode ser classificada em três categorias: alvenaria estrutural não armada, constituída com blocos vazados de concreto, assentados com argamassa, e que contém armaduras com finalidade construtiva ou de amarração; alvenaria estrutural armada, constituída com blocos vazados de concreto, assentados com argamassa, na qual certas cavidades são preenchidas continuamente com graute, contendo armaduras envolvidas o suficiente para absorver os esforços calculados; e alvenaria estrutural parcialmente armada, em que algumas paredes contém armaduras localizadas em algumas cavidades preenchidas com graute, sendo as paredes restantes consideradas não armadas.

Esses materiais devem seguir padrões pré-estabelecidos em normas técnicas que definem de diretrizes para fabricação de materiais e componentes confiáveis e parâmetros para execução de obras, tendendo a resultar em uma edificação mais durável, se realizada manutenção adequada (RICHTER, 2007). A seguir, serão apresentadas as principais características desses materiais. Como o escopo do presente trabalho consiste em alvenaria estrutural não armada, explanações sobre grautes e armaduras serão menos detalhadas.

3.1.1. Blocos

Os blocos são a unidade básica da alvenaria estrutural, sendo divididos em 2 tipos: estruturais e não estruturais. Podem ser constituídos de diferentes materiais, sendo os principais utilizados no Brasil, em ordem decrescente de utilização, os blocos de concreto, blocos cerâmicos e blocos sílico-calcários (RAMALHO *et al.*, 2008). A fim de solucionar os problemas construtivos previstos em fase de projeto evitando improvisações na fase construtiva, os fabricantes optam por dispor aos seus clientes o maior número possível de tipologias de blocos concebidos para serem utilizados em conjuntos denominados famílias, diferenciadas pela unidade básica a ela pertencentes. Entre essas famílias, as mais comuns no Brasil são as que possuem como unidades básicas os blocos 14 x 19 x 39 cm, 19 x 19 x 39 cm, 14,5 x 19 x 29,5 cm e 14 x 19 x 29 cm (largura x altura x espessura) (PRUDÊNCIO JR. *et al.*, 2002). Para esse trabalho, serão utilizados os blocos vazados de concreto.

Dessa forma, a ABNT NBR 6136 (2016) estabelece que os blocos vazados de concreto simples devem ser constituídos de cimento Portland, agregados e água, com ou sem o uso de aditivos e adições podendo ou não ter função estrutural, sendo

vazado nas faces superior e inferior, em que a área líquida deve ser igual ou inferior a 75 % da área bruta.

Os blocos de concreto entraram no mercado brasileiro na década de 1970 (MOHAMAD *et al.*, 2015). As unidades são os materiais básicos da alvenaria estrutural, sendo as principais responsáveis pela definição das características resistentes de uma estrutura (RAMALHO *et al.*, 2008). Seu processo de fabricação visa assegurar a obtenção de um concreto suficientemente compacto (abatimento do tronco de cone igual a zero) e homogêneo, produzido por vibro compactação e posteriormente curados ao ar ou em câmara úmida (MOHAMAD *et al.*, 2015).

Segundo a ABNT NBR 6136 (2016), os blocos com função estrutural podem ser divididos em classe A, que são destinados à execução de alvenarias externas que não recebem nenhum tipo de revestimento, com resistência característica à compressão axial superior ou igual a 8,0 MPa; e classe B, destinados à execução de alvenarias internas ou alvenarias externas que recebem revestimentos, com resistência característica à compressão axial entre 4,0 e 8,0 MPa. Devem atender ainda aos limites de absorção de água. Para os blocos de classe A, esse limite é de 9%, e para os blocos de classe B, 10%. Além disso, existem restrições quanto à espessura mínima, relativa a cada família, de quaisquer paredes dos blocos. Há ainda a classe C, não estrutural ou estrutural com especificações mínimas de geometria e limitada para uso em empreendimentos de até 5 pavimentos, dependendo de suas dimensões.

3.1.2. Armadura

As armaduras empregadas na alvenaria estrutural são as mesmas utilizadas no concreto armado e estão sempre presentes na forma de armadura construtiva ou de cálculo, tendo como função absorver esforços de tração e/ou compressão e cobrir necessidades construtivas da edificação (CAMACHO, 2006). Essas armaduras são sempre envolvidas por graute para garantir o trabalho conjunto com o restante dos componentes da alvenaria, sendo uma exceção feita apenas para as armaduras colocadas nas juntas das argamassas de assentamento (RAMALHO, 2008).

3.1.3. Graute

O graute pode ser definido como um concreto ou argamassa com suficiente fluidez para preencher os vazios dos blocos completamente e sem separação dos componentes (MOHAMAD, 2020). Esse elemento tem como função elevar a resistência da parede aumentando a área da seção transversal das unidades, podendo aumentar a capacidade portante da alvenaria à compressão (RAMALHO *et al.*, 2008). Somado a isso, o graute proporciona aderência às armaduras (CAMACHO, 2006), permitindo que combatam tensões de tração que a alvenaria por si só não teria condições de resistir (RAMALHO *et al.*, 2008).

A ABNT NBR 16868-3 (2020) estabelece parâmetros para a avaliação da influência do graute na compressão por meio de ensaios de compressão de prismas, pequenas paredes e paredes.

3.1.4. Argamassa

As argamassas são materiais de construção que possuem propriedades de aderência e endurecimento, e são obtidas pela mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregados miúdos e água, e podem conter aditivos e adições (CASAREK, 2010). Essa mistura funciona como um adesivo capaz de unir as unidades de alvenaria transferindo esforços entre elas, assim como sendo responsável por acomodar pequenas deformações inerentes à própria alvenaria (PRUDÊNCIO JR. *et al.*, 2002).

Segundo Carasek (2010), as argamassas têm seu principal uso no assentamento de alvenarias e nas etapas de revestimento como reboco e emboço, além de contrapisos para regularização e ainda no assentamento e rejuntamento de revestimentos de cerâmica e pedra.

3.1.4.1. Constituição

A ABNT NBR 13281 (2005) define a argamassa como uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de endurecimento e aderência, podendo ser dosada em instalações próprias (argamassa industrializada), ou em obra. Normalmente, a

utilização de aditivos é mais adotada na fabricação de argamassas industrializadas (CASALI, 2008).

Dentre os aglomerantes utilizados, destacam-se o cimento e a cal. Em geral, utiliza-se cimento Portland comum, composto e o de alta resistência inicial, podem ainda ser empregados outros tipos, como o Pozolânico e o de Alto-forno. A principal função desse material é proporcionar resistência às argamassas e aumentar sua aderência, além de colaborar na retenção de água e sua trabalhabilidade. Por outro lado, os excessos de cimento aumentam exageradamente a contração da argamassa atentando contra a durabilidade da aderência. Os cimentos que apresentam maior superfície específica trazem melhoras na trabalhabilidade e na retenção de água das argamassas. Já os de endurecimento mais lento podem produzir argamassas com maior capacidade de absorção de pequenas deformações. Por possuírem as duas características, os cimentos de Alto-forno e Pozolânico tendem a compor argamassas tecnicamente melhores do que aquelas obtidas com o Cimento Portland Comum (CASALI, 2008; PRUDÊNCIO JR. *et al.*, 2002).

Outro aglomerante que pode ser utilizado nas argamassas é a cal. De acordo com Sabbatini (1984), nas argamassas de assentamento, a cal tem como função aumentar a coesão e plasticidade (consequentemente da trabalhabilidade) da mistura, aumentar a capacidade de reter água, diminuir a retração por secagem e aumentar a aderência (extensão e durabilidade). Por analogia, a retração de uma argamassa é diretamente proporcional ao percentual de cal e água presentes.

Para formar a pasta da argamassa, garantir as reações de hidratação e características de adesividade, os aglomerantes são misturados com água. A quantidade de água presente na mistura é um fator importante para classificar a argamassa quanto a sua consistência, podendo ser fluidas, plásticas ou secas (SANTIAGO, 2007).

Aliado a esses materiais, o agregado miúdo atua como componente teoricamente inerte na mistura, podendo ser empregados agregados naturais, britados, reciclados ou artificiais, sendo o primeiro o mais frequente, como a areia de rio ou de cava. Estes materiais reduzem a proporção dos aglomerantes, o que permite aumentar seu rendimento, reduzir o custo da argamassa e diminuir os efeitos nocivos do excesso de cimento (CASALI, 2008). Os agregados têm forte influência no comportamento das argamassas, esse podendo ser afetado por alguns fatores como a forma dos grãos,

granulometria, dureza e porosidade do material, assim como sua origem e presença de substâncias nocivas. Esses materiais têm finalidade semelhante à de um esqueleto para a argamassa, que ganha coesão por meio da ligação dos seus grãos aos aglomerantes (MARGALHA, 2011).

Atualmente, a produção das argamassas ainda conta com aditivos e adições, incorporados à argamassa com o intuito de modificar as suas propriedades no estado fresco ou endurecido. A ABNT NBR 13529 (2013) descreve as adições como materiais inorgânicos naturais ou industriais (pó calcário, saibro, materiais pozolânicos, entre outros). Os aditivos são definidos como produtos adicionados à argamassa em pequenas quantidades, como o incorporador de ar, um dos aditivos mais empregados na argamassa, conferindo-lhe principalmente melhor trabalhabilidade e redução de consumo de água de amassamento (CARASEK, 2010).

3.1.4.2. Propriedades das argamassas de assentamento

Os materiais constituintes das argamassas são responsáveis pelas suas propriedades. Dessa forma, torna-se primordial o conhecimento de suas influências para desenvolver o proporcionamento adequado, que atenda as necessidades no emprego da mistura (SILVA, 2006). Dessa forma, as principais propriedades da argamassa de assentamento serão apresentadas a seguir.

3.1.4.2.1. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade provém da combinação de várias propriedades. Dentre elas é possível destacar a plasticidade, consistência e coesão (PRUDÊNCIO, JR. *et al.*, 2002).

Não existe um método direto para medir a trabalhabilidade das argamassas de assentamento. Essa propriedade é, na prática, definida pelo trabalhador que realiza o assentamento da alvenaria, que utiliza fatores subjetivos para basear seu julgamento sobre alguns aspectos, como a facilidade de manuseio e espalhamento sobre superfície da unidade, adesão para permitir a pré-colocação da argamassa nos topos da unidade para formação das juntas verticais, e outras (PRUDÊNCIO, JR. *et al.*, 2002). A argamassa trabalhável pode ser espalhada facilmente sobre a unidade de alvenaria e é capaz de suportar o peso do bloco quando assentado, facilitando o alinhamento (TALY, 2001).

Para estudos de dosagem, utiliza-se a mesa de queda livre (*flow table*) para determinação da consistência da argamassa, e medida indireta da sua trabalhabilidade, segundo a ABNT NBR 13276 (2016). De acordo com Prudêncio Jr. *et al.* (2002), em testes realizados em argamassas utilizadas em diferentes obras, observou-se que o valor da consistência geralmente varia de 230 mm a 280 mm, que é uma faixa muito ampla, isso porque o valor da consistência medido pelo teste é extremamente dependente da composição da argamassa. Foi observado ainda que o fato da argamassa apresentar uma consistência dentro destes limites não é garantia de sua boa trabalhabilidade. Empregando-se misturas ásperas e sem coesão, o resultado será argamassas inadequadas ao uso em alvenaria.

3.1.4.2.2. Retenção de água

A retenção de água pode ser definida como a capacidade da argamassa de opor resistência à perda de água quando em contato com as unidades de alvenaria (PRUDÊNCIO JR. *et al.*, 2002), seja por evaporação ou pela absorção de água pela base (CASAREK, 2010). É necessário que a argamassa retenha água de forma que quando em contato com unidades de elevada absorção inicial, não tenha suas funções primárias prejudicadas pela excessiva perda de água para a unidade (CAMACHO, 2006). Zambaldi e Bellato (2019) descrevem que a retenção de água se relaciona à capacidade que a argamassa apresenta de continuar mantendo sua trabalhabilidade quando exposta a situações que provocam a perda de água de amassamento.

Caso perca água rapidamente, é possível que a argamassa resseque e o ajuste adequado dos blocos da próxima fiada não seja passível de execução, prejudicando o nivelamento e o prumo da parede, o que pode levar a uma distribuição não uniforme das cargas atuantes pela área resistente dos blocos. Dessa forma, essa propriedade é mais categórica quando a argamassa é aplicada sobre substratos com alta sucção de água ou as condições climáticas estão mais desfavoráveis (CARASEK, 2010).

Em contrapartida, uma retenção de água muito elevada torna a junta de argamassa mais porosa devido à alta relação água/aglomerante (SCHANKOSKI, 2012), podendo prejudicar a manutenção da espessura da junta após o assentamento, depois da confecção das fiadas subsequentes (PRUDÊNCIO JR. *et al.*, 2002). Além disso, retenções de água superiores a 95% podem diminuir consideravelmente a resistência de aderência dos componentes, pela incapacidade de o substrato absorver água e

materiais cimentícios que, após a hidratação, garantem a aderência entre a junta de argamassas e o substrato (bloco) (SCHANKOSKI, 2012).

Segundo Carasek (2010), argamassas que possuem aditivos retentores de água (ésteres de celulose) têm maior capacidade de reter água que argamassas mistas de cimento e cal, argamassas com incorporador de ar, e argamassas de cimento, sendo uma alternativa para evitar a perda de água da mistura.

A retenção de água tem seu ensaio normatizado pela ABNT NBR 13277 (2005), e consiste em medir a massa de água retida pela argamassa após a sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo à baixa pressão, em um funil de filtragem.

3.1.4.2.3. Ar incorporado e massa específica

Carasek (2010) afirma que quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será a longo prazo. A massa específica das argamassas varia com o teor de ar presente e com a massa específica de sua constituição, sobretudo dos agregados.

A incorporação de ar ocorre principalmente por um processo de mistura mecânica com a introdução de microbolhas de ar estáveis na argamassa, geralmente com o auxílio de aditivos incorporadores de ar (IA) (ANTONIAZZI *et al.*, 2020). Mansur e Mansur (2006) apontam que esse mesmo processo de mistura é favorável à remoção deste ar incorporado, já que promovem a fusão das bolhas pequenas formando bolhas maiores, apresentando maior tendência à flutuação. Em seguida, essas bolhas são carregadas para a superfície da argamassa e se rompem.

O teor de ar incorporado nas argamassas, apesar de favorecer a sua trabalhabilidade, atua de forma desfavorável em relação às resistências mecânicas e pode reduzir os pontos de contato da argamassa com o substrato e, conseqüentemente, resultar em baixa resistência de aderência (SCHANKOSKI, 2012). De acordo com Nakakura (2008), o ar incorporado atinge, no máximo, 3 a 4% durante a mistura, podendo ser aumentado com o emprego de aditivos incorporadores de ar.

A ABNT NBR 13278 (2005) prescreve os ensaios a serem realizados para a determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado de argamassas para assentamento, pelo método gravimétrico.

Romano *et al.* (2018) apontam que o tipo de misturador, tempo de mistura, teor de água, energia de mistura, tipo de aditivo e a distribuição granulométrica da mistura são as principais variáveis que interferem na incorporação de ar. Aliado a isso, Rixon e Mailvaganan (1999) observam que o nível máximo de ar incorporado é rapidamente alcançado em misturas com baixo teor de materiais sólidos, sendo a taxa de incorporação de ar progressivamente menor com o aumento do tempo de mistura após atingir o nível máximo.

3.1.4.2.4. Resistência mecânica

Com relação à resistência mecânica, sabe-se que a argamassa deve adquirir rapidamente alguma resistência, permitindo o assentamento de várias fiadas no mesmo dia, assim como deve desenvolver resistência adequada ao longo do tempo. Apesar disso, a ABNT NBR 16868-1 (2020) recomenda especificar a resistência à compressão da argamassa limitada a 1,5 vezes da resistência característica especificada para o bloco, com o intuito de evitar o risco de fissuras. Em contrapartida, nas argamassas de assentamento, é necessário que a resistência à compressão seja supervisionada para que não ocorra um valor muito abaixo da resistência dos blocos, o que poderia prejudicar o desempenho da alvenaria (SILVA, 2007). Schankoski (2012), citando Hendry (1981) e Sabbatini (1986), salienta que argamassas muito fracas podem provocar a ruptura da alvenaria por esmagamento da junta. Dessa forma, para determinar a resistência à compressão da argamassa, são realizados ensaios de corpo de prova prismáticos (4x4x16 cm) regulamentados pela ABNT NBR 13279 (2005), propriedade que depende da relação a/c (água/cimento) da mistura (PRUDÊNCIO JR. *et al.*, 2002).

O módulo de elasticidade também é uma propriedade relacionada ao comportamento elástico do material, e pode fornecer informações a respeito da deformabilidade e da rigidez de uma argamassa. Ele consiste na relação entre a tensão existente em um corpo e a deformação específica produzida por esta tensão, sendo definida pela declividade da curva tensão x deformação sob um carregamento uniaxial (SCHANKOSKI, 2012). Essa propriedade mecânica é de grande interesse, já que está ligada aos fenômenos patológicos, em especial, as fissuras (SILVA *et al.*, 2008). Essa propriedade pode ser determinada em corpos de prova com controle da tensão e deformação específica, similarmente ao prescrito na ABNT NBR 8522 (2021) para concretos. Além disso, a ABNT NBR 15630 (2008) prescreve a determinação do

módulo de elasticidade dinâmico por propagação de ondas ultrassônicas, especificamente para argamassas de assentamento e revestimento.

3.1.4.2.5. Aderência

A aderência da argamassa consiste em uma propriedade do estado endurecido, que define o nível de contato entre a argamassa e o substrato. Carasek (2010) afirma que a aderência é uma propriedade essencial às argamassas de assentamento, uma vez que ela permitirá à parede resistir aos esforços de cisalhamento e tração, além de garantir a estanqueidade das juntas, impedindo a penetração da água de chuva. A adesão inicial da argamassa no estado fresco à unidade é a propriedade principal que caracteriza o comportamento futuro do conjunto substrato/revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência (CINCOTTO *et al.*, 1995). A redução da tensão superficial da pasta proporciona o maior contato com os grãos de agregado e com a base, melhorando a adesão. A cal na argamassa tem a função de diminuir essa tensão superficial e, conseqüentemente, melhorar a adesão da argamassa ao substrato (CARASEK, 2010).

3.1.4.3. Tipos de argamassa

As argamassas podem ser divididas em três grupos principais: produzidas/dosadas em obra, industrializadas e estabilizadas.

Segundo a ABNT NBR 13529 (2013), as argamassas preparadas em obra são aquelas em que a medição e a mistura dos materiais ocorrem no próprio canteiro de obras, tendo seus materiais medidos em volume e/ou massa, e podendo ser compostas por um ou mais aglomerantes. No Brasil, esse tipo de argamassa passou a ser utilizada no primeiro século da colonização, para assentamento de alvenaria e pedra (largamente utilizada na época) (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Em relação a sua constituição, as argamassas frequentemente produzidas em obra, são argamassas mistas, formadas por cimento, cal e agregado miúdo natural.

Já as argamassas industrializadas foram desenvolvidas na modernidade, e surgiram em nível internacional, a partir dos anos de 1950, obtendo destaque no país, desde o final do século 20 (FILLA, 2018). De acordo com a ABNT NBR 13529 (2013), são aquelas provenientes da dosagem controlada e precisa, em instalação industrial, fornecida embalada ou a granel. Frequentemente são fornecidas com seus materiais

secos misturados, necessitando apenas de adição de água e mistura em obra; mas também podem ser encontradas úmidas e prontas para uso, como as argamassas poliméricas.

Como uma solução para o problema da trabalhabilidade da argamassa, na década de 70, na Alemanha (MATOS, 2013), surgiu a argamassa estabilizada, uma argamassa industrializada úmida, à base de cimento que vem pronta para o uso e se mantém trabalhável por até 72 horas após a sua confecção (MACIOSKI *et al.*, 2013). São dosadas em centrais, misturadas e transportadas em caminhões betoneira, e ao chegar à obra são armazenadas e devidamente acondicionadas, pois não devem ser expostas à insolação, vento ou demais condições que ocasionem a perda prematura de água (MATOS, 2013). Essas argamassas são basicamente compostas de cimento e areia, e aditivos como incorporadores de ar e estabilizadores. Os aditivos incorporadores de ar atuam na garantia da plasticidade das argamassas, e os aditivos estabilizadores inibem a reação do cimento enquanto a argamassa estiver saturada de água (BAUER *et al.*, 2015).

3.2. Desempenho da Alvenaria Estrutural

De acordo com Prudêncio *et al.* (2002), as paredes de alvenaria devem ser dimensionadas para resistirem basicamente a quatro tipos de esforços: compressão, cisalhamento, flexões no plano e flexões fora do plano. Dentre essas, a solicitação mais importante é a de compressão, já que é o tipo de esforço ao qual a alvenaria estrutural não armada apresenta maior resistência.

Priestley e Yuk (1984) citados por Steil (2003) descrevem o processo de ruptura da alvenaria estrutural não grauteada da seguinte forma: quando a alvenaria é submetida à compressão, a argamassa, por ser mais flexível que o bloco, tende a expandir lateralmente, mas o atrito na interface bloco/argamassa restringe essa deformação. Devido a isso, surgem tensões de compressão lateral da argamassa e, para que seja mantido o equilíbrio de tensões, o bloco fica sujeito a tensões de tração.

Portanto, Drysdale, Hamid e Baker (1993) sintetizam que a resistência da alvenaria, quando submetida a compressão, é superior à resistência da argamassa, e inferior à resistência do bloco.

Schankoski (2012), citando Hendry (1981), Sabbatini (1984), Steil (2003) e Silva (2007), sintetiza os principais fatores que influenciam na ruptura da alvenaria à compressão:

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

3.2.1 Resistência Mecânica

Segundo Silva (2016), o esforço predominante na alvenaria estrutural é o de compressão, porém, dependendo da rigidez dos seus materiais constituintes, surgem sempre tensões de tração nos blocos. A determinação das tensões de tração nos blocos se faz necessária, pois na maioria dos casos, eles rompem por tração, já que a deformação da argamassa gera tensões de tração nas paredes dos blocos superiores a suportada por eles. Pode-se dizer, portanto, que quanto maior for a resistência dos blocos à tração, maior será a capacidade de resistir aos esforços de compressão na alvenaria.

De acordo com Izquierdo (2011), a avaliação da resistência à compressão da alvenaria pode ser realizada por meio da estimativa da resistência de prismas, de mini-paredes e de paredes em escala real. Pode-se também, em alguns casos, utilizar estimativas por meio dos componentes ou por modelos teóricos propostos por outros pesquisadores.

A ABNT NBR 16868-3 (2020) determina que a resistência característica à compressão simples da alvenaria deve ser determinada com base no ensaio de parede, ou ser estimada como 70% da resistência característica à compressão simples de prisma, ou ainda como 85% da pequena parede.

3.2.2 Aderência Bloco/Argamassa

Carasek (2010) define que a aderência da argamassa endurecida ao 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.

Casali (2008) salienta que a resistência à compressão da parede de alvenaria é muito maior que a resistência de tração. Contudo, a resistência ao cisalhamento e à tração devem ser levados em consideração, uma vez que dependem diretamente da aderência entre as unidades e a argamassa de assentamento.

Por esse motivo, os projetos de alvenaria devem minimizar as tensões de tração e/ou outras tensões que gerem tração como momento fletor. Caso essas tensões forem maiores que a suportada pelas paredes, fissuras podem surgir, comprometendo o funcionamento da alvenaria, pois não existirá um conjunto rígido monolítico como previsto no projeto e sua resistência irá diminuir. Atrelado a isso, essas fissuras permitem a entrada de água, podendo causar o início da degradação da estrutura (CASALI, 2008).

Lawrence e Page (1994), citados por Casali (2008), definem alguns fatores que influenciam na aderência bloco/argamassa. São eles:

- Propriedades da unidade: materiais constituintes, textura superficial, absorção e conteúdo de umidade;
- Propriedades da argamassa: composição, aditivos, granulometria da areia, ar incorporado e retenção de água;
- Fatores ambientais: temperatura umidade relativa do ar, poeira das unidades, mão-de-obra e condições de cura.

Casali (2008) ainda resume três métodos para avaliação da aderência baseados na aplicação de esforços de flexão, tração direta e cisalhamento. O princípio do ensaio de tração direta consiste na aplicação de esforços normais de tração de maneira a separar unidades ligadas por argamassa. Já os ensaios com o intuito de avaliar a resistência ao cisalhamento se dão por meio de aplicação de cargas de cisalhamento concentradas nas proximidades de uma das extremidades da junta de assentamento. Analogamente, o ensaio de tração na flexão leva em consideração a aplicação de carregamentos gerando esforços de tração no corpo de prova.

3.2.3 Influência da Argamassa no Assentamento

Izquierdo (2011) afirma que as principais funções da argamassa na alvenaria estrutural são: unir solidamente as unidades de alvenaria; transmitir e uniformizar as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos; absorver pequenas deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita; e prevenir a entrada de água e de vento nas edificações.

Esse mesmo autor afirma que a resistência à compressão da argamassa não tem influência tão significativa na resistência à compressão da parede, não podendo ser usada como parâmetro representativo no controle da resistência final da estrutura. Entretanto, argamassas exageradamente resistentes, com alto teor de cimento em sua composição, podem acarretar a diminuição da resistência final da alvenaria, causando problemas de trabalhabilidade, retração excessiva e fissuração.

Com o intuito de ganho de produtividade e qualidade dos materiais, o uso de argamassas industrializadas e estabilizadas vem ganhando cada vez mais espaço no mercado nacional. Argamassas essas que apresentam consideráveis quantidades de aditivos em suas composições, como os incorporadores de ar, plastificantes e retentores de água. Schankoski *et al.* (2015), citando Panarese, Kosmatka e Randall Jr. (1991), afirmam que uma retenção muito baixa causa perda de trabalhabilidade no momento de assentamento e faz com que a junta de argamassa fique com falhas, o que prejudica a aderência. Em contrapartida, uma grande retenção de água pode causar o mesmo efeito de má aderência, devido à baixa transferência de água junto de materiais cimentícios para o bloco.

Os mesmos autores, dessa vez citando Kim e Robertson (1996), Carasek (1997), Abdou *et al.* (2006), e Casali (2008), descreve que a presença de incorporadores de ar na composição das argamassas pode diminuir consideravelmente a extensão de aderência entre bloco e junta, levando ao surgimento de fissuras horizontais, embora esse aditivo melhore as características do estado fresco da argamassa.

4. ARGAMASSA ESTABILIZADA

A argamassa estabilizada se tornou uma importante aliada da engenharia na busca pela preservação do meio ambiente (KELLER e LOVATO, 2016), sendo utilizada pela primeira vez no Canadá por volta de 1980. No Brasil, seu uso tem sido considerável em obras de grande porte, principalmente na região sul do país (MACIOSKI *et al.*, 2013 e MATOS, 2013).

Com a utilização desse tipo de argamassa é possível diminuir o espaço necessário para armazenamento de materiais na obra, assim como reduzir desperdícios de argamassa pronta, já que a mesma não perde suas propriedades, podendo ficar armazenada por até três dias (KELLER e LOVATO, 2016). Esse material é composto das mesmas matérias-primas empregadas na fabricação das argamassas convencionais (CAMPOS *et al.*, 2013). No entanto, são combinados aditivos estabilizadores de hidratação e/ou incorporadores de ar para manter a sua trabalhabilidade por um período prolongado. Juntos, esses aditivos aumentam a retenção de água da mistura, fazendo com que a argamassa mantenha por mais tempo a sua consistência em ponto para aplicação (TEMP *et al.*, 2020).

Por esse tipo de argamassa ser fabricada em central dosadora, todos os materiais têm um rígido controle de qualidade e aceitação, sendo transportados por meio de caminhões betoneiras. Com isso, há uma melhora na homogeneidade da mistura, o que proporciona melhora em acabamentos, diminuindo o risco de patologias (CAMPOS, 2013). Ao chegar à obra, a argamassa deve ser armazenada em recipientes previamente instalados próximos aos locais de aplicação, devidamente acondicionados, não podendo estar exposta à insolação, vento ou demais condições que causem a perda prematura de água (MATTOS, 2013).

Cada vez mais pesquisas sobre argamassa estabilizada vêm sendo desenvolvidas objetivando adequar as matérias-primas ofertadas em cada região e viabilizar o uso correto deste material. Dessa maneira é possível ampliar a busca por vantagens técnicas e econômicas, e ainda alcançar adequação com as necessidades e características de cada localidade (KELLER e LOVATO, 2016). Em contrapartida, no Brasil ainda não há uma definição clara em relação ao aspecto normativo para o uso da argamassa estabilizada.

Por ser um produto relativamente novo, existem poucos dados sobre as características e desempenho em serviço da argamassa estabilizada, fazendo-se necessário a intensificação do desenvolvimento de pesquisas e estudos referentes ao assunto (KELLER; LOVATO, 2016).

4.1. Constituição

A composição das argamassas estabilizadas se assemelha às das argamassas industrializadas ou preparadas em obra, entretanto, geralmente não contém cal (MATOS, 2013). Essa argamassa é uma argamassa úmida, normalmente composta de cimento Portland, agregado miúdo, água e aditivos, sendo esses últimos os incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação, que auxiliam na preservação de suas propriedades frescas por até 72 horas. A manutenção da trabalhabilidade da mistura depende de seu correto armazenamento e a colocação de uma lâmina de água para proteção das propriedades no estado fresco (TEMP *et al.*, 2020).

Os aditivos estabilizadores de hidratação (EH) têm como função atuar principalmente no controle de hidratação da argamassa, promovendo um retardo no tempo de pega e moderada manutenção de abatimento (MATOS, 2013). Ele consiste em um produto químico que atua sobre as moléculas de cimento e bloqueia a reação destas com a água, mantendo sua estabilidade por períodos mais longos. O curso da hidratação de uma mistura é retomado quando há o consumo total do aditivo estabilizador ou quando se adiciona um aditivo ativador, recomeçando o processo de hidratação da argamassa (BARROS *et al.*, 2018).

Já os aditivos incorporadores de ar (IA) atuam sobre a plasticidade das argamassas (BAUER, 2015). A utilização desses aditivos em materiais cimentícios representou um grande avanço tecnológico para a construção civil (ROMANO *et al.*, 2018). Segundo Du e Folliard (2005), as principais vantagens de utilização dos incorporadores de ar são, dentre outras, a melhoria na trabalhabilidade e coesão dos sistemas, redução na tendência à exsudação, facilidade no espalhamento e manuseio da mistura, aumento de produtividade, utilização de formas que suportem menores pressões, redução das cargas sobre as estruturas e redução do consumo de cimento nas composições. Essa incorporação intencional de ar proporciona, junto ao processo mecânico de mistura, a inserção de microbolhas de ar estáveis na argamassa, cujo atrito interno entre suas

partículas é então reduzido, o que promove um maior distanciamento entre os agregados, facilitando o manuseio e aplicação (ANTONIAZZI *et al.*, 2020).

Já Keller e Lovato (2016) estudaram as propriedades das argamassas estabilizadas produzidas em laboratório utilizando diferentes teores de aditivo estabilizador de hidratação (0; 0,5; 0,7 e 0,9%) e dois teores de aditivo incorporador de ar (0 e 0,3%) no estado fresco e endurecido. As argamassas foram confeccionadas com cimento CP II-F-32 e areia natural média, no traço 1:4,5, em volume (cimento : areia seca) e suas propriedades foram avaliadas aos 28 dias dos corpos-de-prova, independente se moldados no dia do preparo da argamassa, após 24 horas ou após 48 horas.

Temp *et al.* (2020) buscaram avaliar o comportamento de argamassas estabilizadas no estado fresco e endurecido em 24h, 36h e 48h de estabilização, tempo que pudessem manter a consistência e a trabalhabilidade. Os materiais utilizados na confecção das argamassas estabilizadas foram os seguintes: areia fina (módulo de finura 1,77), água potável, Cimento Portland do tipo CP V-ARI (alta resistência inicial), aditivo incorporador de ar (0,25% para 24h e 36h, e 0,40% para 36h) e aditivo estabilizador de hidratação (41,24 g para 24h, 54,99 g para 48h e 101,72 g para 48h). A mistura da argamassa foi realizada com o auxílio de uma betoneira a fim de se reproduzir o padrão da produção industrial que se dá pelo efeito do tombamento do material dentro do misturador, sendo os aditivos adicionados a partir de três minutos.

4.2. Propriedades das argamassas estabilizadas

Os resultados encontrados pelos pesquisadores a respeito das propriedades das argamassas estabilizadas estão descritos nos próximos itens:

4.2.1. Índice de consistência

No estudo de Macioski *et al.* (2013), notou-se uma perda de consistência ao longo do tempo de armazenamento nos instantes iniciais de ensaio (0 minuto) em dois dos três lotes. Provavelmente, este comportamento do índice de consistência não exerceu influência significativa na trabalhabilidade da argamassa em obra de um dia para o outro de utilização. Da mesma maneira, para o estudo de Keller e Lovato (2016), todas as misturas realizadas se mantiveram trabalháveis até 48 horas, confirmando que os teores de aditivo estabilizador avaliados tiveram o efeito esperado. Em contrapartida, para Temp *et al.* (2020), o ensaio de índice de consistência se mostrou pouco sensível

para avaliar a trabalhabilidade das argamassas estabilizadas pois produziu resultados vagos.

Temp *et al.* (2020) estudaram a influência da hidratação do cimento nas propriedades das argamassas. Foi verificado que as misturas tiveram uma pequena perda de consistência após o tempo estabelecido de hidratação do cimento, com exceção da argamassa de 24 horas, que apresentou um aumento de 1,98% no índice de consistência, descrito pelo autor como insignificante para a propriedade em estudo.

Já o estudo de Keller e Lovato (2016), tanto para as argamassas produzidas somente com o estabilizador de hidratação, quanto para as produzidas com os dois aditivos, a consistência apresentou aumento após 24 horas decorridas do seu preparo. Entretanto, as argamassas produzidas com os dois aditivos continuaram a ter um aumento de consistência ao longo do tempo, enquanto nas produzidas somente com o estabilizador de hidratação, houve uma redução da consistência após 48h. Este fato possivelmente está relacionado com a ausência do aditivo incorporador de ar, já que uma vez que não houve incorporação de ar, a argamassa ficou mais fluida.

4.2.2. Ar incorporado e densidade de massa

Macioski *et al.* (2013) verificaram que os valores de densidade de massa obtidos foram semelhantes ao longo do tempo de utilização (0, 15, 30 e 60 minutos) considerando as amostras do mesmo lote e no dia de armazenamento. Observou-se também que, em dois dos três lotes, os valores de densidade de massa em média apresentaram um aumento pequeno em relação ao tempo de armazenamento (do 1º para o 2º dia) e que houve uma pequena diminuição do teor de ar incorporado em relação ao tempo de armazenamento.

Em paralelo, os resultados obtidos por Temp *et al.* (2020), demonstram que a densidade de massa das argamassas teve baixa variação nos valores, mas é notável que a argamassa de 36 horas apresentou o maior valor. Nota-se, também, que as argamassas de 24 e 36 horas de estabilização tiveram maiores densidades de massa, possivelmente devido a menor dosagem do aditivo incorporador de ar por massa de cimento se comparado com a argamassa de 48h. Entre as argamassas de 24 e 36 horas, que possuem a mesma proporção e se diferem apenas pela quantidade de estabilizador de hidratação, é possível observar uma pequena queda no teor de ar

incorporado. Isso pode ter ocorrido devido a diferença de tempo em que os ensaios foram realizados após a mistura, 12 horas entre as argamassas estudadas. Já a argamassa de 48 horas apresentou o maior teor de ar incorporado.

No estudo de Keller e Lovato (2016), ao longo do tempo de utilização (0h, 24h e 48h) no estado fresco, as argamassas produzidas somente com aditivo estabilizador de hidratação apresentaram redução na densidade da massa, sendo notório também que quanto maior o percentual de aditivo empregado, maior a densidade das argamassas. Entretanto, as argamassas produzidas com os dois aditivos (estabilizador de hidratação e incorporador de ar) apresentaram uma variação da densidade de massa no estado fresco ao longo do tempo de utilização, não sendo verificada uma tendência de comportamento. Com a utilização do incorporador de ar, esperava-se redução da densidade das argamassas se comparado com as misturas somente com estabilizador, fato verificado somente na mistura 0,5% + 0,3%.

No estado endurecido as densidades verificadas ao longo do tempo de utilização não seguiram uma tendência de comportamento ao longo do tempo de utilização.

4.2.3. Resistência mecânica

Temp *et al.* (2020), observaram uma redução linear de resistência à tração na flexão e à compressão à medida que o aditivo estabilizador de hidratação foi aumentado, tornando esses fatores inversamente proporcionais.

Para Keller e Lovato (2016), ao realizar o ensaio de tração à flexão, as argamassas produzidas não apresentaram tendência de comportamento ao longo do seu tempo de preparo (0, 24 e 48 horas). Apesar disso, com os resultados obtidos, foi possível concluir que, quanto maior é o teor de aditivo estabilizador de hidratação menor é a resistência à tração na flexão. Também se observou que com a utilização do aditivo incorporador de ar, as misturas apresentaram uma resistência inferior do que as misturas sem esse aditivo. Já para o ensaio de compressão, as misturas feitas somente com estabilizador de hidratação apresentaram um aumento na sua resistência ao longo do tempo de utilização. Uma possível causa seria que nas misturas moldadas no primeiro dia o aditivo ainda estivesse bloqueando a hidratação de algumas partículas de cimento, requerendo mais estudos para verificação. Já as

misturas que possuíam também o incorporador de ar não seguiram um padrão definido.

4.2.4. Retenção de água

Como conclusão de seu trabalho, Macioski *et al.* (2013) concluíram que os valores de retenção de água não foram muito influenciados pelo tempo de armazenamento para as argamassas estudadas.

Já na pesquisa de Temp *et al.* (2020) foi possível observar que a absorção de água aumenta quando é adicionado uma quantidade maior de aditivos. O tempo de estabilização de 48h apresentou um coeficiente de capilaridade aproximadamente três vezes maior do que o traço de 24 horas de estabilização e duas vezes maior que o traço de 36 horas.

Em seu estudo, Keller e Lovato (2016), observaram grande variação de resultados entre os diferentes teores de aditivo e tempos de moldagem dos corpos-de-prova. A maioria das misturas realizadas apresentou absorção superior à argamassa de referência (sem aditivos). Além disso, algumas argamassas apresentaram maior absorção quando moldadas 24 horas após o seu preparo do que quando moldadas após 48 horas.

4.3. Argamassa estabilizada para fins estruturais

Matos (2013) realizou um estudo acerca do emprego de argamassas estabilizadas no assentamento de alvenaria estrutural. Foram testados blocos de três resistências distintas e três argamassas estabilizadas dosadas para 48 horas, com resistências compatíveis com a dos blocos utilizados (6, 9 e 14 MPa). Foi possível concluir que, com exceção dos prismas de 14 MPa, mesmo depois de 36 h de fabricação, as argamassas apresentaram desempenho satisfatório, devido ao bom desempenho apresentado pelos prismas. Os prismas de 14 MPa, cuja argamassa apresentou baixa trabalhabilidade, dificultando a moldagem dos corpos-de-prova e prismas, apresentou baixas resistências à compressão e baixa aderência, não atingindo o mínimo estipulado pela normativa vigente no momento do estudo (ABNT NBR 15961, 2011).

Por fim, Matos (2013) concluiu que é tecnicamente viável a utilização de argamassas estabilizadas em alvenaria estrutural de blocos de concreto, sendo recomendada

especialmente para edificações de médio porte já que estas geralmente utilizam blocos de até 9 MPa.

Outro estudo realizado acerca do comportamento de argamassas estabilizadas foi realizado por Jeziorski (2018), em que o autor compara o comportamento mecânico de prismas de argamassa estabilizada com prismas moldados com argamassa industrializada, quando solicitados à esforços de compressão. O autor testou o assentamento de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos de 7 MPa (14 x 19 x 29 cm com paredes finas de 2,5 cm) com argamassa estabilizada de 7 MPa dosada para 36 horas; e argamassa industrializada de 4 MPa, aplicando os mesmos procedimentos de ensaio (blocos cerâmicos, argamassas e avaliação da alvenaria por meio de prismas), sendo que para cada argamassa, moldaram nove prismas: três prismas de cinco fiadas para o ensaio de tração na flexão e seis prismas de duas fiadas para o ensaio de resistência à compressão.

Como resultado, ambas as argamassas apresentaram resistência à compressão superior às indicadas pelos fabricantes. A argamassa estabilizada apresentou uma resistência muito superior (14,15 MPa), 102,14% maior que a indicada pelo fabricante. Já a argamassa industrializada mostrou valores maiores que o indicado pelo fabricante, porém sua resistência à compressão média (4,47 MPa) é apenas 11,75% maior que a indicada.

Em paralelo, no ensaio de flexão, os corpos de prova da argamassa industrializada apresentaram resultados melhores. A argamassa estabilizada apresentou uma média de 5,28 MPa, o que corresponde a uma relação tração/compressão de 37,30%; e a industrializada apresentou uma média de 2,54 MPa, relação tração/compressão de 56,82%. Ademais, observou-se que ambas as argamassas testadas foram capazes de produzir prismas com desempenho satisfatório ao ensaio de compressão, tendo o prisma com argamassa industrializada atingido o valor médio de 3,90 MPa, e com a estabilizada, resistência média de 4,08 MPa.

Observando-se os valores obtidos de eficiência bloco/prisma, o prisma composto pela argamassa estabilizada obteve eficiência de 0,47 e o de argamassa industrializada, 0,45. Apesar disso, ambos os tipos de prismas apresentaram resistência mais de 50% menor do que a do bloco e romperam silenciosamente com pouco desprendimento de material na junta de assentamento.

4.4. Argamassa estabilizada contendo Resíduo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais - RBRO

4.4.1. RBRO

O setor de rochas ornamentais é um importante segmento da economia nacional, em especial no ES, onde a indústria de mármore e granito é uma das mais representativas e importantes da economia local. Atualmente, é comum o uso de rochas ornamentais com o intuito de produzir peças comercializáveis para acabamentos em geral, passando pelos processos de extração e beneficiamento para chegar no produto final.

O beneficiamento das rochas ornamentais pode ser separado em beneficiamento primário e secundário (ou final). O beneficiamento primário consiste nas etapas de corte dos blocos de rochas extraídos do maciço, de maneira a obter chapas, nas condições mais próximas do produto acabado. Já o beneficiamento secundário ou final, envolve o corte e tratamento superficial (polimento) das chapas, para se obter diversos produtos, como: painéis de revestimento externo, ladrilhos para revestimento, degraus, mesas, bancadas, rodapés, molduras, colunas e produtos especiais, destinado ao consumidor final (VIDAL *et al.*, 2013).

De acordo com Vidal *et al.* (2013), nas serrarias são gerados resíduos que variam muito em termos de granulometria. Esses resíduos são de composição mineralógica diversa e dependem dos tipos de rochas beneficiadas. Os resíduos finos e ultrafinos são gerados como efluentes em forma de lama, pois seu processo de beneficiamento é realizado a úmido. O mesmo autor ainda afirma que, no processamento dos blocos, o resíduo gerado é de cerca de 40% do volume do bloco, sendo 26% de resíduo muito fino misturado com insumos de serragem e 14% de resíduos grossos, na forma de casqueiro.

4.4.2. Impactos

Leite (2019), citando Celik e Sabah (2008), afirma que as partículas finas dos resíduos de rochas ornamentais, após perderem toda umidade, podem se dispersar facilmente sob condições atmosféricas, como chuva e vento. Portanto, quando dispostos em aterros sanitários, os resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais, após perderem todo seu teor de água, podem poluir o ar e tornar-se prejudicial à saúde dos seres humanos, podendo causar doenças respiratórias.

De acordo com Silva (2015), o problema de acúmulo de resíduos finos no estado do Espírito Santo adquire uma proporção muito grande, visto que é o estado de maior produção beneficiamento e exportação de rochas ornamentais do Brasil, sendo responsável por mais da metade da produção nacional, além de também ser responsável por 80% do beneficiamento da produção. Portanto, vê-se a urgência de se encontrar uma solução de aproveitamento desses resíduos. O autor ainda afirma que esse problema vem sendo estudado em todos os países produtores, sendo a solução que mais se destaca é a utilização dos resíduos na composição de elementos, argamassas cerâmicas e outros componentes para a construção civil.

4.4.3. Influências

De maneira geral, a maioria dos trabalhos encontrados estão relacionados à incorporação de resíduos de extração e serragem de rochas ornamentais e não utilizam resíduos de beneficiamento secundário advindos das marmorarias. Além disso, não há muitos trabalhos sobre a incorporação desses resíduos em argamassa, sendo a maior parte deles incorporados em concretos, em substituição parcial ao cimento (LEITE, 2019).

Os resultados obtidos por Lopes (2020) dos estudos com a substituição parcial do cimento e da areia por RBRO mostram que não houve diferenças significativas em relação a absorção de água, índice de vazios, massa específica seca e massa específica saturada para os teores de misturas estudados, mostrando a existência de compatibilidade entre os resíduos e o cimento ou areia, quando observados sua granulometria e densidade.

O mesmo autor ainda observou que os ensaios de resistência à tração e flexão se mostram similares entre as argamassas produzidas com a substituição parcial do RBRO tanto por cimento, quanto por areia, e a argamassa de referência. Porém, os estudos indicaram que a resistência à compressão diminuiu, embora a diferença seja pouco significativa para substituição de até 10% do cimento pelos resíduos. Enquanto isso, a substituição parcial de até 30% da areia pelo RBRO mostra um ganho de resistência à compressão.

Leite (2019) fez um estudo de argamassas com a substituição parcial de areia por resíduos do beneficiamento secundário de rocha. Nesse estudo, o autor produziu uma

argamassa contendo resíduos de corte e outra argamassa contendo resíduos de polimento, com diferentes porcentagens de substituição. As argamassas com 10% de resíduos (para ambos os casos) e a argamassa contendo 20% de resíduo de polimento, apresentaram índices de consistência mais elevados do que os recomendados pela ABNT NBR 16541 (2016), o que implicaria em uma dificuldade de utilização delas no estado fresco. Por isso, durante suas confecções seria necessário a redução da quantidade de água em suas composições. Em contrapartida, as argamassas com 30% de incorporação (para ambos os casos), apresentaram índices de consistência menores do que os recomendados pela norma. Portanto, durante suas confecções haveria necessidade de um aumento na quantidade de água incorporada às misturas. Além disso, apesar dos dois tipos de resíduos possuírem partículas com formatos diferentes da areia e apresentarem faixas de granulometria menores, foram obtidos resultados de densidades aparentes, absorção de água por imersão, índices de vazios, massas específicas seca e saturada e resistências mecânicas similares às argamassas sem os resíduos.

De modo geral, o que se observa na literatura é que os resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais, além de sua natureza inerte, a granulometria fina possibilita a utilização desse resíduo como fíler em substituição parcial de cimento. Associado à disso, a adição desse material não causa alterações significativas nas propriedades da argamassa, podendo, em alguns casos, até melhorar propriedades específicas para determinados teores de incorporação e substituição do cimento e areia.

5. METODOLOGIA

Esta seção tem como objetivo abordar os materiais e métodos utilizados no estudo proposto, objetivando o conhecimento no tema e permitindo a reprodutibilidade desta pesquisa. Na seção “Materiais”, serão apresentadas as caracterizações dos materiais empregados neste trabalho e em “Métodos”, os ensaios executados nos blocos, argamassa em estado fresco e endurecido, e nos prismas.

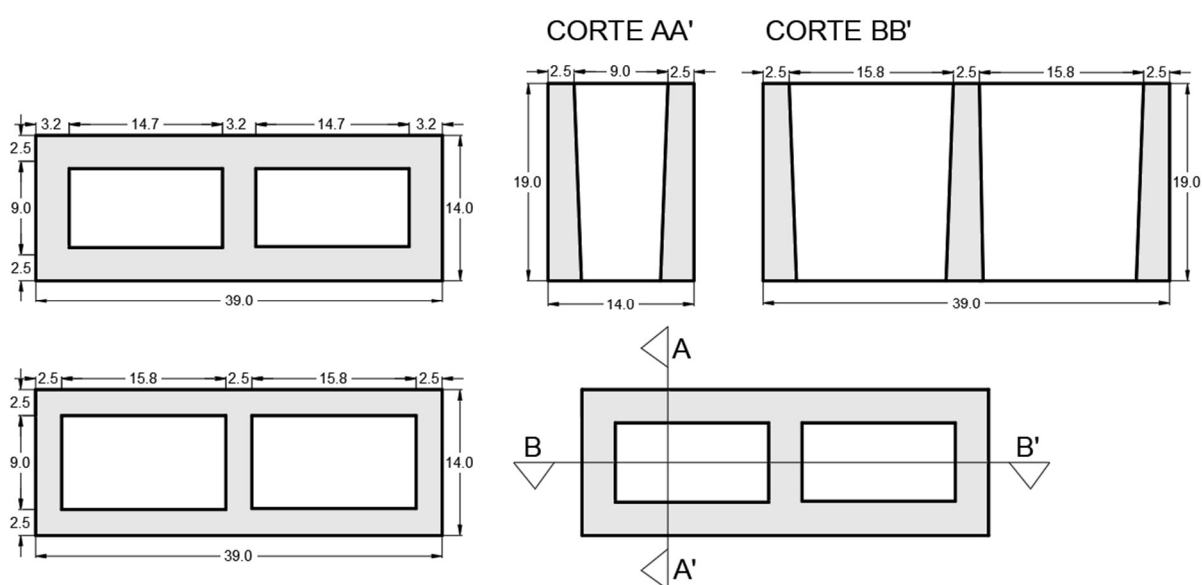
5.1. Materiais

Este tópico apresentará os materiais utilizados nos ensaios e suas principais características, e está dividido em: bloco de concreto e argamassa estabilizada e seus constituintes (cimento, agregado, aditivos e adições).

5.1.1. Bloco de concreto

Para os ensaios deste trabalho, foram utilizados blocos de concreto vazados de classe (resistência nominal) 8 MPa. Os blocos selecionados tinham suas dimensões características de 14x19x39 cm (largura x altura x comprimento), de paredes finas de aproximadamente 2,5 cm de largura (Figura 01), conforme especificação do fabricante (Anexo A).

Figura 01 - Geometria e dimensões dos blocos.



Fonte: Autor.

Os valores em ordem crescente encontrados na pesagem dos blocos utilizados para confecção dos prismas estão listados na Tabela 01. Posteriormente, na seleção dos pares, foi realizada uma separação por massa, pois é conhecida a influência da

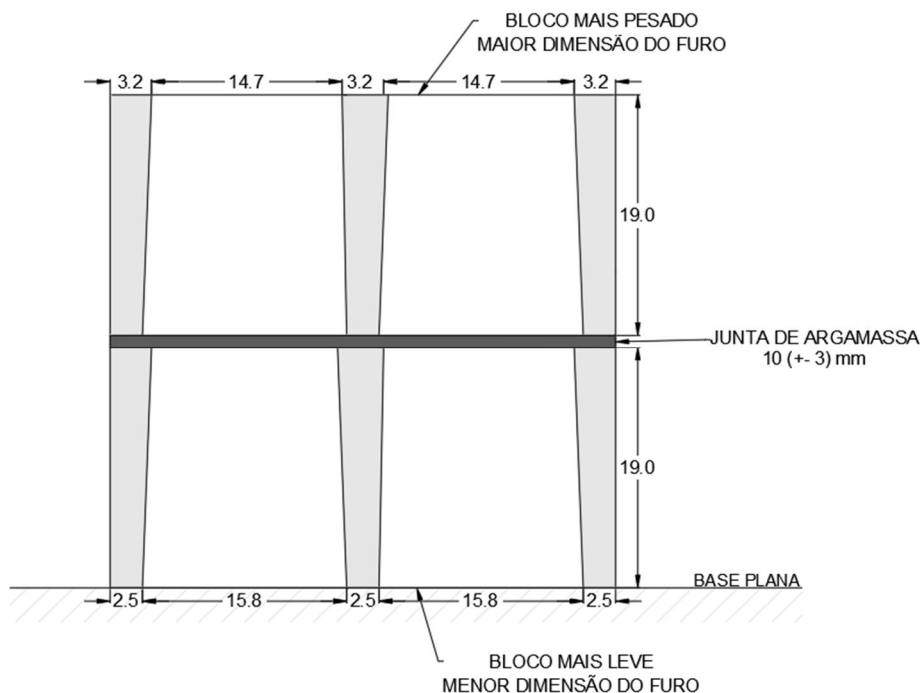
compacidade do bloco na sua resistência à compressão. Ademais, é de acordo com a espessura do septo em cada face do bloco que é determinada sua posição de assentamento, sendo a face com septo fino (2,5 cm) assentada para baixo, e face com septo grosso (3,2 cm) para cima, formando pares de blocos em que os mais pesados são posicionados no topo, e os mais leves, na base (Figura 02).

Tabela 01 - Pesos em ordem crescente dos blocos utilizados.

-	Bloco de cima		-	Bloco de baixo	
	Nº do bloco	Peso (Kg)		Nº do bloco	Peso (Kg)
1º	12	13,46	21º	15	13,67
2º	103	13,47	22º	19	13,69
3º	134	13,49	23º	133	13,70
4º	136	13,49	24º	139	13,70
5º	26	13,51	25º	101	13,72
6º	107	13,53	26º	121	13,75
7º	114	13,55	27º	112	13,78
8º	152	13,57	28º	146	13,78
9º	138	13,58	29º	119	13,79
10º	100	13,59	30º	151	13,82
11º	110	13,59	31º	145	13,85
12º	6	13,60	32º	149	13,92
13º	21	13,60	33º	27	13,93
14º	37	13,61	34º	53	13,99
15º	106	13,62	35º	29	14,00
16º	113	13,62	36º	8	14,03
17º	132	13,62	37º	11	14,03
18º	137	13,62	38º	115	14,11
19º	141	13,62	39º	126	13,70
20º	105	13,67	40º	127	13,94

Fonte: Autor.

Figura 02 - Posicionamento dos blocos para assentamento dos prismas.



Fonte: Autor.

Seis blocos foram submetidos à análise dimensional e, posteriormente, ensaio de resistência à compressão. Ademais, outros três blocos foram submetidos à ensaio de absorção, e seus dados estão apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 - Blocos destinados ao ensaio de compressão e absorção.

Ensaio	Nº do bloco	Massa (Kg)
Compressão	16	13,76
	45	13,93
	5	13,90
	41	13,89
	22	13,77
	4	13,90
Absorção	144	13,67
	150	13,69
	153	13,40

Fonte: Autor.

5.1.2. Argamassa estabilizada

Foram ensaiadas duas argamassas estabilizadas dosadas para 0 e 24 horas, sendo suas resistências compatíveis com a resistência nominal do bloco a ser empregado. Optou-se pela utilização do cimento CP V como aglomerante para a produção da argamassa por se tratar de um cimento com baixo teor de adições, o que facilita a verificação da influência causada pela adição de RBRO. Foram incorporados no traço

da argamassa aditivos incorporadores de ar e estabilizantes de hidratação, com o intuito de garantir a manutenção da trabalhabilidade e permitir o desencadeamento das reações de hidratação no momento de sua utilização. Por fim, utilizou-se ainda o resíduo de beneficiamento de rocha ornamental (RBRO) originada do corte de mármore, usado como substituição parcial do cimento em um dos traços ensaiados.

5.1.2.1. Cimento

O aglomerante selecionado para a mistura foi o CP V pela ausência de adições pozolânicas e escórias. O cimento utilizado é fabricado pela LafargeHolcim.

Em sua caracterização, o cimento apresentou massa específica de 3,10 g/cm³ e suas demais características estão expostas na Tabela 03, retiradas do laudo do fabricante.

Tabela 03 - Propriedades do cimento.

ENSAIOS QUÍMICOS					
ENSAIOS	NORMA	UND.	MÉDIA	ESPECIFICAÇÃO NBR 16697/18	
PF 950C	NM 18/12	%	5,86	<=6,50	
SO3	NBR 14656/01	%	2,74	<=4,50	
RI	NM 15/12	%	0,81	<=3,50	
MgO	NBR 14656/01	%	0,78	<=6,50	
ENSAIOS FÍSICOS					
ENSAIOS	NORMA	UND.	MÉDIA	ESPECIFICAÇÃO NBR 16697/18	
Blaine	NBR 16372/15	cm²/g	4826	Não aplicável	
Ret. 38mic	NBR 12826/14	%	2,4	Não aplicável	
IP	NBR 16607/18	min	125	>=60	
FP	NBR 16607/18	min	173	Não aplicável	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO					
ENSAIOS	NORMA	UND.	DESVIO	MÉDIA	ESPECIFICAÇÕES NBR 16697/12
RC 1 DIA (NBR)	NBR 7215/19	MPa	0,73	26,7	>=14,0
RC 3 DIAS (NBR)	NBR 7215/19	MPa	1,05	38,6	>=24,0
RC 7 DIAS (NBR)	NBR 7215/19	MPa	1,06	42,5	>=34,0
RC 28 DIAS (NBR)	NBR 7215/19	MPa	0,71	50,4	Não aplicável

Fonte: LafargeHolcim (2021).

5.1.2.2. Agregado

Como agregado miúdo, foi utilizada uma areia quartzosa proveniente de cavas, disponível na região de Linhares - ES. Na Tabela 04 estão resumidas as

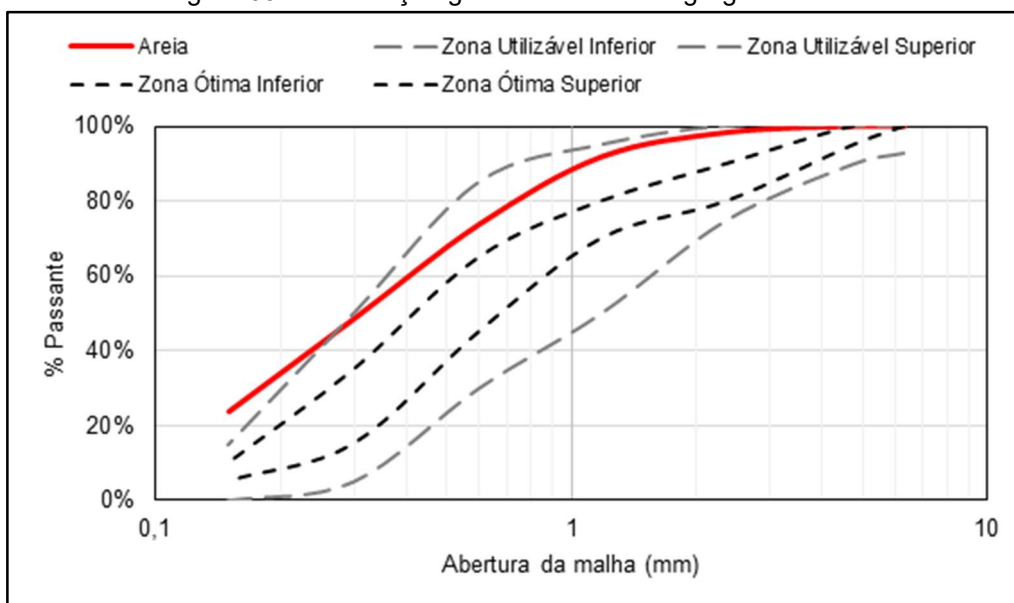
características físicas do material, como: módulo de finura, dimensões máximas e mínimas características e massa específica, que foram determinadas por Oliveira e Medina (2019). A distribuição granulométrica da areia, os limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211 (2019) e sua aparência estão apresentados na Tabela 04, Figura 03 e Figura 04, respectivamente.

Tabela 04 - Caracterização da areia utilizada.

Propriedades da areia	
Módulo de finura	1,64
Diâmetro máximo (mm)	2,36
Diâmetro mínimo (mm)	0,15

Fonte: Oliveira, Medina (2019).

Figura 03 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Oliveira, Medina (2019).

Figura 04 - Areia utilizada nas argamassas.



Fonte: Oliveira, Medina (2019).

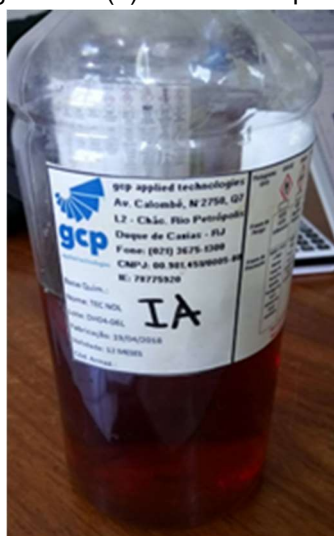
5.1.2.3. Aditivos

Foram usados dois tipos de aditivos na confecção das argamassas: estabilizador de hidratação (EH) e incorporador de ar (IA), cujas informações apresentadas pelo fabricante estão na Tabela 05.

Em sua pesquisa, De Mello (2020) realizou a caracterização ideal dos teores desses aditivos, em que definiu as proporções de 0,3% de EH e 0,5% de IA como sendo as ideais para o traço referência de 1: 6,42: 0,81 (cimento : agregado miúdo : água).

O IA é identificado como TEC NOL, do lote DH04-06L, como pode ser observado na Figura 05a. O EH é identificado como ECO TEC MIX, do lote DH04-04L (Figura 05b).

Figura 05 - (a) Aditivo Incorporador de ar (b) Aditivo estabilizador.



(a)



(b)

Fonte: Autor.

Tabela 05 - Caracterização dos aditivos utilizados.

PROPRIEDADES	ESPECIFICAÇÕES	
	Incorporador de Ar	Estabilizador de Hidratação
pH (23°C)	10 - 12	8 - 11
Densidade 23°C (g/cm³)	1,00 - 1,04	1,16 - 1,20
Teor de sólidos (%)	4,0 - 6,0	38,0 - 42,0

Fonte: GCP (2021).

5.1.2.4. Resíduo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais

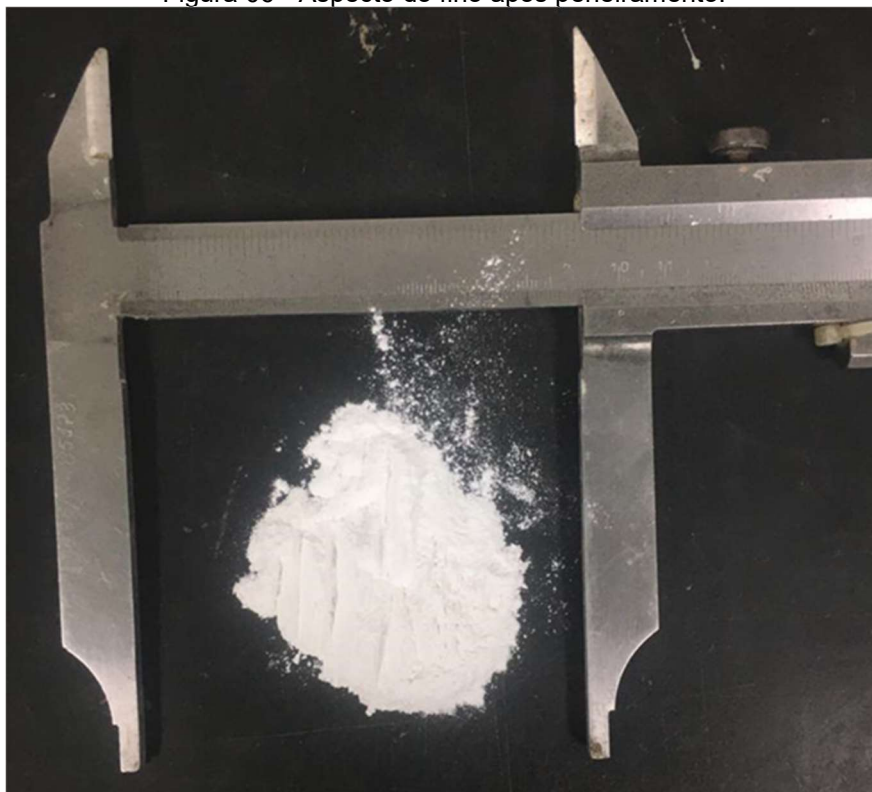
Foi incorporado à argamassa o resíduo do beneficiamento de rocha ornamental (RBRO) proveniente do corte de mármore, obtido em uma empresa da região de Cachoeiro do Itapemirim – ES. O resíduo foi seco, destorroado e peneirado na peneira com malha de 0,30 mm, sendo utilizado apenas o material passante nessa peneira. Foi feita a substituição parcial do cimento pelo RBRO na proporção de 15% em volume em uma das misturas, mantendo os demais materiais sem alteração de proporção. A substituição em volume foi feita com o intuito de manter a proporção dos finos presentes, garantindo assim a consistência da mistura. Desse modo, a argamassa dosada com 0% de RBRO foi considerada como a referência, para posterior comparação. As propriedades físicas obtidas nos ensaios de caracterização do material e seu aspecto estão apresentados na Tabela 06 e Figura 06, respectivamente.

Tabela 06 - Propriedades físicas do RBRO.

Propriedades do RBRO	
Material retido na peneira 200 (%)	0,84
Massa específica média (g/cm³)	2,84
Superfície específica (cm²/g)	7590

Fonte: De Mello *et al.* (2020).

Figura 06 - Aspecto do fino após peneiramento.

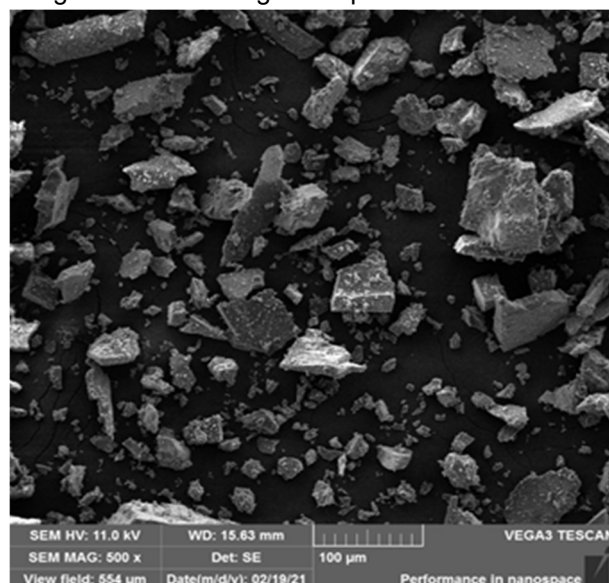


Fonte: Autor.

Para avaliar a morfologia das partículas, imagens de MEV obtidas em microscópio JSM-6390LV (JEOL) operando a 10 kV, revestindo a amostra com ouro, é apresentada na Figura 07. Pode-se dizer que, em geral, o RBRO possui partículas irregulares e de formato angular. Essa morfologia das partículas advém do processo de beneficiamento no qual as rochas são desbastadas pelas serras, água e / ou areia metálica, promovendo o corte ou polimento das peças.

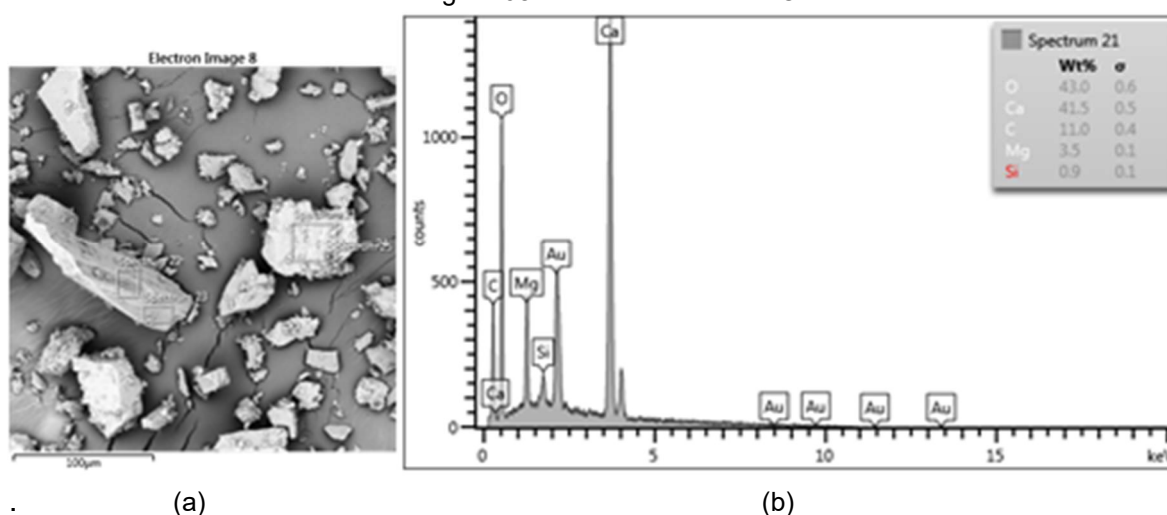
Os principais elementos encontrados na análise de EDS também são mostrados na Figura 07. Vale ressaltar que várias medições de EDS são necessárias para uma análise quantitativa confiável. Portanto, os espectros de EDS mostrados na Figura 08 são apenas para análise qualitativa.

Figura 07 - Morfologia das partículas de RBRO



Fonte: Autor.

Figura 08 - MEV-EDS do RBRO.



Fonte: Autor.

5.2. Métodos

A fim de avaliar o desempenho de argamassas estabilizadas com o uso de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais no assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto, foram realizados ensaios para testar a resistência dos blocos da família escolhida, as argamassas estabilizadas fabricadas em laboratório (com resistência à compressão próxima a unidade utilizada), e argamassas estabilizadas com resíduos de rochas ornamentais. Dessa forma, os ensaios podem ser divididos em três etapas: blocos de concreto, preparo de argamassas estabilizadas simples e com adição de RBRO, e avaliação das alvenarias (prismas) assentadas com ambas as argamassas à 0h e 24h.

5.2.1. Definição dos traços utilizados

A determinação do traço de referência das argamassas foi baseada em estudos realizados por De Mello et. al. (2020), cujo objetivo era dosar argamassas estabilizadas com RBRO visando desenvolver um traço que apresentasse propriedades, no estado fresco e endurecido, adequadas para o uso em assentamento e/ou revestimento.

Utilizando-se de um estudo de Zambaldi e Bellato (2019), De Mello *et al.* (2020) determinaram um proporcionamento para garantir a compatibilidade de resistência dos blocos de concreto utilizados. Dessa forma, o traço utilizado como referência para a argamassa estabilizada (0 horas), em massa, foi 1 : 6,42 : 0,81 : 0,003 : 0,005 (cimento : agregado miúdo : água : EH : IA), em massa.

Após a determinação do traço de referência, definiu-se o teor de substituição de cimento Portland pelo RBRO igual a 15%, que foi o teor que obteve os melhores resultados no estudo de De Mello *et al.* (2020). A substituição do cimento por RBRO foi realizada em volume. Nessa mistura, as quantidades de areia, aditivos e água mantiveram-se constantes, e suas proporções são apresentadas na Tabela 07 assim como as proporções da argamassa de referência.

Tabela 07 - Traços originais das argamassas de referência e com adição de RBRO à 0h.

Argamassa de referência - 0h	
Componente	Proporção
Cimento Portland CP V	1,00
Agregado Miúdo Natural	6,42
Água	0,81
Estabilizador de Hidratação (EH)	0,003
Incorporador de Ar (IA)	0,005
Argamassa com adição de RBRO - 0h	
Componente	Proporção
Cimento Portland CP V	0,85
RBRO	0,14
Agregado Miúdo Natural	6,42
Água	0,81
Estabilizador de Hidratação (EH)	0,003
Incorporador de Ar (IA)	0,005

Fonte: Autor.

No entanto, no momento da moldagem dos prismas, percebeu-se que a consistência das argamassas confeccionadas com o traço apresentado não foi compatível com o

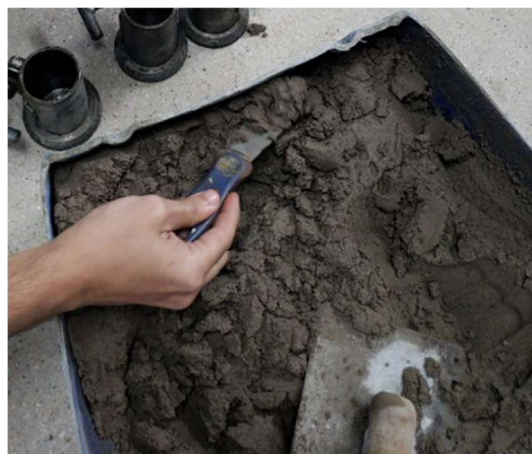
assentamento dos blocos. As juntas de argamassa não suportaram o peso das unidades, pois estavam mais fluidas que o desejável (Figura 09a). Portanto, foi necessário realizar ajustes na mistura para permitir a confecção dos prismas. Foram acrescentados 7,87 Kg de areia para que a argamassa tivesse maior adesão ao bloco, havendo uma alteração no traço original de referência à 0 horas para 1 : 9,36 : 0,81 : 0,003 : 0,005 (cimento : agregado miúdo : água : EH : IA) e tendo sua consistência representada na Figura 09b.

Para efeito comparativo, foi adicionada a mesma massa de areia na mistura com RBRO à 0 horas, também havendo uma alteração no traço da mistura para 0,85 : 0,14 : 9,36 : 0,81 : 0,003 : 0,005 (cimento : RBRO : agregado miúdo : água : EH : IA), e tendo sua consistência apresentada na Figura 09c. Ambos os novos traços estão representados na Tabela 08.

Figura 09 - (a) Consistência da argamassa com o traço de referência original à 0h. (b) Consistência da argamassa com o traço de referência alterado à 0h. (c) Consistência da argamassa com RBRO com traço alterado à 0h.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor.

Tabela 08 - Traços alterados das argamassas de referência e com adição de RBRO à 0h.

Argamassa de Referência - 0h - Alterado	
Componente	Proporção
Cimento Portland CP V	1,00
Agregado Miúdo Natural	9,36
Água	0,81
Estabilizador de Hidratação (EH)	0,003
Incorporador de Ar (IA)	0,005
Argamassa com adição de RBRO - 0h - Alterado	
Componente	Proporção
Cimento Portland CP V	0,85
RBRO	0,15
Agregado Miúdo Natural	9,36
Água	0,81
Estabilizador de Hidratação (EH)	0,003
Incorporador de Ar (IA)	0,005

Fonte: Autor.

Avaliando a baixa trabalhabilidade que ambas as argamassas apresentaram após o período de 24 horas de estabilização, optou-se por adicionar uma pequena quantidade de água às misturas (Figura 10). De Mello *et al.* (2020) e Matos (2013) também realizaram esse processo em algumas misturas para corrigir e melhorar a trabalhabilidade da argamassa após o período de estabilização. Esse procedimento é normalmente realizado em obras em que se utiliza argamassa estabilizada. Para a argamassa de referência foram adicionados 0,007% de água em relação a sua massa, e para a argamassa com resíduo, 0,017%. A Tabela 09 apresenta o novo traço.

Tabela 09 - Traços das argamassas de referência e com adição de RBRO à 24h.

Argamassa de Referência - 24h	
Componente	Proporção
Cimento Portland CP V	1,00
Agregado Miúdo Natural	9,36
Água	0,82
Estabilizador de Hidratação (EH)	0,003
Incorporador de Ar (IA)	0,005
Argamassa com adição de RBRO - 24h	
Componente	Proporção
Cimento Portland CP V	0,85
RBRO	0,14
Agregado Miúdo Natural	9,36
Água	0,83
Estabilizador de Hidratação (EH)	0,003
Incorporador de Ar (IA)	0,005

Fonte: Autor.

Figura 10 - Pesagem da água adicionada às misturas.



Fonte: Autor.

5.2.2. Bloco de concreto

Todos os ensaios de caracterização dos blocos utilizados foram realizados no Laboratório de Ensaio em Materiais de Construção (LEMAC) na UFES, e são compostos pelas seguintes etapas, normatizadas pela ABNT NBR 12118 (2013):

- Pesagem e classificação do lote composto por 60 blocos de concreto (Figura 11a).
- Ensaio de resistência à compressão: Capeamento das faces superior e inferior dos blocos de concreto e rompimento de seis corpos de prova conforme ABNT NBR 6136 (2016) (Figura 11b).
- Ensaio de absorção de água: Fazer a pesagem para determinação de massas de três amostras, conforme ABNT NBR 6136 (2016), em três etapas:

1. Realizar a pesagem das unidades após mantê-las 24 horas no laboratório para estabilização da umidade.
2. Deixar as unidades na estufa a $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ por 24 horas e repetir a pesagem. Recolocar as unidades na estufa realizando nova pesagem a cada 2 horas até que o valor encontrado (m_1) não apresente variação maior que 0,5% do valor anterior, sendo admissível que o corpo de prova permaneça no máximo 10 min fora da estufa durante a medida de sua massa.

3. Deixar que as unidades fiquem expostas à temperatura ambiente até o equilíbrio com a mesma, e realizar a pesagem na condição saturada superfície seca (Figura 12), após deixá-las submersas em água (23°C) por 24h (m2) (Figura 13).

Por fim, realizar o cálculo de absorção representado pela Equação 1 especificado na ABNT NBR 12118 (2013) com os valores de massa encontrados, em que:

$$Absorção = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Equação 1

Figura 11 - (a) Pesagem dos blocos. (b) Ensaio de resistência à compressão de blocos.



(a)



(b)

Fonte: Autor.

Figura 12 - Pesagem dos blocos em condição saturada superfície seca.



Fonte: Autor.

Figura 13 - Blocos submersos para ensaio de absorção.



Fonte: Autor.

O cálculo da resistência característica à compressão (f_{bk}) referida a área bruta foi realizado conforme ABNT NBR 6136 (2016), determinado pela Equação 2. Importante ressaltar que não se deve adotar para f_{bk} valor menor que $\psi_x f_b(1)$, adotando-se

para ψ os valores prescritos na Tabela 10 da mesma norma, em função do número de blocos da amostra.

$$f_{bk} = 2 \left[\frac{fb(1) + fb(2) + \dots + fb(i-1)}{i-1} \right] - f_{bi} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

f_{bk} = Resistência característica estimada da amostra (MPa);

$Fb(1) + fb(2) + \dots + fb(i-1)$ = Valores de resistência à compressão individuais dos corpos de prova da mostra, ordenados crescentemente;

n = Quantidade de blocos da amostra;

$i = n/2$ para n par ou $(n-1)/2$ para n ímpar.

Tabela 10 - Valores de ψ em função da quantidade de blocos.

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

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016).

A Tabela 11 apresenta os requisitos para resistência à compressão, absorção e retração de blocos, conforme ABNT NBR 6136 (2016).

Tabela 11 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração.

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

^a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.

^b Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na ABNT NBR 9935).

^c Blocos fabricados com agregado leve (ver definição na ABNT NBR 9935).

^d Ensaio facultativo.

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016).

5.2.3. Argamassa estabilizada

Para avaliação das argamassas estabilizadas produzidas, foram realizados ensaios no estado fresco e endurecido, tanto para a argamassa estabilizada de referência, quanto para a argamassa estabilizada com adição de RBRO, no LEMAC.

Para a produção das argamassas foi calculado um volume aproximado de 9,5 litros, suficiente para assentamento de 5 prismas para cada situação e moldagem dos corpos de provas para os ensaios propostos à 0 horas e 24 horas, totalizando 20 prismas. O material foi separado em recipientes e colocado sobre uma lona para iniciar o preparo (Figura 14a). Vale ressaltar que, após o preparo e utilização das argamassas à 0 horas, estas foram armazenadas em sacolas plásticas vedadas durante o período de 24 horas até a realização do novo ensaio no dia seguinte. Este método de armazenamento difere do que normalmente ocorre nos canteiros de obras, já que acarreta numa menor perda de água da mistura.

O preparo das argamassas seguiu as recomendações, de forma adaptada, da ABNT NBR 7215 (2019) com as seguintes etapas:

- 1) Com o misturador mecânico desligado, misturou-se lentamente por um minuto o cimento, aproximadamente 70% do volume de água, aditivos e o resíduo (somente para argamassa com RBRO).
- 2) Com o equipamento ligado em velocidade baixa, misturou-se por 30 segundos os componentes adicionados (Figura 14b).
- 3) Ainda com o equipamento ligado e na velocidade baixa, foram acrescentados e misturados a areia e o restante da água (aproximadamente 30%), durante um minuto.
- 4) Desligou-se o equipamento por um minuto e foi realizada a raspagem das laterais e do fundo (Figura 14c);
- 5) Por fim, o equipamento foi ligado em alta velocidade por um minuto (Figura 14d), sendo os ensaios de estado fresco e moldagem de corpos de prova realizados imediatamente após a finalização do processo de mistura das argamassas.

Figura 14 - (a) Material separado para a mistura da argamassa com RBRO. (b) Mistura inicial dos componentes da argamassa com uso de misturador. (c) Raspagem das laterais do recipiente com auxílio de espátula. (d) Mistura rápida dos componentes.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Autor.

5.2.3.1. Propriedades no estado fresco

As propriedades avaliadas para ambas as argamassas no estado fresco foram analisadas para os tempos de estabilização de 0 horas (logo após o preparo da argamassa) e 24 horas de estabilização. Os ensaios executados estão descritos na sequência.

- **Índice de consistência (*flow table*)**

Foi realizado o ensaio de *flow table* conforme ABNT NBR 13276 (2016). Esse ensaio consiste em utilizar a argamassa para encher um molde troncocônico em uma mesa de queda logo após seu preparo. Segurando o molde firmemente deve-se enchê-lo em três camadas sucessivas de igual altura e aplicar em cada camada quinze, dez e cinco golpes com soquete de maneira a distribuir a argamassa uniformemente. Em seguida, deve-se realizar o rasamento da argamassa com auxílio de uma régua metálica rente à borda do molde e retirar o molde verticalmente para, por fim, acionar a manivela da mesa para que esta caia 30 vezes em 30 segundos, uniformemente (Figura 15a). Imediatamente após a última queda, medir com o paquímetro o espalhamento da argamassa (Figura 15b). Para conclusão do ensaio, foi feita a média de duas medidas perpendiculares dos diâmetros do espalhamento.

Figura 15 - (a) Argamassa posicionada na mesa durante a realização das quedas. (b) Aferição com paquímetro do diâmetro do espalhamento da argamassa.



Fonte: Autor.

- **Massa específica aparente**

O ensaio de massa específica aparente foi realizado utilizando o método descrito na ABNT NBR 13278 (2005).

Este ensaio consiste em pesar um recipiente cilíndrico plástico de volume conhecido (neste caso, o volume era 0,429 dm³) completamente preenchido com a argamassa preparada. Imediatamente após o preparo da mistura, deve-se colocar, com auxílio de colher ou concha, três camadas de alturas iguais de argamassa, aplicando 20 golpes ao longo do perímetro para cada camada. Após a execução do golpeamento, tendo atenção à força aplicada, efetuar três quedas do recipiente com altura aproximada de 3 cm, não possibilitando a formação de vazios entre a mistura e a parede do recipiente. Após fazer o rasamento e limpeza de qualquer partícula aderida à parede externa do recipiente, realizar a pesagem (Figura 16) e registrar a massa do molde com a argamassa (*mc*). De posse dessa informação, pode-se calcular a densidade da mistura por meio da Equação 3:

$$d = \frac{mc - mv}{vr} \times 1000 \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

d = Densidade (massa específica) (kg/m³);

mc = Massa do recipiente cilíndrico com a argamassa (g);

mv = Massa do recipiente vazio (g);

vr = Volume do recipiente cilíndrico (cm³).

Figura 16 - Aferição da massa do recipiente com a argamassa.



Fonte: Autor.

Com os resultados obtidos neste ensaio, ainda é possível determinar o teor de ar incorporado na mistura por meio da Equação 4:

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

A = Teor de ar incorporado;

d_t = Densidade de massa teórica da argamassa;

Por sua vez, o valor de d_t é obtido pela Equação 5, determinada pela NBR 13278 (2005) como o valor da densidade de massa teórica calculada para argamassas rodadas em obra.

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

m_i = Massa seca de cada componente da argamassa, mais a água;

γ_i = Massa específica de cada componente da argamassa.

- **Retenção de água**

O ensaio de retenção de água foi realizado de acordo com a ABNT NBR 13277 (2005), e teve como objetivo a avaliação da perda de água da argamassa quando em contato com o meio externo. O ensaio foi realizado em ambas as argamassas logo após a mistura, e após o período de estabilização de 24h.

5.2.3.2. Propriedades no estado endurecido

O ensaio realizado no estado endurecido foi o de resistência à compressão, normatizado pela ABNT NBR 13279 (2005), e a moldagem dos corpos de prova foi feita conforme a ABNT NBR 7215 (2019).

Imediatamente após o preparo de cada argamassa, foram moldados e identificados os corpos de prova metálicos cilíndricos, previamente untados com desmoldante, de dimensões 5x10 cm conforme especificado na ABNT NBR 7215 (2019). Foram moldados três corpos de prova para cada argamassa (com e sem RBRO para os tempos de 0h e 24h de preparo), totalizando 12 corpos de prova (Figura 17).

Com auxílio de uma espátula, preencheu-se a fôrma distribuindo a argamassa em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, com cada camada recebendo 30 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos com o soquete normal. Após o adensamento da última camada, foi realizado o rasamento dos corpos de prova com o auxílio de uma espátula metálica, nivelando as superfícies.

Foram moldados corpos de prova utilizando a argamassa com 0 horas (logo após a mistura dos constituintes) e após 24 horas de estabilização.

Figura 17 - Moldagem de corpos de prova para ensaios do estado endurecido.



Fonte: Autor.

Após sete dias, os corpos de prova foram desmoldados e identificados em suas superfícies, e permaneceram no laboratório por 28 dias em temperatura ambiente até a realização dos ensaios propostos (Figura 18). Para facilitar a identificação, optou-se por utilizar a nomenclatura “R0h” e “R24h” para as argamassas de referência à 0h e 24h respectivamente, e “X0h” e “X24h” para as argamassas com RBRO para os mesmos tempos de preparo.

Figura 18 - Corpos de prova desmoldados e identificados.



Fonte: Autor.

Após o período de 28 dias de estabilização, os corpos de prova foram fresados com auxílio de máquina retífica (Figura 19) e posteriormente, foi realizado o ensaio de resistência à compressão com auxílio de uma prensa e discos de distribuição de cargas conforme especificado na ABNT NBR 13279 (2005) aplicando a carga de (500 ± 50) N/s (Figura 20).

Figura 19 - (a) Posicionamento na máquina retífica para capeamento das extremidades dos corpos de prova. (b) Resultado do capeamento com máquina retífica.



(a)



(b)

Fonte: Autor.

Figura 20 - Ensaio de compressão dos corpos de prova de argamassa.



Fonte: Autor.

5.2.4. Avaliação da alvenaria (prismas)

Para o tempo inicial de zero horas de preparo das argamassas foram moldados cinco prismas de duas fiadas para cada tipo de argamassa (com e sem RBRO) para serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão conforme ABNT NBR 16868-3 (2020). No dia seguinte, o mesmo número de prismas foi confeccionado para as argamassas com tempo de estabilização de 24h de preparo e os mesmos ensaios realizados no prazo de 28 dias.

A literatura aponta que para blocos de concreto, a relação de eficiência bloco/prisma deve ser igual ou superior à 70%, e é calculada pela Equação 06:

$$\eta = \frac{F_p}{F_b} \quad \text{Equação 06}$$

Em que:

η = Fator de eficiência do prisma;

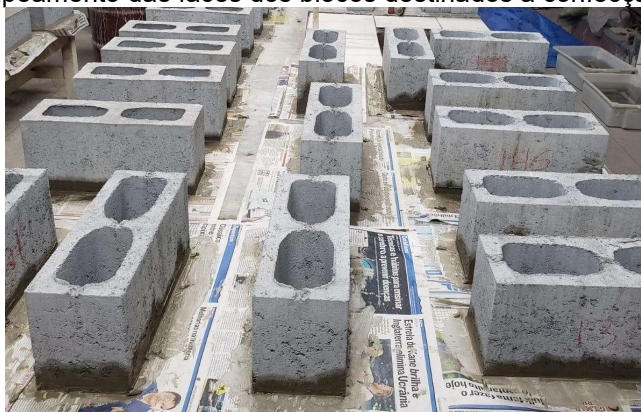
F_p = Resistência à compressão do prisma;

F_b = Resistência característica à compressão do bloco (f_{bk}).

5.2.4.1 Confeção dos Prismas

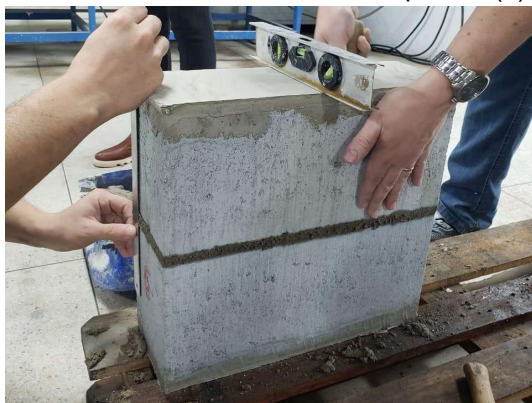
Após realizar o capeamento de uma das faces dos blocos (Figura 21) e o preparo das argamassas simples e com RBRO, realizou-se o assentamento das unidades sobre uma base plana estabilizada, com desempenadeiras de aço para o argamassamento total da alvenaria, sendo as juntas de argamassa executadas com espessura de (10 ± 3) mm. Para auxílio na execução, foram utilizados esquadro, régua, martelo de borracha e nível de bolha (Figura 22).

Figura 21 - Capeamento das faces dos blocos destinados à confecção dos prismas.



Fonte: Autor.

Figura 22 - (a) Confeção dos prismas com auxílio de nível de bolha, martelo de borracha, régua e esquadro. (b) Prismas confeccionados.



(a)



(b)

Fonte: Autor.

É importante ressaltar que os pares de blocos formados para a montagem dos prismas levaram em consideração o capeamento após secagem da pasta. Dessa forma, alguns blocos do lote foram descartados devido a irregularidades e quebras nas superfícies capeadas, optando-se, por fim, pela confecção de cinco prismas para cada argamassa, totalizando vinte prismas de duas fiadas cada. Apesar disso, a condição de assentamento apresentada na seção 3.1.1 que considera blocos mais pesados em cima e mais leves embaixo foi mantida para todos os pares. Carasek (2007) salienta

que em uma parede real, o peso próprio da alvenaria confere pressão à junta de argamassa, o que auxilia na penetração da mistura nos poros do substrato, sendo essa a importância de realizar o assentamento dos blocos pesados nas fiadas superiores. Sendo assim, a Tabela 12 apresenta os pares de blocos formados e seus respectivos pesos para cada argamassa.

Tabela 12 - Pares de blocos formados para confecção dos prismas.

PARES FORMADOS - PRISMAS					
Argamassa - Hora	Nº do CP	Posição do bloco no prisma			
		Embaixo	Peso (Kg)	Em cima	Peso (Kg)
Argamassa referência - 0h	1	138	13,58	121	13,75
	2	110	13,59	139	13,70
	3	6	13,60	133	13,70
	4	100	13,59	101	13,72
	5	152	13,57	112	13,78
Argamassa com resíduo - 0h	6	134	13,49	151	13,82
	7	107	13,53	119	13,79
	8	114	13,55	146	13,78
	9	103	13,47	145	13,85
	10	136	13,49	126	13,7
Argamassa referência - 24h	11	12	13,46	15	13,67
	12	37	13,61	149	13,92
	13	113	13,62	19	13,69
	14	26	13,51	115	14,11
	15	106	13,62	127	13,94
Argamassa com resíduo - 24h	16	132	13,62	29	14,00
	17	137	13,62	53	13,99
	18	141	13,62	21	13,60
	19	105	13,67	8	14,03
	20	27	13,93	11	14,03

Fonte: Autor.

5.2.4.2. Ensaios de Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão dos prismas foi realizado 28 dias após a confecção dos mesmos, seguindo a ABNT NBR 16868-3 (2020). Os prismas foram posicionados na prensa entre chapas de distribuição de cargas (Figura 23). Ao serem submetidos à compressão axial e alcançarem a ruptura, observou-se a forma de rompimento do prisma (rompimento na junta da argamassa, no bloco ou rompimento conjunto) e nos casos de esmagamento da argamassa (indicando esmagamento da mesma), a carga aplicada foi anotada para futuras discussões.

Figura 23 - Prisma posicionado na prensa com chapas de distribuição de forças.



Fonte: Autor.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

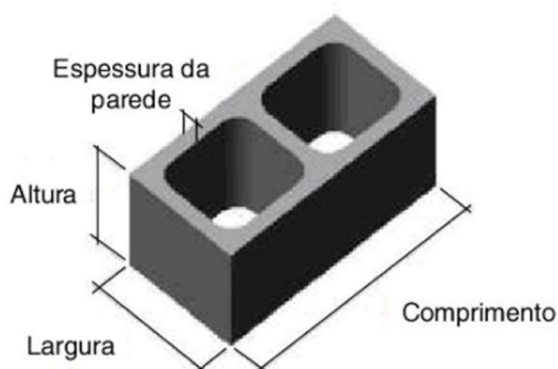
Neste capítulo são analisados os resultados obtidos nos ensaios realizados com blocos, argamassas no estado fresco e endurecido e prismas, avaliando e comparando o efeito da adição de RBRO à mistura, e a influência do intervalo de tempo de 24h de estabilização.

6.1. Blocos de concreto

6.1.1. Análise dimensional

As medidas a serem extraídas dos blocos estão representadas na Figura 24, e os resultados obtidos na aferição dessas medidas nos blocos selecionados para o ensaio de resistência à compressão estão apresentados na Tabela 13.

Figura 24 - Geometria dos blocos de concreto vazados simples.



Fonte: ABNT NBR 6136 (2016).

Tabela 13 - Geometria apresentada pelos blocos de concreto.

Nº do bloco	Massa (Kg)	Geometria média dos blocos (mm)			Dimensão média dos furos (mm)		Espessura média da parede (mm)	
		Largura	Altura	Comprimento	Transv.	Long.	Transv.	Long.
16	13,76	140,67	189,00	390,00	64,00	135,00	27,00	27,25
45	13,93	140,33	189,33	390,33	61,50	132,00	27,67	28,25
5	13,90	140,00	189,00	389,67	63,50	133,00	26,67	28,25
41	13,89	140,33	190,00	390,00	61,50	133,00	27,33	27,75
22	13,77	139,67	189,67	389,67	62,00	132,50	26,67	27,50
4	13,90	140,00	189,33	389,67	63,50	134,00	27,33	27,75
Média		140,17	189,39	389,89	62,67	133,25	27,11	27,79
Desvio Padrão		0,3496	0,3897	0,2722	1,1255	1,0840	0,4037	0,4005
CV		0,25%	0,21%	0,07%	1,80%	0,81%	1,49%	1,44%

Fonte: Autor.

As medidas aferidas apresentaram-se de acordo com as tolerâncias indicadas pela ABNT NBR 6136 (2016), que determina uma variação máxima de 2,00 mm para a dimensão da largura e 3,00 mm para a altura e o comprimento.

6.1.2. Resistência à compressão e absorção

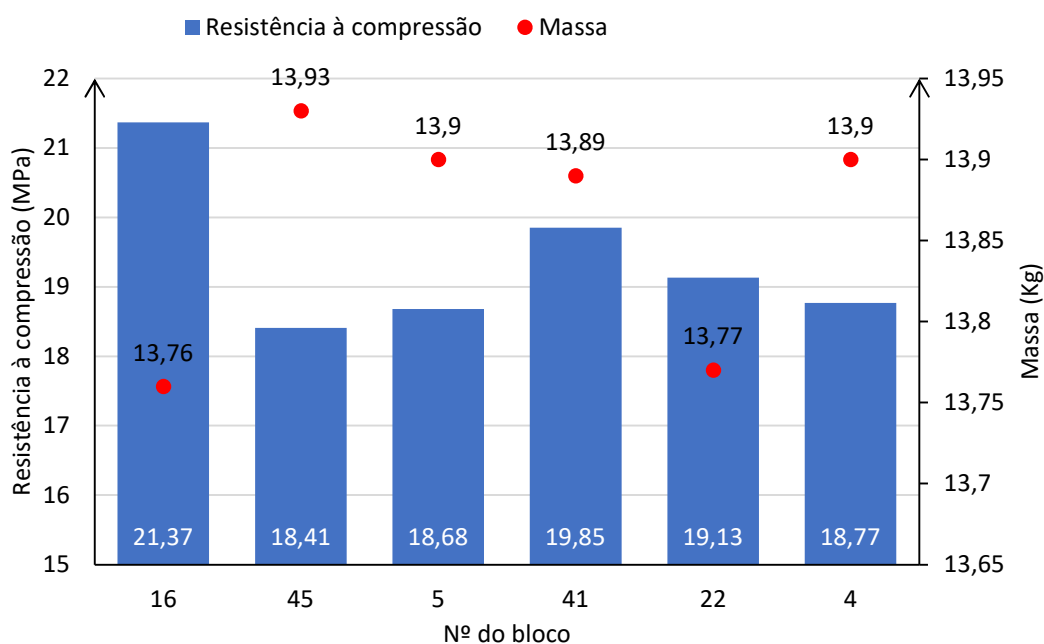
Foram ensaiados seis blocos de concreto, previamente selecionados por massa (peso intermediário), que tiveram as duas faces capeadas com pasta de cimento. A Tabela 14 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão e absorção dos blocos, e a Figura 25 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão de cada bloco associados à sua massa. A forma de rompimento dos blocos está ilustrada na Figura 26.

Tabela 14 – Resistência à compressão e absorção dos blocos.

Ordem	Nº do bloco	Resistência nominal (MPa)	Resistência efetiva (MPa)	Fbk (MPa)	Absorção (%)
1º	16	8	21,37	18,32	3,78%
2º	45		18,41		
3º	5		18,68		
4º	41		19,85		
5º	22		19,13		
6º	4		18,77		
-		Média	19,37	18,32	3,78%
		Desvio	1,10		
		CV	5,68%		

Fonte: Autor.

Figura 25 - Resistência à compressão dos blocos aos 28 dias e suas respectivas massas.



Fonte: Autor.

Figura 26 - Forma de rompimento dos blocos de concreto.



Fonte: Autor.

As resistências à compressão dos blocos apresentaram-se bem acima do valor esperado informado pelo laudo do fabricante, sendo suficiente para aceitação conforme critério apresentado na Tabela 11 para blocos Classe A (com função estrutural de $f_{bk} \geq 8 \text{ MPa}$).

O maior valor de resistência à compressão individual apresentada pelos blocos foi de 21,37 MPa (167,12% maior que a resistência nominal de 8 MPa), e o menor valor, 18,41 MPa (130,12% maior que a resistência nominal). A média da resistência

apresentada pelos blocos foi de 19,37 MPa, indicando um desvio padrão de 1,10 MPa e coeficiente de variação (CV) de 5,68%.

Aplicando a Equação 2 descrita na seção 3.2.2 para o cálculo de fbk em uma amostragem de seis blocos ($\psi=0,89$) o valor determinado foi de 18,32 MPa, 129% maior que a resistência nominal indicada pelo laudo do fabricante.

Como a dosagem da argamassa foi realizada para uma resistência nominal do bloco de 8 MPa, há um problema de compatibilidade entre materiais da alvenaria, que será explanado nos próximos tópicos.

Os resultados de absorção dos blocos demonstraram-se adequados, apresentando valores abaixo dos limites máximos de 9% (individual) e 8% (média) prescritos pela ABNT NBR 6136 (2016) para blocos com resistência característica à compressão axial superior a 8 MPa com uso de agregado normal, conforme Tabela 14.

6.2. Argamassa estabilizada

6.2.1. Propriedades no estado fresco

No estado fresco foram analisadas as seguintes propriedades: massa específica, fluidez da argamassa (espalhamento no teste de *flow table*) e ar incorporado, cujos resultados gerais são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Resultados dos ensaios no estado fresco.

Argamassa / Hora	Leitura média do <i>flow table</i> (mm)	Massa Específica (kg/m ³)	Ar Incorporado (%)
Argamassa referência - 0h	142,65	2001	16,26
Argamassa com resíduo - 0h	141,14	2037	14,92
Argamassa referência - 24h	142,50*	2143	10,32
Argamassa com resíduo - 24h	155,50*	2,148	10,28

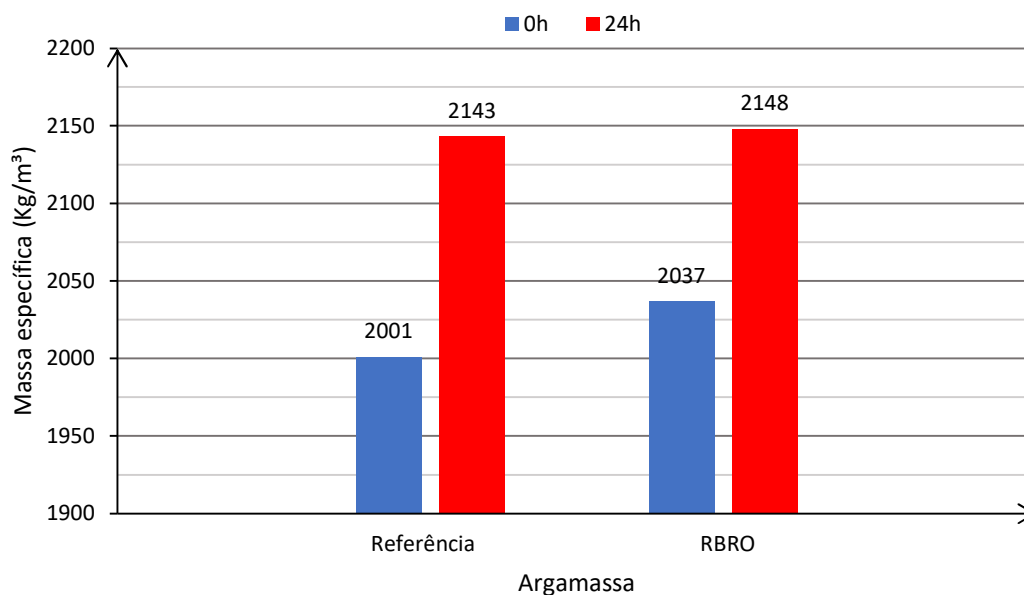
* Foi necessário ajuste de água para permitir a moldagem das argamassas, conforme explanado na Metodologia.

Fonte: Autor.

6.2.1.1. Massa específica aparente e teor de ar incorporado

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização da massa específica aparente das argamassas estão apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Resultados dos ensaios de massa específica.

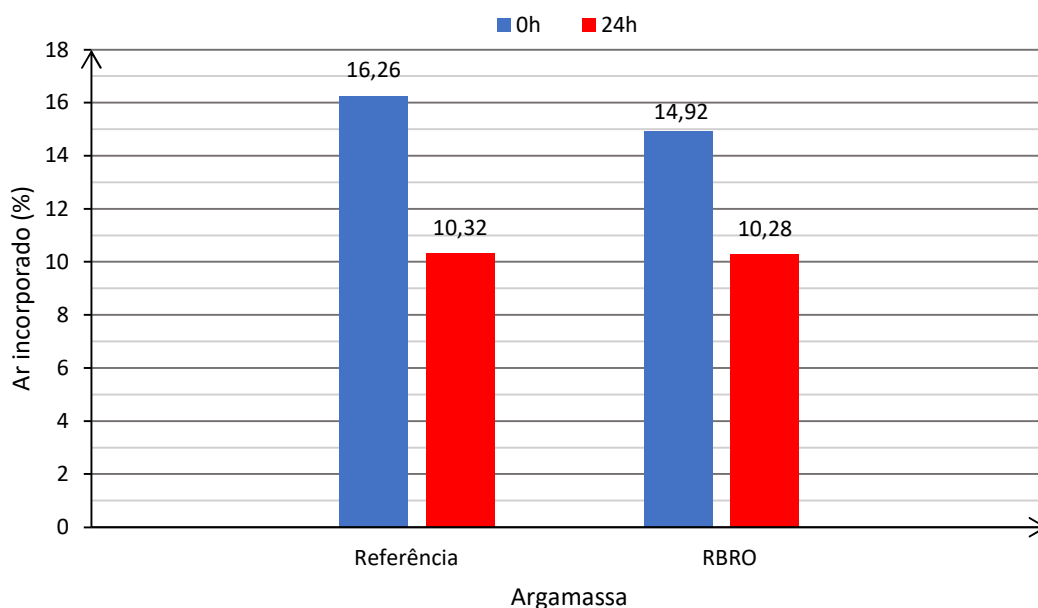


Fonte: Autor.

Percebe-se que as argamassas com 24h de estabilização apresentam um aumento da densidade de massa em relação às amostras à 0h. Enquanto a argamassa de referência apresentou um aumento de 7,1% em sua massa específica, a mistura contendo RBRO apresentou 5,4% de aumento. Esse comportamento é esperado, devido a tendência de diminuição do ar incorporado nas argamassas, com o tempo de estabilização.

De Mello *et al.* (2020), avaliando argamassas contendo 15% e 30% de RBRO para o mesmo período de estabilização, encontrou comportamentos semelhantes. Esse comportamento também foi observado por Casali *et al.* (2011) para argamassas com 36 e 72 horas de estabilização. O resultado da variação do ar incorporado nas misturas está representado na Figura 28.

Figura 28 - Resultados dos ensaios de incorporação de ar.



Fonte: Autor.

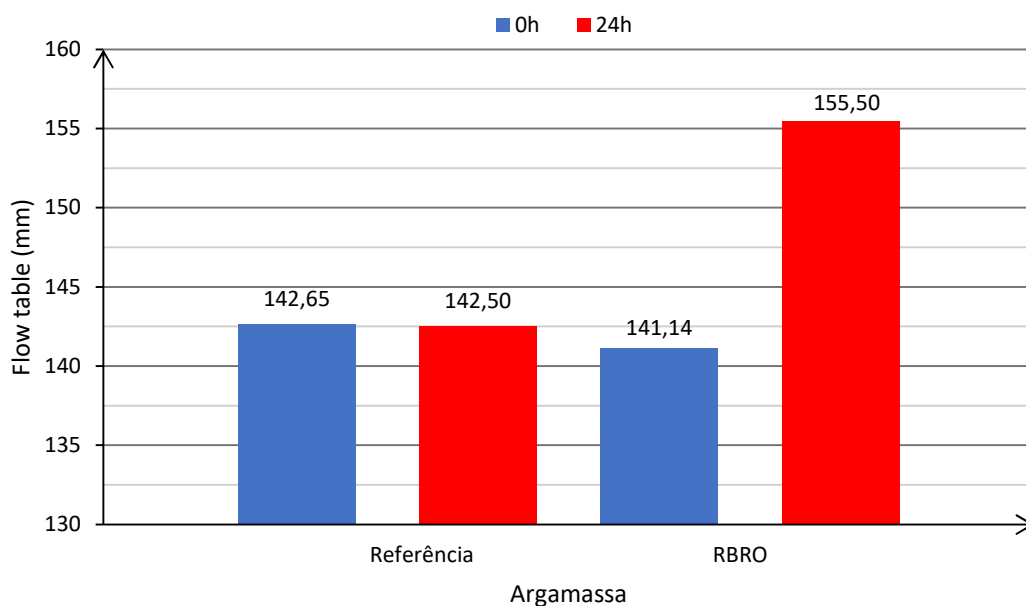
O presente estudo mostra uma redução significativa (cerca de 30%) no teor de ar incorporado em ambas as argamassas após o tempo de 24h de estabilização. Essa queda significativa do ar incorporado na mistura tem influência no aumento da densidade de massa apresentado anteriormente.

Pode-se observar que as argamassas apresentam valores bem próximos de ar incorporado, tanto à 0h (valores aproximados de 14 a 16%) quanto após 24h de estabilização (em torno de 10%). Os valores obtidos para zero horas estão abaixo do esperado (acima de 20%), em comparação com os resultados obtidos por De Mello *et al.* (2020) e Casali *et al.* (2011). Em contrapartida, os valores obtidos para as argamassas à 24h estão coerentes, em torno de 10%.

6.2.1.2. Flow table

O resultado do ensaio de consistência está demonstrado visualmente na Figura 29.

Figura 29 - Resultados dos ensaios de consistência.



Fonte: Autor.

Os resultados apontam que a argamassa contendo RBRO apresentou índice de consistência muito próximo à argamassa de referência para 0h de estabilização, apresentando uma variação de 0,1%, característica também observada nos ensaios realizados por De Mello *et al.* (2020).

Nota-se um aumento de 9,1% do índice de consistência para a argamassa contendo RBRO após 24h de estabilização. Isso ocorreu pela maior quantidade de água adicionada em relação à mistura de referência após 24h, para permitir ganho de trabalhabilidade suficiente e ser possível a moldagem dos prismas.

Conforme relatado em trabalhos de Casali *et al.* (2011) e De Mello *et al.* (2020), o esperado é a perda de trabalhabilidade após o tempo de estabilização. Em obras, esse fato também é reportado, sendo habitual a correção de água para ajustes de fluidez. Casali *et al.* (2011) ainda observaram que a diminuição no índice de consistência é mais acentuada conforme o tempo de estabilização aumenta.

Zambaldi e Bellato (2019) afirmam que a redução do índice de consistência se relaciona com a perda de água da mistura, que, apesar de ser mantida vedada durante o período de estabilização, acontece a perda de umidade para o ambiente e demais equipamentos nos momentos de homogeneização da argamassa.

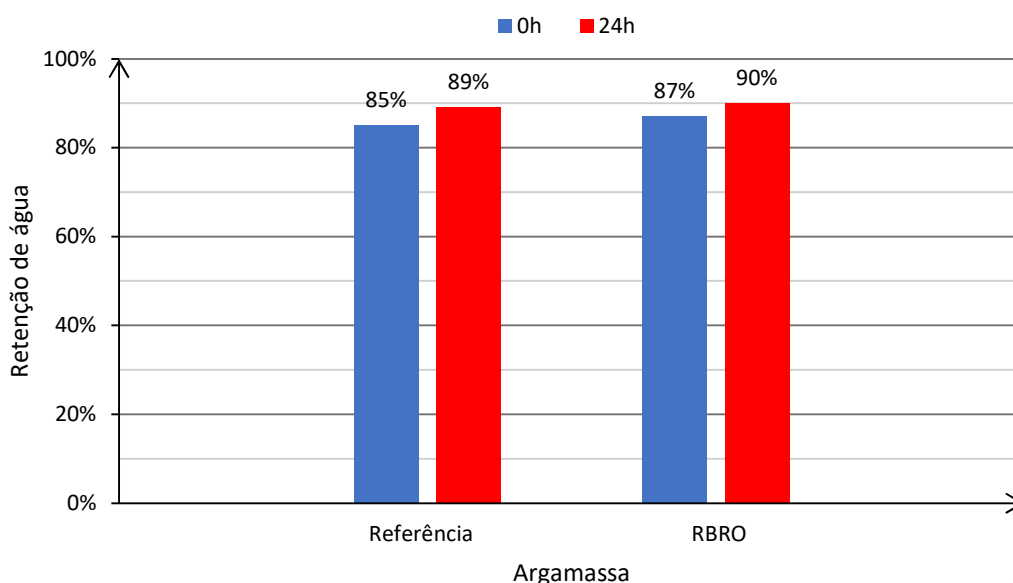
Dessa forma, observa-se que o acréscimo de água (0,017% em relação à massa total da argamassa) à mistura com RBRO foi superior à quantidade necessária para compensar os efeitos da perda de água para o ambiente e a redução do teor de ar

incorporado da argamassa, já que as leituras do espalhamento da mistura apresentaram-se maiores quando avaliadas à 24h. O mesmo não ocorreu na mistura à 0h, em que a menor quantidade de água acrescentada (0,007% em relação à massa total da argamassa) não apresentou significativa influência sobre as leituras.

6.2.1.3. Retenção de Água

Os resultados obtidos com o ensaio de retenção estão ilustrados na Figura 30.

Figura 30 - Resultados dos ensaios de retenção de água.



Fonte: Autor.

Nota-se um comportamento semelhante entre as argamassas de referência e com RBRO. Além disso, ambas as misturas, com 0h e 24h de preparo, apresentaram valores de retenção de água muito próximos, entre 85% e 90%. A recomendação para retenção de água é que seja igual ou superior a 75%. Além disso, Zambaldi e Bellato (2019), citando Prudêncio Jr. (2002), reforçam que a argamassa não deve atingir valores de retenção de água muito elevados, superiores a 95%, para não prejudicar a aderência entre a junta e o substrato. Desse modo, nota-se que a substituição de RBRO não influencia negativamente a mistura para essa propriedade.

6.2.2. Propriedades no ensaio endurecido

No estado endurecido, foi analisada a resistência à compressão axial aos 28 dias para cada argamassa.

Os corpos de prova foram capeados com máquina retífica para diminuir suas imperfeições nas superfícies de contato com a prensa, diminuindo a incidência de pontos de concentração de tensão. Em seguida, tiveram suas dimensões aferidas,

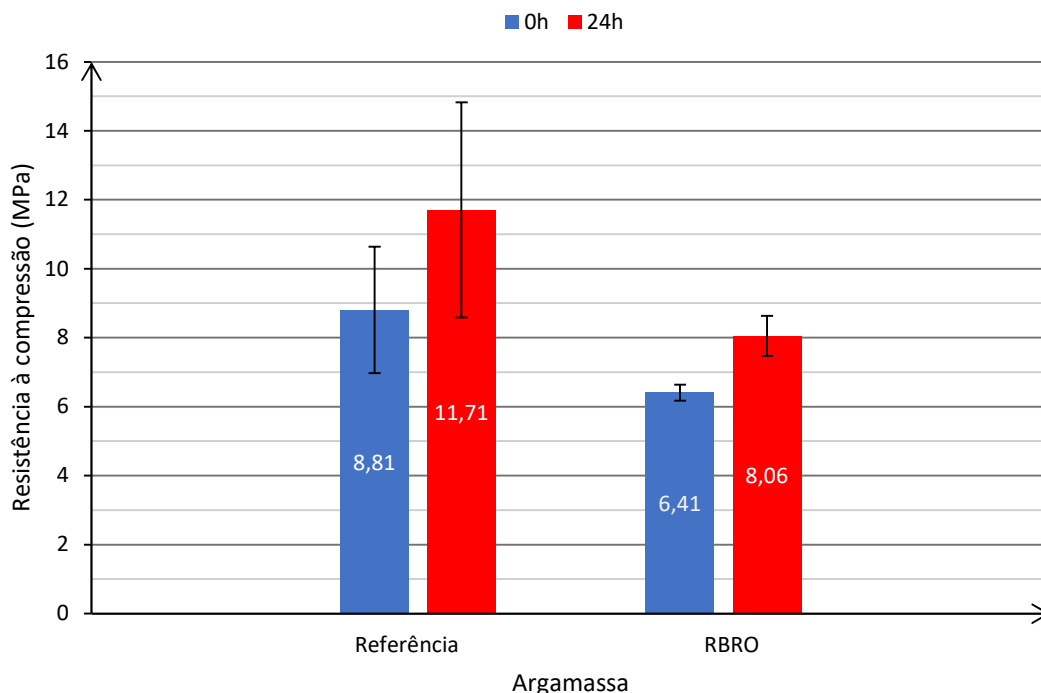
sendo essas apresentadas na Tabela 16. Da mesma maneira, os resultados individuais dos ensaios de compressão de cada corpo de prova para ambas as argamassas estão dispostos nessa tabela e seu resumo apresentado na Figura 31.

Tabela 16 - Dimensões e resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova de argamassa.

Argamassa	CP	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Resistência (MPa)
Referência - 0h	1	4,99	9,82	9,30
	2	4,97	9,98	6,79
	3	4,99	9,74	10,35
	Média	4,98	9,85	8,81
	Desvio	0,01	0,12	1,83
	CV	0,23%	1,24%	20,77%
RBRO - 0h	1	5,00	9,69	10,01
	2	4,98	9,76	4,43
	3	4,97	9,76	4,80
	Média	4,98	9,74	6,41
	Desvio	0,01	0,04	3,12
	CV	0,25%	0,42%	48,63%
Referência - 24h	1	5,03	9,66	11,72
	2	5,00	9,84	11,94
	3	4,98	9,78	11,48
	Média	5,00	9,76	11,71
	Desvio	0,02	0,09	0,23
	CV	0,45%	0,94%	1,96%
RBRO - 24h	1	4,99	9,94	8,68
	2	4,98	9,80	7,52
	3	4,99	9,86	7,99
	Média	4,98	9,87	8,06
	Desvio	0,01	0,07	0,58
	CV	0,15%	0,71%	7,23%

Fonte: Autor.

Figura 31 - Resistência à compressão axial média das argamassas.



*As barras representam 68,3% de probabilidade de acontecer tal oscilação dentro da faixa de um desvio padrão, tanto para mais quanto para menos, em relação à média dos resultados.

Fonte: Autor.

Percebe-se que as argamassas apresentaram valores dentro do esperado para a resistência nominal dos blocos de concreto utilizados (8 MPa). Segundo recomendações da literatura, a resistência da argamassa deve ser na ordem de 0,7 a 1,5 vezes a resistência do bloco.

Comparando a mistura de referência com a mistura contendo RBRO à 0h, nota-se uma diferença considerável no desempenho das argamassas. A argamassa de referência apresentou valor médio de resistência à compressão de 8,81 MPa. Em contrapartida, a argamassa contendo adição de RBRO apresentou resistência média de 6,41 MPa. Ademais, a mistura com RBRO apresentou desvio padrão de 3,12 MPa entre os valores encontrados, valor superior ao desvio padrão apresentado pela mistura de referência (1,83 MPa).

Em paralelo, nota-se um acréscimo considerável de resistência das argamassas testadas após 24h de preparo, quando comparadas às argamassas submetidas ao mesmo ensaio, 0h após sua confecção. A argamassa de referência apresentou um acréscimo de 32,92% em sua resistência média à compressão. Já a argamassa com RBRO apresentou acréscimo de 25,74% em seu valor médio de resistência, atingindo 8,06 MPa. Isso pode ser justificado pela diminuição do ar incorporado após o tempo

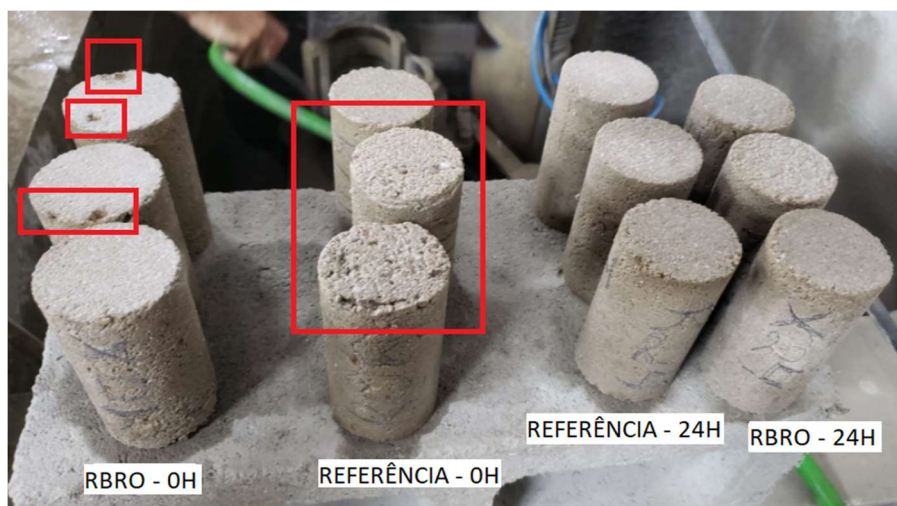
de estabilização. Calçada *et al.* (2013) avaliaram a resistência à compressão de argamassas estabilizadas com tempo de armazenamento entre 0 e 48 horas e relataram tendência de aumento da resistência à compressão com o aumento do tempo de armazenamento, procedente da redução geral do teor de ar aprisionado ao longo do tempo.

Resultados semelhantes foram obtidos por De Mello *et al.* (2020) no ganho de resistência para a argamassa de referência utilizada após 24h. Entretanto, os mesmos autores obtiveram resultados satisfatórios para a argamassa contendo RBRO, sem variação considerável de resistência à compressão em comparação à argamassa de referência, o que não foi observado nos ensaios aqui apresentados.

Somado a isso, é possível avaliar que o menor desvio padrão dos valores apresentados de resistência à compressão pode ser relacionado com a melhora do adensamento das argamassas após o acréscimo de quantidade pequena água em ambas as argamassas (1,18% e 3,07% do volume total de água para referência e para a argamassa com RBRO, respectivamente), fator contribuinte para a melhora da trabalhabilidade necessária para reduzir imperfeições no adensamento dos corpos de prova (Figura 32).

Apesar de estudos como os de Matos (2013) e Casali *et al.* (2011) avaliarem que a inserção de água na mistura para a manutenção da trabalhabilidade propicia uma redução na resistência, o presente trabalho avaliou que as quantidades de água acrescentada na argamassa à 0h foi insignificante para alteração dessa propriedade se comparado com os benefícios associados à melhora do adensamento.

Figura 32 - Imperfeições nos corpos de prova de argamassa após capeamento.



Fonte: Autor.

Foi observado que os corpos de prova apresentaram, majoritariamente, ruptura em formato troncocônico, conforme apresentado na Figura 33, que corresponde a uma ruptura típica à compressão, sem grandes desvios causados por possíveis imperfeições de superfície, ou excentricidade de cargas.

Figura 33 - Formas de rompimento dos corpos de prova de argamassa.



Fonte: Autor.

6.3. Prismas

A Tabela 17 apresenta os resultados individuais obtidos no ensaio de resistência à compressão de prismas aos 28 dias, indicando a resistência efetiva da argamassa, do bloco e a carga final de ruptura do prisma.

Tabela 17 - Resultados individuais dos ensaios de resistência à compressão de prismas.

	Par	Resistência Efetiva (MPa)		Ruptura do prisma (MPa)	Fator de Eficiência	Forma de ruptura
		Esfarelamento da argamassa	Fissura do Bloco			
Argamassa de referência - 0h	152 - 112	4,89	4,58	4,89	0,267	Conjunto
	06 - 133	5,53	4,10	5,53	0,302	Ruptura no bloco
	110 - 139	4,29	-	4,29	0,234	Esfarelamento da argamassa
	138 - 121	7,09	6,74	7,09	0,387	Conjunto
	100 - 101	4,60	3,54	4,60	0,251	Ruptura no bloco
	Média			5,28	0,288	-
	Desvio padrão			0,22		
	CV			4,21%		
Argamassa com RBRO - 0h	136 - 126	8,08	7,18	8,08	0,441	Ruptura no bloco
	134 - 151	7,90	5,75	7,90	0,431	Ruptura no bloco
	107 - 119	9,09	7,54	9,09	0,496	Ruptura no bloco
	103 - 145	-	-	-	-	-
	114 - 146	4,58	4,58	4,58	0,250	Conjunto
	Média			7,41	0,405	-
	Desvio padrão			1,96		
	CV			26,43%		
Argamassa de referência - 24h	26 - 115	9,25	9,25	9,25	0,505	Conjunto
	106 - 127	5,24	4,26	5,24	0,286	Ruptura no bloco
	12 - 15	7,72	7,72	7,72	0,422	Conjunto
	37 - 149	-	-	-	-	-
	113 - 19	-	-	-	-	-
	Média			7,41	0,404	-
	Desvio padrão			2,02		
	CV			27,30%		
Argamassa com RBRO - 24h	141 - 21	6,05	6,02	6,05	0,330	Conjunto
	27 - 11	7,11	7,04	7,11	0,388	Conjunto
	105 - 8	6,07	6,07	6,07	0,331	Conjunto
	132 - 29	6,57	6,11	6,57	0,359	Conjunto
	137 - 53	-	-	-	-	-
	Média			6,45	0,352	-
	Desvio padrão			0,50		
	CV			7,78%		

Fonte: Autor.

Foi considerado como ruptura do conjunto os casos em que a diferença da carga apresentada no momento de fissura do bloco e do esfarelamento da argamassa foram menores que 0,8 MPa. Sendo assim, é possível verificar que no tempo de estabilização de 0h, a argamassa com RBRO apresentou ruptura predominantemente no bloco, enquanto a argamassa de referência variou entre ruptura no bloco e ruptura do conjunto. Para o tempo de estabilização de 24 horas, a ruptura do conjunto foi predominante em ambas as argamassas.

Os valores de resistência atingidos pelos blocos e pelas argamassas de referência à 0h e 24h nos conjuntos encontram-se próximos, tendo o maior valor de diferença (1,43 MPa) apresentado pelo par de blocos 06 - 133 com 0 h de estabilização, e diferença máxima de 0,98 MPa para o par 106 - 127 com 24 h de estabilização. Observa-se também que argamassas e blocos dos prismas à 0h atingiram em média, apenas 66% e 59,25%, respectivamente, do valor de resistência nominal para qual foram dosados, demonstrando-se insuficientes.

Paralelo a esse fato, verifica-se que para os prismas assentados com as argamassas à 0 horas, apenas um dos prismas teve seu ensaio comprometido, não sendo possível realizá-lo devido à falta de aderência da argamassa ao bloco, que ao ser deslocado para ensaio, o conjunto se quebrou. O mesmo não é observado para as argamassas à 24h, em que 70% dos prismas testados tiveram seus resultados comprometidos. Dos dez prismas testados à 24h, três não puderam ter seu ensaio realizado, sendo que um deles se justifica por ter seu capeamento danificado, e dois pela não aderência da argamassa ao substrato que ocasionou a queda e quebra dos blocos ao serem movimentados. Dessa forma, a respeito da aderência das argamassas, é possível afirmar que ambas apresentaram piora nos resultados após o período de estabilização.

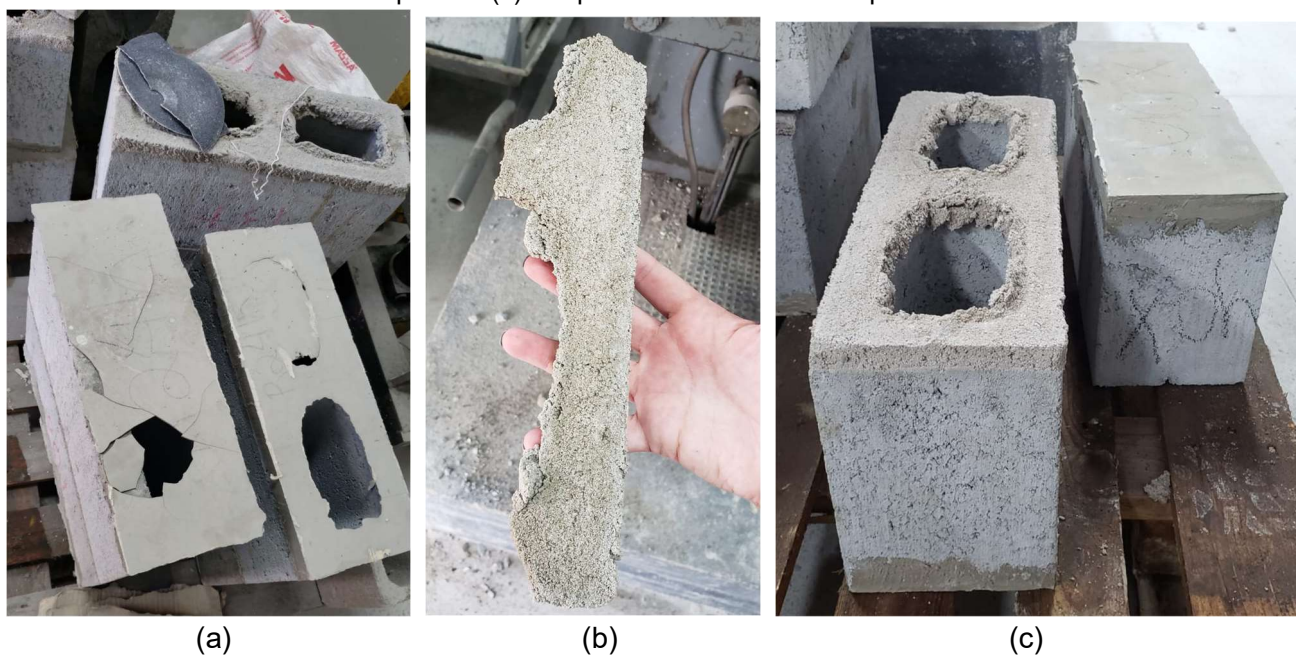
A relação de prismas não ensaiados ou que foram ensaiados com algum defeito e suas respectivas justificativas encontram-se na Tabela 18 e exemplos danos apresentados encontram-se na Figura 34.

Tabela 18 - Prismas danificados.

Argamassa - Hora	Par	Ensaiado	Dano apresentado
RBRO - 0h	103 - 145	Não	Má aderência da argamassa ocasionado quebra do prisma
Ref. 24h	106 - 127	Sim	Capeamento danificado
	37 - 149	Não	Má aderência da argamassa, descolou de ambos os blocos
	113 - 19	Não	Má aderência da argamassa ocasionado quebra do prisma
RBRO - 24h	141 - 21	Sim	Má aderência da argamassa ocasionando desprendimento do bloco superior
	27 - 11	Sim	Má aderência da argamassa ocasionando desprendimento do bloco superior
	105 - 8	Sim	Má aderência da argamassa ocasionando desprendimento do bloco superior
	137 - 53	Não	Má aderência da argamassa ocasionado quebra do prisma

Fonte: Autor.

Figura 34 - (a) Quebra de capeamento. (b) Desprendimento total da argamassa de ambos os blocos do prisma. (c) Desprendimento do bloco superior.



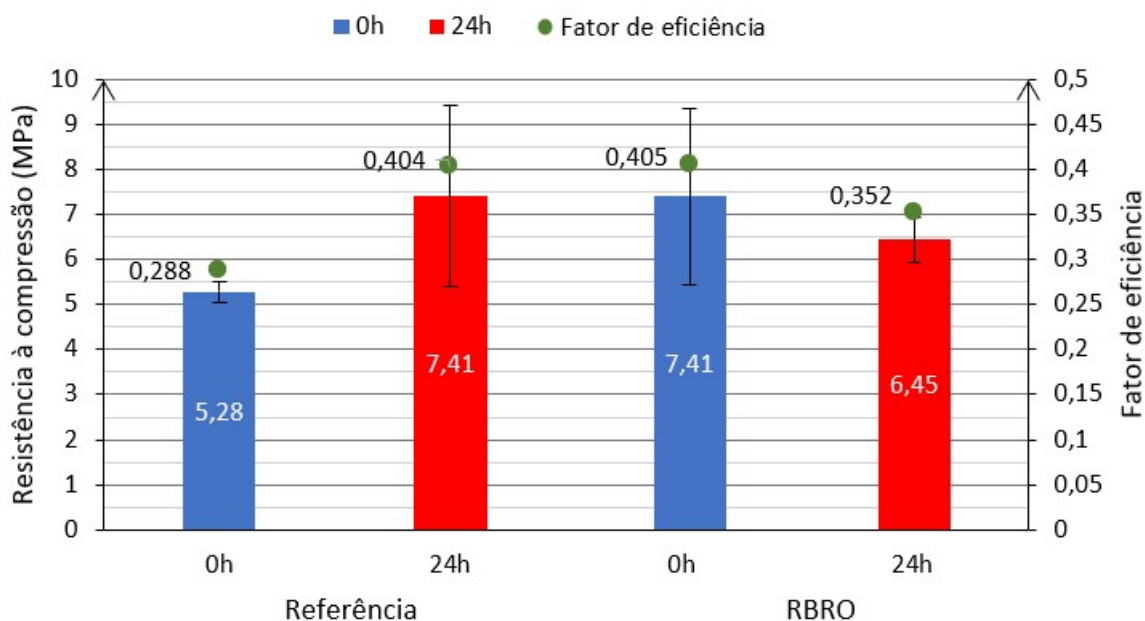
Fonte: Autor.

É importante salientar que a resistência característica muito superior apresentada pelos blocos em seu ensaio de resistência à compressão (f_{bk} de 18,32 MPa) demonstra uma incompatibilidade entre bloco e argamassa, visto que os valores apresentados pela resistência da argamassa, deveriam girar em torno de 70-150% da resistência do bloco. Esse fato também foi observado no trabalho de Matos (2013), que salienta o fato de que blocos com elevadas resistências características são mais

compactos, implicando em uma menor porosidade dos mesmos, o que dificulta a percolação de materiais cimentícios da argamassa.

Dessa forma, como observado na Figura 35, nenhum dos conjuntos de prismas dos diferentes tipos de argamassa ensaiadas, tanto para 0h como para 24h, atingiu fator de eficiência recomendado para blocos de concreto (igual ou superior a 70%).

Figura 35 - Médias de resultados apresentados pelos prismas testados aos 28 dias.



*As barras representam 68,3% de probabilidade de acontecer tal oscilação dentro da faixa de um desvio padrão, tanto para mais quanto para menos, em relação à média dos resultados.

Fonte: Autor.

Comparando as médias dos quatro tipos de prismas confeccionados, percebe-se que com 0 h, os prismas moldados com argamassa contendo RBRO apresentaram melhores resultados. Já com 24 h de estabilização, os prismas moldados com argamassa referência tiveram desempenho superior. No entanto, cabe salientar que os resultados apresentaram grandes variações entre os diferentes corpos de prova. Nota-se ainda que, enquanto a argamassa de referência obteve um ganho de resistência à compressão com o tempo de estabilização, a argamassa contendo RBRO mostrou uma queda na resistência à compressão para o mesmo período de estabilização comparado com os resultados a 0 horas.

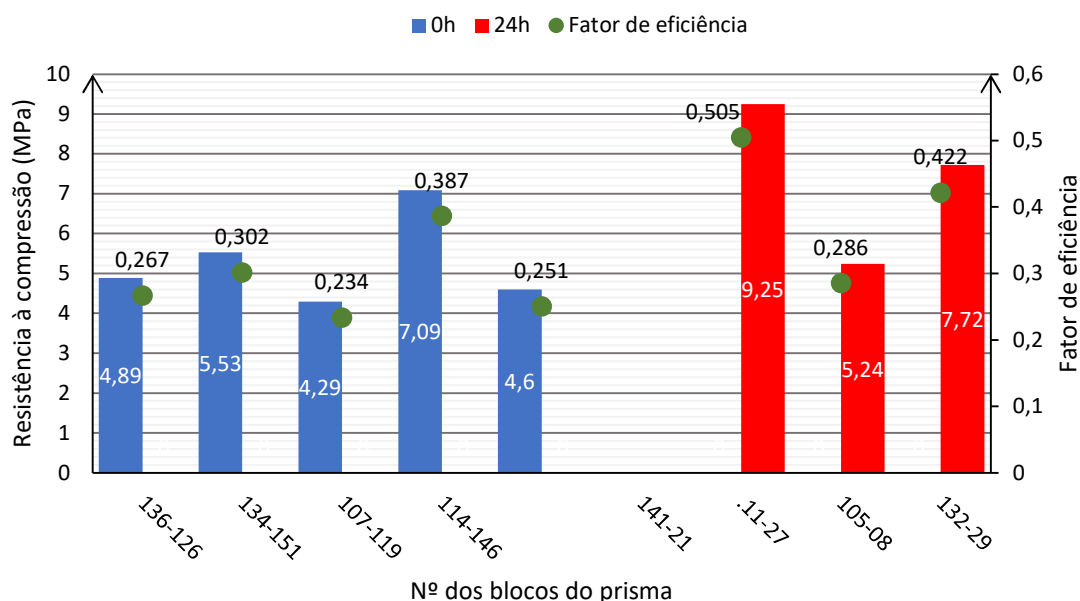
Percebe-se que comparando os tipos de argamassas, que as misturas referência à 0h e RBRO à 24h foram as únicas que apresentaram coeficiente de variação (CV) inferior ao limite máximo de 20% estipulado pela ABNT NBR 16868-2 (2020) devido

ao baixo desvio padrão associado aos valores de resistência (maior constância dos resultados).

Apesar de não apresentar coeficiente de variação dentro do limite desejável, a argamassa de referência à 24h foi a que teve o menor número de prismas testados (apresentou CV de 26,43%), sendo que um deles atingiu a ruptura pela fissura do bloco, sucedido pelo esmagamento da junta de argamassa, e em outros dois, ambos os componentes romperam juntos. A pobreza de amostragem compromete a veracidade dos dados, demonstrando-se necessário estudos com maior número de prismas testados a fim de produzir dados mais concretos a respeito da variabilidade de valores de resistência encontrados.

Os resultados obtidos nos ensaios dos prismas moldados com argamassas de referência para 0h e 24h, respectivamente, estão apresentados na Figura 36.

Figura 36 - Resistências dos prismas moldados com argamassa de referência à 0h e 24h aos 28 dias.



Fonte: Autor.

Como já mencionado, a argamassa de referência precisou ser acrescida de água para melhorar sua trabalhabilidade. Em contrapartida, nota-se um aumento de 40,37% na resistência média dos prismas assentados com a argamassa de referência à 24h, e os conjuntos passaram a apresentar ruptura em sua maioria, do conjunto. Esse fato apresenta-se em discordância dos resultados já citados anteriormente de outros autores que correlacionaram o acréscimo de água na mistura com a redução de

resistência do prisma. Dessa forma, assim como para o corpo de prova dessa argamassa, a quantidade de água acrescida na mistura demonstrou-se insignificante já que não houve alteração na tendência de ganho de resistência da argamassa. Apesar de um dos pares à 24h ter apresentado resistência de 9,25 MPa, a média obtida para os prismas foi de 7,41 MPa.

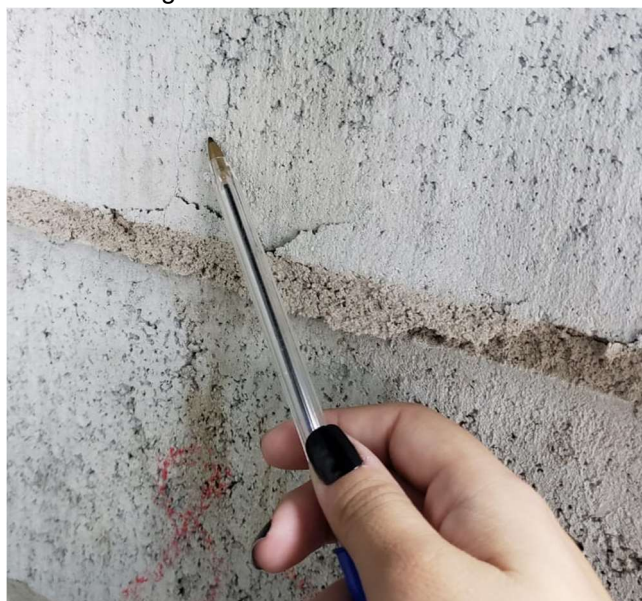
Apenas um dos prismas com argamassas de referência rompeu pela fissura do bloco do bloco superior (Figura 38), sucedido pelo esmagamento da junta de argamassa (Figura 37).

Figura 37 - Esmagamento das juntas de argamassa.



Fonte: Autor.

Figura 38 - Fissuras dos blocos.



Fonte: Autor.

O prisma de blocos 110 - 139 não teve seus resultados de resistência à compressão apresentados pois o bloco não fissurou no ensaio, entretanto, o conjunto parou de

oferecer resistência à carga aplicada pela prensa quando houve o esmagamento da argamassa (Figura 39), atingindo a ruptura. Esse resultado difere-se dos demais, entretanto, está de acordo com o resultado que era esperado: ruptura da argamassa antes da ruptura do bloco. Era previsto que, como o ensaio de resistência à compressão de blocos indicou valores de f_{bk} de 18,32 MPa, a argamassa iria colapsar antes do bloco, já que esta foi dosada para 8 MPa. Embora esse prisma tenha apresentado o comportamento esperado, não atingiu fator de eficiência de 0,7, assim como os demais.

Figura 39 - Fadiga do prisma de par 138-121 sem fissura do bloco.

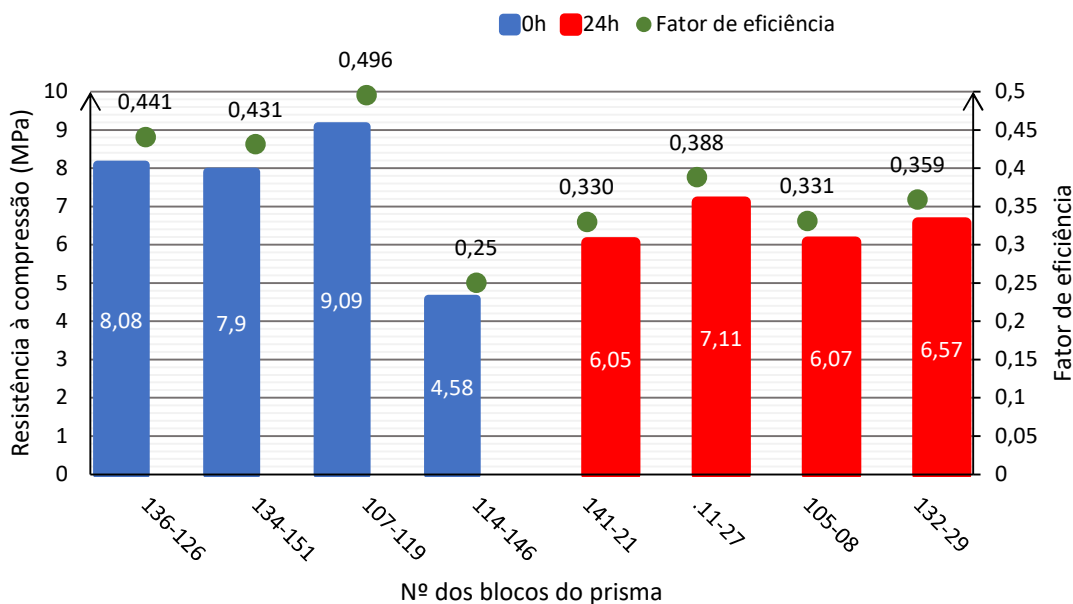


Fonte: Autor.

Os prismas de argamassa dosada com 15% de adição de RBRO à 24h apresentaram redução nos valores de resistência à compressão se comparados com os assentados à 0h. Esse resultado vai contra os resultados encontrados nos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa, já que os mesmos apresentaram aumento de 25,74% após o período de estabilização. Entretanto, demonstra-se de acordo com a premissa de que, ao adicionar água à mistura, a tendência é que haja uma redução na resistência à compressão.

Observa-se, que para a argamassa com RBRO à 24h em que a quantidade de água foi superior à da argamassa de referência para o mesmo período de estabilização, no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa em que há um adensamento da mistura, o pequeno acréscimo de água demonstrou-se favorável ao aumento da resistência à compressão pois proporciona a melhora da trabalhabilidade, e por consequência, facilita o adensamento. Essa melhora no adensamento, favorecida pelo aumento do espalhamento (como visto no ensaio de *flow table*), faz com que os vazios sejam mais bem preenchidos e as superfícies de aplicação de carga se tornem mais homogêneas. Por outro lado, nas atividades em que não é necessário adensar a argamassa, como é o caso do assentamento dos prismas, a presença da água se mostra apenas como fator de alteração no traço da mistura, reduzindo a proporção de aglomerantes e agregados, que conferem resistência à argamassa já que essa quantidade adicionada é maior do que a necessária para equilibrar os efeitos causados pela perda de água e diminuição do teor de ar incorporado. Os valores de resistência à compressão dos prismas da argamassa com RBRO à 0h e 24h estão apresentados na Figura 40.

Figura 40 - Resistências dos prismas moldados com argamassas com adição de RBRO aos 28 dias.

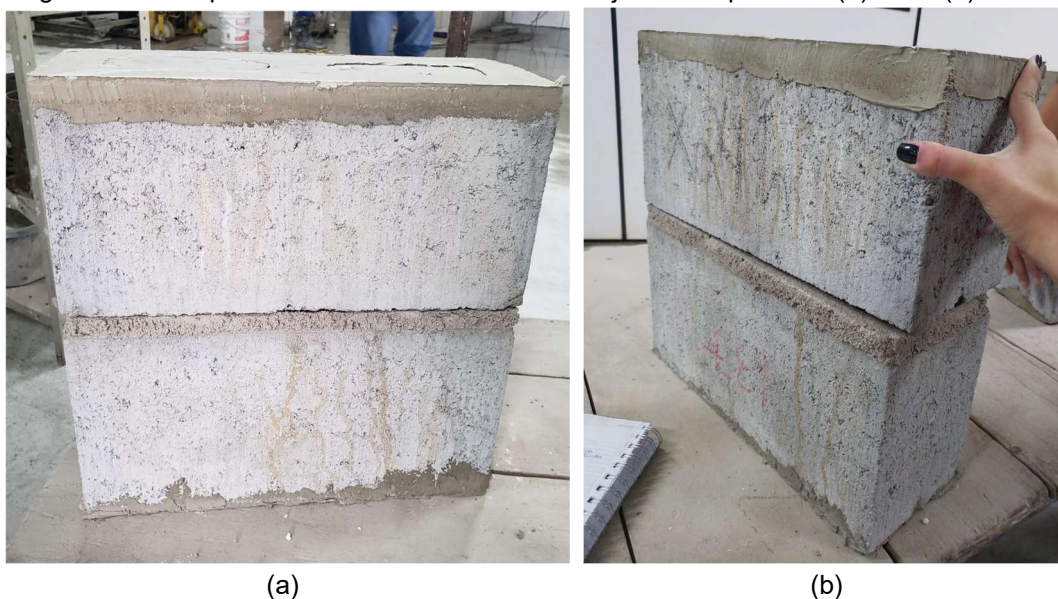


Fonte: Autor.

Como observado por Matos (2013), percebe-se que o tempo decorrido desde o preparo da argamassa até sua utilização influencia, principalmente, a aderência entre

bloco e junta. Fato este constatado nos prismas de ambas as argamassas à 24h, já que o rompimento ocorre na interface substrato/junta dos prismas (Figura 41).

Figura 41 - Rompimento na interface do substrato/junta dos prismas: (a) à 0h. (b) à 24h.

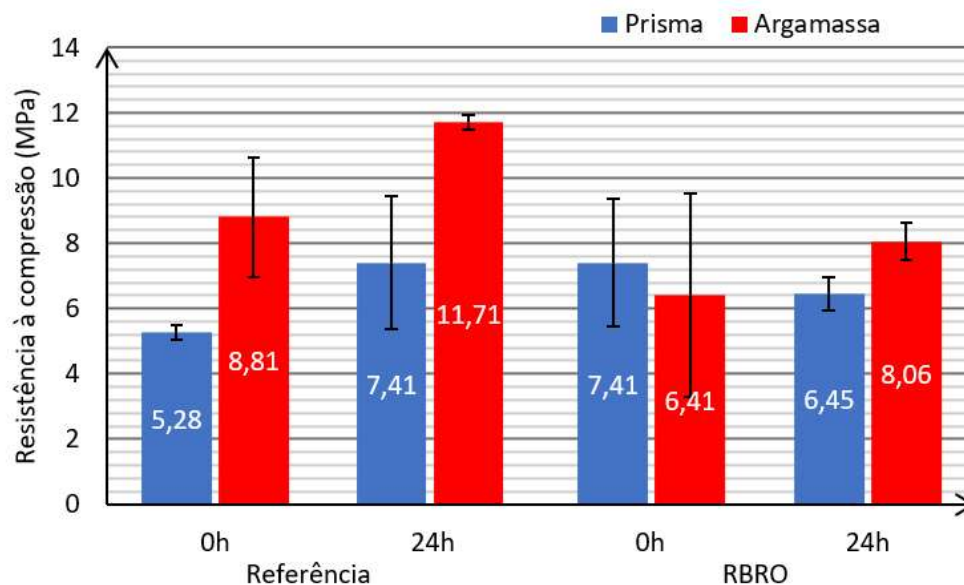


Fonte: Autor.

Conforme afirma Sabbatini (1984), os ensaios de resistência à compressão das argamassas são apenas um parâmetro indicativo do comportamento da junta, já que o estado de confinamento dos corpos de prova não reproduz o comportamento na alvenaria. O ensaio que visa avaliar somente os valores de resistência das argamassas utiliza corpos de prova padronizados em que o elemento fica submetido à um estado uniaxial de tensões. Já nos prismas, a região central da argamassa está totalmente confinada e distante das extremidades, apresentando um estado triaxial de tensões de compressão. Dessa forma, os prismas deste trabalho, com exceção dos prismas moldados com argamassa com RBRO à 0h, apresentaram o comportamento esperado em que se observa menores valores de resistência à compressão dos prismas em comparação com os corpos de prova das respectivas argamassas. Esse resultado também foi observado nos trabalhos de Medeiros (1993), que cita menores valores de resistência no estado triaxial em relação aos valores da resistência à compressão das argamassas no ensaio uniaxial.

A Figura 42 ilustra as resistências à compressão dos corpos de prova das argamassas e de seus respectivos prismas.

Figura 42 – Resistências à compressão das argamassas e prismas aos 28 dias.



*As barras representam 68,3% de probabilidade de acontecer tal oscilação dentro da faixa de um desvio padrão, tanto para mais quanto para menos, em relação à média dos resultados.

Fonte: Autor.

7. CONCLUSÕES

7.1. Considerações finais

O presente trabalho buscou avaliar a influência de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) nas propriedades de argamassas estabilizadas utilizadas para assentamento de blocos de concreto em alvenaria estrutural, tendo em vista a grande disponibilidade desse tipo de resíduo nas indústrias locais, que geralmente acabam sendo descartados pelas empresas por não ter finalidade específica para seu uso.

Ao analisar os resultados obtidos com os ensaios das argamassas em seu estado fresco, é possível observar uma similaridade no comportamento das misturas em questão, exceto quando se trata dos ensaios de índice de consistência, em que a argamassa contendo RBRO apresentou aumento da leitura do ensaio de *flow table*, devido ao acréscimo de água após 24h de estabilização, que foi proporcionalmente maior quando comparado com a argamassa de referência. Sendo assim, pode-se dizer que a substituição do aglomerante por 15% de RBRO se mostrou eficiente para as propriedades reológicas da argamassa.

Paralelo a isso, as análises referentes ao estado endurecido dos corpos de prova de argamassa indicaram que as argamassas com resíduo apresentaram valores de resistência à compressão inferiores aos apresentados pelas argamassas de referência para ambos os tempos de estabilização. Ademais, apesar dos testes de resistência à compressão à 0h terem apresentado valores maiores para os prismas moldados com argamassa com RBRO, a mesma constatação não foi observada para os prismas à 24h, já que apresentaram uma redução em seu valor médio de resistência, indicando valores inferiores aos prismas moldados com argamassa de referência. Essa redução pode ser justificada pelo acréscimo de água na mistura, superior à quantidade adicionada à argamassa de referência. Além disso, ambas as argamassas apresentaram piora na aderência ao substrato após 24h e baixos fatores de eficiência, justificado pela alta resistência característica dos blocos utilizados.

Como conclusão, o estudo indica que, embora a argamassa estabilizada com 15% de adição de resíduo proveniente do corte de mármore dosada para 8 MPa teve comportamento semelhante à argamassa sem RBRO, ambas as argamassas se demonstraram tecnicamente inviáveis para a classe de resistência das unidades

empregadas (18 MPa). Aliado a isso, é importante destacar que a argamassa contendo RBRO apresentou uma piora na trabalhabilidade quando comparada com a argamassa de referência após o período de estabilização proposto, indicando necessidade de maior acréscimo de água, implica na redução de resistência à compressão de alvenarias.

Devido à pandemia do coronavírus e a maior dificuldade de acesso ao laboratório, não foi possível repetir alguns ensaios pertinentes, como o de resistência à compressão de prismas com blocos de resistência característica mais próxima de 8 MPa, aderência e resistência à flexão. Entretanto, considerando os resultados favoráveis obtidos para as propriedades reológicas das argamassas e as questões ambientais envolvendo a destinação de resíduos, incentiva-se a realização de novos estudos com este material para sua inserção na dosagem de argamassas estabilizadas.

7.2. Sugestões para trabalhos futuros

- Avaliar a resistência de argamassas estabilizadas contendo diferentes porcentagens de resíduo;
- Avaliação de diferentes ensaios como resistência à flexão de prismas;
- Estudar diferentes teores de aditivo estabilizador / incorporador de ar a fim de determinar um teor ótimo;
- Estudar essa formulação de argamassa com unidades com resistência à compressão compatível;
- Estudar outros tipos de RBRO e cimentos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

_____.**NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

_____.**NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

_____.**NBR 8522-2:** Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 2: Módulo de elasticidade dinâmico pelo método das frequências naturais de vibração. Rio de Janeiro, 2021.

_____.**NBR 9833:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

_____.**NBR 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Versão corrigida: 2014. Rio de Janeiro, 2013.

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

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

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

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

_____.**NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

_____.**NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmica através da propagação de onda ultra-sônica. Versão corrigida: 2009. Rio de Janeiro, 2008.

_____.**NBR 16541:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

_____.**NBR 16697:** Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____.**NBR 16868-1:** Alvenaria estrutural - Parte 1: Projeto. Versão corrigida: 2021. Rio de Janeiro, 2020.

_____.**NBR 16868-3:** Alvenaria estrutural - Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 16916:** Agregado miúdo – Determinação da densidade e absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ALENCAR, Carlos Rubens Araujo. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais.** Instituto Euvaldo Lodi - Regional do Espírito Santo. Cachoeiro de Itapemirim/ES: IEL, 2013.

ANTONIAZZI, J. P.; MOHAMAD, G.; CASALI, J. M.; SCHMIDT, R. P. B. **Incorporação de ar em argamassas estabilizadas: influência dos aditivos, agregados e tempo de mistura.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 285-304, jul./set. 2020.

ARAÚJO, F. E. **Técnicas construtivas de edifícios residenciais em alvenaria estrutural não armada de blocos vazados de concreto.** Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **O Brasil é referência mundial em alvenaria estrutural: Sistema construtivo economiza tempo, material e reduz volume de resíduos gerados na obra.** [S. l.], 12 abr. 2013. Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/banco-de-pautas/brasil-e-referencia-mundial-em-alvenariaestrutural/>. Acesso em: 21 dez. 2020.

BARROS, J.V.C.; CHAHLA, T.M.. **Avaliação das propriedades do concreto fabricado com aditivo estabilizador de hidratação.** Orientador: Prof. Dr. André Luiz Bortolacci Geyer. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2018.

BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO M. L. M.; CALDAS L. R.. **Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento.** In: XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2015. Porto Alegre. Anais do X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2015.

CALÇADA, L. M. L. ; PEREIRA, L.; SOUZA, R. A.; OLIVEIRA, A. L.; CASALI, J.M.. **Influência das características do molde e da superfície de contato nas propriedades da argamassa estabilizada.** In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Fortaleza, 2013. Anais [...] Fortaleza, 2013.

CAMACHO, J.S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2006.

CAMPOS, G. M. ; CASALI, J. M. ; MACIOSKI, G. **Estudo do tempo de início de pega de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 2013, Gramado. Anais do 55 Congresso Brasileiro do Concreto, 2013.

CARASEK, Helena. Argamassas. In: ISAIAS, G.C (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 2ª ed. São Paulo, IBRACON, 2010. Vol. 1, p. 893-943.

CASALI, J. M. **Estudo da interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto para alvenaria estrutural: Transporte de água e aderência.** Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr. 2008. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008.

CASALI, J. M. MANN, A. N.; ANDRADE, D. C.; ARRIGADA, N. T. Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para revestimento. In: **IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas** - Belo Horizonte - MG> SBTA, 2011.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. **Estudo da influência da distribuição granulométrica nas propriedades de argamassas dosadas por curva granulométrica.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III., 1999, Vitória. Anais... Vitória: ANTAC, 1999. p. 3-26.

DU, L.; FOLLIARD, K. J. **Mechanisms of Air Entrainment in Concrete.** Cement and Concrete Research, v. 35, n. 8, p. 1463-1471, 2005.

FILLA, G. P. T., PAULINO, R. S., TORALLES, B. M. **Argamassa de assentamento mista e industrializada comparação entre as propriedades físicas e mecânicas para aplicação em alvenaria estrutural.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

IZQUIERDO, I.S. **Uso de fibra natural em blocos de concreto para alvenaria estrutural.** Dissertação (mestrado em engenharia de estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos – SP, 2011.

JEZIORSKI, G. M. Z. **Comparativo entre argamassa estabilizada e argamassa industrializada para assentamento de alvenaria estrutural.** Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Santa Rosa, 2018.

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

KELLER, Hergya A.; LOVATO, Patrícia S. **Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo do tempo decorrido do seu preparo.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

LEITE, F.R. **O Potencial Uso de Resíduos de Beneficiamento de Rochas Ornamentais como Matéria-Prima em Argamassas e sua Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2018.

MACIOSKI, G.; KUSZKOWSKI, H.; COSTA, M. R. M. M.; CASALI, J. M.. **Avaliação de Propriedades no Estado Fresco e Endurecido de Argamassas Estabilizadas.** In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2013, Fortaleza. Anais do X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2013.

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

MARGALHA, M.G. **Argamassas.** Universidade de Évora. Portugal, 2011.

MATOS, P.R. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013

MELLO, L.V.; PILAR, R.; SCHANKOSKI, R.A. **Formulação de argamassa estabilizada contendo resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais**. In: 62º Congresso Brasileiro do Concreto. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2020.

MOHAMAD, G. **Construções em alvenaria estrutural: Materiais, projeto e desempenho**. Editor Gihad Mohamad. Editora Edgard Blucher. 2ª Edição. Ampliada e revisada conforme NBR 16868/2020. 2020.

MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E.; ROMAN, H.R. **Propriedades da alvenaria estrutural e seus componentes**. In: **Construções em alvenaria estrutural: Materiais, projeto e desempenho**. 2015. Editor Gihad Mohamad. Editora Edgard Blucher. 1ª Edição digital. Pg 90. 2015.

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

OLIVEIRA, J. C. P.; MEDINA, T. M. **Estudo de concreto autoadensável com incorporação de escória de alto-forno resfriada ao ar moída**. 2019. 72 f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

OLIVEIRA, K.A.S.; LIMA, T. D.; JONES K.M. **Análise comparativa entre argamassa de assentamento preparada em obra e argamassa industrializada**. FUNORTE. Belo Horizonte, MG, 2014.

PCZIECZEK, A. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneu inservíveis**. Orientadora: Dra. Carmeane Effting. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, SC, 2017.

PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Editora Gráfica Palloti, Florianópolis, 2002.

RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Editora Pini Ltda, São Paulo, 2008.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade**. Porto Alegre, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical admixtures for concrete**. London: E&FN SPON, 1999.

ROMANO, R. C. O.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. **Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 289-308, abr./jun. 2018.

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

SANTIAGO, C.C. **Argamassas tradicionais de cal**. Salvador: EDUFBA, 2007. 202 p. ISBN 978-85-232-0887-5. Disponível em: < <http://books.scielo.org/id/w2>>.

SCHANKOSKI, Rudiele Aparecida. **Influência do tipo de argamassa nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto de alta resistência**. Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012.

SCHANKOSKI, Rudiele Aparecida; PRUDÊNCIO JR., Luiz Roberto; PILAR, Ronaldo. **Influência do tipo de argamassa e suas propriedades do estado fresco nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto para edifícios altos**. Matéria (Rio J.), Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 1008-1023, Dec. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762015000401008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 21 de Maio de 2021.

SILVA, J.B. da. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto estrutural dosados com politereftalato de etíleo (PET) micronizado**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB.

SILVA, J.P. **Avaliação da viabilidade do uso de miniunidades de fabricação de argamassas com resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais**. In: Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM, 21., 2015, Rio de Janeiro.

SILVA, N.G.; CAMPITELI, V.C. **Módulo de elasticidade dinâmico de argamassa de revestimento**. In: II Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná e Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2008.

SILVA, N.G **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Orientador: Prof. Dr. Vicente Coney Campiteli. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

TALY, N. **Design of reinforced masonry structures**. McGraw – Hill Companies, New York, 2001.

TAUIL, Carlos Alberto *et al.* **Alvenaria Estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2010.

TEMP, A. L. ; LIMA, F. F. ; CARABALONE, E. D. P. ; BIASI, B. P. ; KLEIN, M. M. L. **.Estudo do tempo de início de pega de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação**. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 2020, Florianópolis. Anais do 62º Congresso Brasileiro de Concreto, 2020.

VAZZOLER, J. S. **Investigação de potencialidade pozolânica do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais após tratamento térmico para produção de pasta cimentícia**. 2015. 147p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civi) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015

VIDAL, Francisco W. H.; AZEVEDO, Hélio C. A.; CASTRO, Nuria F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.

ZAMBALDI, T. B.; BELLATO, V. C. **Estudo da dosagem de argamassa estabilizada para assentamento de alvenaria**. 2019. Projeto de graduação (Departamento de Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

ANEXO I - LAUDO DO FABRICANTE DE BLOCOS



DATA DE ROMPIMENTO: 05/07/2021
CERTIFICADO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS⁽¹⁾
DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - NBR 6136/2014

SERVIÇO DE ASSESSORIA TÉCNICA

NF:

CLIENTE/FABRICA	
OBRA/ENDEREÇO	

IDENTIFICAÇÃO	N.º DA PEÇA	DATA DA FABRICAÇÃO	LOTE	IDADE	PESO (Kg)	DIMENSÕES DAS PEÇAS (mm)							ÁREA (cm²)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
						LARG.	ALTURA	COMP.	PAREDES					Carga (kgf)	f _d (MPa) ⁽⁷⁾	f _{sk,est} (MPa)	f _{sa} (MPa)
									LONGITUDINAL	TRANSVERSAL		ESPESSURA EQUIVALENTE ⁽⁶⁾					
										DIMENSÃO ⁽⁴⁾	DIMENSÃO ⁽⁵⁾						
BE 14X19X39	1	15/05/2021	21	12,320	140	190	390	25	25	154	546	45600	8,4	8,3	8,3		
	2			12,290	140	190	391	25	26	154	547	51300	9,4				
	3			12,200	140	190	390	25	26	154	546	46250	8,5				
	4			12,410	140	190	390	25	25	154	546	46700	8,6				
	5			12,350	140	190	390	25	25	154	546	47350	8,7				
8,0 MPa	6	173.1.05.15052021		12,400	140	190	390	25	26	154	546	51300	9,4				
	7			12,327	140	190	390	25	26	154	546	48083	8,8				
MÉDIAS				21	12,327	140	190	390	25	26	154	546	48083	8,8	8,8		

Obs: (1) Componente de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta.
(2) Área de carregamento calculada com base nas medidas obtidas no ensaio.
(A) Média das medidas de todas as paredes tomadas nos pontos mais baixos.
(B) Soma das espessuras de todas as paredes transversais dividida pelo comprimento nominal do bloco (mm/m).
As peças foram ensaiadas depois de secas ao ar.

CLASSIFICAÇÃO DO BLOCO ENSAIADO: A

Obs: ATENDE QUANTO A DIMENSÕES

A Entidade Provedora é responsável apenas pelas condições de sua fabricação, sendo a assessoria técnica um serviço oferecido a título de apoio aos seus clientes. O cliente deverá ter ou contratar seu próprio serviço de acompanhamento técnico para a garantia de qualidade de seus respectivos produtos.
OS TRACÇOS FORAM IDENTIFICADOS E SÃO DE RESPONSABILIDADE DO CLIENTE.

Laboratorista:

CARLOS FERNANDES

Responsável:

Ronaldo Cavale
CRL ES 1510724

AV. PAULO MIGUEL BOHOMOLETZ, 1000, CIMT I SERRA, CEP 291690-70

Tel. (027) 3398-8000