

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**LUIZ ADÃO DOS SANTOS NETO**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM ADITIVO  
INCORPORADOR DE AR PARA ASSENTAMENTO DE BLOCOS CERÂMICOS  
PARA ALVENARIA ESTRUTURAL**

**Alegrete**

**2022**

**LUIZ ADÃO DOS SANTOS NETO**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM ADITIVO  
INCORPORADOR DE AR PARA ASSENTAMENTO DE BLOCOS CERÂMICOS  
PARA ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Fernanda Bianchi  
Pereira da Costa

**Alegrete  
2022**

## LUIZ ADAO DOS SANTOS NETO

### AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM ADITIVO INCORPORADOR DE AR PARA ASSENTAMENTO DE BLOCOS CERÂMICOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 22 de março de 2022.

#### BANCA EXAMINADORA:

PROFA. DRA. FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA - UNIPAMPA  
ORIENTADORA

PROFA. DRA. SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO - UNIPAMPA

PROF. DR. ALISSON SIMONETTI MILANI - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/03/2022, às 12:23, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALISSON SIMONETTI MILANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/03/2022, às 13:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/03/2022, às 14:14, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0761311** e o código CRC **13FF61B3**.

Dedico este trabalho aos meus pais. Sem eles nada seria possível.

## AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço aos meus pais Elbio e Mara, que nunca mediram esforços para que eu pudesse alcançar este sonho.

Ao meu avô Vilmar (*in memorian*), que está comemorando comigo onde quer que esteja.

A minha avó Ielsa, que mora no meu coração.

Aos meus irmãos Mireli, Elbio Jr, Vitor, João, que sempre estiveram me apoiando em tudo.

A minha namorada Gabriela e ao Maicon Douglas, que me deram muita força para nunca desistir.

Aos professores pelos ensinamentos ao longo desses anos, e aos técnicos do laboratório pela ajuda nos ensaios para elaboração deste trabalho.

## RESUMO

A argamassa de assentamento tem um papel fundamental no desempenho em conjunto da alvenaria estrutural. Este trabalho tem como finalidade avaliar a influência do aditivo incorporador de ar (AIA) no comportamento de argamassas dosadas em obra para assentamento de alvenaria estrutural de bloco cerâmico e compará-la a argamassa dosada sem aditivo. Com base nos padrões semelhantes à algumas pesquisas e, como também é recomendado pela norma britânica BS EN 5628-1 (1992), as argamassas dosadas possuem um traço fixo de 1:0,5:4,5 (em volume). O aditivo foi incluído nas misturas nas proporções de 0% (traço de referência), 0,1% e 0,3%, em relação à massa dos aglomerantes (cimento e cal). Foram avaliadas conforme as normativas vigentes as seguintes propriedades no estado fresco: índice de consistência e teor de ar incorporado. Já no estado endurecido, foram avaliadas a resistência à compressão, a resistência à tração das argamassas, a absorção e o índice de vazios da argamassa. Também foi avaliada a resistência à compressão de prismas de 2 blocos cerâmicos sobrepostos com cada tipo de argamassa e o modo de ruptura dos mesmos. Os resultados mostraram que ao acrescentar aditivo incorporador de ar na argamassa de assentamento foi verificado a melhora das suas propriedades no estado fresco, como a trabalhabilidade da argamassa, e redução das propriedades mecânicas no estado endurecido, também quando utilizada para assentamento de bloco estrutural cerâmico.

**Palavras-chaves:** aditivo incorporador de ar, argamassa de assentamento, alvenaria estrutural.

## ABSTRACT

The laying mortar has a fundamental role in the joint performance of the structural masonry. This work aims to evaluate the air-entraining admixture (AEA) in the behavior of dosed mortars on site for laying structural masonry of ceramic block and comparing it to dosed mortar without admixture. Based on similar standards to some research and, as is also recommended by the British standard BS EN 5628-1 (1992), dosed mortars have a fixed ratio of 1:0.5:4.5 (by volume). The additive will be included in the mixtures in the proportions of 0% (reference line), 0.10% and 0.30%, in relation to the mass of the binders (cement and lime). The following properties in the fresh state will be evaluated according to current regulations: consistency index and incorporated air content. In the hardened state, the compressive strength, the tensile strength of both mortars and prisms will be evaluated, as well as the adhesion at the interface between the ceramic block and the mortar by pullout test. The results showed that by adding air-entraining admixture to the laying mortar, an improvement in its properties in the fresh state was verified, such as the workability of the mortar, and a reduction in the mechanical properties in the hardened state, also when used for laying ceramic structural block.

**Keywords:** air-entraining admixture, settlement mortar, structural masonry, laying mortar.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Tipos de ruptura da alvenaria à compressão .....  | 19 |
| Figura 2 – Efeitos do incorporador de ar em argamassas de cimento e areia .....  | 25 |
| Figura 3 – Fluxograma do estudo.....   | 29 |
| Figura 4 – Curva granulométrica da areia .....   | 30 |
| Figura 5 – Ensaio de massa unitária no estado solto.....   | 31 |
| Figura 6 – Confeção dos primas de 2 blocos. ....   | 36 |
| Figura 7 – Ensaio do índice de consistência .....  | 37 |
| Figura 8 – Etapas do ensaio de absorção e índices de vazios .....  | 40 |
| Figura 9 – Ensaio de tração na flexão da argamassa .....   | 40 |
| Figura 10 – Ensaio de compressão da argamassa .....  | 41 |
| Figura 11 – Ensaio de compressão dos prismas.....  | 42 |
| Figura 12 – Resultados médios do ensaio de absorção.....   | 45 |
| Figura 13 – Comparativo entre resistência de tração na flexão e compressão. ....                                       | 48 |
| Figura 14 – Tensão de ruptura média dos prismas. ....  | 48 |
| Figura 15 – Curva tensão versus deformação dos prismas ensaiados. ....   | 50 |
| Figura 16 – Modo de Ruptura dos prismas argamassados.....  | 51 |
| Figura 17 – Relação entre as resistências médias à compressão das argamassas e prismas, e módulo de elasticidade. .... | 52 |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Recomendação para especificação dos materiais de alvenaria estrutural .....                                 | 17 |
| Tabela 2 – Tolerância dimensionais admitidas.....  | 17 |
| Tabela 3 – Traços e propriedades das argamassas para alvenaria estrutural recomendadas pelas normas estrangeiras ..... | 21 |
| Tabela 4 – Resultados no estado endurecido das argamassas, conforme Gava et al. (2015).....                            | 24 |
| Tabela 5 – Resistência à compressão e tração nos ensaios.....  | 26 |
| Tabela 6 – Propriedades das argamassas aditivadas e com diferentes teores de ar .....                                  | 26 |
| Tabela 7 – Pesquisa realizada com quantidades altas de aditivo .....   | 27 |
| Tabela 8 – Caracterização física do material seco.....   | 30 |
| Tabela 9 - Massa unitária dos materiais.....   | 31 |
| Tabela 10- Caracterização geométrica dos blocos cerâmicos .....  | 32 |
| Tabela 11 – Características físicas do bloco cerâmico .....  | 33 |
| Tabela 12 – Resistência média à compressão dos blocos cerâmicos .....  | 33 |
| Tabela 13 – Resumo dos materiais da argamassa. ....  | 35 |
| Tabela 14 – Quantidade de material utilizado nas misturas.....   | 35 |
| Tabela 15 – Consistência média das argamassas .....  | 43 |
| Tabela 16 – Teor de ar incorporado nas amostras.....   | 44 |
| Tabela 17 – Resultados médios da absorção de água e índice de vazios.....  | 45 |
| Tabela 18 – Resistências médias à tração na flexão e compressão das argamassas .....                                   | 46 |
| Tabela 19 – Valores do ensaio de resistência à compressão dos prismas .....  | 48 |
| Tabela 20 – Síntese das propriedades dos materiais utilizados no estudo.....   | 52 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>12</b> |
| 1.1 Contextualização do tema, do problema e da questão de pesquisa ..... | 12        |
| <b>2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                  | <b>16</b> |
| 2.2 Requisitos para blocos cerâmicos .....                               | 16        |
| 2.3 Mecanismos de ruptura .....  | 18        |
| 2.4 Argamassa para assentamento.....                                     | 19        |
| 2.4.1 Argamassa dosada em obra .....                                     | 20        |
| 2.4.2 Requisitos normativos .....  | 21        |
| 2.4.3 Influência nas propriedades da alvenaria .....                     | 22        |
| 2.4.4 Aditivo incorporador de ar em argamassas de assentamento.....      | 23        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                                       | <b>29</b> |
| 3.1 Materiais para produção das argamassas.....                          | 30        |
| 3.2 Caracterização dos blocos .....                                      | 32        |
| 3.3 Métodos.....   | 33        |
| 3.4 Especificação do traço e confecção das argamassas .....              | 34        |
| 3.5 Confecção de prismas.....  | 35        |
| 3.6 Ensaios.....   | 36        |
| 3.6.1 Ensaio de consistência da argamassa e teor de ar incorporado ..... | 36        |
| 3.6.2 Absorção total de água e Índice de vazios .....                    | 39        |
| 3.6.3 Ensaio de tração na flexão e compressão em argamassa .....         | 40        |
| 3.6.4 Ensaio de resistência à compressão em prismas .....                | 42        |
| <b>4 RESULTADOS</b> .....  | <b>43</b> |
| 4.1 Ensaio nas argamassas .....  | 43        |
| 4.1.1 Consistência da argamassa .....                                    | 43        |
| 4.1.2 Teor de ar incorporado .....                                       | 44        |
| 4.1.3 Absorção total de água e Índice de vazios .....                    | 45        |
| 4.1.4 Resistência à tração na flexão e compressão das argamassas.....    | 46        |
| 4.2 Ensaio nos prismas .....   | 48        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....                                      | <b>54</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.1 Recomendações para trabalho futuros ..... | 55        |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                       | <b>56</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização do tema, do problema e da questão de pesquisa

A construção civil no Brasil tem sido, nas últimas décadas, muito influenciada por políticas públicas destinadas à diminuição do déficit habitacional, principalmente para construções de grande porte destinadas às camadas populares de baixa renda (SANTOS, 1999). Neste sentido, a alvenaria estrutural, que está consolidada desde os anos 80 para construções de larga escala no mercado brasileiro, é a opção mais procurada (SABBATINI, 2003).

Um dos grandes motivos para seu crescimento é o custo reduzido quando em comparação com obras que utilizam vigas, pilares e lajes e também pela redução do consumo de fôrmas de madeira, aço e concreto. De acordo com Ramalho e Corrêa (2011), este método pode trazer um custo até 30% menor no valor final de uma obra. Com a alvenaria estrutural há também uma diminuição na quantidade de especificações de mão de obra, proporcionando otimização e rapidez na construção.

O crescimento do uso de alvenaria estrutural também impulsionou uma mudança nas normas que regem sua utilização por parte da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). As mudanças, publicadas em agosto de 2020, cancelam as normas que eram utilizadas como base para a realização da alvenaria estrutural, sendo revisadas e substituídas pela NBR 16868 (ABNT, 2020). Estas normas eram separadas em normas de blocos de concreto e blocos cerâmicos, havendo agora a unificação das mesmas e incluindo a utilização de tijolos. Sob o título geral “Alvenaria Estrutural”, foram divididas em cinco partes, três delas publicadas em agosto de 2020.

Além dos blocos, as argamassas de assentamento são materiais fundamentais para a alvenaria, porque é ela quem confere monolitismo e a solidez necessária à parede. Por isso, é interessante destacar o comportamento da argamassa de assentamento. Normalmente estas argamassas são compostas por cimento, cal, areia e água suficiente para produzir uma mistura plástica de boa trabalhabilidade. A principal responsabilidade mecânica da argamassa é a de transmitir as tensões verticais através das unidades e acomodar as deformações concentradas, de modo a não provocar fissuras (MOHAMAD, 2020).

As argamassas atuais possuem em sua composição muito frequentemente, aditivos orgânicos para melhorar algumas propriedades. Um dos aditivos mais usados no mercado são os incorporadores de ar, que modificam a reologia da massa fresca pela inclusão de pequenas bolhas de ar aumentando a trabalhabilidade. No final século XIX surgiram, na Europa e nos Estados Unidos, as argamassas industrializadas, misturas prontas e dosadas na indústria, para as quais basta fazer a adição de água. Não demorou muito para serem empregadas também no Brasil (CARASEK, 2010).

De modo geral, as melhorias destas propriedades no estado fresco (maior índice de consistência e trabalhabilidade) costumam provocar, no estado endurecido, a redução do desempenho mecânico e de aderência. Segundo Dafico *et al.* (2009), enquanto as características da argamassa pouco afetam o fator de eficiência das alvenarias de blocos de concreto (módulo de elasticidade similar ao da junta de argamassa), para blocos cerâmicos o seu controle é imprescindível em função das grandes diferenças do material em relação às argamassas. Portanto é de suma importância entender melhor como funciona o comportamento conjunto (bloco-argamassa) e propor alternativas que melhor acrescentem na produção e desempenho desses elementos.

## **1.2 Objetivo**

Este trabalho terá como objeto avaliar o desempenho de argamassas dosadas com e sem aditivo incorporador de ar (AIA), voltadas ao assentamento de blocos cerâmicos para alvenaria estrutural.

## **1.3 Objetivos específicos**

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Verificar e comparar o comportamento e desempenho das argamassas no estado fresco (consistência e teor de ar incorporado) e endurecido (resistência à compressão e à tração na flexão).

- Avaliar o comportamento à compressão de blocos cerâmicos assentados com os diferentes tipos de argamassa.
- Avaliar os modos de ruptura dos prismas moldados com diferentes resistências de argamassas;

#### **1.4 Justificativa**

Na construção civil, tem-se uma preocupação e uma certa restrição ao uso de aditivo incorporador de ar na argamassa. Isso porque, conforme quantidade de uso desse aditivo, apesar de apresentar resistência à compressão aceitáveis, há uma perda de aderência do conjunto entre bloco e argamassa (PARSEKIAN, 2020).

Algumas questões são levantadas sobre a contribuição do aditivo incorporador de ar na argamassa para o desempenho do conjunto bloco-prisma. Após a análise dos trabalhos de Casali e Prudêncio Jr (2009), Jeziorski (2018), Casali *et al.* (2003), Vieira (2019), ficou observado que as argamassa industrializadas, além de incorporador de ar apresentam outros componente, em quantidades que não são informados pelas empresas fabricantes dos produtos. Verifica-se então a necessidade de saber qual a influência direta do aditivo incorporador de ar nas argamassas e conseqüentemente nos prismas. A partir disso, será dosado uma argamassa, que possa ser um ponto de partida para avaliar o desempenho deste produto.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades, tanto no estado fresco quanto no endurecido, bem como o seu desempenho em prismas, de argamassas (dosada com e sem aditivo incorporador de ar) para assentamento de blocos cerâmicos em alvenaria estrutural, visando gerar subsídios para uma escolha fundamentada em obras de engenharia.

#### **1.5 Estrutura do trabalho**

O trabalho divide-se em quatro seções:

Na sessão I apresenta-se a introdução, com as justificativas que levam em conta o estudo deste tema, a contextualização referente a alvenaria estrutural e os objetivos gerais e específicos;

Na sessão II é demonstrada a revisão de literatura, trazendo os requisitos para blocos cerâmicos, mecanismos de ruptura e as características da argamassa para assentamento, dosada em obra e argamassa com as influências nas propriedades de alvenaria e da dosagem do aditivo incorporador de ar;

Na sessão III encontram-se os métodos e materiais adotados para o desenvolvimento e realização do ensaio proposto;

Na sessão IV é demonstrado os resultados da pesquisa, com a análise dos ensaios de modo a obter os objetivos deste trabalho.

## **2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos**

A alvenaria estrutural é um sistema com função estrutural que pode ser adotado para a concepção de projeto de uma edificação, sendo um modelo bastante utilizado pelo setor da construção civil tanto pela forma de racionalização, quanto de custos e recursos.

Segundo Carvalho (2003), a alvenaria estrutural não armada é um procedimento simplificado que permite a construção de forma economicamente viável com bom desempenho e que melhor se adaptou à realidade brasileira. Além disso, destaca o bloco cerâmico pelo grande potencial e disponibilidade de matéria prima, que é de baixo custo relativo, e com propriedades satisfatórias ligadas a resistência, conforto térmico e acústico.

O produto cerâmico apresenta aspectos técnicos favoráveis no contexto sul-brasileiro, pois as qualidades das jazidas existentes tornam esse produto bastante competitivo no mercado, é o que destaca Mendes (1998). Contudo, para maximizar e otimizar o desempenho da alvenaria estrutural é indispensável e primordial a compatibilização de todos os elementos envolvidos (bloco, argamassa, graute, armadura).

Mohamad (2007) argumenta que o processo de fabricação e algumas características do produto devem ser observadas, tais como o padrão de dimensões iguais decorrentes do efeito de retração quando submetido a queima da argila em alta temperatura. Da mesma forma, leva desvantagem quando comparado a prismas de concreto ou sílico-calcário no que se relaciona a absorção de água inicial. Portanto, todos elementos devem ser levados em conta para adequar o produto ao desempenho no processo racional de execução.

### **2.2 Requisitos para blocos cerâmicos**

Dentre os vários atributos que podem ser analisados sobre as propriedades dos blocos cerâmicos, três são considerados fundamentais e constituem os



parâmetros de controle do bloco. São eles: resistência à compressão, precisão dimensional e índice de absorção.

A NBR 16868-1 (ABNT, 2020) estabelece quais os limites de resistência mínima para os blocos cerâmicos, que devem ser atendidos, como é possível ver na Tabela 1.

Tabela 1 - Recomendação para especificação dos materiais de alvenaria estrutural.

| Tipo de bloco  | fbk | fa | fgk | fpk  | fpk* | Espessura mínima de parede do bloco (mm) |
|--|-----|----|-----|------|------|--|
|  | MPa |    |     | MPa  |      |  |
| Bloco cerâmico de parede vazada, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 x 29 cm) | 4   | 4  | 15  | 2    | 3,2  | 8  |
|  | 6   | 6  | 15  | 3    | 4,8  | 8  |
|  | 8   | 6  | 20  | 4    | 6,4  | 8  |
|  | 10  | 8  | 25  | 4,5  | 7,2  | 8  |
|  | 12  | 8  | 25  | 5,4  | 8,6  | 8  |
| Bloco cerâmico de parede maciça, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 x 29 cm) | 10  | 8  | 20  | 6    | 9,6  | 22                                       |
|  | 14  | 12 | 25  | 8,4  | 13,4 | 25                                       |
|  | 18  | 15 | 30  | 10,8 | 17,3 | 30                                       |

fbk = resistência do bloco; fa = resistência da argamassa; fgk = resistência do graute; fpk = resistência do prisma; fpk\* = resistência do prisma cheio.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16868-1 (2020).

O índice de absorção de água nos componentes não deve ser menor que 8% e também não maior que 21%. Já as tolerâncias relacionadas às medições individuais e médias de dimensões, conforme a norma NBR 15270-1 (ABNT, 2017), estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Tolerância dimensionais admitidas.

| Dimensão                          | Tolerância Individual | Tolerância Média |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------|
| Largura (L)                       | ± 5 mm                | ± 3 mm           |
| Comprimento (C)                   |                       |                  |
| Altura (H)                        |                       |                  |
| Desvio em Relação ao esquadro (D) | ± 3 mm                | ± 3 mm           |
| Planeza das faces                 |                       |                  |

Fonte: Adaptado de NBR 15270-1 (ABNT, 2020).

### 2.3 Mecanismos de ruptura

A dificuldade do desenvolvimento de modelos matemáticos encontrada no comportamento fiel de uma estrutura é consequência da alvenaria ser um elemento formado pela união de componentes heterogêneos. Todavia, devem ser levados em conta os possíveis modos de ruptura devidos à tração, ao cisalhamento, à flexão e aos esforços combinados para que tal modelo seja realista (IZQUIERDO, 2011).

Mendes (1998) diz que a ruptura da unidade de alvenaria, é causada pela iniciação e desenvolvimento de fissuras. Essas, por sua vez são iniciadas quando as tensões de tração são o suficiente para quebrar a adesão interpartícula. A explicação para a formação de fissuras verticais em prismas de alvenaria submetidos à compressão era a diferente taxa de expansão entre a junta flexível e o bloco rígido, gerando tensões de tração lateral no bloco, causando fissuras e levando a falha.

De acordo com Mohamad (2020), o desempenho estrutural de paredes de alvenarias não deve ser analisado sem antes realizar testes com paredes e prismas dos materiais que serão utilizados: unidade, argamassa e o graute.

Segundo o mesmo autor, para melhor análise de resistência à compressão, é fundamental que se observe o modo de ruptura do conjunto alvenaria. Após a análise da envoltória de ruptura da alvenaria, bloco e argamassa, conjunto, concluiu-se que à medida que se aplica uma força de compressão vertical na alvenaria, surgem tensões de compressão na argamassa e de tração nos blocos. A ruptura pode ocorrer na junta de argamassa se esta atingir a resistência à compressão confinada, ou então no bloco quando esse atingir o limite de resistência à tração.

Dessa forma, o modo de ruptura acontece praticamente por esmagamento da argamassa, tração no bloco ou efeito combinado, como mostra a Figura 1. Assim, é fundamental a compatibilização do traço da argamassa e da unidade escolhida no projeto (ATKINSON; NOLAND; ABRAMS, 1985 *apud* MOHAMAD, 2020).

Figura 1 - Tipos de ruptura da alvenaria à compressão.



(a) Fissura no bloco

(b) Esmagamento da Junta

(c) Ruptura do Conjunto

Fonte: Lubeck (2016).

O efeito da argamassa de assentamento no modo de ruptura de alvenaria de blocos cerâmicos vai ser discutido mais profundamente no item 2.4.4.

## 2.4 Argamassa para assentamento

A NBR 13529 (ABNT, 2013) descreve a argamassa como uma mistura única de aglomerantes, agregados e água, contendo ou não adições e aditivos que tenham propriedades de endurecimento e aderência.

A principal função da argamassa é conduzir as tensões verticais através dos elementos e acomodar as deformações características ao processo de execução. O aumento da exigência do meio técnico, quanto ao ritmo, velocidade e organização imposto para produção, tem deixado as argamassas convencionais (produzidas com areia, cimento e cal, *in loco*) em segundo plano pelo contratempo de manuseio e controle das quantidades de cada material. Efetivamente, isso contribuiu para o surgimento de argamassa do tipo industrializadas, onde a composição dos materiais estão prontos, restando apenas adicionar água à mistura (MOHAMAD, 2007).

Segundo Izquierdo (2011), o tipo de assentamento da argamassa dentro do processo de construção pode ser determinante na produção e rendimento da obra. Um dos processos bastante utilizados, é o argamassamento parcial (ou em cordão)

na superfície horizontal, que é capaz de promover uma boa estanqueidade nos blocos, além da agilidade de execução.

As principais propriedades das argamassas de assentamento podem ser divididas em dois grupos: (i) estado fresco, ou seja, trabalhável e deformável plasticamente quando solicitada a pequenas ações; (ii) estado endurecido, no qual já passou-se tempo suficiente para que a argamassa esteja apta a resistir aos esforços mecânicos (CARVALHO, 2003). Tais propriedades são melhores discutidas nos itens a seguir.

#### **2.4.1 Argamassa dosada em obra**

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), a argamassa dosada em obra é uma argamassa simples ou mista, cujos materiais usados são medidos em volume ou massa e misturados no próprio canteiro de obra.

Prudêncio Jr *et al.* (2002) apresentam os tipos de traços e proporções da argamassa de assentamento segundo a norma americana C 270 (ASTM, 2014), para diferentes tipos de usos. Ressalta, ainda, que esses valores servem apenas como indicativo e que, para adotar o traço correto deverá ser feita uma verificação prática para estimar a capacidade real de resistência.

Outras especificações de traços recomendadas por Mohamad (2020), são da normativa britânica BS 5626-1 (1992), que embora substituída pelo Eurocode 6 (BS EN 1996-1-1,2005:2012), apresenta os materiais como referência para ser usados em argamassa de assentamento para alvenaria estrutural, com as mesmas características da norma americana. Essas recomendações de uso da argamassa e traço (em volume) estão expostas na Tabela 3.

Em conformidade com a NBR 16868-1 (ABNT, 2020), as argamassas destinadas ao assentamento devem atender às condições impostas pela NBR 13281 (ABNT, 2005). Para a resistência à compressão, a argamassa de assentamento deve ser limitada a 1,5 vezes a resistência característica especificada para o bloco, a fim de evitar o risco de fissuras. Também a resistência da argamassa deve ser determinada de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005).

Tabela 3 - Traços e propriedades das argamassas para alvenaria estrutural recomendadas pelas normas estrangeiras.

| Tipos de Argamassa   | Norma        | Traço em Volume |          |             | Resistência Média Esperada (MPa) |
|--|--------------|-----------------|----------|-------------|----------------------------------|
|  |              | Cimento         | Cal      | Areia       |                                  |
| De alta resistência à compressão                             | ASTM C 270   | 1               | 0 a 0,25 | 2,25 a 3,75 | 17,2                             |
|  | BS EN 5626-1 | 1               | 0 a 0,25 | 3           | 13,5                             |
| Resistente à compressão e flexão                             | ASTM C 270   | 1               | 0,5      | 3,38 a 4,5  | 12,4                             |
|  | BS EN 5626-1 | 1               | 0,5      | 4 a 4,5     | 5,5                              |
| Uso geral em alvenarias, sem contato direto com solo         | ASTM C 270   | 1               | 1        | 4,5 a 6     | 5,2                              |
|  | BS EN 5626-1 | 1               | 1        | 5 a 6       | 3,05                             |
| Baixa resistência à compressão (edificação até 2 pavimentos) | ASTM C 270   | 1               | 2        | 6,75 a 9    | 2,4                              |
|  | BS EN 5626-1 | 1               | 2        | 8 a 9       | 1,25                             |

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 2.4.2 Requisitos normativos

As argamassas devem atender aos critérios estabelecidos na ABNT NBR 13281 (ABNT, 2005). Os principais requisitos avaliados pelas normas são:

- Resistência à compressão: é determinada de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), e expressa em megapascal (MPa).
- Densidade de massa no estado endurecido: é determinada de acordo com a NBR 13280 (ABNT, 2005), expressa em kg/m<sup>3</sup>, sendo esse resultado, a massa em quilos de um volume de 1,0 m<sup>3</sup> de argamassa.
- Resistência à tração na flexão: é determinada de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), sendo considerada a carga máxima suportada pela argamassa na flexão em MPa.
- Coeficiente de capilaridade: é determinado de acordo com a NBR 15259 (ABNT, 2005).
- Densidade de massa no estado fresco: é determinada de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005), sendo esse resultado, a massa em quilos de um volume de 1,0 m<sup>3</sup> de argamassa fresca.
- Retenção de água: é determinada de acordo com a NBR 13277 (ABNT, 2005), expressa em % (porcentagem), o percentual de água retido após submetido ao aparelho de sucção de estar na faixa de 78 a 100%.

### 2.4.3 Influência nas propriedades da alvenaria

Segundo Sabbatini (1984), as principais funções de uma junta de argamassa aplicado no sistema de alvenaria, são:

- a) Unir as unidades de alvenaria de maneira sólida e ajudá-las a suportar os esforços laterais;
- b) Distribuir a carga na parede uniformemente na área da unidade;
- c) Dispersar as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;
- d) Impedir a penetração de água da chuva pelas juntas.

O autor também complementa, para que as argamassas tenham as condições de atender tais funções, eles devem apresentar as seguintes características:

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

A espessura da junta da argamassa é um fator que influencia diretamente na resistência à compressão das alvenarias (MOHAMAD, 2007). Alguns autores, como Francis *et al.* (1970) *apud* Mohamad (1998), Hamid e Drysdale (1979) analisaram prismas construídos com diferentes blocos, variando as espessuras de junta de

assentamento. Ambas pesquisas chegaram à conclusão que havia uma pequena redução no valor da resistência à compressão dos prismas com o acréscimo da altura na junta de argamassa, sendo 8% de redução para uma junta 15mm, 19% para uma junta de 19mm, e 22% para uma junta de 25mm, todas em relação a uma junta de 10mm.

Nesse contexto, as verificações feitas por Mohamad (1998), resultaram que a diminuição da espessura da junta de 10mm para 7mm, traduziu-se no aumento de 34% da eficiência dos prismas. Além disso, notou-se que, enquanto a argamassa continuava aderente à superfície inferior do bloco após a ruptura total do prisma, notava-se uma perda de aderência na interface superior. Isso, poderia ser explicado pelos deslocamentos horizontais do conjunto bloco-argamassa ser maior na interface superior. Também existe uma maior porosidade na interface superior, devida a fenômenos físicos da argamassa, como a exsudação.

#### **2.4.4 Aditivo incorporador de ar em argamassas de assentamento**

Os aditivos plastificantes usados em argamassas de cimento Portland, geralmente incorporadores de ar, tem como finalidade aumentar a retenção de água e a trabalhabilidade (SABBATINI, 1984). O autor destaca que seu uso no Brasil se limita ao custo quando comparado a argamassa mista de cal e cimento, sendo que ambas possuem propriedades semelhantes, e ressalta a importância dos cuidados nas dosagens dos aditivos no qual acarretaria consequências adversas.

Algumas dúvidas sobre a diferença dos aditivos na argamassa para o desempenho do conjunto bloco-prisma ainda são discutidas, principalmente quando os estudos são realizados com argamassas industrializadas. Diversos autores, como Casali e Prudêncio Jr (2009), Jeziorski (2018), Casali *et al.* (2003), Vieira (2019), não descrevem sobre os componentes das argamassas utilizados em seus ensaios. Isso deve-se ao fato de que os componentes não são informados pelas empresas fabricantes dos produtos, o que levanta o questionamento da influência destes nos resultados.

Gava *et al.* (2015) avaliaram a influência do aditivo incorporador de ar nas propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas de assentamento dosada

em obra (cimento, cal, areia), alterando seu teor de aditivo incorporador de ar entre 0% e 0,5% (com variação de 0,1%). Os valores adotados em seus estudos são apresentados na Tabela 4. Como resultado, foi possível verificar que teores maiores de 0,2% de aditivo não contribuem para melhorias nas propriedades das argamassas investigadas. Este teor representa bom resultado quanto a resistência à tração na flexão dos prismas. Porém, não apresenta vantagem na capacidade de retenção de água das argamassas e também não, resistência à compressão.

Tabela 4 - Resultados no estado endurecido das argamassas, conforme Gava et al. (2015).

| Traço   | Aditivo (%)* | Resistência à compressão (MPa) | Resistência à tração na flexão (MPa) |
|---------|--------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1:1:6   | 0            | 1,96                           | 0,42                                 |
|         | 0,1          | 2,1                            | 0,55                                 |
|         | 0,2          | 1,09                           | 0,74                                 |
|         | 0,3          | 0,9                            | 0,47                                 |
|         | 0,4          | 0,9                            | 0,59                                 |
|         | 0,5          | 1,28                           | 0,57                                 |
| 1:0,5:6 | 0            | 2,38                           | 0,89                                 |
|         | 0,1          | 1,86                           | 0,87                                 |
|         | 0,2          | 1,56                           | 0,9                                  |
|         | 0,3          | 1,92                           | 0,79                                 |
|         | 0,4          | 1,28                           | 0,65                                 |
|         | 0,5          | 1,02                           | 0,57                                 |

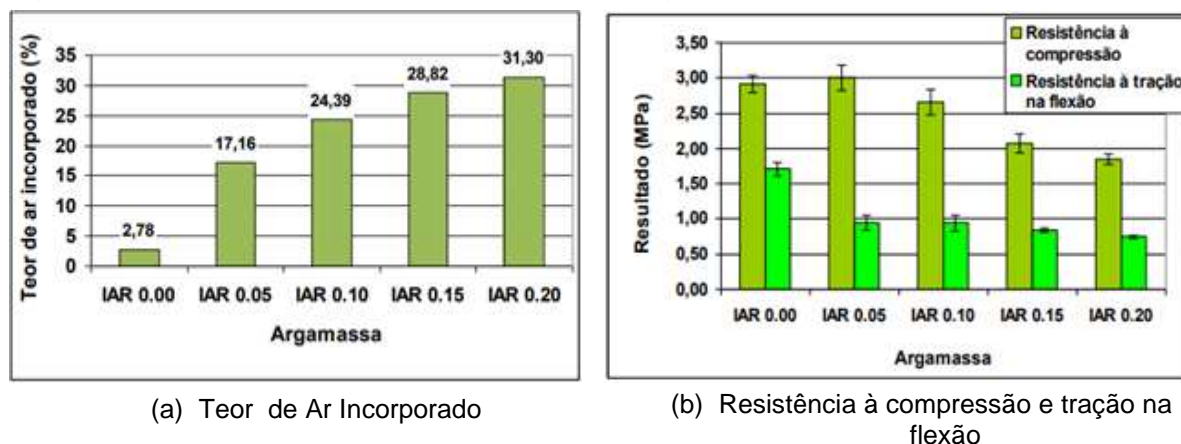
\*para índice de consistência fixo em 245±5 mm

Fonte: Adaptado de Gava *et al.* (2015).

Silva *et al.* (2009) estudaram os efeitos da incorporação de ar em algumas propriedades da argamassa. Foram produzidas cinco argamassas com traço 1:4 (cimento: areia), em volume, utilizando aditivo incorporador de ar em pó com teores entre 0% e 0,20% (com variação de 0,05%). Os resultados mostraram que a incorporação de ar pela adição de aditivo proporcionou aumento da trabalhabilidade no estado fresco (Figura 2a). Porém as resistências à compressão, à tração na flexão (Figura 2b) e de aderência à tração (Figura 2c), bem como o módulo de elasticidade dinâmico diminuíram com o aumento dos teores de aditivo incorporador de ar.

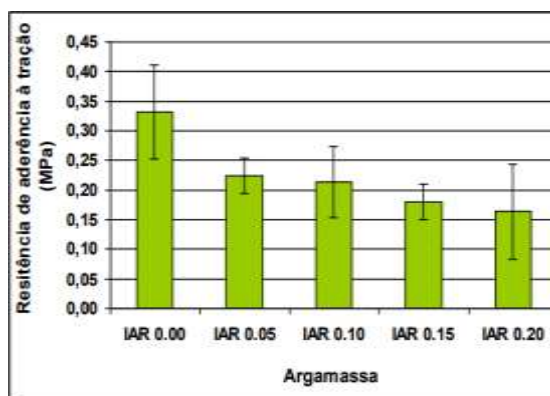


Figura 2 – Efeitos do incorporador de ar em argamassas de cimento e areia.



(a) Teor de Ar Incorporado

(b) Resistência à compressão e tração na flexão



(c) Resistência de aderência à tração

Fonte: Silva *et al.* (2009).

Diante do estudo de Casali e Prudêncio Jr (2009) avaliou-se o comportamento do conjunto (bloco e argamassa) empregando argamassas industrializadas aditivadas. Foram obtidas 3 argamassas de mesma composição, porém proporções distintas não informadas pelo fabricante, com retentor de água e incorporador de ar. A argamassa T, que havia apresentado metade da resistência à compressão da argamassa A e M, foi de melhor desempenho quando analisada em conjunto com o prisma, conforme é visto na Tabela 5. Com os resultados obtidos no estado endurecido, foi possível observar que é importante não se basear na caracterização isolada da argamassa, pois não há correlação quando avaliada em conjunto com o bloco utilizado.

Tabela 5 - Resistência à compressão e tração nos ensaios.

| Argamassa | Procedimento de mistura recomendada pelo fabricante           | Teor de água utilizado (%)** | Resistência à compressão média (MPa) |                   |        | Resistência de aderência na flexão média (MPa) |
|-----------|---|------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------|--|
|           |   |                              | Argamassa                            | Bloco de concreto | Prisma |  |
| T         | 30 s v1* + 60 s de raspagem + 30 s v1* de raspagem + 30 s v1* | 16                           | 5,5                                  | 8,37              | 7,15   | 0,23   |
| A         | 30 s v1*  | 14,5                         | 10,76                                | 8,79              | 6,68   | 0,15   |
| M         | 30 s v1*  | 14,8                         | 10,36                                | 8,84              | 7,04   | 0,22   |

\* Velocidade baixa (1) da argamassadeira

\*\* Relação entre água/materiais secos

Fonte: Adaptado de Casali e Prudêncio Jr (2009).

De modo semelhante, Casali *et al.* (2003) avaliou três argamassas (de mesma proporção) com aditivo incorporador de ar no desempenho de assentamento de alvenaria de bloco de concreto. Para cada uma, por meio da variação do tempo de mistura, houve acréscimo de incorporação de ar com distintos teores. Como desfecho, mostrou-se que com o aumento deste teor, houve uma diminuição no fator de eficiência, diminuição no módulo de elasticidade dos prismas e também no módulo de elasticidade da junta de assentamento. Porém, não foi constatado uma grande variação de resistência à compressão e do módulo de elasticidade da argamassa, em relação às diferenças entre os teores de ar incorporado. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos nesses ensaios.

Tabela 6 - Propriedades das argamassas aditivadas e com diferentes teores de ar.

| Argamassa*                              |           | 1        | 2        | 3        |
|---|-----------|----------|----------|----------|
| Teor de ar incorporado pela mistura (%) |           | 15,22    | 17,61    | 20,53    |
| Tempo de Mistura na Betoneira *         |           | 1,50 min | 2,42 min | 5,25 min |
| Resistência à compressão (MPa)          | Argamassa | 6,78     | 6,88     | 6,84     |
|   | Bloco     | 7,48     | 7,48     | 7,48     |
|   | Prisma    | 5,58     | 5,17     | 4,76     |
| Fator de eficiência ***                 |           | 0,75     | 0,69     | 0,64     |
| Módulo de Elasticidade (GPa)            | Argamassa | 5,99     | 6,09     | 7,4      |
|   | Prisma    | 23,99    | 18,7     | 10,63    |
|   | Junta     | 6,82     | 1,48     | 1,72     |

\* proporção de mistura não informada pelo fabricante

\*\*sem contar o tempo de raspagem do misturador (1 min)

\*\*\* relação entre a resistência do prisma e do bloco

Fonte: Adaptado de Casali (2003).

Utilizando uma argamassa de areia e cimento Portland CEM I 42,5R (alta resistência), a fim de observar os riscos causados pela possibilidade de adicionar mais aditivo do que os recomendados, a partir de erro humano ou de equipamento, Topcu *et al.* (2017), investigaram o efeito de alta dosagem de aditivo incorporador de ar. As dosagens ótimas indicadas pelo fabricante do aditivo estavam na faixa entre 0,06% a 0,2%. Para tanto, no ensaio utilizaram-se dosagens extras, com argamassas contendo de 0% a 2% (variação de 0,5%) de aditivo e relação a/c de 0,5. Como era esperado, o uso em alta dosagem promoveu a perda de propriedades físicas e mecânicas (Tabela 7). Por esse motivo, conclui-se que deve haver muito cuidado no controle de dosagem deste material.

Tabela 7. Pesquisa realizada com quantidades altas de aditivo.

| Propriedade                     | Argamassa de referência, sem aditivo | Avaliação dos ensaios com aditivos  |
|---------------------------------|--------------------------------------|---|
| Consistência                    | 12 cm ( <i>flow table</i> )          | Na faixa ótima* (0,1%) houve aumento de 34% comparada a referência. Teor de aditivo acima de 1% não há aumento considerável.  |
| Teor de ar incorporado          | 3%                                   | Na faixa ótima o teor de ar aumenta em 2 vezes a referência. Para 0,5% de teor de aditivo o acréscimo é de 4 vezes. Acima disso não há aumento considerável                                 |
| Resistência à flexão            | 12,7 MPa                             | Para o teor ótimo a resistência diminui em 49% em relação a referência. Para dosagem de 1% a resistência diminui em 78%, dosagens acima desse valor a perda de resistência é próxima a 80%. |
| Resistência à compressão (28 d) | 42,59 MPa                            | Para dosagem ótima com 0,1%, a resistência tem decréscimo de 49% quando comparada a referência. Quando o aditivo é elevado a 0,5% a resistência diminui para 26% a argamassa sem aditivo.   |

\* Dosagem indicada pelo fabricante do aditivo

Fonte: Elaborada pelo autor.

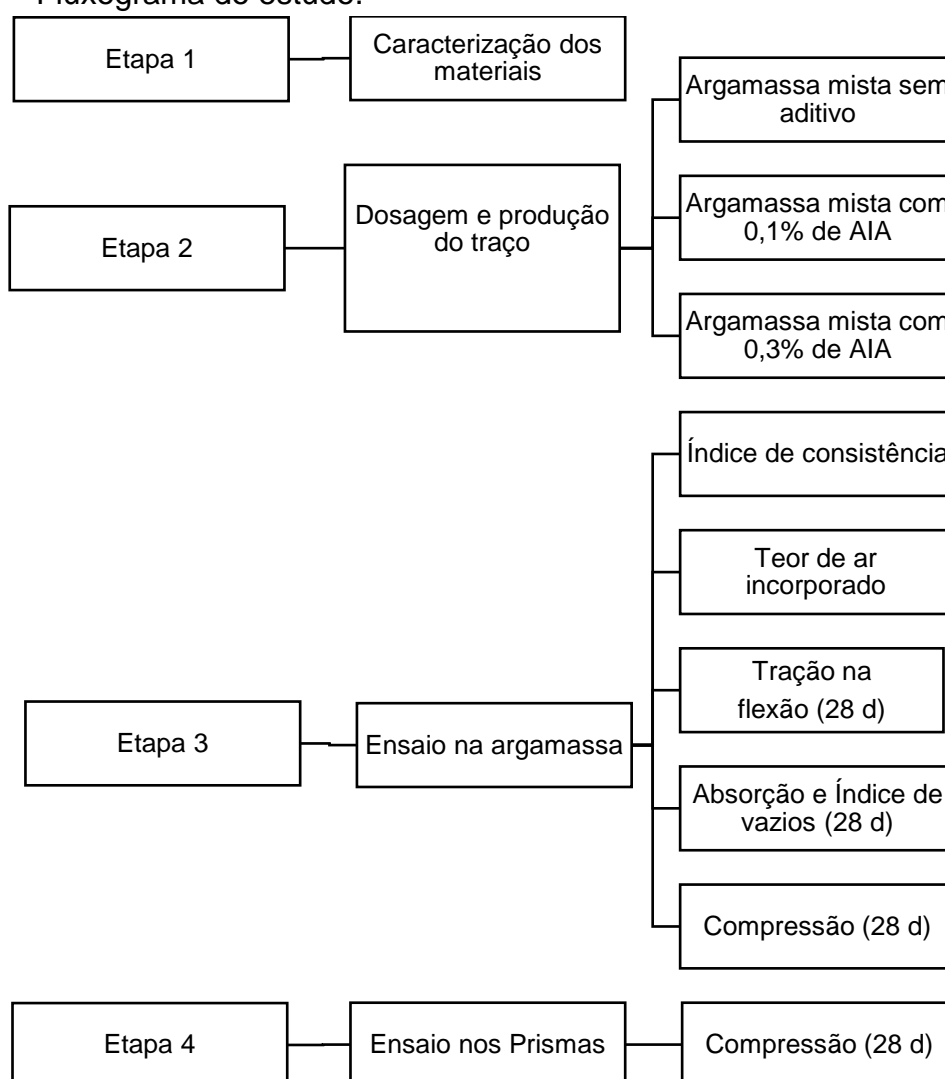
Para Soares e Leggerini (2010), uma consideração importante a ser feita é que o valor da resistência e trabalhabilidade das argamassas são variadas conforme o tipo de misturador e o tempo de mistura aplicado. Quanto mais eficiente for o misturador mais rapidamente se atingirá a homogeneidade da mistura e maior será a velocidade de incorporação do ar, fazendo com que haja uma queda na resistência mecânica. Portanto é de extrema importância as informações sobre a umidade da mistura e o

tempo de amassamento em função do tipo de misturador adotado para evitar problemas quanto à resistência da argamassa.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentado as características dos materiais que serão empregados, bem como os procedimentos dos ensaios realizados, a fim de avaliar o desempenho de cada argamassa de assentamento e do conjunto argamassa-bloco (prisma). A Figura 3 apresenta um fluxograma das etapas que serão conduzidas a seguir.

Figura 3 – Fluxograma do estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.1 Materiais para produção das argamassas

Na produção da argamassa foi utilizado cimento Portland do tipo IV – resistência nominal de 32 MPa, cal hidratada do tipo CH II, areia fina proveniente do Rio Ibicuí na cidade de Manoel Viana, água do sistema de abastecimento público de Alegrete, e aditivo incorporador de ar da marca Gethal. Os ensaios de caracterização dos materiais secos estão descritos na Tabela 8.

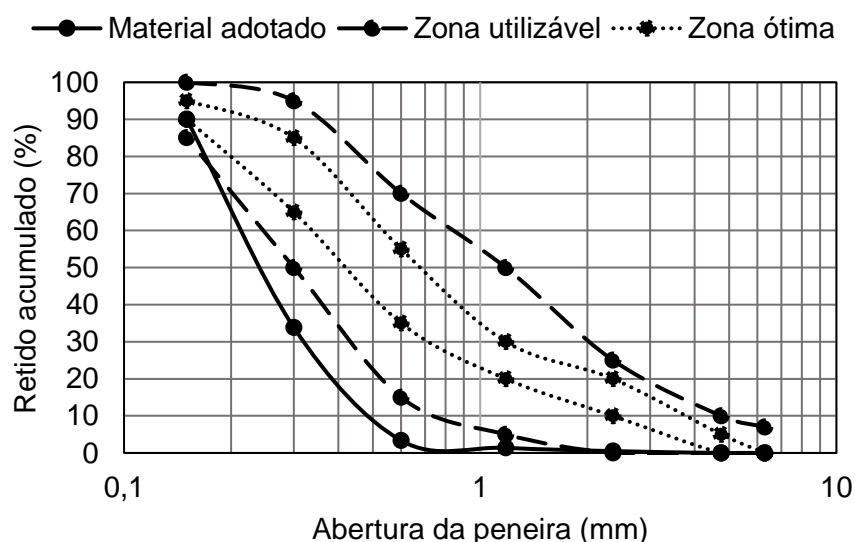
Tabela 8 - Caracterização física do material seco.

| Ensaio                          | Norma                   |
|---------------------------------|-------------------------|
| Granulometria do agregado miúdo | NBR NM 248 (ABNT, 2003) |
| Módulo de finura                | NBR NM 248 (ABNT, 2003) |
| Massa unitária da areia         | NBR 16972 (ABNT, 2021)  |
| Massa unitária da cal           | NBR 16972 (ABNT, 2021)  |
| Massa unitária do cimento       | NBR 16972 (ABNT, 2021)  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através do ensaio de granulometria do agregado miúdo, realizado de acordo com a NBR NM 248 (2003), foi possível obter a porcentagem média retida em cada peneira, a curva granulométrica obtida pode ser visualizada na Figura 4. A dimensão máxima característica do agregado é de 0,6 mm e o módulo de finura é 1,29.

Figura 4 – Curva granulométrica da areia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante da Figura 4, constata-se que a areia utilizada está inserida fora dos limites estabelecidos pela norma, porém esta vem sendo utilizada em várias obras na cidade de Alegrete e é a mais comumente utilizada em estudos, em sua grande parte apresentando essa característica.

O ensaio de massa unitária foi realizado tanto para a areia, como para o cimento e a cal hidratada. Conforme especifica a NBR 16972 (2021), a massa unitária do agregado corresponde a relação entre a massa do agregado lançado num recipiente, especificado na norma, e o volume deste recipiente.

Para a realização deste ensaio, foi seguido os procedimentos adotados no estado solto (Método C). Os valores de massa unitária dos materiais estão expostos na Tabela 9, e algumas das etapas do ensaio de massa unitária estão ilustradas na Figura 5.

Tabela 9 – Massa unitária dos materiais.

| Material | Massa Unitária no Estado Solto kg/m <sup>3</sup> |
|----------|--|
| Areia    | 1560,82  |
| Cimento  | 865,29   |
| Cal      | 625,51   |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 – Ensaio de massa unitária no estado solto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 Caracterização dos blocos

Foram selecionados 18 blocos cerâmicos para a utilização no ensaio de prisma. Durante a inspeção visual foi verificado que estes não apresentavam quebras, irregularidades ou deformações que afetassem seu uso. Os blocos utilizados são do mesmo lote utilizado por Brandolff (2019). Os valores dos ensaios, por sua vez, foram retirados a partir de caracterizações realizados em seu estudo, a partir dos procedimentos descritos na NBR 15270-2 (ABNT, 2017).

A caracterização geométrica foi feita em 13 blocos analisadas em relação as tolerâncias admitidas pelas normas, as medidas de largura, altura e comprimento foram realizados com o auxílio de um paquímetro de precisão 0,01 mm. A Tabela 10 apresenta as médias dos valores do ensaio de caracterização geometria dos blocos utilizados.

Tabela 10 – Caracterização geométrica dos blocos cerâmicos.

| Bloco          | Largura mm | Altura mm | Comprimento mm | Septos      |             | Desvio Esq. mm | Flecha mm | Área Bruta mm <sup>2</sup> |
|----------------|------------|-----------|----------------|-------------|-------------|----------------|-----------|----------------------------|
|                |            |           |                | Externos mm | Internos mm |                |           |                            |
| Média          | 141,67     | 193,17    | 291,63         | 9,52        | 8,43        | 0,51           | 0,41      | 41316,2                    |
| Desv.          | 0,213      | 0,528     | 0,229          | 0,197       | 0,285       | 0,276          | 0,338     | 60,168                     |
| Coef. Variação | 0,15%      | 0,27%     | 0,08%          | 2,07%       | 3,38%       | 54,53%         | 82,34%    | 0,15%                      |
| Tolerância     | 140±3      | 190±3     | 290±3          | 9±0,3       | 8±0,3       | 0±3            | 0±3       | 40600                      |

Fonte: Adaptado de Brandolff (2019).

Em geral, as dimensões dos blocos e espessuras mínimas dos septos apresentaram-se dentro dos valores admitidos pela a norma. Já a Tabela 11, apresenta as médias dos valores do ensaio de caracterização física dos blocos utilizados, como a massa seca, índice de absorção de água inicial (AA), índice de absorção de água inicial (AAI) e a massa específica, todos eles obedecendo os limites normativos.



Tabela 11 – Características físicas do bloco cerâmico.

| Bloco          | Massa seca g | AA %   | AAI g/193,55cm./min | Massa Específica g/cm <sup>3</sup> |
|----------------|--------------|--------|---------------------|------------------------------------|
| Média          | 6140,6       | 10,090 | 30,110              | 0,770                              |
| Desv. Pad      | 23,125       | 0,444  | 3,975               | 0,002                              |
| Coef. Variação | 0,38%        | 4,40%  | 13,20%              | 0,31%                              |

Fonte: Adaptado de Brandolff (2019).

Para o ensaio de resistência à compressão dos blocos, estes foram capeados com argamassa com traço 1:1 (cimento CP-V e areia) na espessura de até 3mm, posteriormente submetidos a carga aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar. A Tabela 12, por sua vez, apresenta as médias dos valores dos ensaio de caracterização mecânica dos blocos que foram utilizados.

Tabela 12 – Resistência média à compressão dos blocos cerâmicos.

| Bloco          | Carga KN | Tensão de Ruptura MPa |              |
|----------------|----------|-----------------------|--------------|
|                |          | Área Bruta            | Área Líquida |
| Média          | 439,74   | 10,83                 | 27,13        |
| Desv. Pad.     | 43,53    | 1,07                  | 3,41         |
| Coef. Variação | 9,89%    | 9,89%                 | 12,57%       |

Fonte: Adaptado de Brandolff (2019).

### 3.3 Métodos

Foram utilizadas argamassas do tipo: (i) mista dosada em obra sem aditivo; (ii) mista dosada em obra com 0,1% de aditivo incorporador de ar; (iii) mista dosada em obra com 0,3% aditivo incorporador de ar.

Para a realização dos estudos, foram feitos ensaios nas argamassas e em prismas de 2 blocos, assentados com cada tipo de argamassa, utilizando blocos estruturais cerâmicos com parede vazada e resistência nominal de 7 MPa. As especificações e descrições de como foram realizados os ensaios, são demonstradas nos itens a seguir.

### 3.4 Especificação do traço e confecção das argamassas

As argamassas terão um traço fixo de 1:0,5:4,5 (em volume), recomendado pela norma BS EN 5628-1 (1992), que resultaria em uma argamassa com resistência próxima a recomendada na Tabela 1 (item 2.2). Nesse estudo, foram utilizados traços com e sem aditivo incorporador de ar. A relação de água/aglomerante (a/a) foi obtida através do ensaio de consistência da argamassa, fixado em 230 mm ( $\pm$  10 mm), em conformidade com a norma americana ASTM C 270 (2014). A porcentagem de aditivo incorporador de ar foi de 0,1% e 0,3 %, pois a partir de testes realizados previamente, foi possível chegar aos teores de ar incorporado na mistura fresca, compatíveis as pesquisas de Silva *et al.* (2009) e Gava *et al.* (2015). As proporções de mistura e aditivos encontram-se descritas na Tabela 13 e a quantidade de material na Tabela 14.

Para a confecção das argamassas foi utilizada argamassadeira orbital de 5 litros, misturando primeiro o material seco (cimento, cal e areia) e colocando toda a argamassa anidra na cuba do misturador. Logo após, acionou-se o misturador na velocidade baixa e adicionou-se 75% da água de mistura à argamassa nos 10 s iniciais, misturando até completar o tempo de 30 s, desde o acionamento do misturador. A partir disso, mudou-se para velocidade alta e misturou-se por mais 60 s. Posteriormente, parou-se o misturador, foi feita a retirada da pá de mistura e raspagem da superfície interna e da pá. Após efetuar esta tarefa, recolocou-se a pá em um intervalo de 90 s (tempo de repouso). Novamente o misturador foi acionado, na velocidade baixa, e quando utilizado, diluído a quantidade de aditivo no restante da água (25 %), e adicionando-a em 10 s, continuando a mistura até completar 60 s. Tais prescrições são recomendadas pela NBR 16541 (ABNT, 2016). Já o procedimento de uso de aditivo foi adotado com base em Casali (2008), também descrito na NBR 13276 (2005) para argamassas dosadas em obra à base de cimento com adições ou aditivos.

Após a realização dos testes no estado fresco, foram confeccionados 6 corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm) e 3 corpos de prova cilíndricos (5 cm de diâmetro x 10 cm de altura) para cada tipo de argamassa. Os corpos de prova foram desformados após 24 horas e mantidos em cura submersa por 28 dias até a data de realização dos ensaios. Os corpos de prova prismáticos utilizados para os de

compressão e tração na flexão, e os corpos de prova cilíndricos destinados ao ensaio de absorção e índice de vazios.

Tabela 13 - Resumo dos materiais da argamassa.

| Abreviações | Tipos de Argamassa         | Incorporador de Ar (%) * | Traço em volume |     |       | Traço em massa |      |       |
|-------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|-----|-------|----------------|------|-------|
|             |                            |                          | Cimento         | Cal | Areia | Cimento        | Cal  | Areia |
| IA00        | Dosada em obra sem aditivo | 0                        | 1               | 0,5 | 4,5   | 1              | 0,36 | 8,12  |
| IA01        | Dosada em obra com aditivo | 0,1                      | 1               | 0,5 | 4,5   | 1              | 0,36 | 8,12  |
| IA03        | Dosada em obra com aditivo | 0,3                      | 1               | 0,5 | 4,5   | 1              | 0,36 | 8,12  |

\* em termos de massa dos aglomerantes

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 14 - Quantidade de material utilizado nas misturas.

| Argamassa | Quantidade de Material |         |           |                      |                        |
|-----------|------------------------|---------|-----------|----------------------|------------------------|
|           | Cimento (g)            | Cal (g) | Areia (g) | Materiais secos (g)* | Incorporador de Ar (g) |
| IA00      | 264,0                  | 95,5    | 2141,5    | 2501,0               | 0,0                    |
| IA01      | 264,0                  | 95,5    | 2141,5    | 2501,0               | 0,4                    |
| IA03      | 264,0                  | 95,5    | 2141,5    | 2501,0               | 1,1                    |

\* quantidade total para preparação na argamassadeira de 5 litros

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.5 Confeção de prismas

Foram confeccionados os corpos de prova com a utilização de prisma oco, constituídos de 2 blocos cerâmicos sobrepostos, limpos e isentos de defeito, com preenchimento total dos septos com argamassa, resultando em uma junta de 10 mm. A moldagem dos prismas ocorreu conforme NBR 16868-1 (ABNT, 2020). Ao todo foram confeccionados 9 prismas, sendo 3 para cada tipo de argamassa.

Para início, um dos blocos foi colocado sobre a base plana, limpa e indeformável. Após, a argamassa utilizada foi disposta sobre toda a face do bloco, e em seguida assentado o segundo bloco. Com o auxílio de martelo de borracha, nível, e prumo, colocou-se o bloco em sua posição final resultando assim em uma junta com 10 mm.

As faces do prisma em contato com a prensa foram regularizadas por capeamento, igual ou inferior a 3 mm, utilizando argamassa de cimento CP V e areia

no traço 1:1. Após a construção, conforme se pode ver na Figura 6, os prismas foram mantidos imóveis durante 28 dias.

Figura 6 – Confeção dos primas de 2 blocos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.6 Ensaaios

Os testes descritos a seguir foram realizados no laboratório de Estruturas e Materiais de Construção (LEMAC) do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Alegrete - RS, de acordo com as normas vigentes.

#### 3.6.1 Ensaio de consistência da argamassa e teor de ar incorporado

Seguindo a NBR 13276 (ABNT 2016), deve-se encher o molde troncônico com a argamassa, colocando-o no centro da mesa para índice de consistência. A argamassa foi colocada no molde em três camadas sucessivas, e aplicou-se em cada uma delas, quinze, dez e cinco golpes, respectivamente, com um soquete. Logo após, foi feito o rasamento da argamassa. A partir disso, retirou-se o molde troncônico e acionou-se a manivela da mesa para índice de consistência, de modo que a mesa suba e caía 30 vezes em 30 s de maneira uniforme. Imediatamente, foi feita a medição em 3 pontos com o paquímetro, o diâmetro de espalhamento da argamassa. Por fim,

registrado as três medidas e calculado a média, para obter tal índice de consistência. A Figura 7 mostra a etapa de verificação da consistência.

Figura 7 – Ensaio do índice de consistência.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a obtenção do teor de ar incorporado de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005), foi introduzido porções de argamassa no recipiente cilíndrico (de volume e massa conhecido), formando três camadas, sendo aplicado 20 golpes ao longo do perímetro da argamassa com espátula na posição vertical. Após a execução e golpeamento de cada camada, efetuar três quedas do recipiente com altura aproximada de 3 cm, a fim de eliminar os vazios entre a argamassa e a parede do recipiente. Após, pesar e registrar a massa do molde com a argamassa ( $m_c$ ). A densidade de massa ( $D$ ) em  $\text{kg/m}^3$  foi determinada através da Equação 1:

$$D = 1000 \times \frac{M_c \times M_v}{V_r} \quad (1)$$

Onde:

$D$  = Densidade de massa em gramas por centímetros cúbicos ( $\text{g/cm}^3$ );

$M_c$  = Massa do recipiente cilíndrico com a argamassa, em gramas (g);

$M_v$  = Massa do recipiente cilíndrico vazio em gramas (g);

$V_r$  = Volume do recipiente cilíndrico em centímetros cúbicos ( $\text{cm}^3$ ).

A partir da determinação da densidade de massa, foi possível calcular o teor de ar incorporado das argamassas (em porcentagem), através da Equação 2:

$$A = 100 \times \left(1 - \frac{D}{D_t}\right) \quad (2)$$

Onde:

$A$  = teor de ar incorporado na argamassa expresso em (%);

$D$  = Densidade de massa obtida em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$D_t$  = Densidade de massa teórica da argamassa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Para argamassas dosadas e preparadas em obra, a densidade de massa teórica deve ser calculada pela Equação 3:

$$D_t = \frac{M_i}{\left(\frac{M_i}{\gamma_i}\right)} \quad (3)$$

Onde:

$D_t$  = Densidade de massa teórica da argamassa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$M_i$  = Massa seca de cada componente da argamassa, incluindo a massa de água em gramas (g);

$\gamma_i$  = densidade de massa de cada componente da argamassa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.6.2 Absorção total de água e Índice de vazios

A norma NBR 9778 (ABNT, 2005) prescreve o ensaio para determinação de absorção de água do índice de vazios pelo processo de imersão e fervura, da argamassa endurecida. Conforme mencionado, foram moldados três corpos de provas (150 cm<sup>3</sup>) para cada um dos traços, sendo o ensaio realizado aos 28 dias.

Após o período de 72h na estufa a aproximadamente 105°C, e aguardado esfriamento a temperatura ambiente foi determinada a massa da amostra seca. Em seguida os corpos de provas foram imersos totalmente em água e deixado por mais 72h nessa condição. Completada a etapa de saturação os materiais foram levados a ebulição por um período de 5h, e posteriormente a diminuição a temperatura ambiente.

Por fim, foi registrado a massa de cada material com o auxílio de balança hidrostática. Logo, sucedida a retirada da amostra submersa, foi retirado o excesso d'água com um pano úmido, e o corpo de prova pesado na balança. O resultado é a média de cada uma das determinações realizadas para cada corpo de prova. A Figura 8 a seguir, apresenta este ensaio. A absorção (A), em porcentagem, foi determinada pela Equação 4. O índice de vazios (Iv), foi calculado em porcentagem, pela Equação 5.

$$A = \frac{msat - ms}{ms} \times 100 \quad (4)$$

$$Iv = \frac{msat - ms}{ms - mi} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

msat = É a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura;

ms = É a massa da amostra seca em estufa.

mi = É a amostra da massa saturada imersa em água após fervura.

Figura 8 - Etapas do ensaio de absorção e índices de vazios.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.6.3 Ensaio de tração na flexão e compressão em argamassa

Os ensaios de resistência à tração na flexão e compressão, foram realizados através das recomendações da norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Para isso, foram moldados 9 corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm) para os ensaios mecânicos. Os ensaios foram realizados aos 28 dias.

Para determinação da resistência à tração na flexão, primeiramente, os corpos de prova foram posicionados nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio (Figura 9), de modo que a face rasada não fique em contato com os dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga. Logo, aplica-se uma carga de  $(50 \pm 10)$  N/s até a ruptura do corpo de prova.

Figura 9 – Ensaio de tração na flexão da argamassa.



Fonte: Elaborado pelo autor.



A resistência à tração na flexão é a média das resistências dos 3 corpos de prova, calculada segundo a Equação 6:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3} \quad (6)$$

Onde:

$R_f$  = Resistência à tração na flexão, em megapascal;

$F_f$  = Carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

$L$  = Distância entre os suportes, em milímetros;

Adiante, para obter a resistência à compressão, conforme descrição da NBR 13279 (ABNT, 2005), fez-se o uso das metades dos corpos de prova ensaiados à tração na flexão. Nesse caso, aplicou-se uma carga de  $(500 \pm 50)$  N/s até a ruptura dos corpos de prova, conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10 – Ensaio de compressão da argamassa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A resistência à compressão é a média das resistências dos 6 corpos de prova, calculada segundo a Equação 7:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (7)$$

Onde:

$R_c$  = Resistência à compressão, em megapascal;

$F_c$  = Carga máxima aplicada, em newtons;

1600 = Área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm, em milímetros quadrados.

### 3.6.4 Ensaio de resistência à compressão em prismas

Foram realizados ensaios de conforme a recomendação da NBR 16868-3 (ABNT, 2020) . O ensaio seguiu os seguintes procedimentos: a carga foi aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego na alvenaria. O centro de gravidade do prisma foi colocado no eixo de carga dos pratos da prensa, como mostrado na Figura 11.

Para a medição do deslocamento longitudinal durante a aplicação de carga, e dos módulos de elasticidade, foram utilizados 2 LVDTs com curso de 50mm e sensibilidade de 0,001 mm, fixados 1 em cada uma das faces dos prismas.

Figura 11 – Ensaio de compressão dos prismas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados com as argamassas e os prismas de 2 blocos.

### 4.1 Ensaio nas argamassas

Nesta seção serão apresentados os resultados dos ensaio de argamassa no estado fresco (itens 4.1.1 e 4.1.2) e endurecido (itens 4.1.3 a 4.1.4), bem como a análise dos resultados de seus respectivos ensaios.

#### 4.1.1 Consistência da argamassa

Como determinado no capítulo anterior, as argamassas tiveram sua consistência fixada em  $230 \pm 10$  mm. Sendo assim, foi variado a quantidade de água em cada mistura de modo a obter tal característica. A Tabela 15 apresenta as três medidas (médias) das consistências para as amostras analisadas pelo ensaio *flow table*, bem como a quantidade de materiais usadas em cada amostra.

Tabela 15 – Consistência média das argamassas.

| Argamassa | Aditivo (%)* | Água (g)** | Relação a/a | Consistência média (mm) |
|-----------|--------------|------------|-------------|-------------------------|
| IA00      | 0,0          | 390,0      | 1,09        | 224,0                   |
| IA01      | 0,1          | 290,0      | 0,81        | 238,0                   |
| IA03      | 0,3          | 270,0      | 0,75        | 222,0                   |

\*em relação a massa de aglomerante (cimento e cal)

\*\*para índice de consistência fixo em  $230 \pm 10$  mm

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar que houve uma diminuição de 25,64% na quantidade de água de amassamento conforme aumentou-se a quantidade de aditivo de 0,0 a 0,1%, e de pouco mais de 6,8% entre as argamassas de aditivo 0,1% e 0,3%. Neste ensaio ficou observado que se mantido a mesma quantidade de água da argamassa de referência, ao acrescentar aditivo, o espalhamento do material na mesa ultrapassava a medida fixada. Além disso, o material aumentava de volume, criando um aspecto

espumoso. O comportamento do material com aditivo era esperado, uma vez que o aditivo incorporador de ar proporciona uma maior fluidez na mistura.

A argamassa IA01, apesar de ficar dentro da medida fixada, apresentou um espalhamento maior do que as demais argamassas. Percebe-se que nesse caso, poderia ser reduzida ainda mais a quantidade de água na mistura.

#### 4.1.2 Teor de ar incorporado

A partir do ensaio realizado, foi possível avaliar a variação da quantidade de ar incorporado. Na Tabela 16, pode-se observar os resultados do ensaio de teor de ar incorporado no estado fresco. Foram calculadas as densidades de massa ( $D_m$ ) considerando o número de vazios, a densidade de massa teórica ( $D_t$ ) desconsiderando os vazios, e o teor de ar incorporado.

Tabela 16 – Teor de ar incorporado nas amostras.

| Argamassa | $D_m$ g/cm <sup>3</sup> | $D_t$ g/cm <sup>3</sup> | Teor de ar incorporado (%) |
|-----------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| IA00      | 2,02                    | 2,19                    | 7,44                       |
| IA01      | 1,58                    | 2,28                    | 30,58                      |
| IA03      | 1,46                    | 2,30                    | 36,58                      |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Desta forma, através do resultado de teor de ar incorporado, foi possível observar uma variação entre a argamassa de referência se comparada a argamassa com 0,1% de aditivo, no qual houve aumento de 23,14% de teor de ar incorporado na mistura. Essa diferença passa a ser menos acentuada com o acréscimo do teor de ativo na argamassa seguinte, cujo aumento é de apenas 6% em relação à argamassa com 0,1% de aditivo.

Nota-se que o aumento de porcentagem de aditivo aumentou o teor de ar incorporado na argamassa. Para a argamassa IA00, o teor de ar incorporado teve menos que 1% de diferença do estudo realizado por Machado (2019) e 5% a mais que estudo de Silva *et al.* (2009). Já para o exemplar IA01, foi obtido o dobro de teor se comparado ao primeiro autor, e novamente, 5% a mais para o segundo autor. A argamassa IA03 teve valor próximo as pesquisas de Gava *et al.* (2015) e Souza *et al.*

(2019), onde o teor encontrado teve uma variação de quase 5% em comparação ao resultado obtido.

#### 4.1.3 Absorção total de água e Índice de vazios

O ensaio de absorção de água por imersão é o processo que faz com que a água tenda a se conduzir entre os poros permeáveis, preenchendo os espaços vazios e tornando a amostra saturada com água. O índice de vazios condiz com a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume do corpo de prova. Já a massa específica se refere à massa do material, seu volume e sua porosidade.

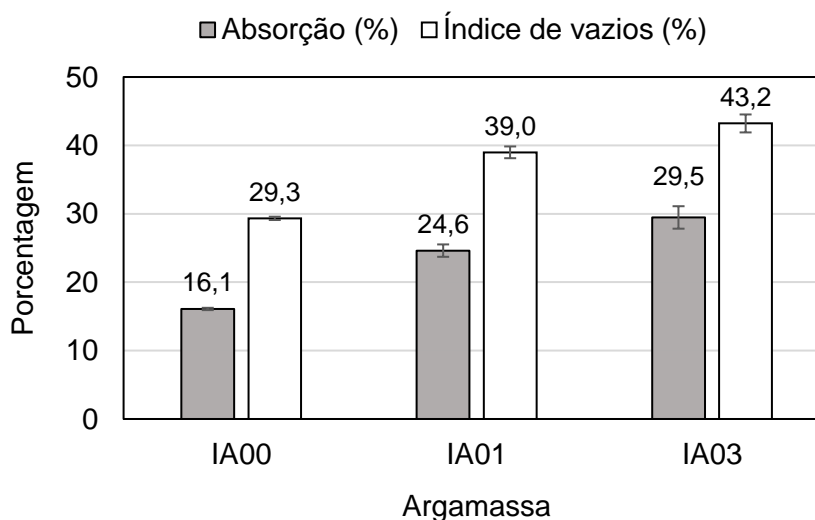
A Tabela 17 contém os valores dos resultados obtidos, utilizando a média de 3 corpos de prova cilíndricos para cada tipo de argamassas estudadas. A Figura 12 mostra os resultados das médias aferidos pelos índices da NBR 9778 (ABNT 2005).

Tabela 17 – Resultados médios da absorção de água e índice de vazios.

| Corpos de Prova | Absorção  |                   |                            | Índice de vazios |                   |                            |
|-----------------|-----------|-------------------|----------------------------|------------------|-------------------|----------------------------|
|                 | Média (%) | Desvio Padrão MPa | Coefficiente de Variação % | Média (%)        | Desvio Padrão MPa | Coefficiente de Variação % |
| IA00            | 16,1      | 0,168             | 1,04                       | 29,3             | 0,242             | 0,82                       |
| IA01            | 24,6      | 0,908             | 3,69                       | 39,0             | 0,859             | 2,20                       |
| IA03            | 29,5      | 1,640             | 5,57                       | 43,2             | 1,312             | 3,04                       |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 – Resultado médios do ensaio de absorção e índice.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Figura 12, observa-se que os índices de vazios e absorção de água aumentam, à medida em que a quantidade de aditivo aumenta. É possível correlacionar os valores de índice de vazios e o teor de ar incorporado para as argamassas com aditivo, com alterações na faixa  $5 \pm 1\%$ , entretanto, as relações com a argamassa sem aditivo, as diferenças nessas propriedades foram maiores.

A argamassa sem aditivo foi a que apresentou menor porosidade em sua massa, conferindo 29,3% de índice de vazios, e indicando 16,1% de absorção de água. Entre a argamassas avaliadas, a argamassa IA03 foi a que apresentou o índice de vazios mais alto, tendo 43,2% e absorção de água de 29,5%.

Em comparação com Da silva *et al.* (2009) e Gava *et al.* (2015) esses valores estiveram próximos para a absorção e índice de vazios, com diferença na em 2% para a argamassa IA00, e para o índice de vazios da argamassa IA01, já para a absorção nessa segunda argamassa a diferença foi de 4% . Em relação à argamassa IA03, os valores de índice de vazios e absorção total da água divergiram em até 3% comparando os resultados aos de Gava *et al.* (2015).

#### 4.1.4 Resistência à tração na flexão e compressão das argamassas

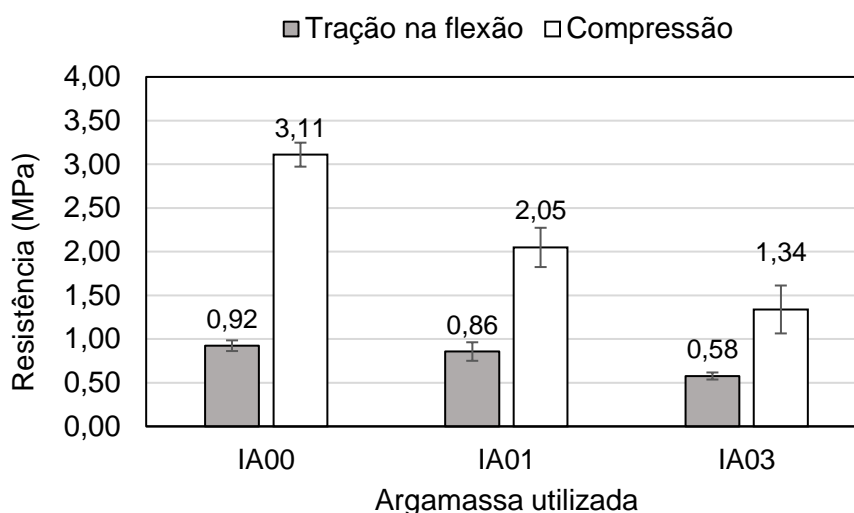
Para o ensaio de resistência à tração na flexão foram moldados no total 3 corpos de prova. Logo, para o ensaio de compressão, obtêm-se 6 resultados para cada argamassa, pois estes são oriundos das metades dos corpos de prova do ensaio anteriormente citado. Os valores médios destes 2 ensaios constam na Tabela 18. A Figura 13 apresenta as diferenças entre os valores médios de resistência à tração na flexão e compressão, para cada tipo de argamassa utilizada.

Tabela 18 – Resistências médias à tração na flexão e compressão das argamassas.

| Argamassa | Resistência à tração na flexão |                   |                            | Resistência à compressão axial |                   |                            |
|-----------|--------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------|
|           | Tensão de Ruptura Média MPa    | Desvio Padrão MPa | Coefficiente de Variação % | Tensão de Ruptura Média MPa    | Desvio Padrão MPa | Coefficiente de Variação % |
| IA00      | 0,92                           | 0,06              | 6,62                       | 3,11                           | 0,14              | 4,41                       |
| IA01      | 0,86                           | 0,11              | 12,37                      | 2,05                           | 0,22              | 10,97                      |
| IA03      | 0,58                           | 0,04              | 7,01                       | 1,34                           | 0,27              | 20,49                      |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 – Comparativo das médias de resistência de tração na flexão e compressão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se através da Figura 13, um pequeno decréscimo da resistência à tração na flexão, de 7,22% entre a argamassa IA00 e IA01, onde as margens de dispersão dos dados mostram que essa diminuição é quase irrelevante. Já a maior a variação da resistência é de 37,55% entre a argamassa IA00 e IA03. Por fim, a variação de resistência entre a argamassa IA01 e IA03 é de 32,68%. Os resultados obtidos condizem com os obtidos por Silva (2009), no qual não houve melhoria nesta propriedade. Por outro lado, para Gava *et al.* (2015) e Machado (2019), teores de ar incorporado de 0,1% promoveram melhoria nesta propriedade.

Analisando a resistência à compressão, a menor variação da resistência é entre a argamassa IA00 e IA01, de 34,14%. Já a maior a variação da resistência é de 56,97% entre a argamassa IA00 e IA03. Por fim, a variação de resistência entre a argamassa IA01 e IA03 é de 34,66%. Estas propriedade também sofrem decréscimo nos trabalhos de Silva *et al.* (2009), Gava *et al.* (2015), Machado (2019).

O aumento do teor de aditivo incorporador de ar nas argamassas causou uma redução nas propriedades mecânicas, sendo que essa redução é maior quando observado os resultados do ensaio de compressão axial. Segundo Mohamad *et al.* (2009), outro fator que pode influenciar na resistência a compressão da argamassa é a relação água/aglomerante, onde houve redução desta relação nas amostras ensaiadas conforme item 4.1.1 deste trabalho.

## 4.2 Ensaio nos prismas

Aos 28 dias, foram determinadas a resistência à compressão axial e o módulo de deformação de cada uma das amostras estudada. Na Tabela 19, estão os valores obtidos no ensaio dos prisma para cada tipo de argamassa. Na Figura 14, está representado a tensão de ruptura média dos prismas.

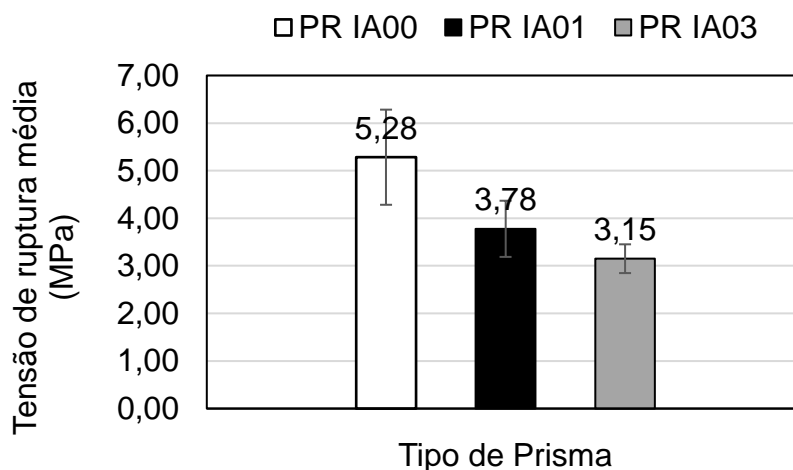
Tabela 19 – Valores do ensaio de resistência à compressão dos prismas.

|                           | Prisma (PR)               | Carga de Ruptura (KN) | Tensão de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidade (MPa) | Deformação de Ruptura ‰ |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| IA00                      | P1-00                     | 163,90                | 4,04                    | 1424                         | 2,75                    |
|                           | P2-00                     | 224,72                | 5,53                    | 1963,5                       | 3,76                    |
|                           | P3-00                     | 254,84                | 6,28                    | 2530,74                      | 3,4                     |
|                           | Média                     | 214,48                | 5,28                    | 1972,75                      | 3,30                    |
|                           | Desvio Padrão             | 46,32                 | 1,14                    | 553,43                       | 0,51                    |
|                           | Coeficiente de Variação % | 21,60                 |                         | 28,05                        | 15,50                   |
|                           | IA01                      | P4-01                 | 164,91                  | 4,06                         | 2241,56                 |
| P5-01                     |                           | 169,43                | 4,17                    | 2883,84                      | 2,23                    |
| P6-01                     |                           | 125,84                | 3,10                    | 3057,77                      | 1,71                    |
| Média                     |                           | 153,39                | 3,78                    | 2727,72                      | 1,99                    |
| Desvio Padrão             |                           | 23,97                 | 0,59                    | 429,92                       | 0,26                    |
| Coeficiente de Variação % |                           | 15,63                 |                         | 15,76                        | 13,17                   |
| IA03                      |                           | P7-03                 | 120,93                  | 2,98                         | 2192,696                |
|                           | P8-03                     | 142,06                | 3,50                    | 1920                         | 2,91                    |
|                           | P9-03                     | 120,67                | 2,97                    | 1472                         | 3,04                    |
|                           | Média                     | 127,89                | 3,15                    | 1861,57                      | 2,82                    |
|                           | Desvio Padrão             | 12,28                 | 0,30                    | 363,88                       | 0,28                    |
|                           | Coeficiente de Variação % | 9,60                  |                         | 19,55                        | 10,01                   |

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 14 – Tensão de ruptura média dos prismas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

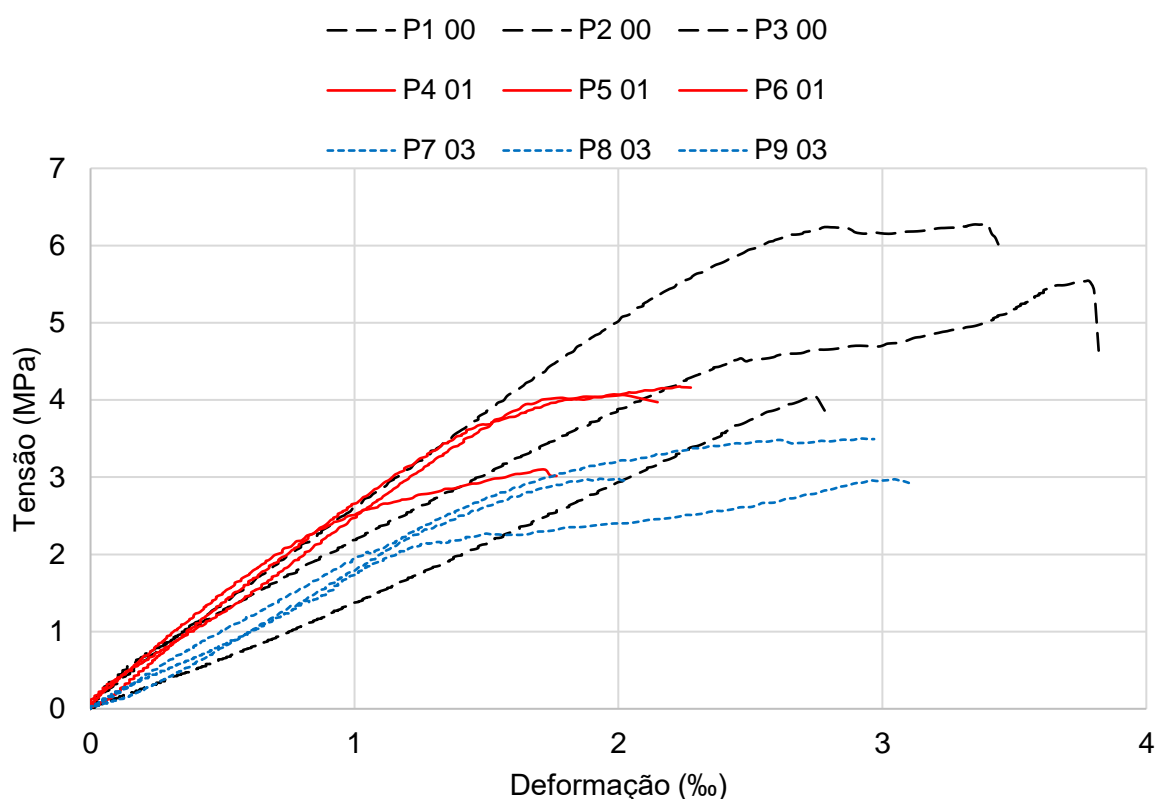
A média da tensão de ruptura foi de 5,28 MPa entre as amostras sem aditivo, e a carga de 214,48 KN aplicada pela prensa, com coeficiente de variação de 21,60% desses valores. A tensão de ruptura foi de 3,78 MPa entre as amostras com adição de 0,1% do incorporador de ar, sendo a carga aplicada pela prensa de 153,39 KN, com coeficiente de variação de 15,63%. A diferença entre as resistências dos prismas com argamassa IA00 e IA01 não foi tão acentuada, visto que a dispersão dos dados apresenta que esses valores estão muito próximos uns aos outros. Já para a amostra com maior concentração de aditivo, teve a menor resistência em comparação com as outras argamassas, com a tensão de ruptura resultante de 3,15 MPa, sendo a carga aplicada pela prensa de 127,89 KN, com coeficiente de variação de 9,60%.

A partir dos dados dos deslocamentos medidos com os LVDTs, foi possível traçar a curva tensão versus deformação (Figura 15), de onde foi observado a capacidade de deformação dos materiais, também foi possível verificar o módulo de elasticidade tangente inicial ( $E_{ci}$ ). Este módulo foi calculado pela relação entre a variação de tensão e deformação em 30% da tensão de ruptura e 0,5 MPa, com suas respectivas deformações.

Segundo Brandolff (2019) quanto mais resistente for a argamassa, mais rígida é a argamassa da junta, e mais alto é o módulo de elasticidade. Da mesma maneira, Casali *et al.* (2003) também relaciona este comportamento ao menor teor de ar

incorporado no estado fresco. Entretanto, o prisma que apresentou o valor intermediário de resistência a compressão (Argamassa IA01), foi o que teve o maior módulo de elasticidade. Diante disso, não foi possível avaliar o que ocasionou a diferença de comportamento entre os valores encontrados para o módulo de elasticidade, se isso foi causado pelo teor da amostra, que pode ter garantido um ganho de rigidez, comparado ao conjunto sem aditivo.

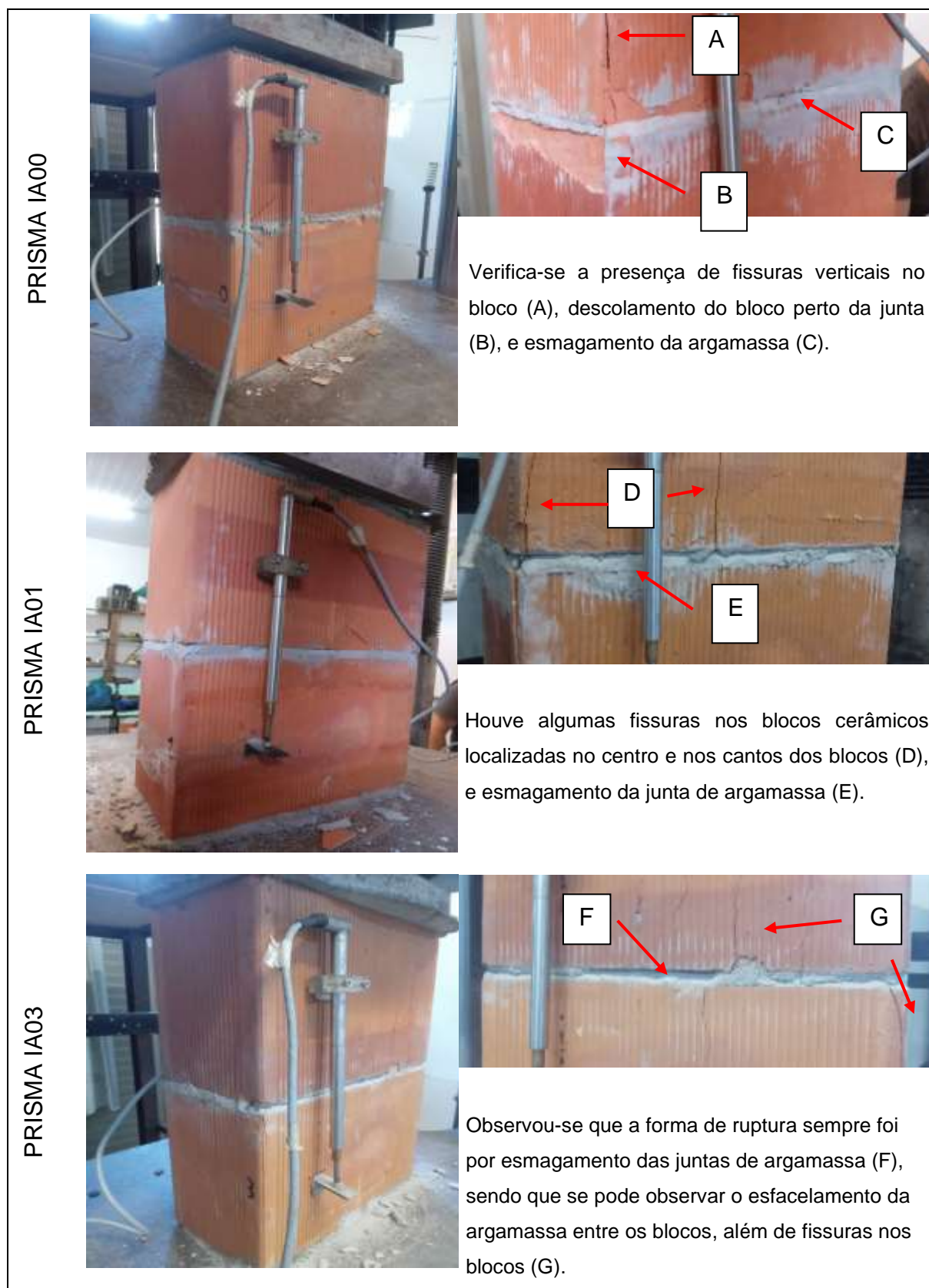
Figura 15 - Curva tensão *versus* deformação dos prismas ensaiados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que as ruptura dos prismas com argamassas aditivadas ocorreram de forma mais dúctil do que os conjuntos sem aditivo, pois percebe-se uma deformação plástica mais característica para os prismas IA01 e, principalmente, para os prismas IA03. Já os prisma IA00 romperam sem aviso, mostrando um comportamento mais elástico, com apenas dois corpos de prova apresentado pequenos intervalos de deformações plásticas. Perante as curvas, podemos perceber que quanto mais fraca a argamassa do prisma, mais dúctil é sua ruptura. Como visto no item 2.3, a falha ou ruptura do prisma depende da resistência dos elementos argamassa e bloco. A Figura 16 mostra em detalhes a forma de ruptura dos prismas ensaiados.

Figura 16 – Modo de Ruptura dos prismas argamassados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

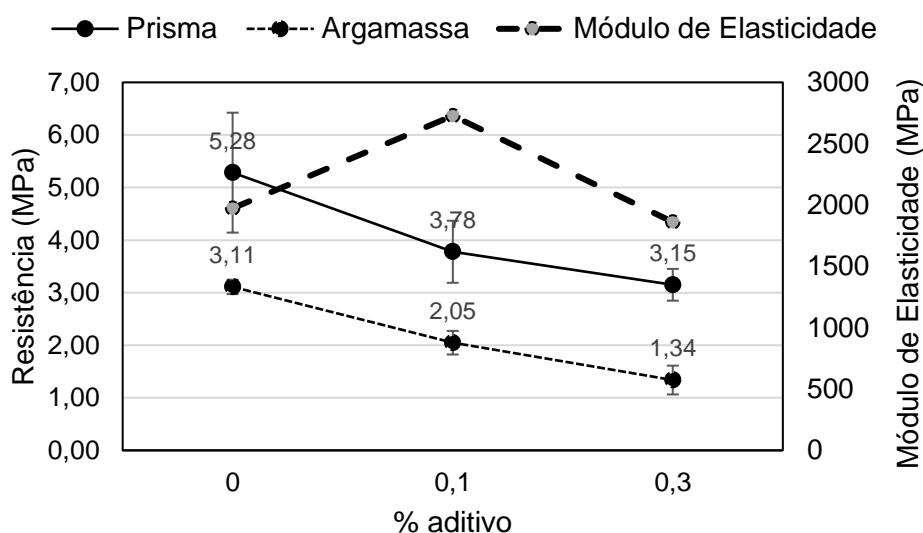
Por fim, a Tabela 20 mostra o resumo dos valores de resistência à compressão média das argamassas, dos blocos cerâmicos e dos prismas. Além disso, são apresentados o fator de eficiência e o módulo de elasticidade do prisma. Observa-se que houve diminuição da resistência à compressão dos blocos de modo que houve também diminuição de resistência da argamassa. É possível verificar também que a tensões de ruptura dos prismas, foi maior que a tensão de ruptura dos corpos de prova de argamassa devido ao fenômeno de confinamento, que é responsável por incrementar uma resistência ao conjunto.

Tabela 20 – Síntese das propriedades dos materiais utilizados no estudo.

| Argamassa | Resistência a tração na flexão (MPa) | Resistência à compressão média (MPa) |       |        | Fator de Eficiência | Módulo de Elasticidade (MPa) |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|--------|---------------------|------------------------------|
|           |                                      | Argamassa                            | Bloco | Prisma |                     |                              |
| IA00      | 0,92                                 | 3,11                                 | 10,83 | 5,28   | 0,49                | 1972,75                      |
| IA01      | 0,86                                 | 2,05                                 | 10,83 | 3,78   | 0,35                | 2727,72                      |
| IA03      | 0,58                                 | 1,34                                 | 10,83 | 3,15   | 0,29                | 1861,57                      |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 – Relação entre as resistências médias à compressão das argamassas e prismas, e módulo de elasticidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que com incremento do aditivo nas argamassa, há uma diminuição na resistência média das argamassas, ocasionando o mesma queda na resistência

média dos prismas. Como podemos observar na Figura 17, é possível obter uma correlação entre os valores de resistência à compressão das argamassas, porém este valor não foi proporcional aos valores de resistência à compressão dos prismas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento da argamassa de assentamento com o incremento de aditivo incorporador de ar. Nos ensaios com argamassa foi possível avaliar, no estado fresco, o teor de ar incorporado e, no estado endurecido, a resistência à compressão, tração na flexão, índice vazios e absorção. No conjunto com o bloco cerâmico de alvenaria estrutural foi possível avaliar sua resistência à compressão, deformação e modo de ruptura.

Cabe ressaltar que o aditivo concentrado Gethal adotado nesse estudo, tem como principal ativo uma mistura de surfactantes sintéticos, a variação entre os componentes dos aditivos pode influenciar nos resultados e as comparações com outros estudos citados nesse trabalho.

Verificou-se que é possível reduzir a quantidade da água de amassamento, e que também há melhora na trabalhabilidade da argamassa, com o acréscimo de aditivo. Porém, foi possível observar, que quanto maior quantidade de aditivo usada, mais difícil fica o processo de assentamento do bloco.

A absorção de água na argamassa mostrou-se diretamente proporcional ao teor de aditivos. Assim, quanto maior o teor de aditivo maior também é o índice de vazios.

Quando avaliada a influência do aditivo incorporador de ar no estado endurecido das argamassas, houve queda na resistência das argamassas à compressão com o acréscimo de teor de aditivo. Em relação a resistência à tração na flexão os resultados obtidos mostram uma pequena variação para as amostras IA00 e IA01. O mesmo ocorreu quando foi feita a análise de resistência à compressão dos prismas, utilizando as respectivas argamassas. A argamassa IA03, foi a que apresentou o pior desempenho em todas essas análises, sendo seus valores desproporcionais as outras argamassas e prisma.

Quanto ao modo de ruptura dos prismas, foi analisado que argamassas mais rígidas antes de falharem por esmagamento da junta, transmitem esforços ao bloco provocando fissuras. A ruptura das argamassas mais fracas apresenta fissuração lenta pelo fato de possuir maior ductilidade.

Nesse contexto pode-se afirmar que ao acrescentar aditivo incorporador de ar na argamassa de assentamento, foi verificada a melhora das suas propriedades no estado fresco, como a trabalhabilidade da argamassa ao mesmo tempo que uma diminuição das propriedades mecânicas no estado endurecido, principalmente quando utilizada para assentamento de bloco estrutural cerâmico. Essas características devem ser levadas em conta na concepção dos projetos em que forem utilizadas.

### **5.1 Recomendações para trabalho futuros**

- Usar o mesmo aditivo e variar a quantidade em intervalos menores de teores, tais como incrementações de 0,05%.
- Verificar o comportamento das argamassas com a mesma quantidade de aditivos, realizando ensaios de tração na flexão em prisma, ensaio de aderência da argamassa.
- Reproduzir os mesmos ensaios do estudo alterando o traço adotado, ou o tipo de argamassa, como por exemplo utilizando argamassa estabilizada.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868-1**: Alvenaria Estrutural Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação da índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da 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 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005

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

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaio: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.



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

\_\_\_\_\_. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ALVES, N. S. D. **Argamassa de assentamento em blocos de concreto para alvenaria estrutural estudo de desempenho**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

AMERICAN STANDARD TEST METHOD. **C270-14**, Standard Specification for Mortar for Unit, Mas.

BRANDOLFF, A. M. **Análise de ruptura de prismas de alvenaria estrutural através da correlação de imagem digital**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal do Pampa, 2019.

CASALI, J. M. **Estudo da interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

CASALI, J M.; PRUDÊNCIO JR., L R. **Avaliação do comportamento de argamassas aditivadas para o assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia - SBTA. São Paulo, 2009.

CASALI, J M.; WEIDMANN, D F.; ANSELMO JR.,A.; PRUDÊNCIO JR., L R. **Efeito da incorporação de ar nas propriedades de uma argamassa industrializada para assentamento de bloco de concreto para alvenaria estrutural**. V Simpósio Brasileiro de Tecnologia - SBTA. São Paulo, 2003

CARASEK, H. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010.

CARVALHO, J. M. **Desempenho estrutural de prismas de blocos cerâmicos com diferentes formas e dimensões**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

DAFICO, D. A.; ALMEIDA, A. F.; RESENDE, C. G. C. **Estudo da Influência da Composição da argamassa na resistência da alvenaria de blocos cerâmicos**. Cerâmica Industrial. São Carlos, 2009.

GAVA, G. P.; MANCINI, P. S.; SAKAI, H. H. **Influência do aditivo incorporador de ar nas propriedades das argamassas de assentamento**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC. Fortaleza, 2015.

HAMID, A. A.; DRYSDALE, R.G. **Suggested Failure Criteria for Grouted Concrete Masonry Under Axial Compression**. American Concrete Institute Journal, p. 1047-1061. 10 oct 1979.

IZQUIERDO, O. S. **Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.

JEZIORSKI, G. M. Z. **Comparativo entre argamassa estabilizada e argamassa industrializada para assentamento de alvenaria estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2018.

LUBECK, A. **Comportamento mecânico e influência da argamassa no modo de ruptura da alvenaria estrutural**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

MACHADO, B. M. **Influência do aditivo incorporador de ar em argamassas mistas com agregado reciclado de PET**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal do Pampa, 2019.

MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

MOHAMAD, G. **Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão**. Tese de doutorado. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2007.

MOHAMAD, G. **Construções em Alvenaria Estrutural: materiais, projeto e desempenho**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2020.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

PARSEKIAN, G. A. **Apresentação das Normas de Alvenaria Estrutural em Consulta Nacional**. Youtube, 07 abr. 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GCiACbTA4Jc&ab>>. Acesso em: 02 de maio de 2021.

PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 1 ed. Florianópolis: Palloti, 2002.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. 1 ed. São Paulo: Pini, 2011.

SABBATINI, F. H. **Alvenaria Estrutural - Materiais, execução da estrutura de controle tecnológico**: Requisitos e critérios mínimos a serem atendidos para solicitação de financiamento de edifícios em alvenaria estrutural junto à Caixa Econômica Federal. Caixa Econômica Federal, Diretoria de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano. Março 2003.

SABATTINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1984.

SANTOS, C. H. M. **Políticas federais de habitação no Brasil: 1964/1998**. Brasília: IPEA, 1999.

SILVA, N. G. S.; COLODETTI, G.; PICHETTI, D. Z. C. M.; PAUL, P.J. **Efeitos do ar incorporado nas propriedades do estado endurecido em argamassas de cimento e areia**. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON. Curitiba, 2009.

SOARES, S. M. B.; LEGGERINI. **Apostila de Alvenaria Estrutural**. Curso de Graduação. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <[https://www.politecnica.pucrs.br/professores/soares/Topicos\\_Especiais\\_-\\_Alvenaria\\_Estrutural/Alvenaria\\_1\\_NOVA\\_VERSAO.pdf](https://www.politecnica.pucrs.br/professores/soares/Topicos_Especiais_-_Alvenaria_Estrutural/Alvenaria_1_NOVA_VERSAO.pdf)>. Acesso em: 13 jan. de 2021.

SOUZA, L. H. O.; MORAIS, D. M.; AMANCIO, F.A. **Efeito do aditivo incorporador de ar nas propriedades das argamassas de revestimento**. Revista CIATEC – UPF, vol.11 (2), p.p.36-44, 2019

TOPCU, I. B.; Atesin; O.; Uygunoglu, T. **Effect of High Dosage Air-Entraining Admixture Usage on Micro Concrete Properties**. European Journal of Engineering and Natural Sciences - EJENS, Volume 2. Turquia, 2017.

VIEIRA, R. S. **Estudo de argamassas industrializadas para assentamento de alvenaria estrutural de bloco de concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2019.