

FILIFE EMERICK CALDEIRA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA DE  
ASSENTAMENTO NA RIGIDEZ E RESISTÊNCIA DA ALVENARIA  
ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C146a  
2018  
Caldeira, Filipe Emerick, 1985-  
Avaliação da influência das propriedades da argamassa de  
assentamento na rigidez e resistência da alvenaria estrutural /  
Filipe Emerick Caldeira. – Viçosa, MG, 2018.  
xvi, 77 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Fundações (Engenharia). 2. Alvenaria. 3. Argamassa.  
4. Bloco de concreto - Assentamento. 5. Resistência de  
materiais. 6. Elasticidade. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 624.15

FILIFE EMERICK CALDEIRA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA DE  
ASSENTAMENTO NA RIGIDEZ E RESISTÊNCIA DA ALVENARIA  
ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2018.

---

Diôgo Silva de Oliveira

---

Reginaldo Carneiro da Silva

---

José Carlos Lopes Ribeiro  
(Coorientador)

---

Leonardo Gonçalves Pedroti  
(Presidente da Banca)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por mais uma vez ter me direcionado à Viçosa, por estar comigo nos momentos alegres e tristes, mas principalmente, pela Salvação em Cristo Jesus.

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa por mais uma vez possibilitar que eu crescesse como profissional, mas também como ser humano. Ao Departamento de Engenharia Civil e demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pelo legado, aprendizado e exemplo de equipe e profissionalismo.

À Professora Dr<sup>a</sup>. Rita de Cássia Sant’Anna Alvarenga por me orientar mais uma vez. Pelo exemplo de força e paixão pela engenharia.

Aos meus coorientadores Dr. José Carlos Lopes Ribeiro e Dr. Leonardo Gonçalves Pedroti pelo apoio e direcionamento quando necessário. Principalmente ao Professor Dr. Leonardo Gonçalves Pedroti pela orientação mais expressiva na fase final do trabalho.

Agradeço às empresas que participaram comigo dessa pesquisa me cedendo o material necessário para a realização dos ensaios.

Ao laboratório de Materiais de Construção (DEC/UFV) e aos técnicos e laboratoristas pelo auxílio e ensinamento que amigavelmente me prestaram.

Aos amigos e colegas da pós-graduação pelo companheirismo e auxílio. Principalmente Gustavo Nalon e Roseli Oliveira pelo auxílio e conhecimento compartilhado em tantos momentos dessa pesquisa. Também à Isabel Ferreira e Natália Barbosa pelo tempo de estágio.

Aos meus pais Marcos Ronan e Ednéia pelo amor incondicional e incentivo ao crescimento, aprendizado e à fé que sempre me deram. A todos meus familiares pelo carinho que sempre demonstrado. Mas também agradeço aos amigos que são minha família em Viçosa, pelas lágrimas e sorrisos que compartilhamos. Agradeço à Jéssica pelo fôlego, inspiração e força na reta final.

Agradeço à Ultimato e aos amigos de trabalho e também à Igreja Presbiteriana de Viçosa pela compreensão e apoio durante este período de apertos, mas também pelas oportunidades e alegrias que proporcionaram.

Todos vocês, de alguma forma, contribuíram com este estudo e o tornaram possível.

*Àquele que é capaz de fazer infinitamente mais do que tudo o que pedimos ou pensamos, de acordo com o seu poder que atua em nós, a ele seja a glória na igreja e em Cristo Jesus, por todas as gerações, para todo o sempre! Amém!*

*(Efésios 3:20,21)*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xii
RESUMO .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO .....	xvi
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
2. OBJETIVOS .....	5
3. JUSTIFICATIVAS .....	5
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....	7
CAPÍTULO 1 DETERMINAÇÃO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO DE CONCRETO COM RELAÇÃO DE RESISTÊNCIAS ARGAMASSA/BLOCO E CONSISTÊNCIA PRÉ-DEFINIDAS .....	11
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
2.1. Caracterização dos Materiais .....	16
2.2. Propriedades dos Materiais .....	17
2.3. Definição dos traços de argamassa mista .....	19
2.4. Preparação e caracterização das amostras .....	21
2.5. Determinação do desempenho das argamassas .....	22
2.6. Análise estatística .....	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
4. CONCLUSÃO .....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	29
CAPÍTULO 2 INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO E DA ESPESSURA DA JUNTA HORIZONTAL EM PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL .....	34

1. INTRODUÇÃO .....	34
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	39
2.1. Caracterização dos Materiais .....	39
2.1.1. Propriedades dos blocos estruturais .....	39
2.1.2. Propriedades da areia, cimento e cal .....	40
2.1.3. Propriedade das Argamassas .....	41
2.1.3.1. Argamassas mistas .....	41
2.1.3.2. Argamassas industrializadas .....	41
2.1.4. Espessura das juntas de assentamento .....	41
2.2. Modelo experimental .....	42
2.3. Preparação e caracterização das amostras .....	44
2.4. Determinação do desempenho .....	45
2.5. Análise estatística .....	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
3.1. Propriedades das argamassas mistas .....	47
3.2. Propriedades das argamassas industrializadas .....	49
3.3. Propriedade dos prismas .....	49
3.3.1. Avaliação da resistência dos prismas .....	50
3.3.2. Avaliação do módulo de elasticidade dos prismas .....	52
3.3.3. Relação entre resistência e módulo de elasticidade dos prismas .....	54
3.3.4. Modo de ruptura dos prismas .....	56
3.3.5. Eficiência prisma/bloco ( $f_p/f_b$ ) .....	59
4. CONCLUSÃO .....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	67
1. CONCLUSÃO GERAL .....	67
2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	67

APÊNDICE A	Resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade dinâmico e módulo de elasticidade estático das argamassas utilizadas na moldagem dos prismas com blocos estruturais de concreto. ....	68
APÊNDICE B	Resultado dos ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas. ....	73
APÊNDICE C	Critério de Chauvenet. ....	77

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1.1 - (a) Posicionamento do bloco na prensa hidráulica. (b) Montagem do ensaio de módulo de elasticidade dos blocos. (c) detalhe do posicionamento do Clip Gage. .... 17
- Figura 1.2 - Curva Granulométrica da areia..... 18
- Figura 1.3 - Esquema explicativo da nomenclatura adotada para os lotes de argamassa. .... 20
- Figura 1.4 - (a) Mesa de ensaio para determinação do índice de consistência da argamassa. (b) Equipamentos utilizados para a determinação da retenção de água. (c) Amostra montada para determinação da retenção de água da argamassa. .... 23
- Figura 1.5 - Ensaio da argamassa no estado endurecido. (a) Ensaio de tração na flexão. (b) Ensaio de resistência à compressão. (c) Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico. (d) Ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade estático..... 24
- Figura 1.6 - Índice de consistência em função da relação em volume cal/cimento e água/cimento. .... 25
- Figura 1.7 – Crescimento das resistências das argamassas dos 7 aos 28 dias. (a) Resistência à tração. (b) Resistência à compressão..... 26
- Figura 1.8 - Relação da resistência à compressão da argamassa (aos 28 dias) dos corpos de prova prismáticos com os cilíndricos..... 27
- Figura 1.9 - Relação entre resistência à compressão e módulo de elasticidade das argamassas. .... 28
- Figura 1.10 - Relação entre os módulos de elasticidade dinâmico e estático. .... 28

### CAPÍTULO 2

- Figura 2.1 - Curva granulométrica da areia. .... 40
- Figura 2.2 - Esquema explicativo da nomenclatura adotada para os lotes de prisma.42
- Figura 2.3 - Montagem dos prismas: (a) molhagem da superfície do bloco; (b) aplicação da argamassa; (c) posicionamento do bloco superior; (d) ajuste do bloco superior; (e) verificação do prumo e nível; (f) conferência da espessura da junta com gabarito de madeira. .... 44

Figura 2.4 - Equipamentos utilizados para ensaio para determinação do módulo de elasticidade e resistência dos prismas. (a) visão geral dos equipamentos. (b) posicionamento dos transdutores de deslocamento.....	46
Figura 2.5 - Resistência média à compressão dos prismas com blocos B09 e B27...	49
Figura 2.6 – (a) Resistência média geral dos prismas PB09 com a variação das espessuras médias das juntas. (b) Resistência média geral dos prismas PB09 com a variação da resistência média da argamassa. ....	51
Figura 2.7 – (a) Resistência média geral dos prismas PB09 com a variação de $f_a/f_b$ . Linha de tendência geral. (b) Resistência média geral dos prismas PB09 com a variação de $f_a/f_b$ . Linha de tendência para argamassa mista e para argamassa industrializada. ....	52
Figura 2.8 (a) Módulo de elasticidade médio geral dos prismas PB09 com a variação das espessuras das juntas. Linha de tendência geral. (b) Módulo de elasticidade médio dos prismas PB09 com a variação da espessura da junta. Linha de tendência para argamassa mista e para argamassa industrializada.....	53
Figura 2.9 (a) Módulo de elasticidade médio dos prismas PB09 com a variação da resistência da argamassa. Linha de tendência para argamassa mista e para argamassa industrializada. (b) Módulo de elasticidade médio geral dos prismas PB09 com a variação de $f_a/f_b$ . Linha de tendência para argamassa mista e para argamassa industrializada. ....	54
Figura 2.10 - Relação da resistência à compressão ( $f_p$ ) com o módulo de elasticidade dos prismas ( $E_p$ ). ....	55
Figura 2.11 Módulo de elasticidade pela resistência dos prismas. Região normatizada entre as linhas que indicam módulo de elasticidade entre 400 e 1290 $f_p$ . (a) Apenas prismas da série PB09 (b) Prismas das séries BP09 e PB27 .....	55
Figura 2.12 - Ruptura por compressão do prisma PB09-AI2-F3-J15-2. (a) (b) (c) (d) vistas dos quatro cantos do prisma. ....	56
Figura 2.13 - Ruptura por tração do bloco. PB09-AM2-F2-J10-3. (a) (b) (c) (d) vistas dos quatro cantos do prisma.....	57

Figura 2.14 - Ruptura por tração do bloco. PB27-AM3-F1-J10-1: (a) (b) (c) vistas do prisma após rompido. (d) Conformação após ruptura do prisma do bloco inferior do prisma.....	58
Figura 2.15 - Ruptura por compressão do bloco. PB09-AM1-F1-J15-1: (a) fissuras horizontais (b) e ruptura dos blocos. Ruptura por tração do bloco. PB09-AM1-F1-J05-2 (c) com descolamento de lascas (d) e juntas verticais.	59
Figura 2.16 - Eficiência prisma/bloco com a variação da relação $f_a/f_b$ .....	60
Figura 2.17 - Eficiência prisma/bloco com a variação da relação da espessura da junta. ....	60

## **LISTA DE TABELAS**

### **CAPÍTULO 1**

Tabela 1.1 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração dos blocos de concreto. ....	12
Tabela 1.2 - Equações indicadas por normas estrangeiras para cálculo do módulo de elasticidade de blocos de concreto ( $E_b$ ). ....	13
Tabela 1.3 - Dimensões médias dos blocos. ....	17
Tabela 1.4 – Faixas de resistência à compressão desejada para as argamassas. ....	19
Tabela 1.5 - Traços em volume das argamassas com respectivas consistência e resistências à compressão ( $f_{a,p}$ ) e à tração ( $f_{t,a}$ ) . ....	20
Tabela 1.6 - Traços dosados pelo método de Santos, W. (2014): consistência e resistências. ....	21
Tabela 1.7 - Relação entre resistência das argamassas e blocos: identificação dos possíveis lotes de ensaio. ....	24
Tabela 1.8 - Traços ajustados em volume das argamassas e propriedades no estado fresco. ....	25
Tabela 1.9 - Resultados médios dos ensaios dos corpos de prova prismáticos de argamassa. ....	26
Tabela 1.10 - Resultados médios dos ensaios dos corpos de prova cilíndricos de argamassa. ....	27

### **CAPÍTULO 2**

Tabela 2.1 - Resistência à compressão de blocos de concreto, argamassas, prismas e miniparedes em $N/mm^2$ . (Adaptada de Barbosa, 2008). ....	36
Tabela 2.2 - Propriedades dos blocos estruturais de concreto. ....	40
Tabela 2.3 - Definição inicial dos lotes de prismas. ....	43
Tabela 2.4 – Ensaio preliminares dos traços de argamassa. Relação entre resistência das argamassas e blocos. Identificação dos lotes de prisma. ....	47
Tabela 2.5 - Dados dos ensaios das argamassas mistas e industrializadas. ....	48
Tabela 2.6 - Resistência à compressão média dos prismas. ....	50

## **APÊNDICE A**

Tabela A.1- Resultado dos ensaios realizados com as argamassas mistas de montagem dos prismas. Corpos de prova prismáticos 4x4x16 cm.....	68
Tabela A.2- Resultado dos ensaios realizados com as argamassas mistas de montagem dos prismas. Corpos de prova cilíndricos 5x10 cm. ....	70
Tabela A.3 - Resultado dos ensaios realizados com as argamassas industrializada de montagem dos prismas. Corpos de prova prismáticos 4x4x16 cm.....	71
Tabela A.4 - Resultado dos ensaios realizados com as argamassas industrializadas de montagem dos prismas. Corpos de prova cilíndricos 5x10 cm. ....	72

## **APÊNDICE B**

Tabela B.1- Resultado de resistência e módulo de elasticidade dos prismas de alvenaria estrutural. ....	73
---	----

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_b$	área bruta do bloco
$A_l$	área líquida do bloco
$e$	espessura da junta horizontal
$e_m$	espessura média das juntas horizontais
$E_a$	módulo de elasticidade estático da argamassa
$E_{a,d}$	módulo de elasticidade dinâmico da argamassa
$E_b$	módulo de elasticidade do bloco
$E_{bm}$	módulo de elasticidade médio do bloco
$E_p$	módulo de elasticidade do prisma
$E_{p,AI}$	módulo de elasticidade médio dos prismas executados com argamassa industrializada
$E_{p,AM}$	módulo de elasticidade médio dos prismas executados com argamassa mista
$E_{pm}$	módulo de elasticidade médio do prisma
$f_a$	resistência à compressão da argamassa
$f_{a,c}$	resistência à compressão da argamassa / corpo de prova cilíndrico
$f_{a,p}$	resistência à compressão da argamassa / corpo de prova prismático
$f_{am}$	resistência à compressão média da argamassa
$f_b$	resistência à compressão do bloco
$f_{bk}$	resistência à compressão característica do bloco
$f_{bk,est}$	resistência à compressão característico estatístico do bloco
$f_{bm}$	resistência à compressão média do bloco
$f_g$	resistência à compressão do graute
$f_p$	resistência à compressão do prisma
$f_{p,27}$	resistência à compressão média dos prismas de bloco com resistência à compressão média de 27 MPa
$f_{p,9}$	resistência à compressão média dos prismas de bloco com resistência à compressão média de 9 MPa
$f_{p,AI}$	resistência à compressão média dos prismas executados com argamassa industrializada

$f_{p,AM}$ .....	resistência à compressão média dos prismas executados com argamassa mista
$f_{par}$ .....	resistência à compressão da alvenaria (parede)
$f_{par,m}$ .....	resistência à compressão média da alvenaria (parede)
$f_{pk}$ .....	resistência característica à compressão do prisma
$f_{pm}$ .....	resistência à compressão média do prisma
$f_{pp}$ .....	resistência à compressão de pequena parede
$f_{t,a}$ .....	resistência à tração da argamassa
$R^2$ .....	coeficiente de determinação estatístico
$\gamma_b$ .....	massa específica do bloco

## RESUMO

CALDEIRA, Filipe Emerick, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Avaliação da influência das propriedades da argamassa de assentamento na rigidez e resistência da alvenaria estrutural.** Orientadora: Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga. Coorientadores: Leonardo Gonçalves Pedroti e José Carlos Lopes Ribeiro.

A alvenaria estrutural encontra-se consolidada no Brasil, estando alicerçada por normas de projeto. Porém, essas normas ainda apresentam poucos parâmetros no que diz respeito às propriedades das argamassas de assentamento e sua influência nas propriedades da alvenaria e em seu modo de ruptura. Este estudo buscou avaliar a influência da resistência da argamassa de assentamento e da espessura da junta de assentamento na resistência e rigidez de prismas de alvenaria estrutural, constituídos de blocos de concreto de diferentes resistências. Primeiramente, foram estudados traços de argamassa mista que mantivessem o índice de consistência em  $230 \pm 10$  mm e alcançassem resistência à compressão que correspondesse a uma relação de resistência com o bloco de concreto, na área líquida, que representasse três diferentes faixas de resistência, sendo uma para uma relação baixa, menor de 40%, uma para uma relação entre 40% e 70% e uma faixa para uma relação alta, acima de 70%. Também foram utilizadas duas argamassas industrializadas. Com essas argamassas, foram montados prismas de dois blocos com espessuras de junta de assentamento de 5, 10, 15 e 20 mm. Foram realizados ensaios com a argamassa, no estado fresco e endurecido, além da determinação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade dos prismas. Os resultados demonstraram um aumento da resistência dos prismas com o aumento da resistência das argamassas. Para os blocos de resistência convencional, a espessura das juntas teve pequena influência nos resultados de resistência à compressão. Já prismas com blocos de alta resistência apresentaram redução da resistência à compressão com o aumento da espessura da junta. Apesar do exposto, as análises de variância indicaram não haver diferença estatística para a maioria dos lotes em relação à resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas. O módulo de elasticidade dos prismas com argamassa mista apresentou crescimento com o aumento da resistência da argamassa. Com a argamassa industrializada o efeito foi contrário, causando redução do módulo de elasticidade com o aumento da resistência. Os prismas romperam, em sua maioria, por tração ou compressão no bloco.

## **ABSTRACT**

CALDEIRA, Filipe Emerick, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Evaluation of influence of bedding mortar properties on the stiffness and strength of structural masonry.** Advisor: Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga. Co-advisors: Leonardo Gonçalves Pedroti and José Carlos Lopes Ribeiro.

Structural masonry is consolidated in Brazil, being based on structural norms. However, these standards still have few parameters regarding the properties of bedding mortars and their influence on properties of masonry and its mode of rupture. This study sought to evaluate the influence of bedding mortar strength and the thickness of joint in the strength and rigidity of structural masonry prisms, made of concrete blocks of different strengths. Firstly, traces of mixed mortar were studied that maintained the consistency index at  $230 \pm 10$  mm and reached compressive strength corresponding to a resistance relationship with the concrete block, in the liquid area, representing three different resistance ranges. One for a low ratio, less than 40%, one for a ratio between 40% and 70% and a range for a high ratio, above 70%. Two industrialized mortars were also used. With these mortars, two block prisms were assembled with 5, 10, 15 and 20 mm thick joint joining thicknesses. Tests were performed with the mortar, in the fresh and hardened state, besides the determination of the compressive strength and the modulus of elasticity of the prisms. The results demonstrated an increase in the resistance of the prisms with increasing resistance of the mortars. For the conventional strength blocks, the thickness of joints had little influence on the results of compressive strength. Already prisms with blocks of high resistance presented reduction of resistance to compression with the increase of the thickness of joint. Despite the expound, the analysis of variance indicated that there was no statistical difference for most lot in relation to compressive strength and modulus of elasticity of prisms. The modulus of elasticity of prisms with mixed mortar presented growth with the increase of the resistance of mortar. With the industrialized mortar the effect was contrary, causing reduction of the modulus of elasticity with the increase of the resistance. The prisms ruptured, for the most part, by traction or compression in the block.

## ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em quatro tópicos sendo composto por uma introdução geral, dois capítulos em formato de artigo e uma conclusão geral, conforme segue:

- Introdução geral – contém as considerações iniciais necessárias para a contextualização deste trabalho, os objetivos e as justificativas do mesmo.
- Capítulo 1 – *Determinação da argamassa de assentamento de alvenaria estrutural de bloco de concreto com relação de tensões argamassa/bloco e consistência pré-definidas* – tem como objetivo determinar traços de argamassa que atendam aos critérios pré-definidos de trabalhabilidade e resistências para a utilização em assentamento de alvenaria estrutural com bloco de concreto.
- Capítulo 2 – *Influência da resistência da argamassa de assentamento e da espessura da junta horizontal em prismas de bloco de concreto para alvenaria estrutural* – utilização das argamassas encontradas para a avaliação da influência que as propriedades dos componentes e espessura da junta de assentamento tem sobre prismas de blocos estruturais de concreto.
- Conclusões gerais – apresenta as considerações finais sobre o estudo e recomendações para trabalhos futuros.

# INTRODUÇÃO GERAL

## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo Oliveira (2014, p. 25), “[...] verifica-se no Brasil uma quantidade expressiva de edificações executadas em alvenaria estrutural, isso se dá como consequência das vantagens técnicas e econômicas apresentadas por esse sistema construtivo, tais como o alto potencial de racionalização dos materiais, custo competitivo, prazos de execução menores em comparação com outros sistemas construtivos, alta qualidade e bom desempenho”.

“O sistema em alvenaria estrutural se encontra bem difundido no Brasil, já alicerçado através de normas brasileiras de projetos tanto para blocos de concreto, quanto para blocos cerâmicos” (OLIVEIRA, 2015, p. 2). Com as vantagens das detalhadas análises técnicas e procedimentos de dimensionamento, do avanço na ciência dos materiais e do crescente uso de equipamentos e procedimentos mecanizados, ainda existem várias oportunidades a serem exploradas antes de se atingir o completo potencial do sistema (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2014).

Para Fortes, Parsekian e Fonseca. (2014), apesar das vantagens da nova versão da NBR 15961 (2011) partes 1 e 2, ainda existem poucos parâmetros técnicos e conceitos de projeto de alvenaria estrutural disponíveis ao engenheiro estrutural, o que acaba contribuindo para o pouco conhecimento geral sobre o tema. Mohamad *et al.* (2009, p. 842) lembram que ‘as normas não sugerem parâmetros de trabalhabilidade’ para as diferentes técnicas de assentamento da alvenaria, o que interfere no resultado mecânico das mesmas.

“Sendo a alvenaria o resultado do conjunto formado pela sobreposição de blocos unidos por juntas de argamassa, o comportamento desse material heterogêneo resulta da interação entre as unidades e a argamassa” (LÜBECK, 2016, p.39). O bloco é o componente que mais interfere na resistência da alvenaria. “Em geral, a resistência da parede aumenta à medida que aumenta a resistência do bloco” (OLIVEIRA, 2015, p.24).

Quem tem o papel de solidarizar os blocos, distribuir uniformemente as cargas e absorver deformações naturais da parede é a argamassa de assentamento (IZQUIERDO, 2011; RAMALHO e CORRÊA, 2003; BARBOSA, 2004).

“Existem poucas informações sobre as argamassas de assentamento para as alvenarias estruturais de forma a caracterizar a relação água/cimento (a/c), a geometria da amostra (cubos ou cilindros), os índices de vazios e o módulo de elasticidade” (MOHAMAD *et al.*, 2009, p. 825)

Oliveira (2015), ao estudar alvenaria estrutural cerâmica, observou uma interferência das propriedades da argamassa e da junta de assentamento na resistência dos prismas ensaiados. O ganho de resistência da argamassa gerou um ganho de resistência dos prismas, mesmo que significativamente diferentes, enquanto que o aumento da espessura da junta gerou redução da resistência do prisma. Lima (2010), Aly e Sabbatini (1994), Medeiros e Sabbatini (1993) e Mendes (1998) encontraram resultados semelhantes.

Medeiros e Sabbatini (1993), em seu estudo sobre alvenaria com blocos de concreto, categorizaram os fatores que interferem na resistência à compressão da alvenaria estrutural para facilitar o estudo destes. A mesma categorização foi aplicada aos fatores que interferem nas propriedades dos prismas nesse estudo.

### **1.1. Fatores de produção dos componentes**

A heterogeneidade dos componentes da alvenaria estrutural são consequência das propriedades dos materiais que os compõem, além de pequenos defeitos, como fendas e vazios (BARBOSA, 2008; FONSECA, 2002; OLIVEIRA, 2014). O uso de materiais de qualidade e a boa utilização dos mesmos garante a produção de blocos, argamassas e grautes que atendam às necessidades do projeto.

Para a produção de blocos, deve ser observado o controle da graduação, proporção e limpeza dos agregados, as quantidades de água e cimento, tempo de mistura, vibração, prensagem, condições de cura e estocagem. Somente considerando todos estes parâmetros, os fabricantes possuem condições de produzir componentes de desempenho adequado com qualidade assegurada (MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

“Em relação às argamassas, pode-se dizer que, de maneira geral, suas propriedades variam com a proporção dos materiais constituintes e processos produtivos adotados” (MEDEIROS e SABBATINI, 1993, p. 13). As argamassas podem ser produzidas por mistura mecânica ou manual dos materiais constituintes. “A alvenaria estrutural, por ser um processo construtivo racionalizado e exigir argamassa

de características constantes, não admite o emprego da mistura manual” (SABBATINI, 1986, p.11).

As argamassas industrializadas são alternativas à necessidade de garantir uniformidade entre argamassas por apresentar boa homogeneidade (RECENA, 2007).

### **1.2. Fatores de execução: influência de execução e da mão de obra**

A forma com que o assentamento é realizado tem sua parcela de contribuição, positiva ou negativa, nas propriedades finais das alvenarias. O tempo de uso das argamassas após a mistura é um exemplo. Estudos realizados por Schankoski, Prudêncio Jr. e Pilar (2015) apontam perda acentuada de trabalhabilidade após quarenta minutos da mistura. A NBR 15961-2 (2011) orienta a produção de um volume de argamassa para o consumo em um prazo máximo de 2h30min, tempo superior ao apontado como período de perda acentuada de trabalhabilidade.

Outro exemplo muito encontrado em obras é a falta de controle com relação a espessura das juntas de assentamento. Ao justificar sua pesquisa, Oliveira (2015) relata a verificação de um painel de alvenaria em uma obra onde encontrou espessuras de juntas que variaram de 8 a 25 mm.

É responsabilidade da mão de obra o proporcionamento e mistura das argamassas, execução adequada das juntas, prumo, alinhamento e nível das paredes, dentre outras atividades (MEDEIROS e SABBATINI, 1993). Garantir a padronização das técnicas utilizadas e a boa execução delas é garantir uma melhor eficiência da alvenaria. O treinamento e a especialização da mão de obra empregada na construção de paredes de alvenaria devem ser vistos como uma etapa comum na construção (NARAYANAN ,1990 *apud* MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

Em contrapartida, é responsabilidade do projetista comunicar satisfatoriamente os detalhes construtivos através do projeto executivo (FERNANDES *et al.*, 2016; RAZENTE, 2004).

### **1.3. Fatores de determinação: características e procedimentos de ensaio**

Determinar as propriedades dos componentes da alvenaria e da própria alvenaria é de suma importância. Para tanto existem as normas que balizam e padronizam a realização desses ensaios. A NBR 6136 (2014) e a NBR 12118 (2013) dão os requisitos e métodos de ensaios para os blocos de concreto. A NBR 13281

(2005), NBR 13279 (2005) e a NBR 13277 (2005) são exemplos de normas que dão requisitos e métodos de ensaios para as argamassas.

Entretanto, alguns assuntos merecem maior atenção das normas. O módulo de elasticidade dos blocos de concreto, por exemplo, é um ponto importante a se considerar. Pesquisadores o determinam de formas diferentes, dificultando a comparação dos resultados (LÜBECK, 2016; JUSTE, 2001; FONSECA, 2002).

Outro exemplo é o estado de confinamento da argamassa quando nas juntas de assentamento, que causa comportamento diferente do encontrado na realização de ensaios com corpos de prova prismáticos ou cilíndricos (JUSTE, 2001). Barbosa (2008) realizou ensaios de deformabilidade da argamassa diretamente na junta e encontrou valores de resistência à compressão duas vezes maiores do que a argamassa em corpos de prova não confinados.

#### **1.4. Fatores definidos em projeto**

Os fatores definidos em projeto compreendem as características dos componentes e dos prismas e paredes.

“Dentre as principais propriedades mecânicas do bloco, as que o caracterizam são: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e não muito comum o coeficiente de Poisson” (CASTRO, 2015, p. 9). Os blocos apresentam a maior contribuição na resistência final da alvenaria. “No entanto, o ganho de resistência das paredes não é proporcional ao ganho de resistência da unidade pois, com o aumento de sua resistência, ocorre o aumento na diferença entre as resistências do bloco e da argamassa” (SANTOS, 2016, p. 9).

Dados apresentados por Medeiros e Sabbatini (1993) e Ramalho e Corrêa (2003) indicam fatores de eficiência  $f_{par} / f_b$  entre 25% e 70% para alvenaria de bloco de concreto. Roman, Mutti e Araújo (1999) afirmam que esse fator varia entre 45% e 90%. Já Juste (2001) apresenta dados de eficiência prisma/bloco de 40% para blocos de 22 MPa e 70% para blocos de 10 MPa.

Referências internacionais apresentam fórmulas para o cálculo do módulo de elasticidade dos blocos de concreto ( $E_b$ ), porém os resultados têm se mostrado conservadores em relação às pesquisas realizadas no Brasil (ACI-BUILDING CODE 318, 1990; CEB-FIP MODE CODE, 1990; JUSTE, 2001; MOHAMAD *et al.*, 2011).

“Para o coeficiente de Poisson, é usado como valor de referência 0,20, que é o coeficiente de Poisson do concreto” (CASTRO, 2015, p. 9).

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral desta pesquisa é contribuir para o conhecimento sobre a influência da resistência da argamassa de assentamento e da espessura da junta de assentamento na resistência e rigidez de prismas de alvenaria estrutural, constituídos de blocos de concreto de diferentes resistências.

Os objetivos específicos desse projeto de pesquisa são:

- Produzir argamassas mistas que atendam a relações de resistência argamassa/bloco e consistência pré-definidas;
- Avaliar experimentalmente prismas de blocos de concreto e efetuar comparações, em termos de resistência e rigidez, entre os resultados experimentais obtidos para diferentes níveis de resistências e espessuras das argamassas e de resistências dos blocos de concreto;
- Propor correlações entre as resistências da argamassa de assentamento e dos blocos de concreto com a resistência e o módulo de elasticidade dos prismas de alvenaria estrutural;
- Comparar os comportamentos dos prismas produzidos com argamassas mistas e argamassas industrializadas.
- Comparar os resultados e as equações de correlação obtidos com resultados e modelos teóricos disponíveis na literatura.

## **3. JUSTIFICATIVAS**

Apesar de vários estudos sobre o assunto e da existência de normas brasileiras para projeto, execução e controle de alvenaria estrutural, nas obras ainda são encontradas grandes variações de materiais e processos em um mesmo painel de alvenaria. A variabilidade dos blocos, as diferentes argamassas utilizadas em diferentes fiadas e até mesmo as diferentes espessuras das juntas horizontais são fatores que podem influenciar a resistência final da alvenaria estrutural.

Além disso, no cenário das construções em alvenaria estrutural no Brasil, percebe-se um espaço favorável para a maior utilização de blocos de concreto de alta

resistência devido ao seu bom desempenho estrutural e durabilidade, além da possibilidade de se construir um maior número de pavimentos.

Por meio da caracterização detalhada dos componentes da alvenaria e ensaios de corpos de prova de prismas, será avaliada a resistência final de prismas de blocos de concreto com resistência convencional e de alta resistência, quando a resistência da argamassa e a espessura das juntas horizontais variarem.

Visto isto, a presente análise tem relevância, pois foram analisados materiais regionais que ainda não foram estudados dessa forma antes. Também contribuirá para o melhor entendimento das correlações entre eles, possibilitando um controle mais rigoroso no processo de produção das argamassas e do assentamento dos blocos, de modo a propiciar menor gasto com material e ainda maior segurança da construção.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

ACI-Building Code 318 -Building Code Requirements for Structural Concrete, 1990.

ALY, Vitor Levy Caster; SABBATINI, Fernando Henrique. Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto, submetido a esforços de compressão. Boletim técnico. São Carlos, SP: EPUSP, 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12118 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13277 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13279 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15961-1 - Alvenaria estrutural - Blocos de concreto - Parte 1 - Projeto. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15961-2 - Alvenaria Estrutural - Blocos de concreto - Parte 2 - Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

BARBOSA, Claudius de Sousa. Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte. São Carlos, SP: EPUSP, 2004.

BARBOSA, Claudius de Sousa. Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto, prismas e paredes e suas correlações com as propriedades mecânicas dos materiais constituintes. São Carlos, SP: EPUSP, 2008.

CASTRO, Lucas de Oliveira. Avaliação experimental da interação de paredes de blocos de concreto de alta resistência sob ações verticais. Viçosa, MG: UFV, 2015.

CEB-FIP, MC90. 90. Design of concrete structures. CEB-FIP-Model-Code 1990. London: British Standard Institution, 1993.

FERNANDES, Antônio Vitor Barbosa; ALMEIDA, Edicarlos Soares Fernandes; FILHO, Gilson Santos Andrade. Alvenaria de bloco cerâmico x bloco de concreto. Caderno de graduação - Ciências exatas e tecnológicas, v. 3, n. 2, p. 37-66. Aracajú, SE: UNIT, 2016.

FONSECA, Fábio Braga da. Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição. São Carlos, SP: EPUSP, 2002.

FORTES, Ernesto Silva; PARSEKIAN, Guilherme A.; FONSECA, Fernando S. Relationship between the compressive strength of concrete masonry and the compressive strength of concrete masonry units. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 27, n. 9, p. 04014238, 2014.

IZQUIERDO, Orieta Soto. Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto. São Carlos, SP: EPUSP, 2011.

JUSTE, Andrea Elizabeth. Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão. São Carlos, SP: EPUSP, 2001.

LIMA, Alexandre Nascimento de. Análise experimental da influência da resistência e espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos. Maceió, AL: UFAL, 2010.

LÜBECK, André. Comportamento mecânico e influência da argamassa no modo de ruptura da alvenaria estrutural. Santa Maria, RS: UFSM, 2016.

MEDEIROS, Jonas Silvestre; SABBATINI, Fernando Henrique. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. Boletim técnico. São Carlos, SP: EPUSP, 1993.

MENDES, Ricardo José Kuerten. Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais. Florianópolis, SC: UFSC, 1998.

MOHAMAD, Gihad; NETO, A. B. da S S; PELISSER, F; LOURENÇO, P. B; ROMAN, H. R. Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural – previsão e modo de ruptura. Revista Matéria, v. 14, n.2, p. 824 – 844. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2009.

MOHAMAD, Gihad; LOURENÇO, P. B; ROMAN, H. R; RIZATTI, E; BARBOSA, C. S. Estudo de caracterização mecânica de blocos de concreto vibrocompactados à seco. Revista Matéria, v. 16, n. 1, p. 638 – 657. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2011.

NARAYANAN, R. S. Workmanship: the designer's role. Mansory international, v. 4, n. 2, p. 76-79. Londres, 1990.

OLIVEIRA, Luciane Marcela Filizola de. Estudo teórico e experimental do comportamento das interfaces verticais de paredes interconectadas de alvenaria estrutural. São Carlos, SP: UFSCar, 2014.

OLIVEIRA, Rafael Picanço de. Estudo experimental da influência da argamassa de assentamento na resistência à compressão da alvenaria estrutural cerâmica. Campos dos Goytacazes, RJ: UENF, 2015.

PARSEKIAN, Guilherme Aris; HAMID, Ahmad A; DRYSDALE, Roberto G. Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural. v. 2. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2014.

RAMALHO, Márcio A; CORRÊA, Márcio R. S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. São Paulo, SP: Pini, 2003.

RAZENTE, Julio Antônio. Aplicação de recursos computacionais em projetos de edifícios em alvenaria. São Carlos, SP: EPUSP, 2004.

RECENA, Fernando Antônio Piazza. Conhecendo argamassa. Porto Alegre, RS: EDIPUCRS, 2007.

ROMAN, Humberto Ramos; MUTTI, Cristine do Nascimento; ARAÚJO, Hércules Nunes de. Construindo em alvenaria estrutural. Florianópolis: UFSC, 1999.

SABBATINI, Fernando Henrique. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. Boletim técnico. São Carlos, SP: EPUSP, 1986.

SANTOS, Carol Ferreira Rezende dos. Avaliação numérica da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais. Viçosa, MG: UFV, 2016.

SCHANKOSKI, Rudiele Aparecida; PRUDÊNCIO JR, Luiz Roberto; PILAR, Ronaldo. Influência do tipo de argamassa e suas propriedades do estado fresco nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto para edifícios altos. Revista Matéria, v. 20, n. 4, p. 1008 – 1023. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2015.

# CAPÍTULO 1

## DETERMINAÇÃO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO DE CONCRETO COM RELAÇÃO DE RESISTÊNCIAS ARGAMASSA/BLOCO E CONSISTÊNCIA PRÉ-DEFINIDAS

### Resumo

As normas brasileiras não apresentam parâmetros de trabalhabilidade das argamassas para os variados métodos de assentamento de alvenaria estrutural e determinam apenas o limite superior da resistência à compressão da argamassa em função da resistência à compressão do bloco. Este estudo buscou encontrar traços de argamassa de assentamento que atendessem a dois critérios: possuir índice de consistência de  $230 \pm 10$  mm e resistência à compressão que representasse uma relação de resistência com o bloco na área líquida em três diferentes faixas de resistência, sendo uma para uma relação baixa, menor de 40%, uma para uma relação entre 40% e 70% e uma faixa para uma relação alta, acima de 70%. Traços com resistência à compressão conhecida foram ajustados para apresentar a consistência desejada. A consistência das argamassas apresentou diferença com a variação na quantidade de cal e água dos traços. Os ensaios em corpos de prova prismáticos obtiveram resultados próximos aos dos corpos de prova cilíndricos, com correlação de 96,9%. Os módulos de elasticidade estático e dinâmico das argamassas apresentaram uma relação com a resistência à compressão das mesmas com coeficientes de determinação maiores que 95%. As correlações encontradas apresentaram valores elevados, o que permitem estimar a resistência das argamassas através de ensaios não destrutivos.

**Palavras chave:** alvenaria estrutural, argamassa de assentamento, traço de argamassa de assentamento, índice de consistência da argamassa, resistência à compressão da argamassa, módulo de elasticidade da argamassa.

### 1. INTRODUÇÃO

“A tendência cada vez maior no Brasil e no resto do mundo de se construir em alvenaria estrutural exige a utilização de novas tecnologias, as quais trazem redução no consumo da mão de obra, menos desperdícios de materiais e melhores condições de trabalho” (IZQUIERDO, 2011, p. 4).

Oliveira (2014, p. 31) descreve: “a alvenaria é um ‘material composto por unidades que podem estar associadas a outros materiais, tais como argamassa, graute e/ou aço, cujo conjunto é resistente, predominantemente, às forças de compressão”. Esses componentes apresentam heterogeneidade significativa, sendo o comportamento da alvenaria resultado da combinação do comportamento desses componentes, das interações entre eles e, conseqüentemente, dos materiais que os compõem, como

cimento, cal e agregados (SANTOS, 2016; SANTOS, E., 2014; HAMID e DRYSDALE, 1979).

“Na prática, tanto o comportamento da unidade quanto o da argamassa são bem conhecidos e difundidos, entretanto ainda existe muito a ser explorado em relação ao comportamento em conjunto e à influência da interface bloco-argamassa” (SANTOS, E., 2014, p. 38). Para um completo entendimento do material compósito é necessário conhecer o comportamento das propriedades mecânicas dos componentes individualmente e da interação entre eles. A falta desse conhecimento ‘leva ao conservadorismo’, tendo impacto no dimensionamento da alvenaria e nas práticas adotadas nas atividades do projeto estrutural (LÜBECK, 2016, p. 12).

As características dos blocos dependem fundamentalmente dos seguintes fatores: natureza dos materiais constituintes, umidade do material usado na moldagem, proporcionamento dos materiais, grau de compactação conferido pelos equipamentos e método de cura empregado (MEDEIROS e SABBATINI, 1993). A NBR 6136 (2014) define como estrutural os blocos das classes A e B e os blocos da classe C com resistência característica ( $f_{bk}$ ) maior que 3,0 MPa. Outros requisitos da norma são apresentados na Tabela 1.1.

*Tabela 1.1 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração dos blocos de concreto.*

Classificação	Classe	$f_{bk}$ (MPa)	Absorção (%)				Retração (%)
			Agregado normal		Agregado leve		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 8,0$	$\leq 6,0$			
	B	$4,0 \leq f_{bk} \leq 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$

“A resistência à compressão do bloco ( $f_b$ ) é o fator que mais contribui para a resistência final da alvenaria, entretanto o ganho de resistência da alvenaria não é proporcional ao ganho de resistência do bloco” (CASTRO, 2015, p. 9). Ao observar blocos estruturais cerâmicos, Ramalho e Corrêa (2003) destacam que blocos com maior resistência à compressão apresentam menor eficiência da alvenaria. Fortes, Parsekian e Fonseca (2014) chegaram à mesma conclusão em pesquisa com blocos de concreto. Dados apresentados por Gomes (1974), Barbosa (2008), Parsekian, Hamid e

Drysdale (2014), Lübeck (2016), Kaushik, Rai e Jain (2007a) e Ramalho e Corrêa (2003) corroboram a influência e importância da resistência dos blocos (cerâmicos e de concreto) para a resistência da alvenaria.

“No Brasil, não existem ensaios normatizados para obtenção do módulo de elasticidade ( $E_b$ ) e do coeficiente de Poisson das unidades” (SANTOS, 2016, p. 9). O valor do módulo é comumente determinado pelo gráfico tensão-deformação, calculando-se o módulo secante entre os pontos a 5% e 30% da carga de ruptura (JUSTE, 2001; OLIVEIRA, 2014; SANTOS, E., 2014). Algumas referências internacionais recomendam o uso de equações para a quantificação do módulo de elasticidade. Na Tabela 1.2, são apresentadas duas dessas equações. Porém, ao utilizar essas formulações, Juste (2001) e Mohamad *et al.* (2011) encontraram resultados muito distantes dos encontrados através dos ensaios realizados por eles.

*Tabela 1.2 - Equações indicadas por normas estrangeiras para cálculo do módulo de elasticidade de blocos de concreto ( $E_b$ ).*

<b>Origem</b>	<b><math>E_b</math> (MPa)</b>	<b>Observações/Requisitos</b>
(ACI-Building Code 318, 1990)	$0,0428 \cdot f_b^{0,5} \cdot \gamma_b^{1,5}$	Para concretos de massa específica entre 1442 a 2483 kg/m <sup>3</sup>
(CEB-FIP Mode Code, 1990)	$2,15 \cdot 10^4 \cdot (f_b/10)^{1/3}$	Equação para cálculo do módulo de elasticidade do concreto.

$f_b$  é a resistência à compressão do bloco em MPa e  $\gamma_b$  é a massa unitária do bloco em kg/m<sup>3</sup>.

Apesar do exposto, Parsekian, Hamid e Drysdale (2014) ressaltam que a resistência à compressão do bloco deve ser aliada à especificação adequada da argamassa para a definição final da resistência à compressão do elemento estrutural.

A argamassa de assentamento tem como principais funções, segundo Ramalho e Corrêa (2003), a união dos blocos, a transmissão e uniformização das tensões atuantes e a absorção de pequenas deformações impostas à alvenaria. A NBR 13281 (2005) a descreve como sendo uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com

propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria.

Para que a argamassa tenha capacidade de prover as funções citadas, ela deve apresentar ‘trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) suficiente para que o pedreiro produza com rendimento otimizado um trabalho satisfatório, rápido e econômico’, e deve ‘desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria da qual faz parte’ (MOTA, 2001, p. 56, 57).

“As normas não sugerem parâmetros de trabalhabilidade em função do tipo de assentamento. Isso interfere nos resultados mecânicos, causando inconsistências entre os resultados mecânicos obtidos experimentalmente e os fornecidos pelas normalizações” (MOHAMAD *et al.*, 2009, p. 842). Parsekian e Soares (2010) recomendam, para alvenaria assentada com colher de pedreiro, uma argamassa com consistência de  $230 \pm 10$  mm. Entretanto, Mohamad *et al.* (2009, p. 828) salientam que este valor de consistência não permite um ‘completo espalhamento e ajuste vertical da junta de assentamento’ em alvenarias de blocos de concreto. A NBR 13276 (2005) recomenda que a consistência esteja na faixa de 230 a 260 mm.

“A retenção de água pode ser compreendida como a capacidade que a argamassa possui de manter a água que contém no estado fresco quando colocada em contato com um substrato poroso e/ou absorvente” (CASALI, 2008, p. 36). Uma baixa retenção de água faz com que a argamassa perca água em contato com o bloco, afetando o ajuste, alinhamento, nível e o prumo da alvenaria, assim como a aderência entre argamassa e bloco. Por outro lado, argamassas com alta retenção de água podem ocasionar baixa aderência com os blocos, já que a transferência de água é um dos mecanismos promotores de aderência (OLIVEIRA, 2014; PARSEKIAN, HAMID, e DRYSDALE, 2014; MOTA, 2001; JUSTE, 2001; SANTOS, E., 2014).

A NBR 8798 de 1985 indicava a recomendação da ASTM C91 (2012) de retenção mínima de 75% para as argamassas, até que a NBR 13281 (2005) a substituiu e passou a indicar o valor mínimo como 78%. Parsekian e Soares (2010) indicam uma retenção na faixa de  $(90 \pm 5)$  %, afirmando ser desejável uma retenção de água alta.

No estado endurecido, as propriedades da argamassa mais significantes são: resistência mecânica, capacidade de absorver deformações, resistência de aderência, retração na secagem e durabilidade (VITALÓ e FRANCO, 2000). “A resistência à compressão das argamassas se inicia com o endurecimento e aumenta continuamente

com o tempo” (SABBATINI, 1986, p. 4). “Para unidades vazadas de concreto, com ou sem graute, o aumento da resistência à compressão da alvenaria, com o aumento da resistência da argamassa, é pouco significativo” (IZQUIERDO, 2011, p. 41).

A NBR 15961-1 (2011) estabelece que resistência à compressão da argamassa ( $f_a$ ) para execução de alvenaria estrutural deve possuir um valor máximo de 70% da resistência característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ), referida à área líquida. Parsekian e Soares (2010) recomendam o mesmo limite superior. A resistência do prisma aumenta com o aumento de  $f_a$  (JUSTE, 2001; FORTES, PARSEKIAN E FONSECA, 2014; LIMA, 2010). Porém, Mohamad (1998, p. 89) aponta que este aumento não é proporcional, sendo o aumento da resistência do prisma menor que o aumento da resistência da argamassa.

“Quanto mais baixa for a relação entre as propriedades mecânicas da argamassa e do concreto que constitui o bloco, maior será a tendência de ruína por esmagamento da junta. O oposto indica ruína do prisma por fissuração dos blocos” (BARBOSA, 2008, p. 238).

Na forma de junta, a argamassa fica sujeita a um estado triaxial de tensões devido ao confinamento lateral (MOHAMAD *et al.*, 2009; OLIVEIRA, 2015; LIMA, 2010; LÜBECK, 2016). “A argamassa é confinada lateralmente na interface bloco/argamassa devido ao vínculo entre eles; portanto, as tensões de cisalhamento na interface bloco/argamassa resultam em um estado de tensões que consiste em compressão triaxial na argamassa e tração bilateral combinada com compressão axial nos blocos” (KAUSHIK, RAI e JAIN, 2007b, p. 728, tradução nossa). “Dessa forma, quanto maior a espessura da junta, ou quanto menor a proporção de rigidez entre os módulos de elasticidade da argamassa e do bloco, ou ainda, quanto maior o coeficiente de Poisson dos dois materiais, maiores as tensões horizontais desenvolvidas” (LÜBECK, 2016, p. 61).

“A avaliação da capacidade de deformação de argamassas é muito importante para a caracterização deste material quando se pretende empregá-lo como juntas de alvenarias e como revestimento” (SILVA, 2009, p. 2). O módulo de elasticidade é a propriedade mecânica que avalia a deformabilidade das argamassas. A NBR 8522 (2003) recomenda o cálculo do módulo de elasticidade estático por meio da deformação específica obtida entre os pontos de 0,5 MPa e 30% da tensão de ruptura. A NBR 15630 (2008) apresenta um método de ensaio não-destrutivo do módulo de

elasticidade dinâmico através da propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulso ultra-sônico, em um corpo de prova de argamassa.

“As argamassas mais indicadas para uso em alvenarias estruturais são as mistas, que trazem a combinação da cal, responsável pelo aumento da trabalhabilidade, e o cimento, que aumenta a resistência à compressão da mistura; entretanto, tem-se uma gama de combinações que podem ser definidas” (MACHADO e ANTUNES, 2016, p. 2). Kaushik, Rai e Jain (2007a) realizaram ensaios com blocos cerâmicos e verificaram que as alvenarias produzidas com argamassa que continha cal em sua composição sofreram 50% mais deformação nos ensaios a compressão do que as produzidas com argamassas que não continham cal em sua composição.

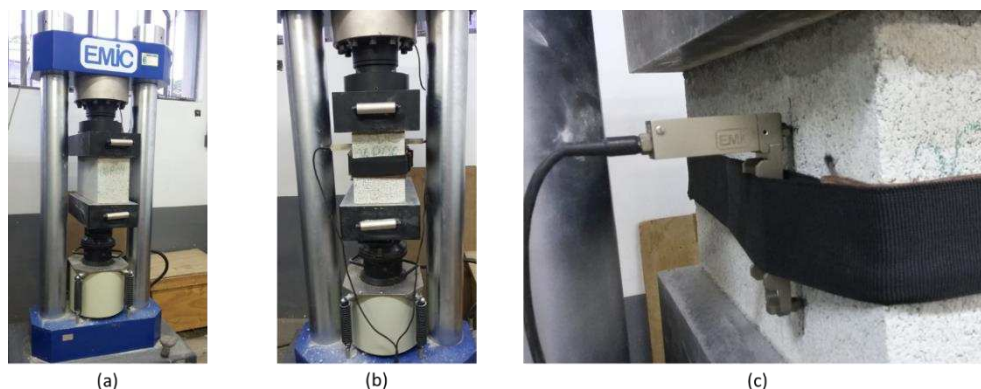
Com a grande possibilidade de variação das propriedades das argamassas e a falta de parâmetros normativos, o objetivo deste estudo é a determinação de traços de argamassa mistas de cimento e cal para alvenaria estrutural com blocos de concreto que apresentem trabalhabilidade para assentamento com colher de pedreiro e tenham uma relação  $f_a/f_b$  referente à área líquida do bloco, que representem faixas de baixa, média e alta relação de resistência entre argamassa e bloco.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Caracterização dos Materiais**

Os ensaios necessários para a determinação das propriedades mecânicas dos blocos de concreto estão descritos na NBR 12118 (2013). Os ensaios para determinação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade dos blocos foram realizados na máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo PCE200PLUS. Para a determinação da resistência à compressão dos blocos, seis blocos foram ensaiados. Destes, quatro foram ensaiados medindo-se a deformação para a determinação do módulo de elasticidade. A montagem do ensaio e o posicionamento do Clip Gage para medição das deformações dos blocos estão apresentados na Figura 1.1.

Figura 1.1 - (a) Posicionamento do bloco na prensa hidráulica. (b) Montagem do ensaio de módulo de elasticidade dos blocos. (c) detalhe do posicionamento do Clip Gage.



Para a dosagem dos traços de argamassa mista, a determinação das propriedades da areia foi realizada segundo a NBR 7217 (1987). O cimento e a cal foram ensaiados para determinação da massa específica segundo a NBR 6474 (1984).

## 2.2. Propriedades dos Materiais

### 2.2.1. Propriedades dos blocos de concreto

Os blocos estruturais de concreto escolhidos para este estudo foram os de resistência nominal de 6,0 MPa e 16,0 MPa, de acordo com o fabricante, os blocos possuíam as seguintes características:

M 15 Classe B -  $f_{bk}$  6,0 MPa - 14x19x39 cm

M 15 Classe A -  $f_{bk}$  16,0 MPa - 14x19x39 cm

O bloco menos resistente, de 6,0 MPa, produzido e utilizado em maior escala, foi escolhido como representante de uma classe de blocos mais popular. Já os blocos de 16,0 MPa foram escolhidos como representantes de uma classe de blocos de alta resistência.

Na Tabela 1.3, são apresentados os resultados das dimensões médias dos blocos.

Tabela 1.3 - Dimensões médias dos blocos.

Bloco $f_{bk}$	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Espessura Parede Longitudinal (mm)	Espessura Parede Transversal (mm)	Espessura Equivalente (mm)
6 MPa	390	139	187	27	26	0,200
16 MPa	391	137	188	26	26	0,198

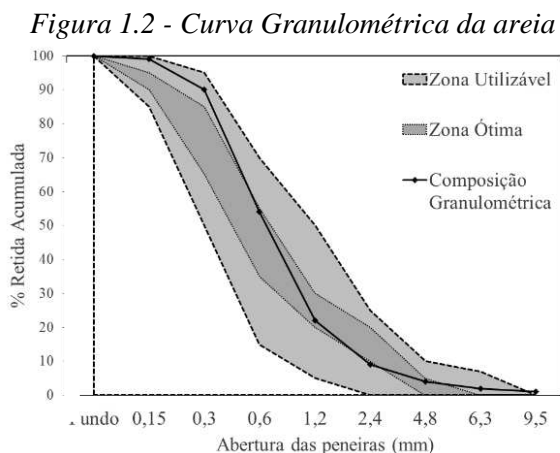
Os blocos de 6,0 MPa apresentaram absorção de 6,7%, e os blocos de 16,0 MPa apresentaram absorção de 4,7%. Os valores encontrados atendem à norma, estando abaixo de 8% e 6%, respectivamente.

A resistência média à compressão do bloco ( $f_{bm}$ ) com resistência nominal de 6,0 MPa foi de 9,3 MPa, sendo o  $f_{bk,est}$  igual a 8,5 MPa e o módulo de elasticidade de 7,87 GPa. Já os blocos com resistência nominal de 16,0 MPa apresentaram  $f_{bm}$  igual a 26,9 MPa e  $f_{bk,est}$  igual a 23,5 MPa. Observa-se que os valores foram superiores aos estabelecidos comercialmente. Não foi possível determinar o módulo de elasticidade para os blocos de 16,0 MPa devido às configurações padrões do equipamento.

Após avaliação dos resultados dos ensaios dos blocos pelo critério de Chauvenet (FRANCA, 2004), apenas o  $f_{bm}$  do bloco com resistência nominal de 6,0 MPa apresentou dado discrepante. Com a eliminação desse dado, o  $f_{bm}$  passou a ser de 9,1 MPa.

### 2.2.2. Propriedades da areia

Foram utilizadas argamassas mistas de cimento e cal, como recomendado por Machado e Antunes (2016). Para a produção das argamassas mistas, foi utilizada areia extraída do Rio Piranga, em Porto Firme (MG). A massa específica da areia encontrada no ensaio foi de 2,61 g/cm<sup>3</sup>, a massa unitária solta da areia de 1,41 g/cm<sup>3</sup> e a massa unitária compactada de 1,56 g/cm<sup>3</sup>. O ensaio granulométrico foi realizado com duas amostras. Os valores médios do percentual retido em cada peneira estão representados graficamente na Figura 1.2.



O ensaio ainda indicou o percentual de material pulverulento da areia de 1,36%, o módulo de finura de 2,37 e o diâmetro máximo de 2,4 mm.

### 2.2.3. Propriedades do cimento e da cal

O cimento utilizado foi um CP II-F-32 e a cal foi uma CH III. A massa específica do cimento foi 3,04 g/cm<sup>3</sup> e a da cal 2,35 g/cm<sup>3</sup>.

### 2.3. Definição dos traços de argamassa mista

Os traços de argamassa mista foram definidos de forma que, as argamassas alcançassem, aos 28 dias, resistência que representasse uma relação de resistência com o bloco, na área líquida, definida por três faixas, sendo:

F1 –  $f_a/f_b < 40\%$  – representa uma argamassa fraca em relação ao bloco.

F2 –  $40\% \leq f_a/f_b \leq 70\%$  – representa uma argamassa média em relação ao bloco.

F3 –  $f_a/f_b > 70\%$  – representa uma argamassa forte em relação ao bloco, acima do permitido na NBR 15961-1 (2011).

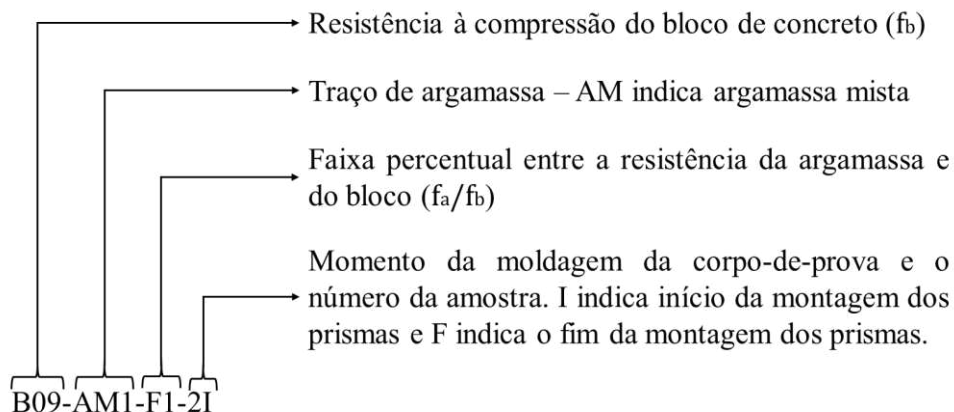
Com os valores de  $f_{bm}$  definidos, a resistência à compressão desejada para as argamassas que representam as faixas de  $f_a/f_b$  foram definidas, como apresentado na Tabela 1.4.

*Tabela 1.4 – Faixas de resistência à compressão desejada para as argamassas.*

$f_{bm}$ (MPa)	$A_l/A_b$ (%)	Faixa de $f_a/f_b$ desejado (%)		Faixa de $f_a$ desejado (MPa)	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo
9,1	55,8	-	40	-	6,5
		40	70	6,5	11,4
		70	-	11,4	-
26,9	58,7	-	40	-	18,4
		40	70	18,4	32,1
		70	-	32,1	-

As características dos componentes (blocos e argamassas) foram utilizados para nomear os lotes, a fim de melhor identificação dos componentes de cada lote, conforme Figura 1.3.

Figura 1.3 - Esquema explicativo da nomenclatura adotada para os lotes de argamassa.



As faixas representadas na terceira parte da nomenclatura representam a relação entre as resistências da argamassa e do bloco.

A quarta parte da nomenclatura, que indica o momento da moldagem e o número da amostra, foi utilizada apenas nas tabelas com os dados individuais de cada amostra, que estão no APÊNDICE A.

A partir de traços já conhecidos e ensaiados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Viçosa, foram realizados ensaios preliminares para a confirmação de  $f_a$  e ajuste da consistência. As resistências esperadas, aos 28 dias, para tais traços, eram 5, 10, 15 e 20 MPa e a consistência desejada foi a recomendada por Parsekian, Hamid e Drysdale (2014) de  $230 \pm 10$  mm.

Após ensaios preliminares e ajuste da consistência, foi possível obter os traços apresentados na Tabela 1.5 com suas respectivas resistências à compressão e à tração.

Tabela 1.5 - Traços em volume das argamassas com respectivas consistência e resistências à compressão ( $f_{a,p}$ ) e à tração ( $f_{t,a}$ ).

Traço	Cimento	Cal	Areia	Água	Consistência (mm)	$f_a$ esperado (MPa, 28 dias)	7 dias		28 dias	
							$f_{t,a}$ (MPa)	$f_{a,p}$ (MPa)	$f_{t,a}$ (MPa)	$f_{a,p}$ (MPa)
AM1	1,000	2,000	7,500	5,324	222	5	1,4	3,1	2,0	5,4
AM2	1,000	1,000	6,000	3,685	226	10	2,5	6,3	3,7	8,7
AM3	1,000	0,500	4,500	2,646	226	15	3,6	12,1	4,2	15,9
AM4	1,000	0,204	3,392	2,011	223	20	4,5	12,7	5,4	17,6

Os traços apresentaram bons resultados de resistências e estão dentro da faixa de consistência esperada. Eles também atenderam à recomendação de Parsekian e Soares (2010) para argamassas mistas utilizadas na alvenaria estrutural de manter uma relação areia/aglomerante de aproximadamente 3, em volume.

Os traços ensaiados não contemplaram as argamassas das faixas F2 e F3 para os blocos de 16,0 MPa, na área líquida, com os materiais utilizados neste estudo. Outros traços foram procurados na literatura, porém apenas encontrados traços com resistência à compressão máxima próxima de 17,0 MPa (ASTM C270, 1987; BS 5628, 1992; Parsekian, Hamid, e Drysdale, 2014).

Como alternativa para conseguir traços de argamassa, utilizando os materiais disponíveis para este estudo, que apresentassem resistências à compressão maiores do que os alcançados anteriormente e se enquadrassem nas faixas F2 e F3 para os blocos com resistência nominal de 16 MPa, foi escolhido o método de dosagem de argamassas proposto por Santos, W., (2014). O método consiste em obter os teores de cada componente, baseado nas características dos materiais e das condições da obra, e a obtenção do traço ideal através de curvas de aproximação por planilhas eletrônicas. Este método permite a dosagem de um traço que representa a resistência à compressão máxima de argamassa através do preenchimento dos vazios da areia. Cinco traços foram dosados pelo método, mas apenas as duas menores relações água/cimento, denominados AM5 e AM6, conforme Tabela 1.6, foram ensaiados, já que o objetivo foi encontrar argamassas com maior resistência à compressão, que representassem outra faixa de resistência.

*Tabela 1.6 - Traços dosados pelo método de Santos, W. (2014): consistência e resistências.*

Traço	Cimento	Cal	Areia	Água	Consistência (mm)	7 dias		28 dias	
						f <sub>t,a</sub> (MPa)	f <sub>a,p</sub> (MPa)	f <sub>t,a</sub> (MPa)	f <sub>a,p</sub> (MPa)
AM5	1,000	0,512	3,201	2,159	233	4,8	13,4	5,6	18,5
AM6	1,000	0,215	2,573	1,668	233	5,8	17,0	5,6	20,8

A resistência à compressão máxima de argamassa dosada por este método para a areia utilizada nesse estudo foi de 20,8 MPa. Como esta resistência ainda enquadra a argamassa na faixa de resistências 1 (F1), os traços AM5 e AM6 não foram comparados com os demais.

#### **2.4. Preparação e caracterização das amostras**

As argamassas moldadas nessa etapa do experimento foram utilizadas na montagem de prismas de blocos estruturais de concreto para as análises apresentadas no Capítulo 2. Portanto, os volumes produzidos e o tempo de preparo foram condizentes com as necessidades e limitações da montagem dos prismas.

No dia anterior à montagem dos prismas, uma mistura de areia, cal e aproximadamente 80% da água de cada traço era misturado em uma betoneira para melhor homogeneização da cal e garantia de hidratação de todo óxido de cálcio presente na cal. O uso da betoneira fez-se necessário para garantir a homogeneidade do volume de argamassa que foi produzido.

No dia seguinte, o cimento e cerca de 10% da água foram acrescentados e homogeneizados com a massa. Iniciaram-se, então, os testes de consistência na mesa de ensaio de acordo com a NBR 13276 (2005). Foi necessário o acréscimo de água até que a mistura atingisse o índice de consistência dentro do limite estabelecido ( $230 \pm 10$  mm).

Ao atingir a consistência desejada, uma amostra dessa argamassa foi usada para a realização do ensaio de retenção de água de acordo com a NBR 13277 (2005), uma outra amostra foi utilizada para a moldagem de 6 corpos de prova prismáticos de 4x4x16 cm e 3 corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm.

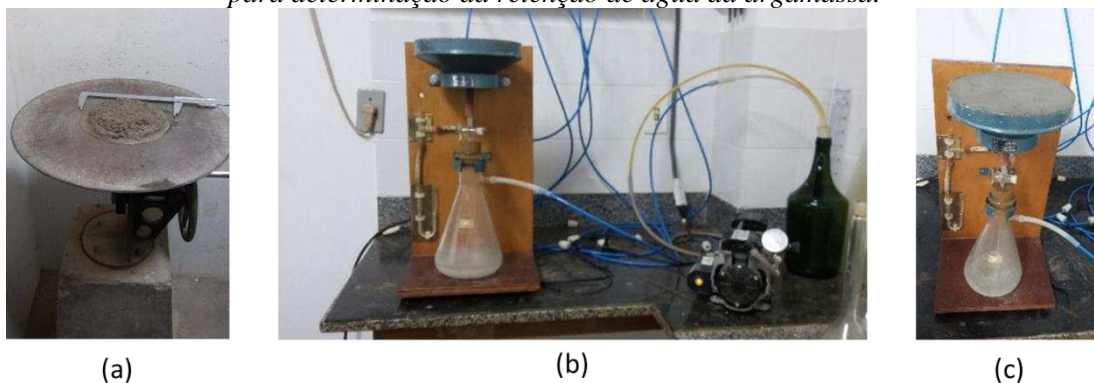
Após o término da montagem dos prismas (aproximadamente duas horas), o restante da argamassa foi utilizado para a moldagem de 6 corpos de prova prismáticos de 4x4x16 cm e 2 corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm.

Apesar de moldados em momentos diferentes, os resultados dos corpos de prova de argamassa apresentados representam a média de todos eles. Objetivou-se obter, com esse procedimento, uma resistência média que representasse a argamassa durante o tempo de uso no assentamento da alvenaria.

## **2.5. Determinação do desempenho das argamassas**

As argamassas foram ensaiadas no estado fresco e endurecido. A trabalhabilidade foi avaliada indiretamente, sendo a determinação do índice de consistência (NBR 7215, 1996) através da utilização de uma mesa de ensaio, como apresentada na Figura 1.4(a). A importância da trabalhabilidade é que, pelas suas características reológicas e por influir diretamente na qualidade do serviço do pedreiro, todas as demais propriedades desejáveis se subordinam dela (SABBATINI, 1986). O ensaio para determinação da retenção de água foi realizado de acordo com a NBR 13277 (2005), o Funil de Buchner, bomba de vácuo e demais equipamentos utilizados são apresentados nas Figura 1.4(b) e 1.4(c).

Figura 1.4 - (a) Mesa de ensaio para determinação do índice de consistência da argamassa. (b) Equipamentos utilizados para a determinação da retenção de água. (c) Amostra montada para determinação da retenção de água da argamassa.



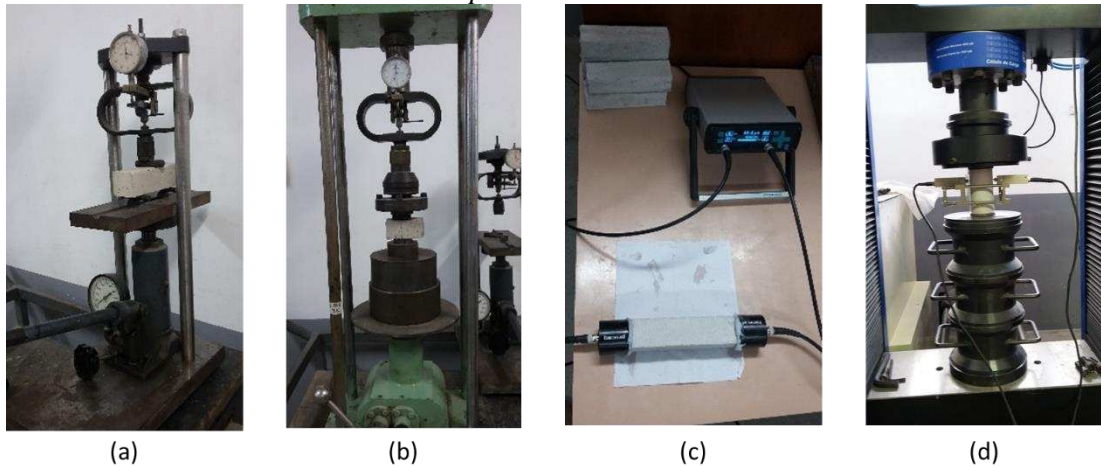
Os corpos de prova de argamassa foram mantidos em câmara úmida até a data da realização dos ensaios. Aos sete dias, 6 corpos de prova prismáticos foram ensaiados para determinação da resistência à tração na flexão em equipamento manual com leitura analógica. As duas partes de cada corpo de prova resultante desse ensaio foram ensaiadas à compressão também em equipamento manual com leitura analógica (NBR 13279, 2005).

Aos vinte e oito dias, os outros 6 corpos de prova prismáticos e os 5 corpos de prova cilíndricos foram ensaiados. Os corpos de prova prismáticos foram primeiro ensaiados com um aparelho de ultrassom portátil digital Pundit Lab da empresa PROCEQ, com transdutor de 68,5 mm e 54 kHz, para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{a,d}$ ) de acordo com a NBR 15630 (2008). Em seguida, foram ensaiados para a determinação da resistência à tração na flexão e resistência à compressão, como descrito anteriormente. Os corpos de prova cilíndricos foram ensaiados na máquina universal de ensaios EMIC, modelo 23-600, para determinação do módulo de elasticidade e da resistência à compressão (NBR 13279, 2005). As imagens ilustrativas dos ensaios realizados com os corpos de prova de argamassa no estado endurecido estão apresentadas na Figura 1.5.

## 2.6. Análise estatística

Após a obtenção dos resultados de resistência e módulo de elasticidade das amostras, foram ajustados modelos que representassem as relações com as variáveis estudadas, além de outros parâmetros. Os ajustes dos modelos foram verificados através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Figura 1.5 - Ensaios da argamassa no estado endurecido. (a) Ensaio de tração na flexão. (b) Ensaio de resistência à compressão. (c) Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico. (d) Ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade estático.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1.7, estão apresentadas as resistências dos blocos e argamassas, com as respectivas relações  $f_a/f_b$ . Com esses dados definidos, a nomenclatura dos lotes foi atualizada para a identificação adequada da faixa resistência de cada lote.

A partir dos dados apresentados na Tabela 1.7, quatro traços foram selecionados, um representante por faixas de resistência. Para os blocos com  $f_{bm}$  de 9,1 MPa, as argamassas para as 3 faixas de  $f_a/f_b$  foram alcançadas, sendo então ensaiados os lotes B09-AM1-F1, B09-AM2-F2 e B09-AM3-F3. Já para os blocos com  $f_{bm}$  de 26,9 MPa, apenas a argamassa para a faixa 1 foi alcançada, logo foi ensaiado apenas o lote B27-AM3-F1 por representar uma relação  $f_a/f_b$  próxima à do lote de mesma faixa para os blocos de 9,1 MPa.

Tabela 1.7 - Relação entre resistência das argamassas e blocos: identificação dos possíveis lotes de ensaio.

Traço	$f_{bm}$ (MPa)	$A_l/A_b$ (%)	$f_a$ encontrado (MPa)	$f_a/f_b$ (%)	Lote de argamassa
AM1	9,1	55,8	5,4	33	B09-AM1-F1
AM2			8,7	53	B09-AM2-F2
AM3			15,9	97	B09-AM3-F3
AM1	26,9	58,7	5,4	12	B27-AM1-F1
AM2			8,7	19	B27-AM2-F1
AM3			15,9	35	B27-AM3-F1

Para cada lote de argamassa ensaiada, foram moldados doze corpos de prova prismáticos e cinco corpos de prova cilíndricos. Apesar dos corpos de prova terem sido

moldados em dois momentos diferentes (início e fim da montagem de prismas de bloco estrutural de concreto), os resultados apresentados são a média dos resultados, não diferenciando o momento da moldagem ou avaliando as diferenças de resistência entre as moldagens.

Os dados gerados nos ensaios foram avaliados pelo método de Chauvenet para eliminação de valores discrepantes em relação às médias. Os resultados individuais de resistência e módulo de elasticidade dos corpos de prova de argamassa estão apresentados no APÊNDICE A.

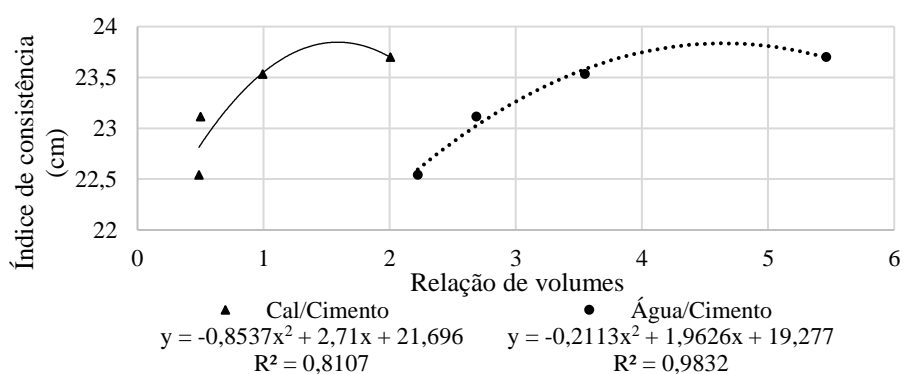
Na Tabela 1.8, são apresentados os traços ajustados que alcançaram uma consistência de  $230 \pm 10$  mm.

Tabela 1.8 - Traços ajustados em volume das argamassas e propriedades no estado fresco.

Argamassa	Traço Ajustado em volume		Índice de Consistência (cm)	Retenção de Água (%)
	Cal	Água		
B09-AM1	2,003	5,461	23,70	94,21
B09-AM2	0,992	3,547	23,53	91,28
B09-AM3	0,500	2,686	23,12	92,40
B27-AM3	0,487	2,222	22,54	92,88

A consistência apresentou um crescimento à medida que foram aumentadas as relações cal/cimento e água/cimento, como apresentado nos gráficos da Figura 1.6. Todos os traços apresentaram uma alta retenção de água, estando de acordo com a NBR 13281 (2005) e com as recomendações da ASTM C91 (2012) e Parsekian e Soares (2010). Os traços ficaram com uma relação média entre areia/aglomerantes de 2,7 que também atende à recomendação de Parsekian e Soares (2010) em manter a relação próxima a 3,0.

Figura 1.6 - Índice de consistência em função da relação em volume cal/cimento e água/cimento.

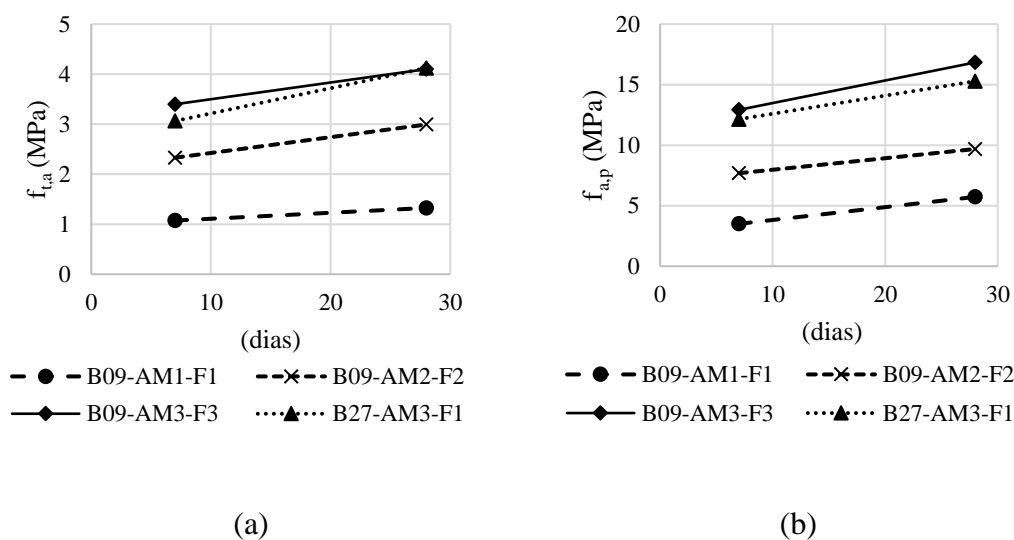


Na Tabela 1.9, são apresentados os resultados dos ensaios dos corpos de prova prismáticos. As argamassas apresentaram um crescimento médio da resistência à tração na flexão de 27% do sétimo para o vigésimo oitavo dia (Figura 1.7 (a)). Com relação a resistência à compressão, as argamassas apresentaram um crescimento médio de 36% do sétimo para o vigésimo oitavo dia (Figura 1.7 (b)), exceto a argamassa B09-AM1-F1, que apresentou um crescimento de 64%. As argamassas apresentaram uma densidade média aproximada de 1,90 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 1.9 - Resultados médios dos ensaios dos corpos de prova prismáticos de argamassa.

Argamassa	$f_{bm}$ (MPa)	Corpo de prova prismático de argamassa					
		7 dias		28 dias		Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	$E_{a,d}$ (GPa)
		$f_{t,a}$ (MPa)	$f_{a,p}$ (MPa)	$f_{t,a}$ (MPa)	$f_{a,p}$ (MPa)		
B09-AM1-F1		1,1	3,5	1,3	5,7	1,8	9,9
B09-AM2-F2	9,1	2,3	7,7	3,0	9,7	1,8	15,2
B09-AM3-F3		3,4	13,0	4,1	16,8	2,1	21,9
B27-AM3-F1	26,9	3,1	12,1	4,1	15,3	2,0	19,8

Figura 1.7 – Crescimento das resistências das argamassas dos 7 aos 28 dias. (a) Resistência à tração. (b) Resistência à compressão.



Na Tabela 1.10, são apresentados os resultados dos ensaios dos corpos de prova cilíndricos aos 28 dias. A resistência da argamassa foi utilizada para refazer a relação  $f_a/f_b$ . As relações  $f_a/f_b$  alcançadas se enquadraram nas 3 faixas programadas para os blocos B09.

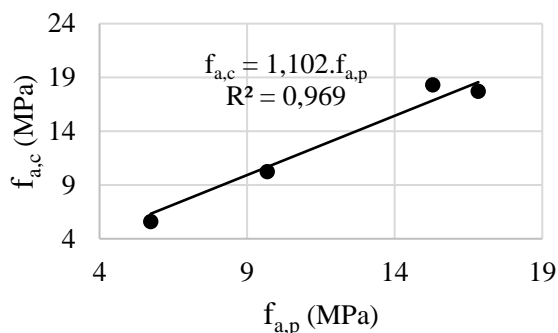
Tabela 1.10 - Resultados médios dos ensaios dos corpos de prova cilíndricos de argamassa.

Argamassa	$f_{bm}$ (MPa)	Corpo de prova cilíndrico de argamassa		Relação Final
		$f_{a,c}$ (MPa)	$E_a$ (GPa)	$f_a / f_b$ (%)
B09-AM1-F1	9,1	5,6	9,7	34
B09-AM2-F2		10,3	10,5	63
B09-AM3-F3		17,7	15,4	109
B27-AM3-F1	26,9	18,3	15,2	38

Os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndrico divergiram em média 8,32% dos resultados dos corpos de prova prismáticos, sendo que a argamassa B27-AM3-F1 apresentou maior diferença, 19,81% enquanto as outras argamassas apresentaram uma diferença média de 4,48%.

Ao definir uma linha de tendência que passe pela origem dos eixos (0;0) como apresentado na Figura 1.8, a inclinação da reta indica uma diferença aproximada de 10% da resistência determinada pelos corpos de prova cilíndricos em relação aos prismáticos.

Figura 1.8 - Relação da resistência à compressão da argamassa (aos 28 dias) dos corpos de prova prismáticos com os cilíndricos.



Os ensaios dos corpos de prova prismáticos indicaram uma relação linear direta de  $f_{a,c}$  com  $E_{a,d}$ . Da mesma forma, os ensaios dos corpos de prova cilíndricos indicaram uma relação linear direta de  $f_a$  com  $E_a$ . Essas relações e as equações ajustadas para elas são apresentadas graficamente na Figura 1.9. Para a relação entre  $E_a$  e  $E_{a,d}$ , a equação que melhor se ajustou foi um polinômio quadrático. O gráfico e a equação ajustada que representam essa relação estão apresentados na

Figura 1.10.

Figura 1.9 - Relação entre resistência à compressão e módulo de elasticidade das argamassas.

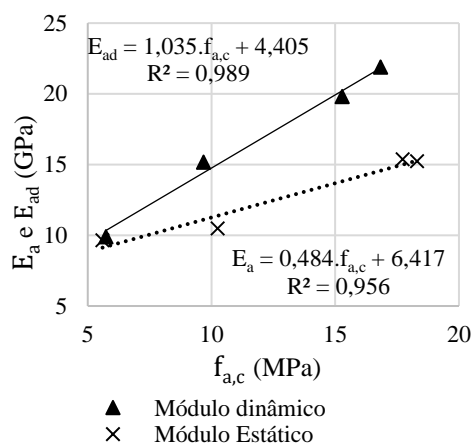
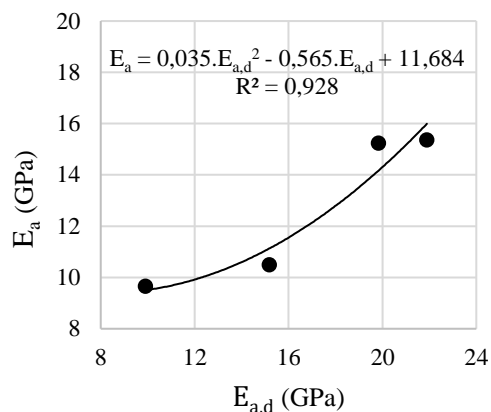


Figura 1.10 - Relação entre os módulos de elasticidade dinâmico e estático.



#### 4. CONCLUSÃO

O objetivo de selecionar traços de argamassa que possuíssem uma consistência considerada adequada para o assentamento com colher de pedreiro de alvenaria estrutural com blocos de concreto que ainda apresentasse uma relação de resistência com os blocos em três faixas distintas foi alcançado.

- A consistência  $230 \pm 10$  mm foi alcançada em todos os traços e apresentou variação à medida que a quantidade de cal e água do traço variou;
- Os resultados de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos e prismáticos se relacionaram a um nível de 96,9%, o que permite a transposição dos resultados para comparação com pesquisas realizadas com os dois tipos de corpos de prova;
- Foi encontrada uma relação entre as resistências à compressão das argamassas e seus módulos de elasticidade com coeficiente de determinação maior que 95%;
- O módulo de elasticidade dinâmico e o módulo de elasticidade estático apresentaram valores próximos, com uma  $R^2$  de 92,8%;
- Através das relações entre módulo de elasticidade com a resistência à compressão da argamassa e a relação entre os módulos de elasticidade estático e dinâmico, é possível estimar a resistência de corpos de prova de argamassa sem a necessidade de ensaios destrutivos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12118 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13276 – Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13277 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13279 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15630 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de ondas ultra-sônicas. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15961-1 - Alvenaria estrutural - Blocos de concreto - Parte 1 - Projeto. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6474 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, RJ, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, RJ, 1996.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8522 - Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8522 - Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8798 - Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, RJ, 1985.

ASTM C270-00, Standard Specification for Mortar for Unit Masonry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1987

ASTM C91 / C91M-18, Standard Specification for Masonry Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012

BARBOSA, Claudius de Sousa. Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto, prismas e paredes e suas correlações com as propriedades mecânicas dos materiais constituintes. São Carlos, SP: EPUSP, 2008.

BS 5628, 3. (1992). Code of practice for use of masonry - Part 3: Materials and components, design and workmanship. Londres: British Standard.

CASALI, Juliana Machado. Estudo da interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência. Florianópolis: UFSC, 2008.

CASTRO, Lucas de Oliveira. Avaliação experimental da interação de paredes de blocos de concreto de alta resistência sob ações verticais. Viçosa, MG: UFV, 2015.

FORTES, Ernesto Silva; PARSEKIAN, Guilherme A.; FONSECA, Fernando S. Relationship between the compressive strength of concrete masonry and the compressive strength of concrete masonry units. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 27, n. 9, p. 04014238. 2014.

FRANCA, Fernando A. O critério de Chauvenet. .Net, São Paulo, out. 2004, Disponível em: [http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Criterio\\_Chauvenet.doc](http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Criterio_Chauvenet.doc). Acesso em: 10 de janeiro: 2018.

GOMES, Nelson dos Santos. A resistência das paredes de alvenaria. São Carlos, SP: EPUSP, 1974.

HAMID, Ahmad A; DRYSDALE, Roberto G. Behavior of concrete block masonry under axial compression. American Concrete Institute Journal, v. 76, n.6, p. 707-721, 1979.

IZQUIERDO, Orieta Soto. Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto. São Carlos, SP: EPUSP, 2011.

JUSTE, Andrea Elizabeth. Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão. São Carlos, SP: EPUSP, 2001.

KAUSHIK, Hemant B; RAI, Durgesh C; JAIN, Sudhir K. Stress-Stain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression. Journal of materials in civil engineering, p. 728-739. Kampur, Índia: IIT Kampur, 2007b.

KAUSHIK, Hemant B; RAI, Durgesh C; JAIN, Sudhir K. Uniaxial compressive stress-stain model for clay brick masonry. Current Science, vol. 92, no. 4, p. 497-501. Kampur, Índia: IIT Kampur, 2007a.

LIMA, Alexandre Nascimento de. Análise experimental da influência da resistência e espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos. Maceió, AL: UFAL, 2010.

LÜBECK, André. Comportamento mecânico e influência da argamassa no modo de ruptura da alvenaria estrutural. Santa Maria, RS: UFSM, 2016.

MACHADO, A. Paekieviski; ANTUNES, E. Guglielmi Pavei. Influência da resistência da argamassa de assentamento na compressão axial de prismas de blocos

cerâmicos estruturais. In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, 2016, Belém, PA, Anais....: 2016.

MEDEIROS, Jonas Silvestre; SABBATINI, Fernando Henrique. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. Boletim técnico. São Carlos, SP: EPUSP, 1993.

MOHAMAD, Gihad; NETO, A. B. da S S; PELISSER, F; LOURENÇO, P. B; ROMAN, H. R. Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural – previsão e modo de ruptura. Revista Matéria, v. 14, n.2, p. 824 – 844. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2009.

MOHAMAD, Gihad; LOURENÇO, P. B; ROMAN, H. R; RIZATTI, E; BARBOSA, C. S. Estudo de caracterização mecânica de blocos de concreto vibrocompactados à seco. Revista Matéria, v. 16, n. 1, p. 638 – 657. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2011.

MOHAMAD, Gihad. Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto. Florianópolis: UFSC, 1998.

MOTA, Jacqueline Ávila Ribeiro. Influência da junta vertical na resistência à compressão de prismas em alvenaria estrutural de blocos de concreto e blocos de concreto celular autoclavado. Belo Horizonte, MG: UFGM, 2001.

OLIVEIRA, Luciane Marcela Filizola de. Estudo teórico e experimental do comportamento das interfaces verticais de paredes interconectadas de alvenaria estrutural. São Carlos, SP: UFSCar, 2014.

OLIVEIRA, Rafael Picanço de. Estudo experimental da influência da argamassa de assentamento na resistência à compressão da alvenaria estrutural cerâmica. Campos dos Goytacazes, RJ: UENF, 2015.

PARSEKIAN, Guilherme Aris; HAMID, Ahmad A; DRYSDALE, Roberto G. Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural. v. 2. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2014.

PARSEKIAN, Guilherme Aris; SOARES, M. M. Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle. V. 1. São Paulo, SP: O Nome da Rosa, 2010.

RAMALHO, Márcio A; CORRÊA, Márcio R. S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. São Paulo, SP: Pini, 2003.

SABBATINI, Fernando Henrique. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. Boletim técnico. São Carlos, SP: EPUSP, 1986.

SANTOS, Carol Ferreira Rezende dos. Avaliação numérica da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais. Viçosa, MG: UFV, 2016.

SANTOS, Emerson Acácio Feitosa. Estudo da influência das propriedades elásticas da interface bloco argamassa na rigidez de paredes de alvenaria. São Carlos, SP: UFSCar, 2014.

SANTOS, White José dos. Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassa de revestimento e assentamento. Viçosa, MG: UFV, 2014.

SILVA, Fernanda Belizário. Módulo de deformação de argamassas: avaliação dos métodos de ensaio e principais fatores intervenientes. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009, Curitiba, PR, Anais.... São Carlos, SP: EPUSP, 2009.

VITALÓ, Rolando Ramirez; FRANCO, Luiz Sérgio. A capacidade resistente da alvenaria estrutural não armada. São Paulo, SP: EPUSP, 2000.

## CAPÍTULO 2

### INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO E DA ESPESSURA DA JUNTA HORIZONTAL EM PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

#### Resumo

A alvenaria estrutural é uma alternativa viável para o déficit habitacional do Brasil, sendo executada com uma gama de materiais que dificulta a definição de parâmetros normativos para balizar os projetos de alvenaria estrutural. Vários estudos foram realizados para avaliar a participação da argamassa de assentamento nas propriedades da alvenaria estrutural. Neste sentido, este estudo avaliou a influência que a resistência da argamassa e a espessura da junta de assentamento têm sobre prismas de blocos de concreto para alvenaria estrutural através dos ensaios de resistência à compressão e de módulo de elasticidade de prismas de dois blocos. Foram montados prismas com duas resistências de blocos, resistências à compressão da argamassa mista que representem uma relação de resistência com o bloco na área líquida em três diferentes faixas de resistência, sendo uma para uma relação baixa, menor de 40%, uma para uma relação entre 40% e 70% e uma faixa para uma relação alta, acima de 70% e juntas de assentamento de 5, 10 15 e 20 mm. Também foram utilizadas duas argamassas industrializadas. Os prismas com alta resistência foram mais influenciados pela variação da espessura das juntas. Para os blocos com resistência à compressão mais baixa, houve uma tendência de aumento da resistência à compressão dos prismas com o aumento da resistência da argamassa e uma redução da resistência à compressão dos prismas com o aumento da espessura da junta. O aumento da resistência à compressão da argamassa ocasionou um aumento do módulo de elasticidade para as argamassas mistas tendo efeito contrário para as argamassas industrializadas. O módulo de elasticidade dos prismas foi estimado em 473,25 vezes a resistência à compressão dos prismas. Os prismas com alta relação de resistências romperam por compressão no bloco. Já os prismas onde a relação de resistências esteve entre 40% e 70% romperam por tração no bloco e os prismas com relação de resistências mais baixa apresentaram rupturas por uma combinação de compressão e tração nos blocos.

**Palavras chave:** alvenaria estrutural, argamassa de assentamento, bloco de concreto, espessura da junta de assentamento, resistência à compressão do prisma, módulo de elasticidade do prisma.

#### 1. INTRODUÇÃO

“A alvenaria estrutural apresenta-se como uma grande alternativa para a redução de custos das edificações e, conseqüentemente, para a diminuição do déficit habitacional. Com isto, sua utilização aumentou e, nos últimos anos, várias pesquisas foram realizadas sobre o assunto” (GROHMANN, 2006, p. 22). Apesar do grande número de pesquisas, a alvenaria estrutural tem comportamento não completamente

entendido. “Isto leva a generalizações que nem sempre correspondem à realidade, e tem como consequência, o uso da mesma sem a plenitude de otimização possível” (MOHAMAD *et al.*, 1998, p. 8).

“Talvez o Brasil seja o único país do mundo onde se pratica a alvenaria estrutural utilizando uma gama tão grande de blocos. A diversidade de materiais e geometrias é vasta, sendo que os blocos de concreto e cerâmicos são igualmente usados” (LÜBECK, 2016, p. 51)

Os principais componentes da alvenaria estrutural de bloco de concreto são: o bloco como unidade básica; a argamassa, como solidarizante das unidades, também transmite e uniformiza tensões; o graute, usado eventualmente para aumentar a área líquida dos blocos e promover a solidarização dos blocos com as armaduras, que por sua vez apresentam um reforço nos pontos de maior tração da estrutura (SABBATINI, 1986; OLIVEIRA, 2015; MOHAMAD, 1998; SANTOS, 2016; MIRANDA, 2012; CALÇADA, 1998).

Prismas, pequenas paredes e elementos em escala reduzida são amplamente utilizados como corpos de prova na busca por caracterizar e estudar a alvenaria estrutural. “Os estudos empíricos para verificar a resistência da alvenaria estrutural geralmente ocorrem através de análises de prisma, que são a base dos projetos estruturais, uma vez que a correlação prisma/parede é mais próxima do que a relação bloco/parede” (GROHMANN, 2006, p. 34). Com o intuito de facilitar a correlação entre o resultado dos ensaios com a alvenaria, a NBR 15961-1 (2011) permite utilizar o valor da resistência característica à compressão simples da alvenaria ( $f_{par}$ ) como sendo 70% da resistência característica à compressão simples do prisma ( $f_{pk}$ ) ou 85% da resistência à compressão simples de pequenas paredes ( $f_{pp}$ ).

As argamassas mistas de cimento e cal são amplamente utilizadas no Brasil, inclusive para o assentamento de alvenaria estrutural. Machado e Antunes (2016, p. 2) indicam a argamassa mista para assentamento de alvenaria estrutural pela combinação de trabalhabilidade e resistência que a cal e o cimento proporcionam à massa, respectivamente. “A argamassa com adição de cal tem a resistência reduzida, no entanto, tem maior trabalhabilidade, maior retenção de água e maior capacidade de absorver as deformações da parede, pois é menos rígida que uma massa produzida somente com cimento” (OLIVEIRA, 2015, p. 67).

Entretanto, as exigências feitas para as argamassas de assentamento são ‘sucintas nas normas brasileiras’ (LÜBECK, 2016, p. 52). A NBR 15961-1 (2011) estabelece apenas um limite superior de 70% da resistência característica à compressão do bloco na área líquida ( $f_a/f_b$ ) como parâmetro de resistência da argamassa.

Para Ramalho e Corrêa (2003), a influência da resistência da argamassa não ocorre de forma tão significativa, considerando sua importância somente se a resistência da argamassa for menor que 40% da resistência do bloco.

Barbosa (2008) realizou ensaios com prismas e miniparedes de blocos de concreto, obtendo um fator de eficiência parede/prisma na faixa de 80%, como apresentado na Tabela 2.1. O aumento da resistência da argamassa em 74% causou um crescimento de apenas 6% na resistência dos prismas e miniparedes.

*Tabela 2.1 - Resistência à compressão de blocos de concreto, argamassas, prismas e miniparedes em N/mm<sup>2</sup>. (Adaptada de Barbosa, 2008)*

<b>Grupo</b>	<b><math>f_{par}</math></b>	<b><math>f_p</math></b>	<b><math>f_a</math></b>	<b><math>f_b</math></b>	<b><math>f_{par}/f_p</math></b>
PAR 1	15,5	19,3	10,4	24,9	0,803
PAR 2	16,5	20,5	18,1	23,7	0,805

Romagna (2000, p. 96) afirma que para “blocos de menor resistência ( $f_b$ ), a resistência da argamassa ( $f_a$ ) não influencia na resistência da alvenaria ( $f_{par}$ )”. Ao ensaiar prismas de 4,5 MPa, Juste (2001, p. 93) conclui que “o uso da argamassa de menor resistência à compressão teve pouquíssima interferência nos valores de resistência à compressão dos prismas”. Ela ainda explica que essa pequena influência da resistência da argamassa na resistência de paredes constituídas de blocos usuais se deve ao fato da argamassa estar submetida a um estado uniaxial de tensões nos ensaios à compressão em cilindros ou cubos, diferentemente do estado triaxial a que fica submetida na alvenaria.

“A argamassa, quando em forma de junta, tem sua resistência aumentada em função das condições e estado triaxial de tensões, pois a região central da argamassa está totalmente confinada e distante das extremidades” (CASTRO, 2015, p. 14). Logo, juntas maiores diminuem a região influenciada pelo estado de confinamento da argamassa, causando perda de resistência final da alvenaria (BARBOSA e HANAI, 2009; MIRANDA, 2012; BARBOSA, 2004)

A NBR 15961-2 (2011) especifica 10 mm para a espessura das juntas horizontais, com uma tolerância de mais ou menos 3 mm. Apenas as juntas de assentamento da primeira fiada podem ter espessuras maiores devido às

irregularidades do pavimento no qual é assentada e à necessidade de nivelamento e prumo que servirão de baliza para todo o painel de alvenaria.

Sahlin (1971, *apud* BARBOSA, 2004, p. 24) afirma que pode haver um “decréscimo na resistência à compressão da alvenaria de 15% para cada 3 mm de aumento na espessura da junta [...]”. Já Hamid e Drysdale (1979, *apud* JUSTE, 2001) observaram uma diminuição de 16% na resistência do prisma quando a espessura da junta foi aumentada em 9 mm.

Aly e Sabbatini (1994) ensaiaram paredes executadas com blocos vazados de concreto com três resistências de bloco: 7,9 MPa, 10,6 MPa e 13,3 MPa. As argamassas tinham uma relação de resistência com os blocos na área bruta ( $f_a/f_b$ ) de 81,0%, 87,7% e 73,7%, respectivamente. Tanto as paredes grauteadas como as não grauteadas apresentaram aumento de  $f_{par}$  à medida que aumentava  $f_b$ . Porém, o aumento de 14% de ( $f_a/f_b$ ) ocasionou a redução de 1,9MPa em  $f_{par}$ .

Medeiros e Sabbatini (1993) ensaiaram paredes executadas com blocos vazados de concreto, utilizando três resistências de bloco (8,4MPa, 10,8MPa e 14,9MPa) e duas argamassas (4,55MPa e 5,89MPa). Os resultados apontam que, com o aumento de  $f_b$ , acontece também o aumento de  $f_{par}$ . O mesmo ocorre com a argamassa: aumentando  $f_a$  ocorre o aumento de  $f_{par}$ . Ao aumentar a relação ( $f_a/f_b$ ) na área bruta em 24%, ocorreu a redução de  $f_{par}$  em 0,7 MPa (16%). O aumento de ( $f_a/f_b$ ) em 10% proporciona um crescimento médio da eficiência ( $f_{par}/f_b$ ) em 5%.

Mendes (1998) ensaiou prismas de 3 blocos cerâmicos, em sua maioria grauteados. Analisando os dados dos prismas não grauteados, pode-se inferir que o aumento de  $f_a$  proporciona o aumento de  $f_p$ . O aumento de 59% da relação ( $f_a/f_b$ ) na área bruta ocasionou o aumento em 54% de  $f_p$ .

Mohamad (1998) confeccionaram prismas de três blocos vazados de concreto com duas resistências de bloco (10,70MPa e 15,70MPa) e quatro argamassas (2,28MPa, 4,20MPa, 8,63MPa e 19,90MPa). A resistência dos prismas mostrou uma interação positiva com os componentes da alvenaria, ou seja, ela aumenta com o aumento de  $f_b$  e com o aumento de  $f_a$ . O aumento em 165% da relação ( $f_a/f_b$ ) na área bruta ocasionou o aumento da eficiência ( $f_p/f_b$ ) na área bruta de apenas 28%.

Romagna (2000) realizou ensaios com prismas de três blocos, com unidades vazadas de concreto. Foram usadas três resistências de blocos (7,23MPa, 13,92MPa e 19,4MPa). Os resultados indicaram o aumento de  $f_p$  à medida que  $f_b$  aumentou. Porém,

o aumento da relação ( $f_a/f_b$ ) em 66% causou uma redução de  $f_p$  em aproximadamente 8,0 MPa.

Com o intuito de avaliar a resistência à compressão da alvenaria, Silva (2007) realizou ensaios com prismas de dois e três blocos, painéis com dimensão de 45x60cm e 90x100 cm, além de paredes de 90x240cm. Foram usados dois blocos (11,8MPa e 22MPa), duas argamassas mistas (5MPa e 10,8MPa) e duas argamassas industrializadas (7,5MPa e 22,5MPa). Ao avaliar o resultado dos prismas, pode-se inferir que o aumento de  $f_b$  gera um crescimento em  $f_p$ . Da mesma forma, o aumento de  $f_a$  ocasiona o aumento de  $f_p$ . O aumento da relação ( $f_a/f_b$ ) ocasiona o aumento da eficiência ( $f_p/f_b$ ) para os prismas.

É bem aceito pela comunidade de pesquisa que a ruptura por compressão da alvenaria é principalmente governada pela interação entre unidade e argamassa (IZQUIERDO, 2011; PINHEIRO, 2009; SILVA, 2007; MOHAMAD *et al.*, 1998). “Assumindo a compatibilidade das tensões entre os componentes, a diferença na rigidez leva, sob carregamento uniaxial de compressão, a um estado de tensão caracterizada por tensão de compressão biaxial das unidades e compressão triaxial da argamassa” (PINA-HENRIQUES, 2005, p. 2, tradução nossa).

Quando utilizada uma argamassa mais fraca, as tensões de compressão na argamassa superam sua resistência à compressão, mesmo no estado confinado, causando a ruptura da alvenaria por esmagamento das juntas de argamassa. Já uma argamassa mais deformável que a unidade ocasiona tensões laterais de tração no bloco devido à aderência na interface argamassa/bloco. Quando essas tensões ultrapassam a capacidade resistente à tração do bloco, a alvenaria rompe por tração nos blocos. As argamassas com maior resistência e rigidez não absorvem as pequenas deformações na alvenaria, além de causar a ruptura da alvenaria por ruptura do bloco. Ao usar uma argamassa mais forte, os pesquisadores destacam que a alvenaria rompe de forma abrupta e explosiva, uma vez que, por ser muito rígida, a argamassa não consegue acomodar movimentos diferenciais (ALVARENGA *et al.*, 2017; SILVA, 2007; MOHAMAD, 1998).

Diante do exposto e dos desafios de escolha de uma argamassa adequada para assentamento de alvenaria estrutural com blocos de concreto e do controle de qualidade das juntas, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da resistência da argamassa e de diferentes espessuras de junta de assentamento sobre a alvenaria

estrutural de blocos de concreto através de ensaios de prismas de 2 blocos. Foram utilizadas argamassas mistas de cimento e cal e argamassas industrializadas.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Caracterização dos Materiais**

As propriedades dos blocos foram avaliadas de acordo com a NBR 12118 (2013) e os resultados comparados de acordo com os requisitos da NBR 6136 (2014). Os ensaios para determinação da resistência à compressão ( $f_b$ ) e módulo de elasticidade dos blocos ( $E_b$ ) foram realizados na máquina universal de ensaios da marca EMIC modelo PCE200PLUS. As deformações dos blocos foram medidas através de *Clip Gages* da marca EMIC, com curso de 10 cm. Não foi possível mensurar o módulo de elasticidade do bloco de 16,0 MPa, pois, para esta resistência de bloco, o script do ensaio utilizado não permite aplicar carga suficiente para atingir 30% da tensão prevista de ruptura.

As propriedades da areia foram definidas segundo a NBR 7217 (1987) e a massa específica do cimento e da cal foram determinados de acordo com a NBR 6474 (1984)

Tanto as argamassas mistas quanto as industrializadas foram testadas na mesa de ensaio para determinação do índice de consistência (NBR 13276, 2005) e determinada a retenção de água de acordo com a NBR 13277 (2005). Para a determinação das propriedades no estado endurecido, os corpos de prova prismáticos e cilíndricos foram moldados no início e no final da montagem dos prismas de alvenaria. Eles foram ensaiados para determinação das resistências à tração na flexão e à compressão (NBR 13279, 2005), módulos de elasticidade estático (NBR 7215, 1996) e dinâmico (NBR 15630, 2008).

#### **2.1.1. Propriedades dos blocos estruturais**

Para a realização dessa pesquisa, foram selecionados blocos com duas resistências, sendo um com resistência nominal de 6,0 MPa, como representante de uma classe de resistência mais baixa, e outro com resistência nominal de 16,0 MPa, como representante de uma classe de resistência mais alta. De acordo com o fabricante, os blocos possuem as seguintes características:

M 15 Classe B -  $f_{bk}$  6,0 MPa - 14x19x39 cm

M 15 Classe A -  $f_{bk}$  16,0 MPa - 14x19x39 cm

Na Tabela 2.2, são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização dos blocos estruturais de concreto.

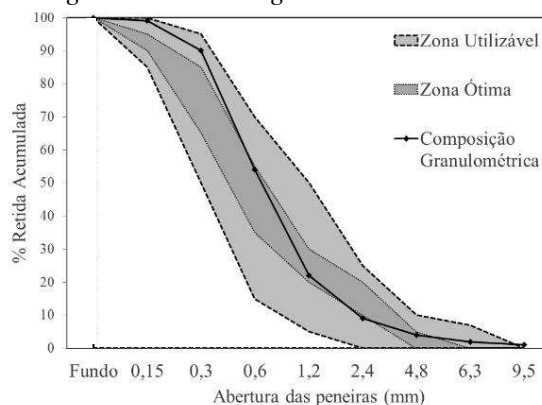
Tabela 2.2 - Propriedades dos blocos estruturais de concreto.

Propriedade Ensiada	Bloco	
	6 MPa	16 MPa
Comprimento (mm)	390	391
Largura (mm)	139	137
Altura (mm)	187	188
Absorção (%)	6,68	4,68
Área líquida (mm <sup>2</sup> )	30230	31416
$f_b$ (MPa)	9,1	26,9
$E_b$ (GPa)	7,87	-

### 2.1.2. Propriedades da areia, cimento e cal

Para a produção das argamassas mistas, foi utilizada uma areia extraída do Rio Piranga, em Porto Firme (MG). A areia possui uma massa específica de 2,61 g/cm<sup>3</sup>, massa unitária solta de 1,41 g/cm<sup>3</sup> e compactada de 1,56 g/cm<sup>3</sup>. Também apresentou um percentual de massa pulverulenta de 1,36% e sua composição granulométrica está apresentada na Figura 2.1.

Figura 2.1 - Curva granulométrica da areia.



O cimento utilizado neste estudo foi um CP II – F-32 e a cal foi uma CH III. O cimento apresentou massa específica de 3,04 g/cm<sup>3</sup> e a cal 2,35 g/cm<sup>3</sup>.

### **2.1.3. Propriedade das Argamassas**

Para a montagem dos prismas de alvenaria, as argamassas foram selecionadas de forma a atender aos critérios de consistência recomendada por Parsekian e Soares (2010) de  $230 \pm 10$  mm para alvenaria assentada com colher de pedreiro e resistências que proporcionem uma relação  $f_a/f_b$ , na área líquida do bloco, que se enquadre em três diferentes faixas, de acordo com a seguinte descrição:

F1 –  $f_a/f_b < 40\%$  – representa uma argamassa fraca em relação ao bloco.

F2 –  $40\% \leq f_a/f_b \leq 70\%$  – representa uma argamassa média em relação ao bloco.

F3 –  $f_a/f_b > 70\%$  – representa uma argamassa forte em relação ao bloco, acima do permitido na NBR 15961-1 (2011).

#### **2.1.3.1. Argamassas mistas**

As argamassas mistas foram previamente selecionadas dentre traços conhecidos e ensaiados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Viçosa. Testes preliminares foram realizados para a definição dos traços que atenderiam aos critérios definidos, como exposto no CAPÍTULO 1.

#### **2.1.3.2. Argamassas industrializadas**

Além das argamassas mistas, duas argamassas industrializadas foram utilizadas para a montagem de prismas com os blocos de 6,0 MPa. As argamassas utilizadas foram as argamassas industrializadas para assentamento estrutural de resistências nominais de 6 e 10 MPa. Essas resistências de argamassa representam 37% e 61% da resistência do bloco na área líquida. Logo, se encontram, respectivamente, nas faixas de resistência F1 e F2. As argamassas são compostas por Cimento Portland, agregados minerais, filler carbonático e aditivos químicos não tóxicos. São produzidas de acordo com NBR 13281 (2005).

A quantidade de água acrescentada na massa obedeceu às orientações do fabricante e ao critério de consistência, descrito anteriormente. As argamassas foram usadas na confecção dos prismas sem ensaios prévios.

### **2.1.4. Espessura das juntas de assentamento**

Com o objetivo de avaliar a influência das diferentes espessuras de juntas nas propriedades dos prismas de bloco de concreto, quatro espessuras diferentes foram

definidas. A partir da referência da NBR 15961-2 (2011) de 10 mm com uma tolerância para mais ou para menos de 3 mm, as espessuras escolhidas possuem um intervalo entre espessuras de junta de 5 mm. As espessuras de junta utilizadas nesse experimento foram 5, 10, 15 e 20 mm.

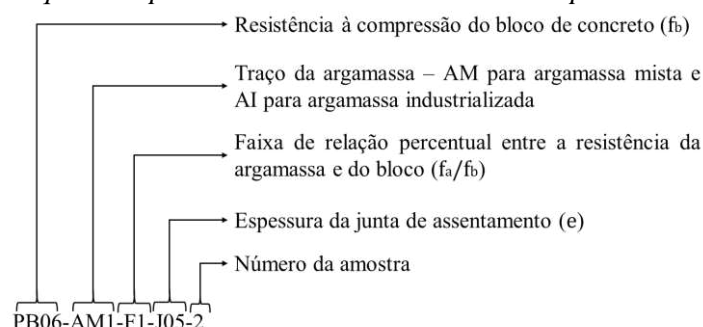
## 2.2. Modelo experimental

Na Tabela 2.3, são definidos os lotes de prismas que foram alvo deste estudo. Cada lote é identificado por uma codificação que contém quatro partes, sendo a primeira para identificar o bloco utilizado no prisma, a segunda para identificar o traço da argamassa, a terceira identifica a faixa de resistência através de sua relação de resistência com o bloco ( $f_a/f_b$ ) e a quarta que identifica a espessura da junta de assentamento do prisma. A parte final da nomenclatura, que indica o número da mostra, foi utilizada apenas nas tabelas com os dados individuais, que estão no APÊNDICE B.

Na Figura 2.2, está apresentado um esquema explicativo da nomenclatura dos lotes de prisma. Cada vez que um dado à direita da nomenclatura for omitido, significa que a indicação é para todos os prismas, independente das variações que ele representa. Por exemplo, PB06 representa todos os prismas montados com blocos de 6,0 MPa, para qualquer argamassa e qualquer espessura de junta; PB06-AM representa todos os prismas montados com bloco de 6,0 MPa, com argamassa mista, para qualquer traço, faixa de resistência e espessura de junta; PB06-AM1-F1 representa todos os prismas montados com blocos de 6,0 MPa e argamassa mista, com a relação  $f_a/f_b$  na faixa 1, para qualquer espessura de junta.

Para a identificação das argamassas, apenas as duas primeiras partes da nomenclatura são utilizadas, omitindo-se o “P”, que significa prisma. Logo, B06-AM1-F1 representa as argamassas que foram utilizadas na montagem dos prismas com blocos de 6,0 MPa e argamassa mista, com a relação  $f_a/f_b$  na faixa 1 de resistência.

Figura 2.2 - Esquema explicativo da nomenclatura adotada para os lotes de prisma.



Na Tabela 2.3, são apresentadas a identificação e as definições iniciais dos lotes de prismas realizados neste estudo.

*Tabela 2.3 - Definição inicial dos lotes de prismas.*

<b>Identificação do lote</b>	<b><math>f_b</math></b> (MPa)	<b>Tipo de Argamassa</b>	<b><math>f_a/f_b</math></b>	<b>e</b> (mm)	<b>Quantidade de amostras</b>
PB06-AM-F1-J05	6	Mista	< 40%	5	5
PB06-AM-F1-J10				10	5
PB06-AM-F1-J15				15	5
PB06-AM-F1-J20				20	5
PB06-AM-F2-J05	6	Mista	$40\% \leq f_a/f_b \leq 70\%$	5	5
PB06-AM-F2-J10				10	5
PB06-AM-F2-J15				15	5
PB06-AM-F2-J20				20	5
PB06-AM-F3-J05	6	Mista	> 70%	5	5
PB06-AM-F3-J10				10	5
PB06-AM-F3-J15				15	5
PB06-AM-F3-J20				20	5
PB16-AM-F1-J05	16	Mista	< 40%	5	5
PB16-AM-F1-J10				10	5
PB16-AM-F1-J15				15	5
PB16-AM-F1-J20				20	5
PB16-AM-F2-J05	16	Mista	$40\% \leq f_a/f_b \leq 70\%$	5	5
PB16-AM-F2-J10				10	5
PB16-AM-F2-J15				15	5
PB16-AM-F2-J20				20	5
PB16-AM-F3-J05	16	Mista	> 70%	5	5
PB16-AM-F3-J10				10	5
PB16-AM-F3-J15				15	5
PB16-AM-F3-J20				20	5
PB06-AI-F1-J05	6	Industrializada	< 40%	5	5
PB06-AI-F1-J10				10	5
PB06-AI-F1-J15				15	5
PB06-AI-F1-J20				20	5
PB06-AI-F2-J05	6	Industrializada	$40\% \leq f_a/f_b \leq 70\%$	5	5
PB06-AI-F2-J10				10	5
PB06-AI-F2-J15				15	5
PB06-AI-F2-J20				20	5

Após a caracterização das argamassas, os valores reais de  $f_a$  e  $f_b$  foram utilizados para identificar a faixa em que cada argamassa ensaiada se enquadra.

### 2.3. Preparação e caracterização das amostras

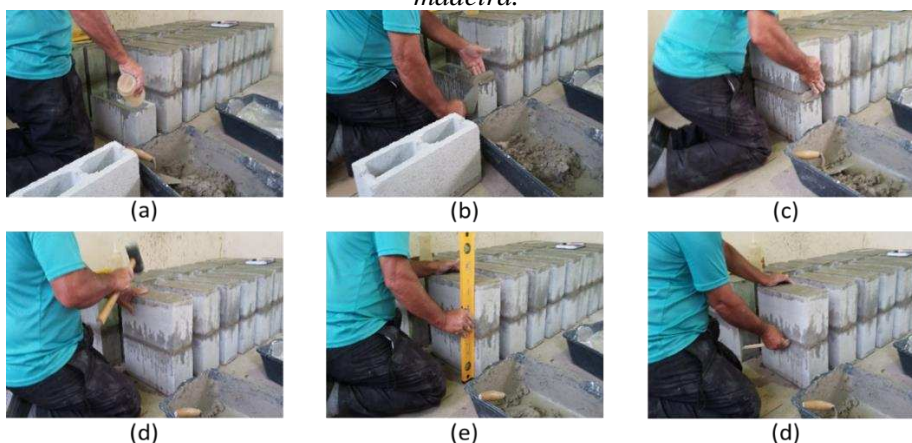
Para a montagem dos prismas, os blocos foram capeados com uma argamassa de cimento e areia fina, no traço (1:2), com adição de água de acordo com a experiência do técnico responsável. O capeamento foi feito pelo menos 3 dias antes da montagem do prisma.

Os lotes dos prismas foram moldados de acordo com a NBR 15961-2 (2011) por profissional qualificado. A Figura 2.3 mostra a sequência de passos para a montagem de um prisma. Em um único dia eram moldados os prismas de uma mesma argamassa com as 4 espessuras diferentes de junta. Dessa forma, cada traço foi produzido apenas uma vez para a montagem de cada lote.

Na produção das argamassas usadas na montagem dos prismas, para cada traço, uma mistura de areia, cal e parte da água foi feita na tarde anterior à montagem para melhor homogeneização da cal. O cimento e a quantidade de água dosada para alcançar a consistência, definida como parâmetro para a trabalhabilidade da argamassa de assentamento, foram adicionados no dia da montagem dos prismas. Esse procedimento alterou a quantidade original de água do traço.

Na produção das argamassas usadas na montagem dos prismas, para cada traço, uma mistura de areia, cal e parte da água foi feita na tarde anterior à montagem para melhor homogeneização da cal. O cimento e a quantidade de água dosada para alcançar a consistência, definida como parâmetro para a trabalhabilidade da argamassa de assentamento, foram adicionados no dia da montagem dos prismas. Esse procedimento alterou a quantidade original de água do traço.

*Figura 2.3 - Montagem dos prismas: (a) molhagem da superfície do bloco; (b) aplicação da argamassa; (c) posicionamento do bloco superior; (d) ajuste do bloco superior; (e) verificação do prumo e nível; (f) conferência da espessura da junta com gabarito de madeira.*



Após alcançar a consistência definida, foram moldados 6 corpos de prova prismáticos 4x4x16 cm e dois cilíndricos 5x10 cm. Também foi realizado ensaio de retenção inicial de água segundo a NBR 13277 (2005). Um novo lote de amostras foi moldado com a sobra da argamassa após o fim da montagem dos prismas.

#### **2.4. Determinação do desempenho**

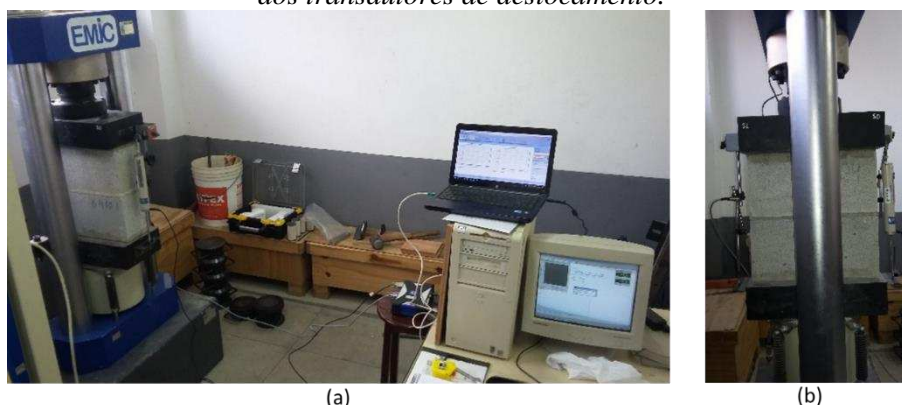
Os prismas foram produzidos e curados em galpão fechado e coberto, em temperatura e umidade ambientes, sem nenhum mecanismo de controle desses parâmetros. Após o período de cura (28 dias), os prismas passaram por medição das dimensões do prisma e das espessuras das juntas de assentamento e foram movimentados até o local dos equipamentos para ensaios de módulo de elasticidade e tensão de ruptura.

Os ensaios de cada lote foram realizados em dois dias. No primeiro dia (28 dias de cura), um prisma de cada espessura de junta foi rompido para verificação da tensão de ruptura. Outros dois prismas de cada espessura de junta foram rompidos, coletando-se os dados de deformação para determinação do módulo de elasticidade. No primeiro dia, também foram ensaiados os corpos de prova prismáticos e cilíndricos das argamassas. No segundo dia (29 dias de cura), os outros dois prismas de cada espessura de junta foram rompidos, coletando-se os dados de deformação.

Os prismas foram posicionados na base da máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo PCE200PLUS, conforme apresentado na Figura 2.4. Dois transdutores de deslocamento foram posicionados nas laterais do corpo de prova para medir o deslocamento do prato inferior da prensa na direção paralela à aplicação da força de compressão. À direita dos prismas, foi usado o transdutor da marca Kyowa modelo DT-100A, com curso de 100 mm, e à esquerda um transdutor da marca HBM, modelo 1-WA/100MM-T, com curso de 100 mm. O posicionamento dos transdutores de deslocamento também pode ser visto na Figura 2.4.

Os dados de força foram medidos pela célula de carga do próprio equipamento da EMIC. Os deslocamentos foram registrados através do Sistema de Aquisição de Dados (DAQ) QuantumX e do software catman®AP da HBM, a uma taxa de 5 Hz.

*Figura 2.4 - Equipamentos utilizados para ensaio para determinação do módulo de elasticidade e resistência dos prismas. (a) visão geral dos equipamentos. (b) posicionamento dos transdutores de deslocamento.*



Apesar de a NBR 15961-2 (2011) sugerir um procedimento para carregamento do prisma para determinação do módulo de elasticidade, optou-se por usar o procedimento de carregamento para ensaios de módulo de elasticidade de prismas cerâmicos, de acordo com a NBR 15812-2 (2010). Um ciclo de carga e descarga inicial também foi adotado para acomodação do prisma nos pratos de ensaio.

Logo, o procedimento de carregamento para os ensaios de módulo de elasticidade se deu da seguinte forma: aplicação de 10% da carga prevista de ruptura, esse patamar foi mantido por 60 segundos; descarregamento; aplicação de 10% da carga prevista de ruptura; mais 60 segundos nesse patamar; descarregamento; aplicação de 50% da carga prevista de ruptura; mais 60 segundos nesse patamar (nesse momento a leitura das deformações foram interrompidas); carregamento até a ruptura do prisma. Em todo o processo, a velocidade de carregamento foi de 0,05 MPa/s (NBR 12118, 2013)

## **2.5. Análise estatística**

Após a obtenção dos resultados de resistência e módulo de elasticidade das amostras, foram ajustados modelos que representassem as relações com as variáveis estudadas, além de outros parâmetros. Os ajustes dos modelos foram verificados através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Os dados também foram avaliados segundo uma análise de variância (ANOVA), para um nível de significância de 5 %.

Com o objetivo de avaliar a consistência dos resultados dos ensaios, foi aplicado o teste de Chauvenet para eliminar valores discrepantes. O teste é aplicado

supondo que se trata de uma distribuição normal. A razão entre o desvio de cada medição e o desvio padrão da série é avaliado de acordo com o critério de Chauvenet, que considera o dado discrepante quando a probabilidade de encontrar um desvio em relação à média é menor que o inverso de duas vezes o número de dados da série (FRANCA, 2004).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar dos corpos de prova de argamassa terem sido moldados em dois momentos diferentes (início e fim da montagem dos prismas de bloco estrutural de concreto), os resultados apresentados correspondem à média dos resultados, não diferenciando o momento da moldagem ou avaliando as diferenças de resistência entre as moldagens.

#### 3.1. Propriedades das argamassas mistas

Os traços de argamassa mista ensaiados previamente, se enquadraram nas três faixas, como demonstrado na Tabela 2.4. As argamassas necessárias para a produção dos lotes B27-AM-F2 e B27-AM-F3 apresentam resistência à compressão maior do que as argamassas produzidas com os materiais disponíveis e métodos utilizados puderam alcançar.

*Tabela 2.4 – Ensaios preliminares dos traços de argamassa. Relação entre resistência das argamassas e blocos. Identificação dos lotes de prisma.*

Lote de argamassa	$f_{bm}$ (MPa)	$A_1/A_b$ (%)	$f_a$ (MPa)	$f_a/f_b$ (%)
PB09-AM1-F1			5,4	33
PB09-AM2-F2	9,1	55,8	8,7	53
PB09-AM3-F3			15,9	97
PB27-AM3-F1	26,9	58,7	15,9	35

Os dados dos ensaios realizados com as argamassas mistas estão apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Dados dos ensaios das argamassas mistas e industrializadas.

Argamassa	Traço Ajustado em massa						Corpo de Prova Prismático						Corpo de prova Cilíndrico		
	Cimento	Cal	Areia	Água	Índice de Consistência (cm)	Retenção de Água (%)	7 dias		28 dias		Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	E <sub>a,d</sub> (GPa)	f <sub>a,c</sub> (MPa)	E <sub>a</sub> (GPa)	Relação Final f <sub>a</sub> / f <sub>b</sub> (%)
							f <sub>ta</sub> (MPa)	f <sub>ap</sub> (MPa)	f <sub>ta</sub> (MPa)	f <sub>ap</sub> (MPa)					
B09-AM1	1,000	1,548	6,447	1,797	23,70	94,21	1,1	3,5	1,3	5,7	1,8	9,9	5,6	9,7	34
B09-AM2	1,000	0,767	5,029	1,167	23,53	91,28	2,3	7,7	3,0	9,7	1,8	15,2	10,2	10,5	63
B09-AM3	1,000	0,386	3,866	0,883	23,12	92,40	3,4	13,0	4,1	16,8	2,0	21,9	17,7	15,4	109
B27-AM3	1,000	0,377	3,771	0,731	22,54	92,88	3,1	12,1	4,1	15,3	2,1	19,8	18,3	15,2	38
B09-AI1	-	-	-	5,950*	23,25	96,26	2,9	8,3	3,5	9,9	2,0	17,5	11,1	11,1	68
B09-AI2	-	-	-	6,730*	23,35	99,01	3,2	9,1	3,8	12,9	2,0	17,4	15,6	11,6	95

Ensaios realizados de acordo com NBR 8522 (2003), NBR 13276 (2005), NBR 13277 (2005) e NBR 13279 (2005).

\* A unidade água das argamassas industrializadas está em Kg. Esta quantidade de água foi utilizada em um saco de 25 Kg de argamassa.

### 3.2. Propriedades das argamassas industrializadas

Segundo dados do fabricante, a argamassa industrializada, com resistência nominal de 6,0 MPa, possui densidade de massa no estado fresco entre 1600 e 2000 kg/m<sup>3</sup>, apresenta retenção de água entre 80% e 90% e atinge uma resistência à compressão aos 28 dias maior que 6,0 MPa. Sua classificação pela NBR 13281 (2005) é P5, D4, U3. Esta argamassa será identificada por AI1.

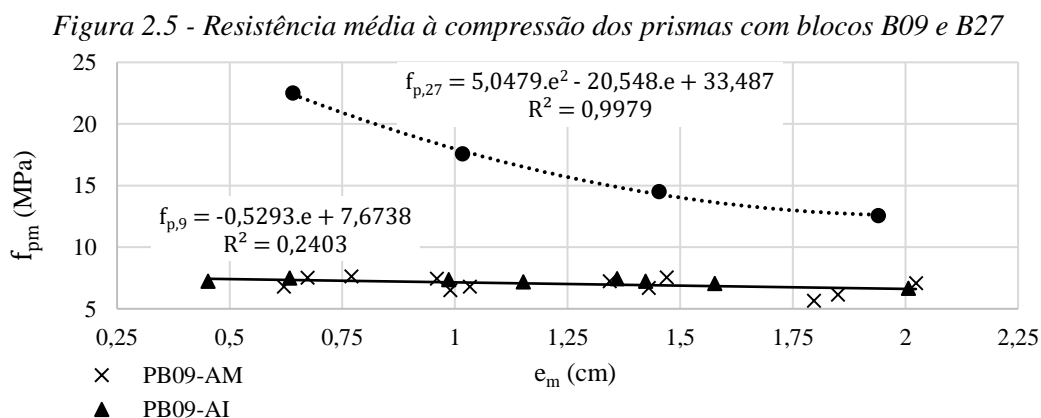
A argamassa industrializada com resistência nominal de 16,0 MPa também possui densidade de massa no estado fresco entre 1600 e 2000 kg/m<sup>3</sup> e apresenta retenção de água entre 80% e 90%, porém atinge uma resistência à compressão aos 28 dias maior que 10 MPa e sua classificação pela NBR 13281 (2005) é P6, D4, U3. Esta argamassa será identificada por AI2.

O resultado dos ensaios dos corpos de prova das argamassas industrializadas resultou em resistências à compressão superiores às resistências nominais, como indicado pelo fabricante. Na Tabela 2.5 também são apresentados os resultados dos ensaios realizados com as argamassas industrializadas. A argamassa AI1 se enquadrou na faixa 2 de resistência, e a argamassa AI2 na faixa 3.

### 3.3. Propriedade dos prismas

Os resultados individuais dos ensaios dos prismas estão apresentados no APÊNDICE B.

Na Figura 2.5, são apresentados os valores médios de resistência à compressão dos prismas ensaiados. Os prismas da série PB27 apresentaram uma sensibilidade maior à variação da espessura média das juntas do que os prismas das séries PB09.



De acordo com a análise de variância (ANOVA) realizada nos resultados para os prismas da série PB27, não houve diferença na resistência dos prismas com juntas de 15 e 20 mm.

### 3.3.1. Avaliação da resistência dos prismas

Na Tabela 2.6, são apresentadas as médias das resistências de prismas para cada argamassa ensaiada.

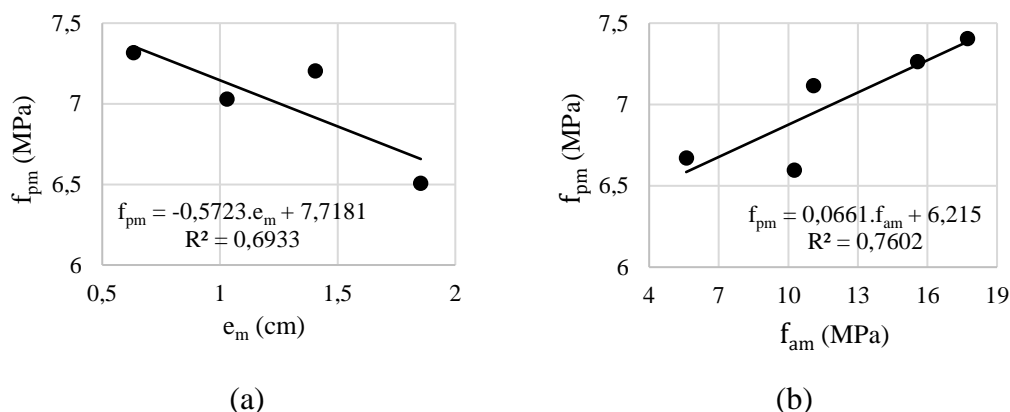
*Tabela 2.6 - Resistência à compressão média dos prismas.*

<b>Lote de prisma</b>	<b><math>f_{bm}</math></b> (MPa)	<b><math>f_{am}</math></b> (MPa)	<b><math>f_{pm}</math></b> (MPa)
B09-AM1-F1	9,1	5,6	6,7
B09-AM2-F2	9,1	10,3	6,6
B09-AM3-F3	9,1	17,7	7,4
B09-AI1-F2	9,1	11,1	7,1
B09-AI2-F3	9,1	15,6	7,3
B27-AM3-F1	27,0	18,3	16,8

Como apenas uma série de prismas dos blocos B27 foi executada, as análises seguintes limitam-se a avaliar o comportamento dos prismas de blocos B09 a partir da variação das resistências das argamassas e das espessuras das juntas de assentamento.

Na Figura 2.6 (a), está representado o comportamento  $f_{pm}$  da série PB09 com a variação das espessuras da junta de assentamento, enquanto na Figura 2.6 (b) está representado o comportamento de  $f_{pm}$  com a variação de  $f_{am}$ . Os dados apontam uma tendência de redução de  $f_{pm}$  à medida que a espessura aumenta, sendo o aumento da espessura em 5 mm responsável por uma redução média de 4% de  $f_{pm}$ . Esta taxa está abaixo da encontrada por Sahlm, de redução em 15% de  $f_{par}$  a cada 3 mm de junta. Ela também é menor que a taxa encontrada para prismas por Hamid e Drysdale (1979) de redução em 16% de  $f_p$  a cada 9 mm de espessura de junta.

Figura 2.6 – (a) Resistência média geral dos prismas PB09 com a variação das espessuras médias das juntas. (b) Resistência média geral dos prismas PB09 com a variação da resistência média da argamassa.



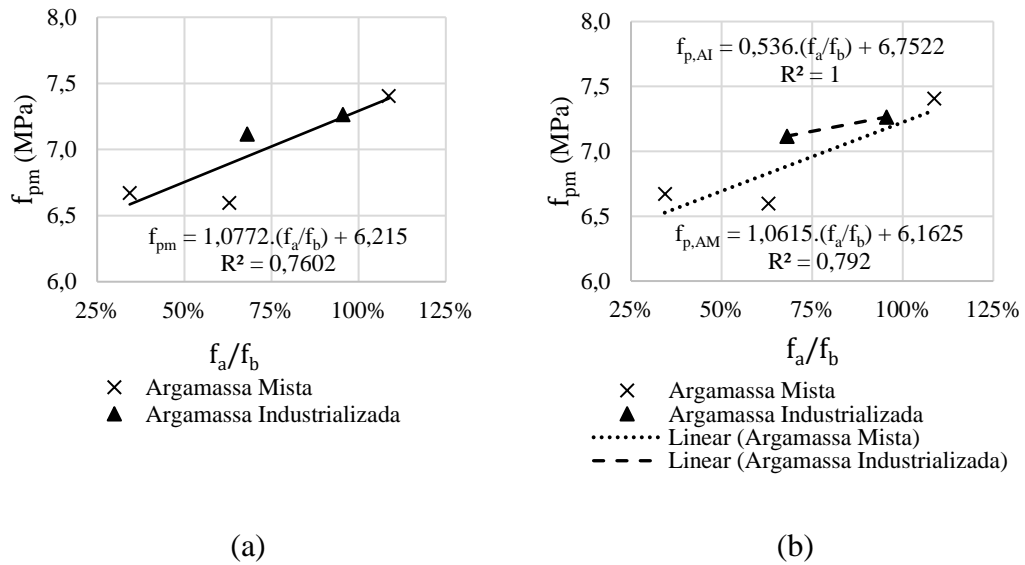
Também existe uma tendência de aumento de  $f_{pm}$  à medida que  $f_{am}$  aumenta, sendo o aumento de 5,0 MPa de  $f_{am}$  responsável pelo aumento da  $f_{pm}$  em 5%.

De acordo com a análise de variância realizada nos resultados de  $f_p$ , apenas os prismas das séries PB09-AM1-F1 e PB09-AI1-F2 apresentaram diferença estatística na resistência com a variação das espessuras das juntas. Na série PB09-AM1-F1, não houve diferença entre os prismas com juntas de 5 e 15 mm. Na série PB09-AI1-F2, as resistências dos prismas com juntas de 5, 10 e 15 mm não apresentaram diferença estatística, assim como a resistência dos prismas com juntas de 10, 15 e 20 mm não apresentaram diferença estatística.

A mesma tendência de crescimento de  $f_{pm}$  em detrimento do aumento de  $f_{am}$  pode ser observada nos gráficos da Figura 2.7. O aumento de  $f_a/f_b$  em 25% ocasionou um aumento de  $f_{pm}$  em apenas 4%. Os dados condizem com a afirmativa de Romagna (2000) de que a resistência da argamassa pouco influencia a resistência das alvenarias de blocos de baixa resistência a compressão. Esta taxa de crescimento é maior do que a encontrada por Mendes (1998) para blocos cerâmicos onde o aumento de 59% de  $f_a/f_b$  na área bruta proporciona um aumento de 54% de  $f_p$ . Para os blocos de concreto ensaiados, um aumento de 116% de  $f_a/f_b$  ocasionou um crescimento de 170% em  $f_{pm}$ .

Já a comparação com os resultados de Mohamad (1998) indicou uma taxa de crescimento de  $f_p/f_b$  menor. Os dados de Mohamad (1998) apresentaram um aumento de 28% de  $f_p/f_b$  com o aumento de 165% de  $f_a/f_b$  na área bruta. Já os resultados dos ensaios indicam um aumento de apenas 8% de  $f_p/f_b$  com o aumento de 115% de  $f_a/f_b$  na área bruta.

Figura 2.7 – (a) Resistência média geral dos prismas PB09 com a variação de  $f_a/f_b$ . Linha de tendência geral. (b) Resistência média geral dos prismas PB09 com a variação de  $f_a/f_b$ . Linha de tendência para argamassa mista e para argamassa industrializada.



Ainda pode-se observar que o comportamento das argamassas industrializadas foi semelhante ao das argamassas mistas. Porém, enquanto o aumento de  $f_a/f_b$  em 25% ocasiona o crescimento de  $f_{p,AM}$  de 4%, para a argamassa industrializada ( $f_{p,AI}$ ) esse crescimento foi de apenas 2%.

De acordo com a análise de variância realizada nos resultados de  $f_p$ , comparando-se as séries PB09-AM2-F2 e PB09-AI1-F2, que se encontram na mesma faixa de resistência, apenas os prismas com juntas de 5 e 20 mm apresentaram diferença estatística. Ou seja, para as juntas de 10 e 15 mm, as argamassas mista e industrializada com resistência na faixa dentro do permitido pela NBR 15961-1 (2011) apresentaram comportamento semelhante.

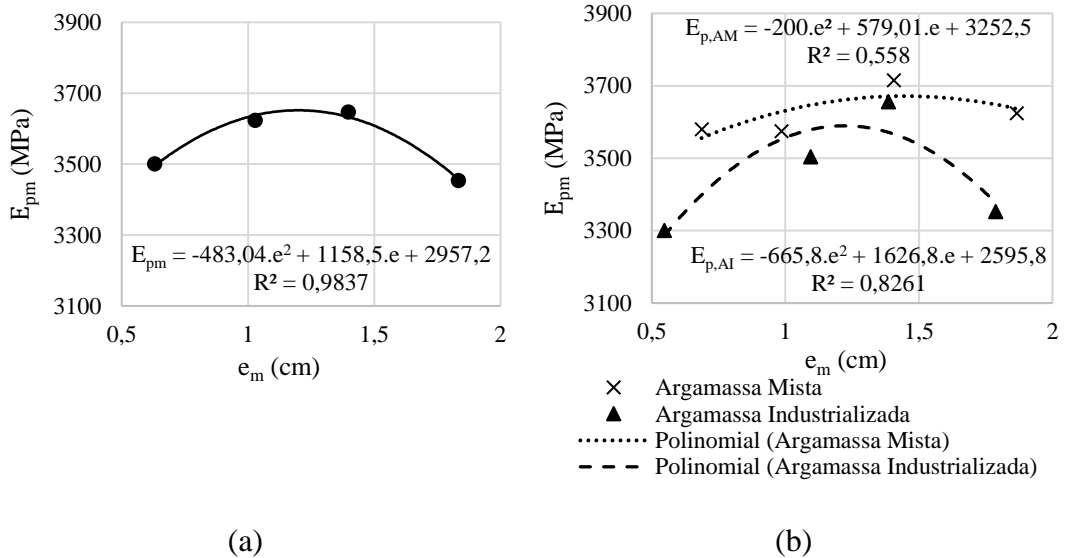
A mesma análise foi realizada comparando-se as séries PB09-AM3-F3 e PB09-AI2-F3, que se encontram na mesma faixa de resistência. Não houve diferença estatística na resistência dos prismas para nenhuma espessura de junta. Ou seja, as argamassas mista e industrializada apresentaram comportamento semelhante para prismas na faixa 3, que possuem uma resistência de argamassa acima do permitido pela NBR 15961-1 (2011).

### 3.3.2. Avaliação do módulo de elasticidade dos prismas

A variação do módulo de elasticidade comportou-se como um polinômio de segundo grau quando variada a espessura da junta de assentamento. Na Figura 2.8 (a),

está apresentado o comportamento geral do módulo de elasticidade da série PB09 com a variação da espessura da junta. A partir da Figura 2.8 (b), pode-se inferir que  $E_{p,AI}$  (PB09-AI) teve maior influência da variação da junta do que  $E_{p,AM}$  (PB09-AM).

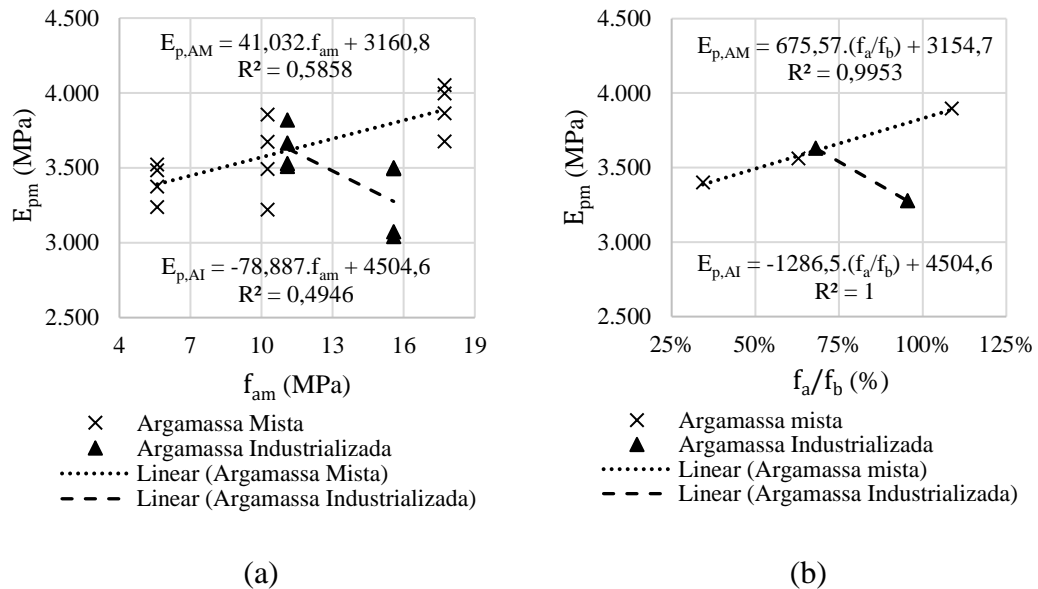
Figura 2.8 (a) Módulo de elasticidade médio geral dos prismas PB09 com a variação das espessuras das juntas. Linha de tendência geral. (b) Módulo de elasticidade médio dos prismas PB09 com a variação da espessura da junta. Linha de tendência para argamassa mista e para argamassa industrializada.



Apesar do exposto, pela análise de variância realizada, não houve diferença estatística para o módulo de elasticidade. Em análises por tipo de argamassa, apenas a série PB27-AM3-F1 apresentou diferença estatística do módulo com a variação da espessura da junta. O módulo de elasticidade para os prismas com juntas de 5, 10 e 15 mm não apresentaram diferença estatística, assim como o módulo de elasticidade dos prismas com juntas de 10, 15 e 20 mm não apresentaram diferença estatística.

Com relação à variação de  $f_a$ ,  $E_{p,AI}$  teve um comportamento contrário dos prismas com argamassa mista, como apresentado na Figura 2.9 (a). Analisando as linhas de tendência apresentadas na Figura 2.9 (b), pode-se inferir que o aumento de 25% de  $f_a/f_b$  para argamassas mistas proporcionou um aumento de 5% de  $E_{pm}$  enquanto o aumento em 25%  $f_a/f_b$  para argamassa industrializada proporcionou a redução de 8% de  $E_{pm}$ .

Figura 2.9 (a) Módulo de elasticidade médio dos prismas PB09 com a variação da resistência da argamassa. Linha de tendência para argamassa mista e para argamassa industrializada. (b) Módulo de elasticidade médio geral dos prismas PB09 com a variação de  $f_a/f_b$ . Linha de tendência para argamassa mista e para argamassa industrializada.



De acordo com a análise de variância realizada nos resultados de módulo de elasticidade, comparando-se a argamassa mista com a industrializada, apenas os prismas com juntas de 20 mm das séries PB09-AM3-F3 e PB09-AI2-F3 apresentaram diferença estatística. Ou seja, a argamassa mista e a argamassa industrializada resultaram em comportamentos semelhantes para o módulo de elasticidade.

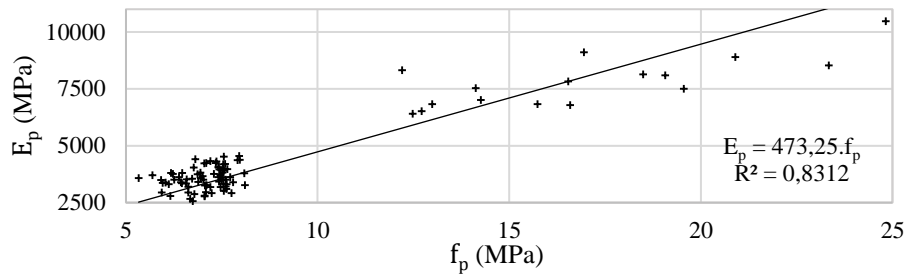
Logo, conclui-se que, como a variação das propriedades da argamassa e espessura da junta não ocasionaram variação estatística no módulo de elasticidade dos prismas, este deve estar relacionado com as propriedades do bloco.

### 3.3.3. Relação entre resistência e módulo de elasticidade dos prismas

Os dados também apresentam uma relação direta de  $f_p$  com o aumento de  $E_p$ , como apresentado na Figura 2.10.

A NBR 15961-1 (2011) simplifica essa relação permitindo o cálculo de  $E_p$  como sendo  $(800 f_{pk})$ , sendo fixada 16 GPa como valor máximo. Traçando uma linha de tendência que passe pelo ponto (0;0) do gráfico, a equação encontrada indica que, para os prismas ensaiados,  $E_p$  pode ser estimado como sendo  $(473,25 f_p)$ . Essa relação é mais conservadora que a indicada pela norma.

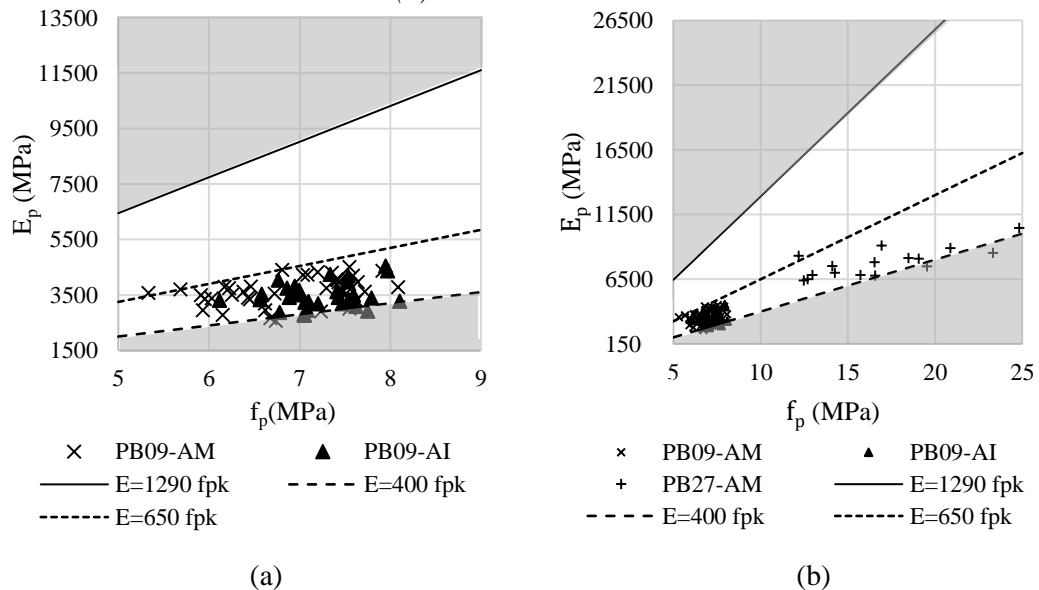
Figura 2.10 - Relação da resistência à compressão ( $f_p$ ) com o módulo de elasticidade dos prismas ( $E_p$ ).



Parsekian, Hamid e Drysdale (2014) apresentam dados de ensaios de prismas ocos e grauteados que se encontram na região entre ( $400 f_{pk}$ ) e ( $1290 f_{pk}$ ). Os gráficos da Figura 2.11 confirmam que os prismas ensaiados estão dentro da região de módulo de elasticidade apresentada por Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), estando mais restritos à região entre ( $400 f_p$ ) e ( $650 f_p$ ). Alguns prismas encontram-se abaixo da linha de ( $400 f_p$ ). Para os dados apresentados por Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), na região entre ( $650 f_p$ ) e ( $1290 f_{pk}$ ), devem estar os prismas com blocos mais resistentes ou grauteados, não sendo identificados pelos autores.

Considerando o limite superior e inferior de Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), para blocos grauteados e não grauteados, o valor médio está próximo ao indicado pela norma. Pode-se inferir que o valor da norma pode ser utilizado para alvenaria grauteada e não grauteada, o que explica o valor mais conservador encontrado, já que os prismas ensaiados não são grauteados.

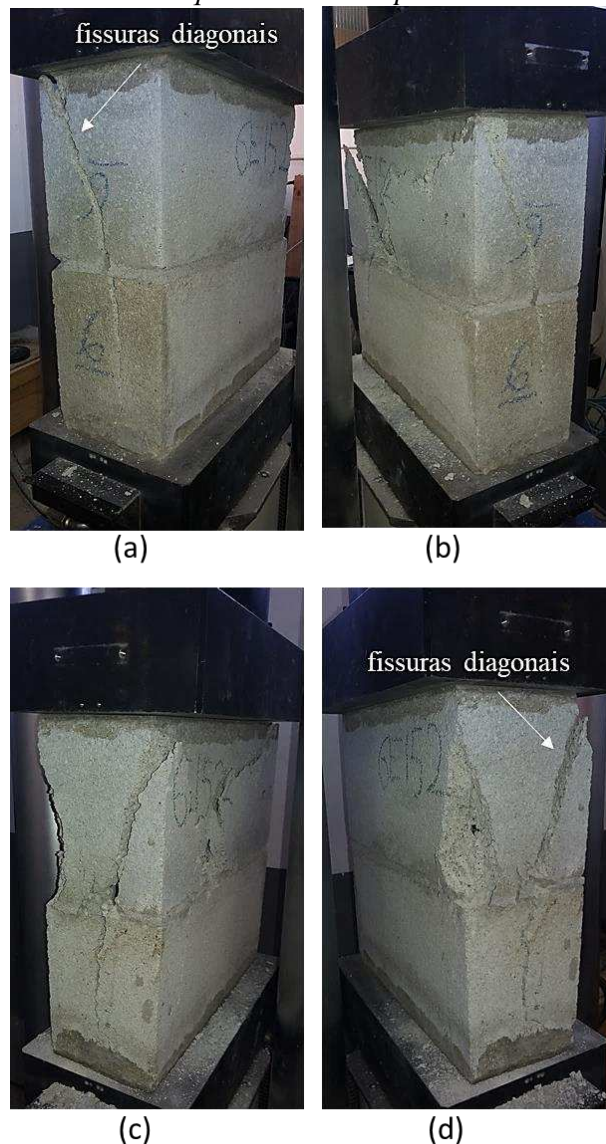
Figura 2.11 Módulo de elasticidade pela resistência dos prismas. Região normalizada entre as linhas que indicam módulo de elasticidade entre  $400 f_p$  e  $1290 f_p$ . (a) Apenas prismas da série PB09 (b) Prismas das séries BP09 e PB27



### 3.3.4. Modo de ruptura dos prismas

Os prismas apresentaram modos de ruptura diferentes para as diferentes faixas de resistência. As séries com argamassa mais forte (PB09-AM3-F3 e PB09-AI2-F3) apresentaram ruptura predominante por compressão nos blocos. Apesar da resistência próxima à do bloco na área líquida, a argamassa possui um módulo de elasticidade superior ao do bloco, levando o prisma a romper por compressão no bloco. A Figura 2.12 exemplifica uma ruptura por compressão no bloco.

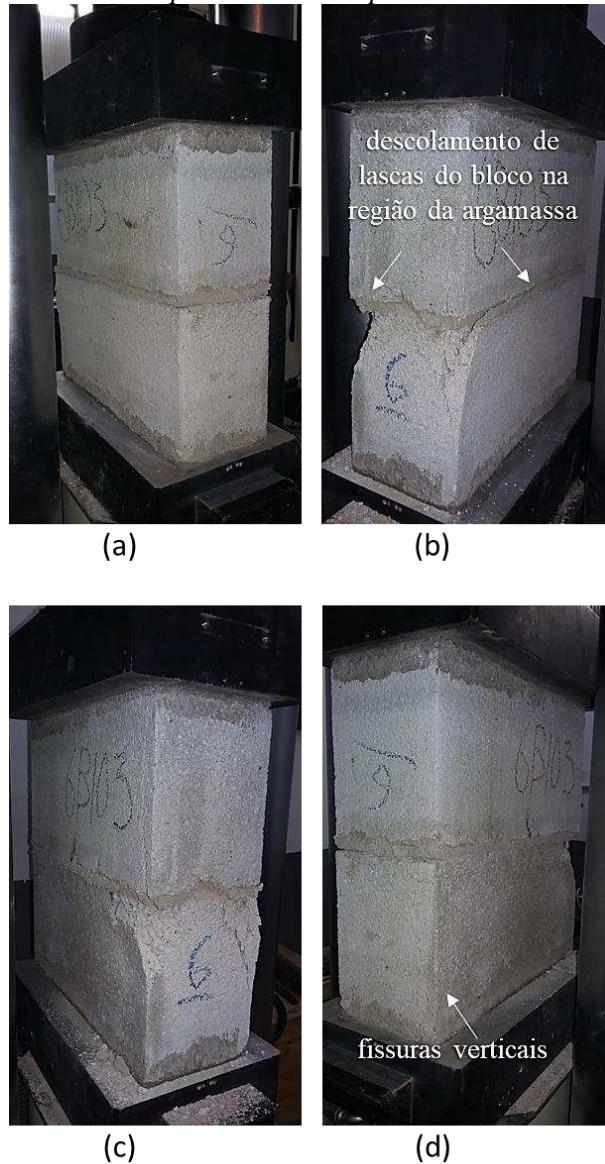
Figura 2.12 - Ruptura por compressão do prisma PB09-AI2-F3-J15-2. (a) (b) (c) (d) vistas dos quatro cantos do prisma.



As séries de prismas pertencentes à faixa 2, com resistência à compressão da argamassa abaixo do limite superior da norma (PB09-AM2-F2 e PB09-AI1-F2) romperam predominantemente por tração no bloco. A deformabilidade das argamassas

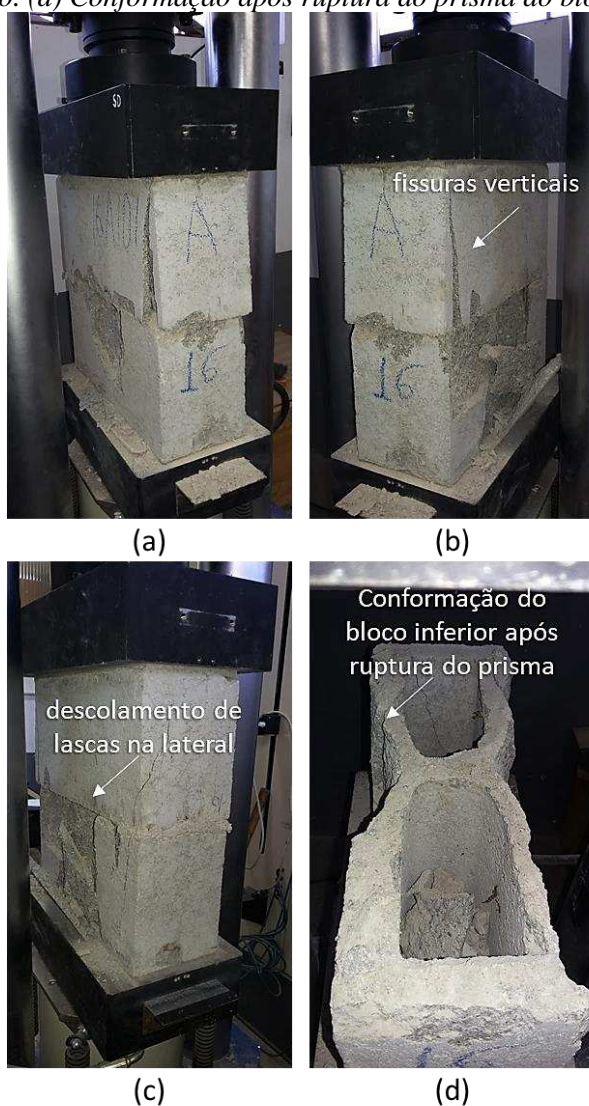
e a aderência com os blocos proporcionaram um estado de tensões que levou a tensão lateral de tração do bloco a ultrapassar sua resistência à tração. Algumas rupturas sugerem uma interação entre a tração e compressão no bloco. A Figura 2.13 exemplifica uma ruptura por tração no bloco.

*Figura 2.13 - Ruptura por tração do bloco. PB09-AM2-F2-J10-3. (a) (b) (c) (d) vistas dos quatro cantos do prisma.*



As séries pertencentes à faixa 1, por estarem associadas a blocos com diferentes resistências, apresentaram comportamentos diferentes. A série PB27-AM3-F1 apresentou ruptura predominante por tração nos blocos. Na Figura 2.14, são apresentadas imagens da ruptura dessa série de prismas.

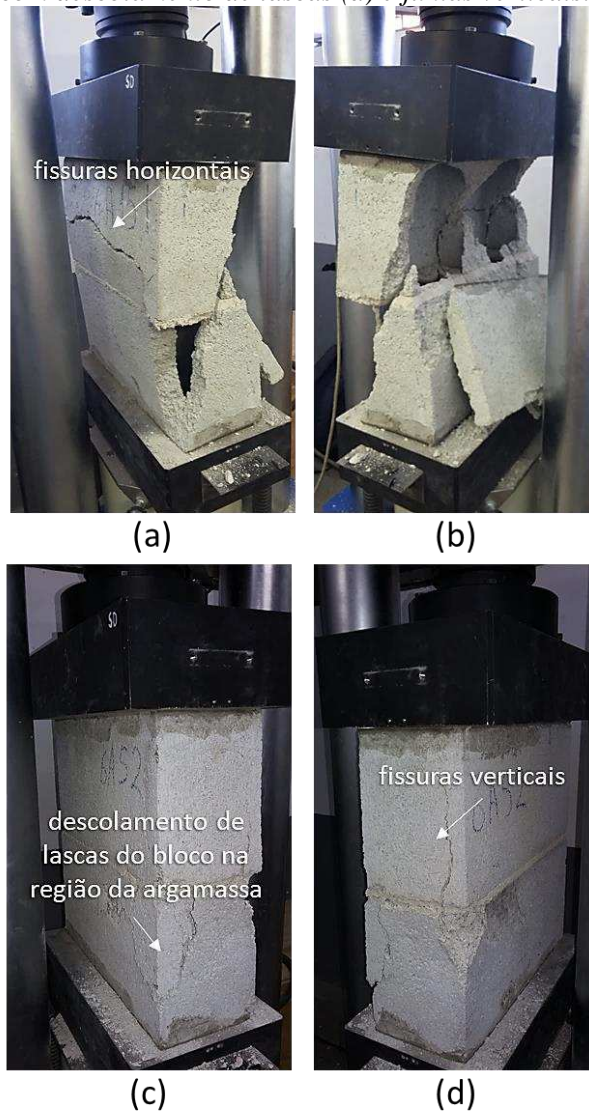
Figura 2.14 - Ruptura por tração do bloco. PB27-AM3-F1-J10-1: (a) (b) (c) vistas do prisma após rompido. (d) Conformação após ruptura do prisma do bloco inferior do prisma.



Já a série PB09-AM1-F1, por ser montada com blocos de menor resistência, e pela argamassa de traço mais fraco, apresentou uma variabilidade de modos de ruptura entre compressão e tração nos blocos, não apresentando predominância de um ou outro modo de ruptura. Na Figura 2.15, são apresentados uma ruptura por compressão e outra por tração ocorridos na série PB09-AM1-F1.

Em nenhum caso houve predominância perceptiva do modo de ruptura influenciada pelas espessuras das juntas de assentamento.

Figura 2.15 - Ruptura por compressão do bloco. PB09-AM1-F1-J15-1: (a) fissuras horizontais (b) e ruptura dos blocos. Ruptura por tração do bloco. PB09-AM1-F1-J05-2 (c) com descolamento de lascas (d) e juntas verticais.

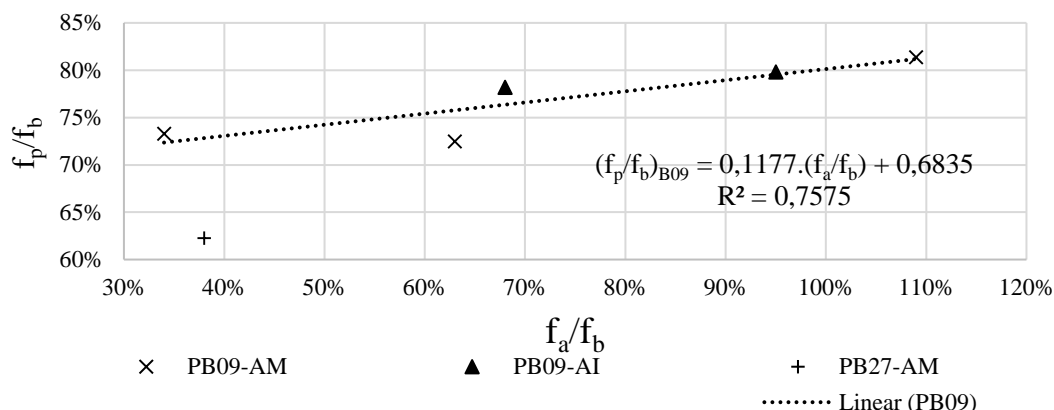


### 3.3.5. Eficiência prisma/bloco ( $f_p/f_b$ )

Os prismas ensaiados apresentaram grande dispersão dos resultados por se tratar de um sistema composto de componentes tão heterogêneos. Entretanto, a eficiência média dos prismas (PB09 e PB27) foi de 74%, sendo 77% para os prismas da série PB09 e 62% para a série PB27. Esta diferença é condizente com os resultados encontrados por (JUSTE, 2001).

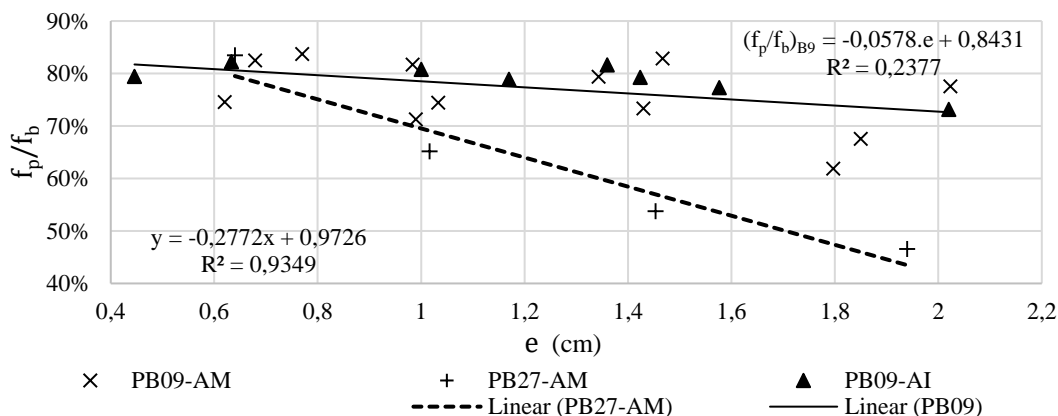
No gráfico da Figura 2.16, está apresentado o crescimento da eficiência prisma/bloco à medida que a  $f_a/f_b$  aumentou. A linha de tendência para a série de prismas PB09 indica que o acréscimo de 25% em  $f_a/f_b$  proporciona um crescimento de 4% na eficiência prisma/bloco.

Figura 2.16 - Eficiência prisma/bloco com a variação da relação  $f_a/f_b$



Com relação à variação da espessura das juntas, pelos gráficos apresentados na Figura 2.17, existe a tendência de redução da eficiência prisma/bloco com o aumento da espessura das juntas, mais uma vez confirmando que os prismas executados com os blocos de menor resistência mostraram menor sensibilidade às variações da argamassa. Para a série PB09, o crescimento da espessura da junta em 5 mm ocasiona uma redução de 3,7% da eficiência prisma/bloco, enquanto que para a série PB27 a mesma variação da espessura da junta ocasiona uma redução média de 20,5% da eficiência.

Figura 2.17 - Eficiência prisma/bloco com a variação da relação da espessura da junta.



#### 4. CONCLUSÃO

Este estudo avaliou a influência da argamassa com consistência pré-definida variando  $f_a/f_b$  e a espessura da junta de assentamento. O bloco mais resistente ( $f_{pm}=26,9$  MPa) apresentou maior sensibilidade à variação da espessura das juntas do que o bloco menos resistente ( $f_{pm}=9,1$  MPa). As análises de variância indicaram não haver diferença estatística para a resistência à compressão e o módulo de elasticidade

dos prismas, para a maioria dos lotes ensaiados, seja por variação da resistência da argamassa ou espessura da junta horizontal.

Apesar de apresentarem comportamento diferentes com relação ao módulo de elasticidade, as argamassas apresentaram comportamento semelhante em relação às diferentes faixas de resistência e espessuras de junta, assim como no modo de ruptura. Juntamente com a possibilidade de controle do traço e redução de etapas de execução na obra, essa semelhança entre as argamassas favorece a utilização de argamassas industrializadas para alvenaria estrutural de bloco de concreto.

Para alvenaria estrutural, com blocos de baixa resistência, as variações das propriedades da argamassa e espessura da junta horizontal pouco influenciaram na eficiência prisma/bloco, o que permite menor rigor no controle da argamassa para execução de alvenarias com blocos de concreto com menor resistência. Porém, para blocos de alta resistência, além de apresentarem menor eficiência prisma/bloco, os prismas sofreram perda da eficiência significativa com o aumento da espessura da junta de assentamento, exigindo maior controle na execução da alvenaria.

A consistência sugerida por Parsekian e Soares (2010) para o assentamento da alvenaria com colher de pedreiro foi efetiva. A argamassa possibilitou a moldagem dos prismas com diferentes espessuras de junta sem dificuldades.

Para os prismas com relação  $f_a/f_b$  de até 40% (faixa 1), que são os prismas executados com materiais menos resistentes, estão dentro dos limites especificados pela norma e não apresentaram modo de ruptura bem definido. Os prismas com relação  $f_a/f_b$  entre 40% e 70% (faixa 2), também estão dentro do limite da norma, e apresentaram ruptura predominante por tração, trazendo menor dano para alvenaria sendo preferível. Já os prismas com relação  $f_a/f_b$  acima de 70% (faixa 3), acima do limite da norma, romperam por compressão no bloco, ocorrendo a ruína da alvenaria, não sendo desejável. Conclui-se que o limite determinado na norma se relaciona com o modo de ruptura dos prismas e previne ruína da alvenaria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Rita de Cássia S. S; PEDROTI, Leonardo Gonçalves; Nalon, Gustavo; Ribeiro, José Carlos L. Experimental Evaluation of the Influence of Mortar's Mechanical Properties on the Behavior of Clay Masonry. Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2017. Springer International Publishing, 2017. p. 671-679, 2017.

ALY, Vitor Levy Caster; SABBATINI, Fernando Henrique. Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto, submetido a esforços de compressão. Boletim técnico. São Carlos, SP: EPUSP, 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12118 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13276 – Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13277 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13279 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15630 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de ondas ultra-sônicas. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15812-2 – Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos parte 2: Execução e controle de obra Rio de Janeiro, RJ, 2010

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15961-1 - Alvenaria estrutural - Blocos de concreto - Parte 1 - Projeto. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15961-2 - Alvenaria Estrutural - Blocos de concreto - Parte 2 - Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6474 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, RJ, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, RJ, 1996.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8522 - Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

BARBOSA, Claudius de Sousa. Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte. São Carlos, SP: EPUSP, 2004.

BARBOSA, Claudius de Sousa. Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto, prismas e paredes e suas correlações com as propriedades mecânicas dos materiais constituintes. São Carlos, SP: EPUSP, 2008.

BARBOSA, Claudius de Sousa; HANAI, João Bento de. Comportamento de prisma de blocos vazados de concreto sob compressão axial e análise das propriedades mecânicas de seus materiais constituintes. Caderno de Engenharia de Estruturas, v. 11, n. 50, p. 75-90. São Carlos, SP: EPUSP, 2009.

CALÇADA, Luciana Maltez Lengler. Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto. Florianópolis: UFSC, 1998.

CASTRO, Lucas de Oliveira. Avaliação experimental da interação de paredes de blocos de concreto de alta resistência sob ações verticais. Viçosa, MG: UFV, 2015.

FRANCA, Fernando A. O critério de Chauvenet. .Net, São Paulo, out. 2004, Disponível em: [http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Criterio\\_Chauvenet.doc](http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Criterio_Chauvenet.doc)>. Acesso em: 10 de janeiro, 2018.

GROHMANN, Leandro Zampieri. Análise do comportamento de prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica. Santa Maria, RS: UFSM-RS, 2006.

HAMID, Ahmad A; DRYSDALE, Roberto G. Behavior of concrete block masonry under axial compression. American Concrete Institute Journal, v. 76, n.6, p. 707-721, 1979.

IZQUIERDO, Orieta Soto. Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto. São Carlos, SP: EPUSP, 2011.

JUSTE, Andrea Elizabeth. Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão. São Carlos, SP: EPUSP, 2001.

LÜBECK, André. Comportamento mecânico e influência da argamassa no modo de ruptura da alvenaria estrutural. Santa Maria, RS: UFSM, 2016.

MACHADO, A. Paekieviski; ANTUNES, E. Guglielmi Pavei. Influência da resistência da argamassa de assentamento na compressão axial de prismas de blocos cerâmicos estruturais. In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, 2016, Belém, PA, Anais....., 2016.

MEDEIROS, Jonas Silvestre; SABBATINI, Fernando Henrique. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. Boletim técnico. São Carlos, SP: EPUSP, 1993.

MENDES, Ricardo José Kuerten. Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais. Florianópolis, SC: UFSC, 1998.

MIRANDA, Larissa de Almeida. Estudo do efeito do não preenchimento das juntas verticais e eficiência do graute na resistência da alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. São Carlos, SP: UFSCar, 2012.

MOHAMAD, Gihad. Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto. Florianópolis: UFSC, 1998.

MOHAMAD, Gihad; ROMAN, Humberto Ramos. Comportamento mecânico da ruptura de prismas de blocos de concreto. Florianópolis, SC: UFSC, 1998.

OLIVEIRA, Rafael Picanço de. Estudo experimental da influência da argamassa de assentamento na resistência à compressão da alvenaria estrutural cerâmica. Campos dos Goytacazes, RJ: UENF, 2015.

PARSEKIAN, Guilherme Aris; HAMID, Ahmad A; DRYSDALE, Roberto G. Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural. v. 2. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2014.

PARSEKIAN, Guilherme Aris; SOARES, M. M. Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle. V. 1. São Paulo, SP: O Nome da Rosa, 2010.

PINA-HENRIQUES, José Luís. Alvenaria em compressão: Comportamento à rotura e efeitos diferidos. Braga, Portugal: Universidade do Minho, 2005.

PINHEIRO, Douglas Garrido. Estudo do comportamento mecânico de blocos cerâmicos com diferentes larguras. Santa Maria, RS: UFSM-RS, 2009.

RAMALHO, Márcio A; CORRÊA, Márcio R. S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. São Paulo, SP: Pini, 2003.

ROMAGNA, Romson Heleo. Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados. Florianópolis: UFSC, 2000.

SABBATINI, Fernando Henrique. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. Boletim técnico. São Carlos, SP: EPUSP, 1986.

SAHLIN, S. Structural Masonry. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1971.

SANTOS, Carol Ferreira Rezende dos. Avaliação numérica da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais. Viçosa, MG: UFV, 2016.

SILVA, Ana Flávia da. Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural. Ilha Solteira, SP: UNESP - Júlio de Mesquita Filho, 2007.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **1. CONCLUSÃO GERAL**

Foi possível encontrar argamassas que atendessem aos critérios de trabalhabilidade e resistência à compressão definidos para os blocos de 9,0 MPa, não sendo possível para os materiais e métodos utilizados neste estudo encontrar argamassas com resistência à compressão que atendessem aos critérios definidos para os blocos de 27,0 MPa.

Confirmou-se a influência da argamassa na resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas. O aumento da resistência à compressão da argamassa gera aumento da resistência à compressão do prisma e o aumento da espessura da junta gera uma redução da resistência à compressão do prisma. A variação da espessura das juntas apresentou maior influência sobre os blocos mais resistentes. Não houve diferença estatística das médias dos módulos de elasticidades dos prismas.

Importante ressaltar que as conclusões apresentadas neste estudo valem apenas para o conjunto de materiais estudados (tipo de bloco, traço e componentes das argamassas e metodologias utilizadas).

### **2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A partir do estudo executado podem ser sugeridos os seguintes trabalhos futuros:

- Avaliação de outros métodos de dosagem de argamassa para identificação de traços com resistência à compressão maiores.
- Avaliação das consistências adequadas para diferentes métodos de assentamento.
- Estudos comparativos de argamassas industrializadas com maior variação de  $f_a/f_b$ .
- Utilização de maior variação de resistência à compressão dos blocos de concreto.

## APÊNDICE A

### Resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade dinâmico e módulo de elasticidade estático das argamassas utilizadas na moldagem dos prismas com blocos estruturais de concreto.

Tabela A.1- Resultado dos ensaios realizados com as argamassas mistas de montagem dos prismas. Corpos de prova prismáticos 4x4x16 cm.

Corpo de provas	Seção média dos prismas		Peso (g)	Tempo Ensaio	$f_{t,a}$ (Mpa)	$f_a$ (Mpa)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	$E_{a,d}$ (MPa)
	d1 (cm)	d2 (cm)						
B09-AM1-F1-1I	4,20	4,16		7 dias	1,214	$\frac{3,676}{3,915}$		
B09-AM1-F1-2I	4,18	4,18	532	28 dias	1,346	$\frac{6,438}{6,721}$	1,903	10406,758
B09-AM1-F1-3I	4,15	4,22		7 dias	1,151	$\frac{3,915}{4,002}$		
B09-AM1-F1-4I	4,10	4,08	500	28 dias	1,645	$\frac{6,721}{6,721}$	1,868	10541,858
B09-AM1-F1-5I	4,14	4,23		7 dias	1,131	$\frac{4,133}{3,959}$		
B09-AM1-F1-6I	4,25	4,20	502	28 dias	1,228	$\frac{6,373}{6,068}$	1,758	9612,179
B09-AM1-F1-1F	4,25	4,16		7 dias	1,034	$\frac{2,980}{3,189}$		
B09-AM1-F1-2F	4,17	4,20	514	28 dias	1,190	$\frac{5,133}{5,351}$	1,834	10-F1,767
B09-AM1-F1-3F	4,15	4,11		7 dias	0,961	$\frac{2,675}{-}$		
B09-AM1-F1-4F	4,26	4,15	506	28 dias	1,240	$\frac{5,003}{4,633}$	1,791	9793,980
B09-AM1-F1-5F	4,24	4,08		7 dias	0,949	$\frac{3,132}{2,958}$		
B09-AM1-F1-6F	4,12	4,55	502	28 dias	1,300	$\frac{4,829}{4,763}$	1,674	9012,194
B09-AM2-F2-1I	4,19	4,15		7 dias	2,219	$\frac{7,373}{7,678}$		
B09-AM2-F2-2I	4,19	4,15	489,39	28 dias	2,535	$\frac{9,570}{9,461}$	1,761	14503,901
B09-AM2-F2-3I	4,15	4,11		7 dias	2,275	$\frac{7,134}{6,590}$		
B09-AM2-F2-4I	4,01	4,12	464,33	28 dias	2,612	$\frac{9,266}{8,983}$	1,759	13943,213

Continua na próxima página

Continuação da Tabela A.1

Corpo de provas	Seção média dos prismas		Peso (g)	Tempo Ensaio	$f_{t,a}$ (Mpa)	$f_a$ (Mpa)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	$E_{a,d}$ (MPa)
	d1 (cm)	d2 (cm)						
B09-AM2-F2-5I	4,15	4,17		7 dias	2,170	$\frac{7,091}{7,004}$		
B09-AM2-F2-6I	4,04	4,13	467,49	28 dias	2,687	$\frac{9,483}{9,287}$	1,751	13883,253
B09-AM2-F2-1F	4,28	4,13		7 dias	2,471	$\frac{10,005}{9,766}$		
B09-AM2-F2-2F	4,24	4,20	521,87	28 dias	3,678	$\frac{10,375}{10,940}$	1,834	15382,986
B09-AM2-F2-3F	4,14	4,25		7 dias	2,453	$\frac{6,112}{7,656}$		
B09-AM2-F2-4F	4,10	4,22	518,53	28 dias	2,907	$\frac{10,527}{9,744}$	1,875	16672,616
B09-AM2-F2-5F	4,25	4,23		7 dias	2,390	$\frac{7,939}{7,874}$		
B09-AM2-F2-6F	4,22	4,09	517,97	28 dias	3,537	$\frac{8,135}{10,440}$	1,880	16715,765
B09-AM3-F3-1I	4,04	4,16		7 dias	3,550	$\frac{14,616}{12,746}$		
B09-AM3-F3-2I	4,13	4,21	576	28 dias	3,959	$\frac{17,270}{18,009}$	2,073	21719,859
B09-AM3-F3-3I	4,00	4,19		7 dias	3,436	$\frac{13,311}{14,138}$		
B09-AM3-F3-4I	4,12	4,21	572	28 dias	3,954	$\frac{18,292}{18,292}$	2,061	20274,257
B09-AM3-F3-5I	4,16	4,22		7 dias	2,934	$\frac{14,355}{14,138}$		
B09-AM3-F3-6I	4,18	4,17	572	28 dias	4,134	$\frac{19,749}{19,010}$	2,056	21540,963
B09-AM3-F3-1F	4,24	4,07		7 dias	3,725	$\frac{11,310}{11,963}$		
B09-AM3-F3-2F	4,25	4,12	576	28 dias	4,126	$\frac{16,726}{14,638}$	2,058	22024,427
B09-AM3-F3-3F	4,17	4,21		7 dias	3,652	$\frac{12,441}{11,441}$		
B09-AM3-F3-4F	4,11	4,17	564	28 dias	3,550	$\frac{16,008}{15,029}$	2,059	221-F1,674
B09-AM3-F3-5F	4,18	4,23		7 dias	3,092	$\frac{12,485}{12,071}$		

Continua na próxima página

Continuação da Tabela A.1

Corpo de provas	Seção média dos prismas		Peso (g)	Tempo Ensaio	$f_{t,a}$ (Mpa)	$f_a$ (Mpa)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	$E_{a,d}$ (MPa)
	d1 (cm)	d2 (cm)						
B09-AM3-F3-6F	4,21	4,15	578	29 dias	4,325	$\frac{15,791}{13,202}$	2,070	22150,230
B27-AM3-F1-1I	4,64	4,79	538	7 dias	2,780	$\frac{12,746}{12,528}$		
B27-AM3-F1-2I	4,16	4,18	536	28 dias	4,078	$\frac{18,270}{12,441}$	1,927	19342,412
B27-AM3-F1-3I	4,25	4,27	534	7 dias	2,644	$\frac{10,658}{11,745}$		
B27-AM3-F1-4I	4,02	4,18	522	28 dias	3,938	$\frac{16,617}{17,139}$	1,942	19493,222
B27-AM3-F1-5I	4,34	4,35	540	7 dias	2,501	$\frac{12,615}{13,007}$		
B27-AM3-F1-6I	4,04	4,14	514	28 dias	3,885	$\frac{14,790}{16,160}$	1,923	18916,791
B27-AM3-F1-1F	4,20	4,30	544	7 dias	3,616	$\frac{8,657}{10,440}$		
B27-AM3-F1-2F	4,18	4,11	542	28 dias	4,397	$\frac{16,008}{16,704}$	1,977	20709,529
B27-AM3-F1-3F	4,34	4,19	520	7 dias	3,239	$\frac{12,963}{11,528}$		
B27-AM3-F1-4F	4,18	4,02	530	28 dias	3,802	$\frac{15,182}{12,441}$	1,971	19791,969
B27-AM3-F1-5F	4,23	4,05	532	7 dias	3,599	$\frac{13,050}{12,311}$		
B27-AM3-F1-6F	4,21	4,06	540	28 dias	4,631	$\frac{13,485}{14,181}$	1,975	20688,367

Os valores em vermelhos foram eliminados pelo método de Chauvenet.

Tabela A.2- Resultado dos ensaios realizados com as argamassas mistas de montagem dos prismas. Corpos de prova cilíndricos 5x10 cm.

Corpo de prova	$f_a$ (Mpa)	$E_a$ (Gpa)	Corpo de prova	$f_a$ (Mpa)	$E_a$ (Gpa)
B09-AM1-F1-1	5,76		B09-AM3-F3-1I	19,54	
B09-AM1-F1-2	5,87	16,41	B09-AM3-F3-2I	19,92	14,4
B09-AM1-F1-3	5,56	6,82	B09-AM3-F3-3I	18,33	16,53
B09-AM1-F1-4	5,42	8,12	B09-AM3-F3-4F	18,68	16,12
B09-AM1-F1-5	5,65	7,32	B09-AM3-F3-5F	18,65	14,44
B09-AM2-F2-1	12,87		B27-AM3-F1-1I	16,63	
B09-AM2-F2-2	13,13	9,96	B27-AM3-F1-2I	16,69	15,19
B09-AM2-F2-3	11,48	9,45	B27-AM3-F1-13	17,5	14,45
B09-AM2-F2-4	10,79	12,81	B27-AM3-F1-4F	17,57	14,89
B09-AM2-F2-5	11,37	9,78	B27-AM3-F1-5F	17,75	16,45

Tabela A.3 - Resultado dos ensaios realizados com as argamassas industrializada de montagem dos prismas. Corpos de prova prismáticos 4x4x16 cm.

Corpo de prova	Seção média dos prismas		Peso (g)	Tempo Ensaio	$f_{t,a}$ (Mpa)	$f_a$ (Mpa)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	$E_{a,d}$ (MPa)
	d1 (cm)	d2 (cm)						
B09-AI2-F3-1I	4,275	4,12		7 dias	3,464	$\frac{9,527}{9,527}$		
B09-AI2-F3-2I	4,27	4,175	565,52	28 dias	3,630	$\frac{14,116}{12,876}$	1982,639	17626,858
B09-AI2-F3-3I	4,14	4,11		7 dias	2,953	$\frac{8,309}{8,265}$		
B09-AI2-F3-4I	4,09	4,22	550,46	28 dias	3,445	$\frac{11,528}{12,659}$	1993,288	17384,843
B09-AI2-F3-5I	4,205	4,145		7 dias	3,234	$\frac{9,396}{9,505}$		
B09-AI2-F3-6I	4,265	4,13	556,25	28 dias	4,050	$\frac{13,964}{14,616}$	1973,699	17213,996
B09-AI2-F3-1F	4,125	4,06		7 dias	3,446	$\frac{9,527}{10,527}$		
B09-AI2-F3-2F	4,25	4,09	554,12	28 dias	4,049	$\frac{11,810}{11,745}$	1992,377	18430,671
B09-AI2-F3-3F	4,13	4,085		7 dias	3,075	$\frac{9,483}{8,222}$		
B09-AI2-F3-4F	4,19	4,1	541	28 dias	3,969	$\frac{12,311}{11,136}$	1968,246	17498,897
B09-AI2-F3-5F	4,215	4,07		7 dias	3,178	$\frac{9,570}{7,656}$		
B09-AI2-F3-6F	4,26	4,085	555,28	28 dias	3,756	$\frac{14,399}{13,376}$	1994,300	17393,667
B09-AI1-F2-1I	4,195	4,11		7 dias	2,962	$\frac{10,005}{9,853}$		
B09-AI1-F2-2I	4,155	4,16	555,06	28 dias	3,415	$\frac{12,354}{12,376}$	2007,038	18208,977
B09-AI1-F2-3I	4,17	4,13		7 dias	3,012	$\frac{9,483}{9,179}$		
B09-AI1-F2-4I	3,995	4,125	519,35	28 dias	3,757	$\frac{11,419}{11,571}$	1969,697	17511,796
B09-AI1-F2-5I	4,17	4,065		7 dias	3,031	$\frac{9,483}{9,353}$		
B09-AI1-F2-6I	4,04	4,15	524,87	28 dias	3,591	$\frac{10,875}{11,963}$	1956,601	17395,366
B09-AI1-F2-1F	4,185	4,045		7 dias	2,893	$\frac{7,830}{8,417}$		
B09-AI1-F2-2F	4,225	4,175	561,41	28 dias	3,736	$\frac{7,395}{6,047}$	1989,193	17685,129
B09-AI1-F2-3F	4,175	4,04		7 dias	2,734	$\frac{7,047}{6,547}$		
B09-AI1-F2-4F	4,18	4,175	547,59	28 dias	3,334	$\frac{7,112}{7,874}$	1961,114	17104,229
B09-AI1-F2-5F	4,225	4,18		7 dias	2,691	$\frac{6,612}{5,438}$		
B09-AI1-F2-6F	4,205	4,175	560,32	28 dias	3,098	$\frac{9,527}{10,049}$	1994,774	17064,093

Os valores em vermelhos foram eliminados pelo método de Chauvenet.

*Tabela A.4 - Resultado dos ensaios realizados com as argamassas industrializadas de montagem dos prismas. Corpos de prova cilíndricos 5x10 cm.*

<b>Corpo de prova</b>	<b>f<sub>a</sub> (Mpa)</b>	<b>E<sub>a</sub> (Gpa)</b>
B09-AI1-F2-1	9,67	
B09-AI1-F2-2	9,86	10,9
B09-AI1-F2-3	10,46	11,02
B09-AI1-F2-4	10,72	11,65
B09-AI1-F2-5	10,88	10,97
B09-AI2-F3-1I	16,12	
B09-AI2-F3-2I	16,44	12,01
B09-AI2-F3-3I	16,85	12,04
B09-AI2-F3-4F	16,71	10,85
B09-AI2-F3-5F	16,04	11,56

## APÊNDICE B

### Resultado dos ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas.

Tabela B.1- Resultado de resistência e módulo de elasticidade dos prismas de alvenaria estrutural.

Corpo de prova	Medidas do Prisma				Ensaio Compressão Prisma		
	h médio (cm)	c (cm)	l (cm)	j média (cm)	Carga máxima (kN)	f <sub>p</sub> (Mpa)	E <sub>p</sub> (MPa)
PB09-AM1-F1-J05-1	39,45	38,90	13,80	0,72	403,400	7,515	
PB09-AM1-F1-J05-2	39,75	38,90	13,80	0,68	408,100	7,602	3215,427
PB09-AM1-F1-J05-3	39,65	38,90	13,80	0,77	402,000	7,489	3492,171
PB09-AM1-F1-J05-4	39,40	38,80	13,90	0,55	400,700	7,430	3952,296
PB09-AM1-F1-J05-5	39,30	38,80	13,80	0,68	379,900	7,2-F3	3429,299
PB09-AM1-F1-J10-1	39,75	38,90	13,80	1,05	389,340	7,253	
PB09-AM1-F1-J10-2	39,70	39,00	13,90	1,00	349,000	6,438	3397,645
PB09-AM1-F1-J10-3	40,00	38,90	13,80	1,03	331,000	6,166	3793,857
PB09-AM1-F1-J10-4	39,70	38,90	13,90	0,90	322,000	5,955	3360,874
PB09-AM1-F1-J10-5	39,70	39,80	13,90	0,97	366,200	6,619	2946,637
PB09-AM1-F1-J15-1	39,75	38,90	13,80	1,33	386,180	7,194	
PB09-AM1-F1-J15-2	39,90	38,90	13,80	1,40	414,300	7,718	3618,652
PB09-AM1-F1-J15-3	39,95	38,90	13,90	1,28	394,300	7,292	3751,376
PB09-AM1-F1-J15-4	39,95	39,80	13,80	1,28	397,300	7,234	2909,265
PB09-AM1-F1-J15-5	40,40	38,90	13,80	1,42	358,400	6,676	2667,438
PB09-AM1-F1-J20-1	40,60	39,00	13,90	1,72	285,080	5,259	
PB09-AM1-F1-J20-2	40,50	38,90	13,80	1,80	286,100	5,330	3574,694
PB09-AM1-F1-J20-3	40,50	38,90	13,80	1,88	303,000	5,644	
PB09-AM1-F1-J20-5	40,50	38,90	13,80	1,72	323,700	6,-F1	3489,572
PB09-AM1-F1-J20-4	40,75	38,90	13,80	1,87	317,000	5,905	3384,233
PB09-AM2-F2-J05-1	39,75	38,80	13,90	0,57	313,470	5,804	
PB09-AM2-F2-J05-2	39,50	38,90	13,90	0,63	408,100	6,380	3007,489
PB09-AM2-F2-J05-3	39,60	38,90	13,90	0,65	345,010	6,380	3616,488
PB09-AM2-F2-J05-4	39,45	38,90	13,80	0,60	400,650	7,321	3690,222
PB09-AM2-F2-J05-5	39,50	38,90	13,90	0,65	364,330	6,732	2567,671
PB09-AM2-F2-J10-1	39,85	38,90	13,80	1,02	372,200	6,933	
PB09-AM2-F2-J10-2	39,85	38,90	13,80	1,07	330,260	6,152	2782,282
PB09-AM2-F2-J10-3	39,75	38,90	13,80	1,08	365,520	6,809	4408,800
PB09-AM2-F2-J10-4	39,70	38,90	13,80	0,97	394,890	7,356	4308,656
PB09-AM2-F2-J10-5	39,90	38,90	13,80	1,03	355,270	6,618	3189,881
PB09-AM2-F2-J15-1	40,30	38,90	13,90	1,60	325,690	6,023	
PB09-AM2-F2-J15-2	40,05	38,90	13,80	1,18	346,910	6,462	3803,212

Continua na próxima página

Continuação da Tabela B.1

Corpo de prova	Medidas do Prisma				Ensaio Compressão Prisma		
	h médio (cm)	c (cm)	l (cm)	j média (cm)	Carga máxima (kN)	f <sub>p</sub> (Mpa)	E <sub>p</sub> (MPa)
PB09-AM2-F2-J15-3	40,20	38,90	13,90	1,45	348,870	6,452	3348,153
PB09-AM2-F2-J15-4	40,55	38,90	13,80	1,37	398,190	7,418	4040,277
PB09-AM2-F2-J15-5	40,20	39,00	13,80	1,55	378,730	7,037	4228,057
PB09-AM2-F2-J20-1	40,55	38,90	13,90	1,90	333,630	6,170	
PB09-AM2-F2-J20-2	40,53	39,00	13,90	1,87	308,130	5,684	3705,152
PB09-AM2-F2-J20-3	40,65	38,80	13,80	1,72	333,140	6,222	3753,337
PB09-AM2-F2-J20-4	40,65	38,80	13,90	1,97	362,500	6,721	3554,092
PB09-AM2-F2-J20-5	40,60	38,90	13,90	1,80	320,700	5,931	2948,415
PB09-AM3-F3-J05-1	39,80	38,90	13,80	0,83	372,130	6,932	
PB09-AM3-F3-J05-2	40,15	38,80	13,90	0,82	436,130	8,087	3789,074
PB09-AM3-F3-J05-3	39,65	38,90	13,80	0,73	409,220	7,623	3312,516
PB09-AM3-F3-J05-4	39,60	38,50	13,90	0,77	403,950	7,548	4512,121
PB09-AM3-F3-J05-5	39,45	38,90	13,80	0,70	424,750	7,912	4369,048
PB09-AM3-F3-J10-1	39,80	38,80	13,80	1,03	396,650	7,408	
PB09-AM3-F3-J10-2	39,85	38,80	13,80	1,05	396,510	7,405	4057,336
PB09-AM3-F3-J10-3	40,15	38,80	13,80	0,87	387,860	7,244	3293,244
PB09-AM3-F3-J10-4	39,50	38,90	13,80	0,90	400,440	7,459	3729,406
PB09-AM3-F3-J10-5	39,85	38,80	13,90	0,95	403,320	7,478	3619,484
PB09-AM3-F3-J15-1	40,25	38,90	13,90	1,42	418,000	7,731	
PB09-AM3-F3-J15-2	40,10	38,90	13,80	1,42	407,250	7,586	4195,200
PB09-AM3-F3-J15-3	40,25	38,90	13,80	1,65	410,200	7,641	3965,784
PB09-AM3-F3-J15-4	40,20	38,80	13,80	1,48	335,100	6,260	3719,790
PB09-AM3-F3-J15-5	40,10	38,80	13,90	1,38	388,290	7,200	4327,970
PB09-AM3-F3-J20-1	40,90	38,80	13,80	2,32	368,620	6,884	
PB09-AM3-F3-J20-2	40,65	38,80	13,80	2,02	404,020	7,546	3898,361
PB09-AM3-F3-J20-3	40,50	38,80	13,90	1,87	337,280	6,254	3504,757
PB09-AM3-F3-J20-4	40,60	38,80	13,80	1,93	379,430	7,086	4232,219
PB09-AM3-F3-J20-5	40,60	38,90	13,80	1,98	403,670	7,520	3816,654
PB09-AI1-F2-J05-1	39,30	38,90	13,80	0,63	385,260	7,177	
PB09-AI1-F2-J05-2	39,30	38,90	13,90	0,57	403,810	7,468	3183,201
PB09-AI1-F2-J05-3	39,60	38,90	14,00	0,67	410,200	7,532	3981,253
PB09-AI1-F2-J05-4	39,20	38,80	13,90	0,67	399,670	7,411	3619,059
PB09-AI1-F2-J05-5	39,50	38,90	13,90	0,63	407,820	7,542	3328,843
PB09-AI1-F2-J10-1	40,05	38,90	13,90	1,10	397,280	7,347	
PB09-AI1-F2-J10-2	39,90	38,90	13,80	1,23	373,180	6,952	3575,870
PB09-AI1-F2-J10-3	40,00	38,90	13,90	1,28	379,220	7,013	3504,342
PB09-AI1-F2-J10-4	39,90	38,80	13,80	1,13	377,470	7,050	2768,743
PB09-AI1-F2-J10-5	39,80	38,80	13,90	1,10	406,270	7,533	4185,399

Continua na próxima página

Continuação da Tabela B.1

Corpo de prova	Medidas do Prisma				Ensaio Compressão Prisma		
	h médio (cm)	c (cm)	l (cm)	j média (cm)	Carga máxima (kN)	f <sub>p</sub> (Mpa)	E <sub>p</sub> (MPa)
PB09-AI1-F2-J15-1	39,85	39,00	13,80	1,42	402,270	7,474	
PB09-AI1-F2-J15-2	40,10	39,00	13,80	1,57	394,890	7,337	4240,360
PB09-AI1-F2-J15-3	40,00	38,90	13,90	1,38	429,730	7,948	4542,272
PB09-AI1-F2-J15-4	40,40	38,90	14,00	1,37	333,070	6,116	3308,918
PB09-AI1-F2-J15-5	40,20	38,90	13,90	1,38	389,410	7,202	3184,184
PB09-AI1-F2-J20-1	40,70	38,90	13,80	2,05	349,720	6,515	
PB09-AI1-F2-J20-2	40,50	38,90	13,80	2,07	368,330	6,861	3749,799
PB09-AI1-F2-J20-3	40,65	38,90	13,90	1,93	355,900	6,582	3525,791
PB09-AI1-F2-J20-4	40,80	38,80	13,80	2,00	351,540	6,565	3338,161
PB09-AI1-F2-J20-5	40,65	38,90	13,90	2,05	365,880	6,767	4042,663
PB09-AI2-F3-J05-1	39,35	38,80	13,90	0,47	382,240	7,087	
PB09-AI2-F3-J05-2	39,35	38,90	13,90	0,42	421,230	7,790	3386,159
PB09-AI2-F3-J05-3	39,10	38,90	13,90	0,52	230,290	4,259	2430,675
PB09-AI2-F3-J05-4	39,00	38,80	13,90	0,47	380,000	7,046	2804,375
PB09-AI2-F3-J05-5	39,05	39,00	13,90	0,43	379,150	6,994	3665,707
PB09-AI2-F3-J10-1	39,90	39,00	13,90	1,00	392,780	7,246	
PB09-AI2-F3-J10-2	39,80	38,90	13,80	0,85	369,600	6,885	3413,382
PB09-AI2-F3-J10-3	39,90	38,90	13,90	1,17	375,430	6,943	3814,954
PB09-AI2-F3-J10-4	39,65	38,90	13,90	0,93	410,700	7,596	3498,101
PB09-AI2-F3-J10-5	39,60	39,00	13,90	1,05	439,220	8,102	3270,583
PB09-AI2-F3-J15-1	40,00	38,90	13,90	1,42	373,670	6,911	
PB09-AI2-F3-J15-2	39,88	38,80	13,80	1,37	414,910	7,749	2917,847
PB09-AI2-F3-J15-3	40,15	38,90	13,90	1,38	430,790	7,967	4371,697
PB09-AI2-F3-J15-4	40,00	38,80	13,80	1,30	379,930	7,096	3263,092
PB09-AI2-F3-J15-5	40,05	38,90	13,90	1,33	401,490	7,425	3418,047
PB09-AI2-F3-J20-1	40,35	38,90	13,90	1,63	359,200	6,643	
PB09-AI2-F3-J20-2	40,15	38,80	13,90	1,65	381,890	7,081	2955,585
PB09-AI2-F3-J20-3	40,30	38,90	13,90	1,62	381,680	7,059	3245,330
PB09-AI2-F3-J20-4	40,40	38,90	13,90	1,65	411,890	7,618	3096,248
PB09-AI2-F3-J20-5	40,15	38,90	13,90	1,33	366,510	6,778	2866,128
PB27-AM3-F1-J05-1	39,20	39,10	14,00	0,67	1307,000	23,877	
PB27-AM3-F1-J05-2	39,15	39,10	14,10	0,60	1078,000	19,553	7495,378
PB27-AM3-F1-J05-3	39,25	38,90	14,00	0,62	1352,000	24,826	10473,019
PB27-AM3-F1-J05-4	39,35	38,90	14,10	0,67	1146,000	20,894	8894,868
PB27-AM3-F1-J05-5	39,15	39,00	13,90	0,65	1265,000	23,335	8524,410
PB27-AM3-F1-J10-1	39,70	39,00	14,00	1,07	917,920	16,812	
PB27-AM3-F1-J10-2	39,55	39,00	14,00	1,00	903,000	16,538	7818,787
PB27-AM3-F1-J10-3	39,80	38,80	13,90	1,07	913,900	16,945	9104,077

Continua na próxima página

Continuação da Tabela B.1

Corpo de prova	Medidas do Prisma				Ensaio Compressão Prisma		
	h médio (cm)	c (cm)	l (cm)	j média (cm)	Carga máxima (kN)	f <sub>p</sub> (Mpa)	E <sub>p</sub> (MPa)
PB27-AM3-F1-J10-4	39,80	39,00	14,00	0,92	1041,000	19,066	8091,165
PB27-AM3-F1-J10-5	39,50	39,10	14,00	1,03	1012,000	18,487	8138,122
PB27-AM3-F1-J15-1	40,05	39,00	14,00	1,50	706,500	12,940	
PB27-AM3-F1-J15-2	40,30	38,90	14,10	1,57	782,000	14,257	7012,470
PB27-AM3-F1-J15-3	40,15	39,00	13,90	1,48	704,000	12,987	6825,588
PB27-AM3-F1-J15-4	40,05	39,00	13,90	1,38	899,000	16,584	6777,963
PB27-AM3-F1-J15-5	39,95	39,00	14,00	1,33	859,000	15,733	6826,336
PB27-AM3-F1-J20-1	40,50	39,10	13,90	2,07	613,000	11,279	
PB27-AM3-F1-J20-2	40,70	39,10	14,00	1,97	696,000	12,715	6513,847
PB27-AM3-F1-J20-3	40,45	39,10	14,00	1,92	683,000	12,477	6408,822
PB27-AM3-F1-J20-4	40,35	39,00	14,00	1,92	666,000	12,198	8310,121
PB27-AM3-F1-J20-5	40,30	39,10	14,00	1,83	773,000	14,121	7523,105

*Os valores em vermelho foram eliminados pelo método de Chauvenet.*

## APÊNDICE C

### Critério de Chauvenet.

Com o objetivo de avaliar se os valores encontrados em algumas das amostras dos ensaios apresentam discrepância dos demais, os dados foram testados pelo critério de Chauvenet.

O teste de Chauvenet é aplicado em uma amostra com  $n$  medições, supondo que se trata de uma distribuição normal. O teste considera um dado discrepante quando a probabilidade  $m$  de encontrar um desvio em relação à média é menor do que o inverso de duas vezes  $n$ .

Logo, se  $m < \frac{1}{2n}$ , o valor da medição deve ser eliminado.

Quando uma medição é eliminada, a quantidade de medições  $n$  é reduzida e o teste deve ser aplicado para este novo conjunto de medições, até que não se elimine nenhuma medição, o que significa considerar o conjunto de medições concisa.

Para aplicar o teste em um conjunto de medições o desvio padrão  $\sigma$  do conjunto é calculado. O desvio de cada medição ( $d_i$ ) é comparada com o desvio padrão segundo o critério apresentado na Tabela C.1.

*Tabela C.1 - Critério de Chauvenet para rejeição de valor medido. (FRANCA, 2004)*

$n$	3	4	5	6	7	10	15	25	50	100	300	500	1000
$d_{\max} / \sigma$	1,38	1,54	1,65	1,73	1,8	1,96	2,13	2,33	2,57	2,81	3,14	3,29	3,48