



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL: ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL

JOSÉ MAURÍCIO LIMA BARRETO

AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE
ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS CERÂMICOS EM IDADES INICIAIS

Fortaleza

2015

JOSÉ MAURÍCIO LIMA BARRETO

**AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE
ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS CERÂMICOS EM IDADES INICIAIS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Civil.

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini
(Orientador) - UFC

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- B263a Barreto, José Mauricio Lima.
Avaliação da evolução da resistência à compressão de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos em idades iniciais / José Mauricio Lima. – 2015.
115 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2015.
Área de Concentração: Construção Civil.
Orientação: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini.

1. Engenharia Estrutural. 2. Argamassa. 3. Blocos cerâmicos. Título.

CDD 624.1

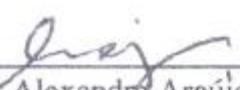
JOSÉ MAURÍCIO LIMA BARRETO

**AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE
ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS CERÂMICOS EM IDADES INICIAIS.**

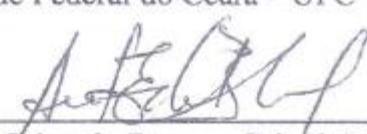
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Civil.

Aprovada 15 / 12 / 2015.

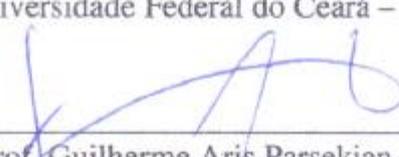
BANCA EXAMINADORA:



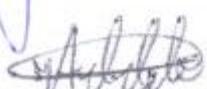
Prof. Alexandre Araújo Bertini, Dr. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC



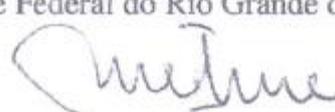
Prof. Antônio Eduardo Bezerra Cabral, Dr.
Universidade Federal do Ceará – UFC



Prof. Guilherme Aris Parsekian, Dr.
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar



Prof. Joel Araújo do Nascimento Neto, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN



Profa. María Josefina Positiere, Dra.
Universidade Tecnológica Nacional de Córdoba – UTN

“No meio de toda dificuldade existe sempre uma oportunidade.”

Albert Einstein

Dedico este trabalho a minha mãe (*in memoriam*), ao meu pai José Lima Barreto, a minha esposa Natália Maria, ao meu filho João Gabriel, aos meus irmãos, aos meus professores e a todos os meus amigos da Universidade Federal do Ceará que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Jesus, por nunca me deixar só, mesmo em momentos difíceis sempre deu força e confiança para acreditar que seria capaz de alcançar os meus objetivos.

A minha mãe, Veramir (*in memoriam*), por tudo que fez em vida e até hoje espiritualmente presente na minha vida.

Ao meu pai José Luiz, pelo apoio incondicional nos momentos difíceis nesta vida acadêmica, pessoal e profissional.

A minha esposa Natália Maria pelo amor, incentivo e compreensão.

Ao meu filho João Gabriel Leitão Barreto, inspiração para tudo que faço na vida.

Aos meus irmãos Paulo, Neto, Marcos e Vanuzia.

Ao professor orientador Alexandre Araújo Bertini, por suas contribuições para este trabalho.

Ao professor Antônio Eduardo Bezerra Cabral, pelo apoio com os seus conhecimentos.

Ao professor Joel Araújo do Nascimento Neto, pelas contribuições e disponibilidade.

Ao professor Aldo de Almeida, pelo incentivo para conclusão desta pesquisa.

Ao professor José Ramalho Torres, pelo apoio com os seus conhecimentos.

A todos os colegas do Mestrado da Universidade Federal do Ceará, em especial, ao Luiz Felipe, ao Afonso Henrique, ao Rafael, ao Levi, a Heloína.

Aos colegas do Nutec que ajudaram na realização dos ensaios, em especial, a engenheira Maria, ao Marcos, ao Valdemir, ao Aderaldo e aos Nonatos.

Aos bolsistas da Engenharia Civil que ajudaram na realização dos ensaios, em especial, ao Geovane, ao Bruno e ao Eduardo.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo experimental com o objetivo de avaliar a evolução da resistência à compressão da alvenaria estrutural, ao longo das idades de cura, através do estudo da resistência de primas, constituídos por dois blocos cerâmicos estruturais. Realizaram-se ensaios de resistência à compressão e módulo de deformação de um tipo de argamassa de assentamento, de um traço de graute e de prismas não grauteados e grauteados, em idades de 3, 7, 14 e 28 dias. Avaliou-se, também, nas referidas idades, a evolução da resistência da argamassa de assentamento, em função do método de moldagem e forma dos corpos de prova. O bloco cerâmico estrutural de parede vazada foi avaliado no que se refere às características geométricas, físicas e mecânicas. A partir da análise dos resultados dos ensaios, constatou-se que o referido bloco cerâmico estrutural atendeu aos requisitos normativos. Quanto à resistência à compressão da argamassa industrializada, verificou-se que os corpos de prova prismáticos apresentaram resistência à compressão um pouco acima quando comparada com a resistência dos corpos de prova cúbicos. A resistência à compressão dos prismas, grauteados e não grauteados, apresentou elevada resistência à compressão na idade de 7 dias.

Palavras-chave: Alvenaria Estrutural. Bloco Cerâmico. Resistência à compressão em idades iniciais.

ABSTRACT

This paper presents an experimental study in order to assess the evolution of the compressive strength of structural masonry along the healing ages, through the prisms resistance study consisting of two structural ceramic blocks. There were compressive strength tests and modulus of elasticity of a type of the mortar, a trace of grout and no prisms grauteados and grauteados, in ages of 3, 7, 14 and 28 days. It was evaluated also in ages of 3, 7, 14 and 28 days, the evolution of the mortar resistance, depending on the molding method and the shape of the specimens. The structural ceramic hollow block wall was evaluated with respect to the geometric, physical, and mechanical characteristics. From the analysis of the test results, it was found that such structural ceramic block met the regulatory requirements. As to the compressive strength of mortar industrialized, it was found that the prismatic specimens exhibited compressive strength slightly higher when compared to the strength of cubic specimens. The compressive strength of the prisms, and not grauteados grauteados, showed high resistance to compression at 7 days of age.

Keyword: Structural Masonry. Ceramic Block. Compressive strength at early ages.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Exemplos de construções em que a alvenaria estrutural foi aplicada.....	20
Figura 2 - Área bruta, líquida e efetiva.....	24
Figura 3 - Prisma grauteado e não grauteado, com dois blocos.	24
Figura 4 - Ensaio de consistência da argamassa.....	29
Figura 5 - Detalhe do ensaio de tração na flexão de prisma.....	30
Figura 6 - Estado triplo de tensões.	31
Figura 7- Distribuições de tensões no prisma conforme o modelo de Hilsdorf	36
Figura 8 - Tensões nos componentes de alvenaria grauteada, no modelo de Hamid e Drysdale.	37
Figura 9 - Bloco cerâmico estrutural de parede vazada.....	46
Figura 10 - Limpeza e identificação das amostras	47
Figura 11 - Pontos de medição das medições efetivas	47
Figura 12 - Medições dos septos e paredes externas	48
Figura 13 - Medição do desvio em relação ao esquadro	48
Figura 14 - Medição da planeza ou flecha.....	49
Figura 15 - Medição das dimensões efetivas.....	49
Figura 16 - Imersão e pesagem dos blocos.....	50
Figura 17 - Blocos enxutos e, imediatamente, pesados.....	50
Figura 18- Blocos na estufa e medição da massa seca.	51
Figura 19 - Bloco em contato com o nível de água de 3mm.	52
Figura 20 - Pesagem depois da retirada de contato com a água	53
Figura 21 - Argamassa de capeamento para regularização do bloco.	54
Figura 22 - Bloco antes e depois da ruptura.	55
Figura 23 – Fixação do extensômetro na amostra e posição nos pratos da prensa.....	56
Figura 24- Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de deformação do bloco estrutural - Metodologia A.....	57
Figura 25 - Matriz de madeira utilizada para o capeamento dos blocos.	58
Figura 26 - Processo de montagem dos prismas não grauteados	59
Figura 27- Montagem do prisma grauteado.	60
Figura 28 - Processo de grauteamento dos prismas.....	60
Figura 29 - Montagem dos prismas não grauteados de cinco blocos.	61
Figura 30 – Prismas de dois e cinco blocos durante o processo de cura.	62
Figura 31 - Ensaio de consistência da argamassa.....	62
Figura 32 - Moldagem dos corpos de prova cúbicos.....	63
Figura 33 - Moldagem dos corpos de prova cilíndricos.	63
Figura 34 - Moldagem dos corpos de prova prismáticos.....	64
Figura 35 - Slump test	64
Figura 36 - Ensaio para a determinação da resistência à tração na flexão.	65
Figura 37 - Ensaio de resistência à compressão da argamassa após ensaio de tração na flexão.	66
Figura 38 - Ensaio de resistência à compressão da argamassa com forma cúbica.....	67
Figura 39 – Ensaio do módulo de deformação da argamassa (Ea).....	69
Figura 40 - Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de deformação da argamassa - Metodologia A	70
Figura 41- Ensaio de resistência à compressão dos prismas.	71
Figura 42 - Ensaio para a determinação do módulo de deformação dos prismas.	72
Figura 43 - Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de deformação dos prismas - Metodologia A.....	73
Figura 44 - Transporte dos prismas de cinco blocos	74

Figura 45 - Preparação da base sobre o prisma de cinco blocos.	75
Figura 46 - Ensaio de tração na flexão de prisma de cinco blocos.....	75
Figura 47 - Ensaio de módulo de deformação do graute	78
Figura 48 - Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de deformação do graute - Metodologia A.....	79
Figura 49 - Modos de ruptura encontrados nos prismas não grauteados.	107
Figura 50 - Modos de ruptura encontrados nos prismas grauteados.	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resistência à tração na flexão da argamassa nas idades de ensaio.	92
Gráfico 2 - Resistência à compressão da argamassa de assentamento, depois do ensaio de tração na flexão, nas idades de ensaio.	93
Gráfico 3 - Resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos da argamassa de assentamento, nas idades de ensaio.	95
Gráfico 4 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos de argamassa de assentamento, nas idades de ensaio.	97
Gráfico 5 - Módulo de deformação dos corpos de prova cilíndricos de argamassa de assentamento, nas idades de ensaio.	97
Gráfico 6 - Resistências à compressão da argamassa de assentamento nos corpos de prova prismáticos, cúbicos e cilíndricos, nas idades de ensaio.	98
Gráfico 7- Resistência à compressão do prisma não grauteado nas idades de ensaio.	100
Gráfico 8 - Módulo de deformação do prisma não grauteado nas idades de ensaio.	100
Gráfico 9 - Resistência à compressão do prisma grauteado, nas idades de ensaio.	103
Gráfico 10 - Módulo de deformação do prisma grauteado, nas idades de ensaio.	103
Gráfico 11 - Resistência à compressão do graute nas idades de ensaio.	105
Gráfico 12 - Módulo de deformação do graute nas idades de ensaio.	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais.....	25
Quadro 2 - Valores de módulo de elasticidade encontrados por Pasquali (2007).....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistências indicadas para a argamassa e o graute em função da resistência do bloco.	28
Tabela 2 - Resultados de fatores de eficiência (GOMES, 1983).....	35
Tabela 3 - Resultados médios de resistências (GARCIA, 2000).....	35
Tabela 4 - Resultados médios de fatores de eficiência (GARCIA, 2000).....	35
Tabela 5 - Modulo de deformação secante das argamassas.	40
Tabela 6 - Número mínimo de prismas a serem ensaiados (redução de acordo com a probabilidade relativa à ruína).....	42
Tabela 7 - Traço do graute utilizado na pesquisa.	43
Tabela 8 - Propriedades do Cimento CP II Z 32	44
Tabela 9 - Propriedades do aditivo Muraplast FK 110.....	44
Tabela 10 - Propriedades físicas do agregado miúdo	44
Tabela 11 – Propriedades físicas do agregado graúdo	45
Tabela 12 - Propriedade da Argamassa de assentamento.....	45
Tabela 13 - Comprimento efetivo do bloco cerâmico estrutural	80
Tabela 14 - Altura efetiva do bloco cerâmico estrutural	81
Tabela 15 - Largura efetiva do bloco cerâmico estrutural.....	82
Tabela 16 - Medidas das paredes externas do bloco cerâmico estrutural.....	83
Tabela 17 - Medidas dos septos do bloco cerâmico estrutural	83
Tabela 18 - Medida do desvio em relação ao esquadro do bloco cerâmico estrutural	84
Tabela 19 - Medida da planeza do bloco cerâmico estrutural	84
Tabela 20 - Medidas da área bruta do bloco cerâmico estrutural.....	85
Tabela 21 - Medidas das áreas líquidas do bloco cerâmico estrutural	86
Tabela 22 - Medição da massa seca do bloco cerâmico estrutural.....	87
Tabela 23 - Valores dos índices de Absorção de água	87
Tabela 24 - Valores dos índices de Absorção de água inicial	88
Tabela 25 - Valores da resistência à compressão dos blocos cerâmicos estruturais.	89
Tabela 26 - Valores das resistências dos blocos em ordem crescente.....	89
Tabela 27 - Valores do módulo de deformação dos blocos cerâmicos estruturais.....	91
Tabela 28 - Valores das resistências à tração na flexão da argamassa de assentamento.....	91
Tabela 29 - Valores das resistências à compressão da argamassa de assentamento, depois do ensaio de tração na flexão.....	93
Tabela 30 - Valores das resistências à compressão dos corpos de prova cúbicos da argamassa de assentamento.	94
Tabela 31 - Valores das resistências à compressão e módulo de deformação dos corpos de prova cilíndricos da argamassa de assentamento.	96
Tabela 32 - Valores das resistências à compressão e módulo de deformação do prisma não grauteado.	99
Tabela 33 - Valores das resistências à compressão e módulo de deformação dos prismas grauteados.....	102
Tabela 34 - Valores da resistência à compressão e módulo de deformação do graute.....	104
Tabela 35 - Valores das resistências à tração na flexão nos prismas com cinco blocos.	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DEECC – Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LMCC– Laboratório de Materiais de Construção Civil

NBR– Norma Brasileira

DIMAT– Divisão de Materiais

NUTEC – Núcleo de Tecnologia do Estado do Ceará

UFC – Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Contextualização, Problemática e justificativa da pesquisa.....	17
1.2	Objetivos.....	19
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>19</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>19</i>
1.3	Estrutura do trabalho.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Breve histórico sobre a alvenaria estrutural.....	20
2.2	A alvenaria estrutural com blocos cerâmicos no Brasil.....	21
2.3	As normas brasileiras.....	22
2.4	Componentes da alvenaria estrutural.....	25
<i>2.4.1</i>	<i>Bloco cerâmico estrutural.....</i>	<i>25</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Argamassa de assentamento.....</i>	<i>27</i>
<i>2.4.3</i>	<i>Graute.....</i>	<i>31</i>
2.5	Resistência à compressão da alvenaria estrutural.....	32
<i>2.5.1</i>	<i>Determinação da resistência à compressão da alvenaria estrutural.....</i>	<i>32</i>
<i>2.5.2</i>	<i>Prisma.....</i>	<i>33</i>
<i>2.5.3</i>	<i>Fator de eficiência.....</i>	<i>34</i>
2.6	Modelos de ruptura.....	36
2.7	Módulo de deformação dos componentes e elementos da alvenaria estrutural....	38
2.8	Controle da resistência da alvenaria através de ensaio de prisma.....	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
3.1	Caracterização do graute e da argamassa de assentamento.....	43
<i>3.1.1</i>	<i>Caracterização dos componentes do graute.....</i>	<i>43</i>
<i>3.1.2</i>	<i>Caracterização da Argamassa de assentamento.....</i>	<i>45</i>
3.2	Caracterização dos blocos cerâmicos estruturais.....	46

3.2.1	<i>Determinação das características geométricas do bloco cerâmico estrutural.</i>	46
3.2.2	<i>Determinação das características físicas do bloco cerâmico estrutural.</i>	51
3.2.3	<i>Determinação das propriedades mecânicas do bloco cerâmico estrutural.</i>	54
3.3	Montagem dos prismas não grauteados e grauteados, e moldagem dos corpos de prova das argamassas e dos grautes.	58
3.3.1	<i>Montagem dos prismas não grauteados e grauteados de dois blocos.</i>	58
3.3.2	<i>Montagem dos prismas de cinco blocos para determinação da tração na flexão.</i>	61
3.3.3	<i>Determinação das propriedades da argamassa no estado fresco e moldagem dos corpos de prova.</i>	62
3.3.4	<i>Determinação das propriedades do graute no estado fresco e moldagem dos corpos de prova.</i>	64
3.4	Determinação das propriedades mecânicas da argamassa de assentamento, dos prismas não grauteados e grauteados, e do graute.	65
3.4.1	<i>Determinação das propriedades mecânicas da argamassa de assentamento.</i>	65
3.4.2	<i>Determinação das propriedades mecânicas dos prismas não grauteados e grauteados.</i>	71
3.4.3	<i>Determinação das propriedades mecânicas do graute</i>	76
4	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.	80
4.1	Resultados dos ensaios das características geométricas do bloco cerâmico estrutural.	80
4.1.1	<i>Medidas das faces – dimensões efetivas</i>	80
4.1.2	<i>Espessura dos septos e paredes externas</i>	82
4.1.3	<i>Desvio em relação ao esquadro (D).</i>	84
4.1.4	<i>Planeza das faces ou flecha (F).</i>	84
4.1.5	<i>Área bruta (Ab).</i>	85
4.1.6	<i>Área líquida (Aliq).</i>	86
4.2	Resultados dos ensaios das características físicas do bloco cerâmico estrutural.	87
4.2.1	<i>Massa Seca (Ms).</i>	87
4.2.2	<i>Índice de absorção de água (AA).</i>	87
4.2.3	<i>Índice de absorção de água inicial (AAI).</i>	88

4.3	Resultados dos ensaios das propriedades mecânicas do bloco cerâmico estrutural.	89
4.3.1	<i>Resistência característica à compressão do bloco cerâmico estrutural.</i>	89
4.3.2	<i>Módulo de deformação do bloco cerâmico estrutural (Eb).</i>	90
4.4	Resultado da resistência à tração na flexão da argamassa de assentamento.	91
4.5	Resultado da resistência à compressão da argamassa de assentamento depois do ensaio de tração na flexão.	93
4.6	Resistência à compressão da argamassa de assentamento nos corpos de prova cúbicos.	94
4.7	Resistência à compressão e módulo de deformação da argamassa de assentamento nos corpos de prova cilíndricos.	96
4.8	Resistência à compressão e módulo de deformação dos prismas não grauteados e dos prismas grauteados.	99
4.9	Resistência à compressão e módulo de deformação do graute.	104
4.10	Resistência à tração na flexão nos prismas com cinco blocos.	106
4.11	Modos de ruptura dos prismas grauteados e não grauteados.	107
5	CONCLUSÃO	108
5.1	Sugestões para trabalho futuro	109
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização, Problemática e justificativa da pesquisa.

A alvenaria estrutural constitui um processo construtivo que se caracteriza pelo uso de paredes como principal estrutura de suporte do edifício, dimensionadas através de cálculo racional (FRANCO, 1992).

No sistema de alvenaria estrutural, para suprir a ausência dos pilares e vigas, utilizados no sistema de concreto armado, as paredes da edificação são projetadas para suportar as cargas, desempenhando, assim, a dupla função de vedação vertical e suporte estrutural. Estas paredes são chamadas de portantes, compõem a estrutura da edificação e distribuem as cargas uniformemente ao longo das fundações (TAUIL; NESE, 2010).

As cargas verticais, transferidas para as fundações, são classificadas como permanentes e acidentais, conforme a NBR 6120 (ABNT, 2000). De acordo com a referida norma, as cargas permanentes são constituídas pelo peso próprio das estruturas e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. As cargas acidentais, por sua vez, são aquelas que podem atuar sobre a estrutura de edificações, em função de seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos, dentre outras).

Parsekian, Hamid e Drysdale (2012), destacam, dentre outras, como importantes, as cargas que podem ocorrer durante a fase de construção em uma estrutura, em que a parede ainda não tem todos os seus apoios e vínculos finalizados, bem como apresenta sua resistência inicial ainda baixa.

Estas paredes com resistências reduzidas recebem carregamentos, considerados pré-maturos, provenientes, por exemplo, da utilização de lajes pré-moldadas, as quais dispensam ou reduzem a utilização de escoramentos na sua montagem, e que são executadas antes do término do período de cura da alvenaria estrutural, contribuindo, assim, para a execução da obra de forma mais rápida.

A NBR 15812 (ABNT, 2010) não obriga a determinação da resistência à compressão da alvenaria nas idades iniciais e não especifica a data de ensaio, mas é habitual a execução dos ensaios de resistência à compressão simples de prisma no 28º dia de idade de sua moldagem, para controle da resistência à compressão da alvenaria estrutural.

Para este controle, no caso de obra de maior exigência estrutural, a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), no item 8.3, detalha que pode ser do tipo controle-padrão ou otimizado. No controle-padrão, o número de amostras de cada lote, que corresponde a cada pavimento, é sempre constituído de no mínimo 12 prismas, sendo 6 para ensaio e 6 para eventual

contraprova. O método do controle otimizado, por sua vez, possibilita a diminuição das amostras dos lotes subsequentes ao primeiro, em função dos valores de coeficiente de variação e de resistência característica estimada do lote anterior, executados com os mesmos materiais e procedimentos. No entanto, no controle otimizado, é necessário aguardar o período de cura (28 dias), para a execução dos ensaios e determinação da resistência à compressão e do coeficiente de variação dos prismas, para posterior definição da quantidade de amostras do lote subsequente.

Na prática construtiva do sistema de alvenaria estrutural, por conta da velocidade de execução dos pavimentos, em torno de 3 pavimentos por mês, embora o número de amostras seja sempre de 12 prismas, resultando em um maior custo para o controle tecnológico do material, é comum o controle da resistência da alvenaria através do controle-padrão, pois neste caso, não há necessidade de aguardar o tempo de cura para definição do número de amostras do lote subsequente, como é feito no controle otimizado.

Percebe-se, então, que a opção pelo controle-padrão na prática construtiva do sistema de alvenaria estrutural, apesar de implicar em um custo maior, é uma forma de monitorar a resistência à compressão da alvenaria e seguir construindo os pavimentos sem ter que aguardar o decurso do tempo de 28 dias para a realização dos ensaios.

A partir destas considerações, questiona-se: a execução dos pavimentos, no decorrer do período de cura da alvenaria estrutural, como é feito habitualmente na prática construtiva, pode comprometer a estabilidade estrutural em relação às cargas verticais?

Com o intuito de aclarar esta questão, este estudo propõe avaliar a evolução da resistência à compressão da alvenaria estrutural, através do método de prismas, constituídos por dois blocos cerâmicos, em idades de três, sete, quatorze e vinte e oito dias, conforme o anexo A, da NBR 15812-2 (ABNT, 2010); e cooperar com parâmetros para fins de controle tecnológico no sistema de alvenaria estrutural constituída com blocos cerâmicos de paredes vazadas e argamassa industrializada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a evolução da resistência à compressão da alvenaria estrutural, ao longo das idades de cura, através do estudo da resistência de primas, constituídos por dois blocos cerâmicos estruturais de paredes vazadas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a evolução da resistência à compressão e os módulos de deformação dos prismas, grauteados e não grauteados, constituídos por dois blocos cerâmicos, nas idades 3, 7, 14 e 28 dias.
- b) Avaliar as características geométricas, físicas e mecânicas do bloco cerâmico estrutural.
- c) Avaliar a evolução da resistência à compressão e o módulo de deformação da argamassa de assentamento e do graute, nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias;
- d) Comparar as resistências à compressão da argamassa de assentamento, nas idades 3, 7, 14 e 28 dias, considerando a moldagem e as formas dos corpos de prova.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em seis capítulos:

Capítulo 1 – apresenta o objetivo geral, bem como os objetivos específicos, os quais se pretende alcançar quando se realiza esta pesquisa;

Capítulo 2 – expõe um breve histórico sobre a aplicação e evolução dos estudos sobre alvenaria estrutural. E constitui uma revisão da literatura a respeito dos elementos e componentes da alvenaria estrutural, com destaque para a resistência à compressão e módulo de deformação. Menciona, ainda, as normas existentes sobre o controle dos materiais no sistema de alvenaria estrutural;

Capítulo 3 – descreve, de forma clara e precisa, os métodos, materiais e equipamentos utilizados nesta pesquisa;

Capítulo 4 – apresenta e discute os resultados obtidos, a partir da realização dos ensaios com elementos e componentes da alvenaria estrutural;

Capítulo 5 – apresenta as conclusões verificadas nesta pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve histórico sobre a alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural é um dos mais antigos sistemas construtivos utilizados pela humanidade. Até o início do século XX, as alvenarias foram executadas de forma empírica e apresentavam grandes espessuras, devido à falta de conhecimento das características resistentes dos materiais, e de procedimentos racionais de cálculo (SAMPAIO, 2010). Algumas obras importantes, como a Pirâmide de Gisé, o Coliseu, a Basílica de Santa Sofia (Figura 1), chamam a atenção pelas suas dimensões.

Figura 1- Exemplos de construções em que a alvenaria estrutural foi aplicada.



Fonte: Internet adaptada pelo autor.

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo bastante antigo em que o homem utilizava blocos espessos de pedra para construir as edificações. A estrutura e arquitetura das construções, nesta época, eram caracterizadas pela execução de paredes com grande espessura, e pela utilização de formas e arcos, na tentativa de alcançar maiores vãos (FRASSON JUNIOR, 2000).

As construções em alvenaria estrutural, até o final do século XIX, eram erguidas segundo regras puramente empíricas, baseadas nos conhecimentos adquiridos ao longo dos séculos (SABBATINI, 1984).

Uma nova opção de elemento resistente surgiu a partir da utilização do cimento hidráulico, na metade do século XIX. São os chamados blocos estruturais simples, pré-moldados, maciços, mas de difícil aplicação, e cuja fabricação iniciou-se na Europa. Em 1866, surgiram as técnicas de fabricação dos blocos vazados (OLIVEIRA, 1986).

No início do século XX, a alvenaria estrutural entrou em declínio com o surgimento do concreto armado, pois este sistema estrutural possibilita a construção de estruturas mais esbeltas e de grande altura, restringindo a alvenaria à função de vedação, ocasionando um período de estagnação das pesquisas em alvenaria estrutural (LOGULLO, 2006).

2.2 A alvenaria estrutural com blocos cerâmicos no Brasil

As pesquisas iniciais no Brasil, sobre alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, foram desenvolvidas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, por volta das décadas de 1970 e 1980. O fortalecimento do referido sistema construtivo ocorreu no início dos anos 90, e as parcerias Universidade-Empresa resultaram na criação de novos materiais e equipamentos nacionais para a produção de alvenaria (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Atualmente, o sistema construtivo de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos é amplamente utilizado em todas as diferentes regiões do Brasil, bem como constitui um ramo reconhecido da Engenharia, constando na grade curricular do curso de Engenharia Civil nas melhores universidades brasileiras. Ademais, verifica-se o crescente envolvimento de pesquisadores, projetistas, associações, construtores e fornecedores; e o desenvolvimento, em grau avançado, da indústria de alvenaria (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Destaca-se que o sistema de alvenaria estrutural é bastante aplicado em empreendimentos habitacionais de larga escala, em que é exigido uma maior racionalização dos processos, planejamento, controle, rapidez e menor custo, os quais constituem exigências que são contempladas na opção pelo referido sistema (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Quanto à utilização do sistema, é preciso salientar também que a alvenaria estrutural é aplicada quando não há previsões de alterações na arquitetura (paredes não removíveis), ou quando esta possibilidade é limitada à alteração de algumas paredes apenas (prevista na fase de projeto), e em casos de vãos médios moderados de cerca de 4 a 5 metros (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2012).

2.3 As normas brasileiras

A primeira comissão para criação de uma norma brasileira sobre alvenaria estrutural foi constituída em 1977. E a mais recente publicação sobre projeto e construção de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos consta na NBR 15812-1 (ABNT, 2010) e na NBR 15812-2 (ABNT, 2010).

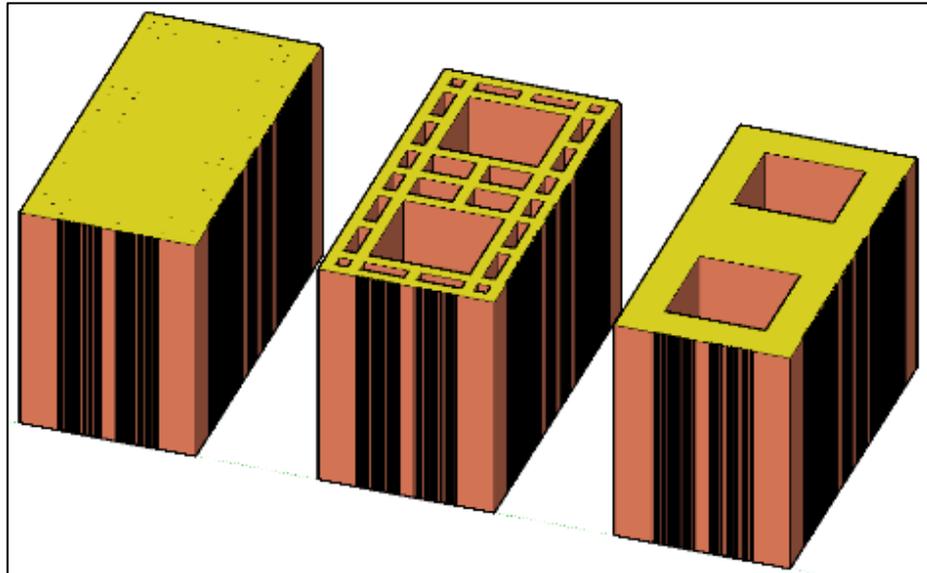
Com o intuito de melhor compreender os termos referentes ao sistema de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, constam, a seguir, os principais conceitos e definições, conforme a NBR 15812-1 (ABNT, 2010) e a NBR 15270-1 (ABNT, 2005):

- Componente: é a menor parte constituinte dos elementos da estrutura;
- Bloco: componente básico da alvenaria;
- Junta de argamassa: componente utilizado na ligação dos blocos;
- Graute: componente utilizado para o preenchimento dos espaços vazios de blocos, com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente;
- Elementos: parte da estrutura suficientemente elaborada, constituída da reunião de dois ou mais componentes;
- Elemento de alvenaria não armado: elemento de alvenaria no qual a armadura é desconsiderada para resistir aos esforços solicitantes;
- Elemento de alvenaria armado: elemento de alvenaria no qual são utilizadas armaduras passivas que são consideradas para resistir aos esforços solicitantes;
- Elemento de alvenaria protendido: elemento de alvenaria no qual são utilizadas armaduras ativas;
- Parede estrutural: toda parede admitida como participante da estrutura;
- Parede não estrutural: toda parede não admitida como participante da estrutura;
- Cinta: elemento estrutural apoiado continuamente na parede, ligado ou não, às lajes, vergas ou contravergas;
- Coxim: elemento estrutural não contínuo, apoiado na parede, para distribuir cargas concentradas;
- Enrijecedor: elemento vinculado a uma parede estrutural, como finalidade de produzir um enrijecimento na direção perpendicular ao seu plano.

- Viga: elemento linear que resiste predominantemente à flexão e cujo vão seja maior ou igual a três vezes a altura da seção transversal;
- Verga: viga alojada sobre abertura de porta e janela e que tenha a função exclusiva de transmissão de cargas verticais para as paredes adjacentes à abertura;
- Contraverga: elemento estrutural colocado sob o vão de abertura com função de redução de fissuração nos seus cantos;
- Pilar: elemento linear que resiste predominantemente a cargas de compressão e cuja maior dimensão da seção transversal não excede cinco vezes a menor dimensão;
- Parede: elemento laminar que resiste predominantemente a cargas de compressão e cuja maior dimensão da seção transversal excede cinco vezes a menor dimensão;
- Excentricidade: distância entre o eixo de um elemento estrutural e a resultante de uma determinada ação que atue sobre ele;
- Área bruta: área de um componente ou elemento estrutural, considerando-se as suas dimensões externas e desprezando-se a existência dos vazios;
- Área líquida: área de um componente ou elemento, com desconto das áreas dos vazios;
- Área efetiva: área da seção correspondente à área ocupada pela argamassa de assentamento;

A Figura 2 mostra os detalhes das áreas bruta, líquida e efetiva do bloco cerâmico estrutural deste estudo.

Figura 2 - Área bruta, líquida e efetiva.

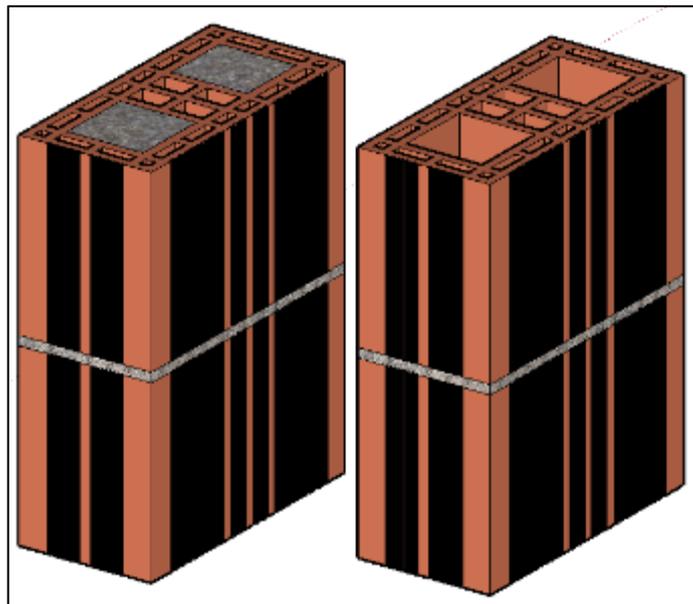


Fonte: Autor (2015).

- Prisma: corpo de prova obtido pela superposição de blocos unidos por junta de argamassa, grauteados ou não.

A Figura 3 mostra o detalhe dos prismas, com dois blocos, com e sem graute.

Figura 3 - Prisma grauteado e não grauteado, com dois blocos.



Fonte: Autor (2015).

2.4 Componentes da alvenaria estrutural

2.4.1 Bloco cerâmico estrutural

Conforme a NBR 15270-2 (ABNT, 2005), o bloco cerâmico estrutural é o componente da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm. No processo de fabricação, nos termos da referida norma, o bloco cerâmico estrutural deve ser produzido, por conformação plástica de matéria-prima argilosa, contendo ou não, aditivos, e queimado em elevadas temperaturas.

Durante o processo de fabricação, os blocos podem sofrer alterações em suas dimensões, em cerca de 5 a 15%. Antigamente, por falta de tecnologia que garantisse a uniformidade na queima, havia grandes variações dimensionais dos blocos cerâmicos; o que hoje ocorre com menor frequência, tendo em vista o uso de fornos mais modernos, até mesmo computadorizados, os quais contribuem para a diminuição das referidas variações (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2012).

As dimensões padrões de fabricação do bloco cerâmico estrutural, as quais constituem características geométricas, estão definidas na referida norma e apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1- Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais.

Dimensões L X H X C	Dimensões de fabricação cm					
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)			
			Bloco principal	1/2 Bloco	Amarração (L)	Amarração (T)
Módulo dimensional M = 10 cm						
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4) M x (2) M x (5/2) M		19	24	11,5	-	36,5
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14	26,5	41,5
(5/4) M x (2) M x (4) M			39	19	31,5	51,5
(3/2) M x (2) M x (3) M	14	19	29	14	-	44
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19	34	54
(2) M x (2) M x (3) M	19	19	29	14	34	49
(2) M x (2) M x (4) M			39	19	-	59
Bloco L - bloco para amarração em paredes em L						
Bloco T - bloco para amarração em paredes em T						

Fonte: NBR 15270-2: 2005, adaptado pelo Autor.

Acrescenta-se que a NBR 15270-2 (ABNT, 2005) também especifica como características geométricas do bloco cerâmico estrutural, as dimensões efetivas das faces, a espessura dos septos e das paredes externas, o desvio em relação esquadro, a planeza das

faces, a área bruta e a área líquida dos blocos; características estas determinadas conforme os métodos de ensaio constantes na NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

As características físicas do bloco cerâmico estrutural também são definidas na NBR 15270-2 (ABNT, 2005), quais sejam, a massa seca e o índice de absorção de água. Ressalta-se ainda a importância da determinação do índice de absorção que é uma forma indireta de calcular a porosidade do bloco cerâmico estrutural.

Este quesito é um bom parâmetro de avaliação da qualidade do bloco, pois blocos com baixo índice de absorção de água são blocos pouco porosos e, conseqüentemente, são mais resistentes e duráveis. A absorção do bloco está intrinsecamente ligada ao aparecimento de manifestações patológicas no substrato de acabamento, uma vez que blocos muito porosos podem apresentar fissuras e mapeamento em seu revestimento. Ademais, vale salientar que o bloco com alto índice de absorção, terá um aumento de peso (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Rizzatti (2003 *apud* Grohmann, 2006) destaca que as propriedades físicas dos blocos são afetadas pela composição de sua matéria-prima e pelo seu método de fabricação. A NBR 15270-2 (ABNT, 2005) limita os valores do índice de absorção em maiores que 8% e menores que 22%.

Deve-se registrar, ainda, a principal característica mecânica do bloco cerâmico estrutural, que é a resistência característica à compressão do bloco, determinada utilizando sempre como referência a área bruta, consoante o disposto na NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Roman (1991) afirma que os resultados obtidos através dos ensaios de resistência à compressão dos blocos, auxiliam no controle de qualidade de produção, pesquisa e em projetos estruturais. Sendo o bloco a unidade formadora e em abundância em paredes e prismas, obtêm-se correlações com a resistência da parede.

Hendry (2001) menciona a resistência à compressão do bloco cerâmico estrutural como a principal propriedade mecânica dos blocos. Ademais, para outros pesquisadores, a resistência à compressão do bloco tem grande relevância em relação à resistência da parede, bem como é fundamental para caracterizar a unidade básica da alvenaria.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), entre os vários fatores que influenciam na resistência à compressão da alvenaria, o mais importante é a resistência à compressão do bloco. Considera-se, em termos gerais, que a resistência da parede é proporcional à resistência à compressão do bloco.

RIZZATTI *et al.*(2011) salientam que o crescimento da resistência à compressão das alvenarias não é linearmente proporcional ao aumento da resistência à compressão dos blocos.

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005) determina que os blocos estruturais devem ter resistência característica mínima de 3 MPa, sendo indicada a utilização de blocos com valores maiores de resistência quando se tratar de painéis aparentes.

No Brasil, os blocos de paredes vazadas com resistência de 6 MPa são comumente encontrados em todas as regiões do país. E os blocos com resistência maior, de até 12 MPa, são encontrados, principalmente, na região sudeste, e apresentam, normalmente, dimensões de 140 mm x 290 mm. No Sul, predomina a produção de blocos com modelo de paredes maciças e com resistência de até 18 MPa, com as mesmas características dimensionais dos anteriores (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2012).

Nos Estados Unidos, os valores da resistência à compressão da unidade básica da alvenaria, variam de 12 a 200 MPa, em relação a área líquida. No Canadá, estes valores estão na ordem de 40 a 80 MPa, também tendo como referência a área líquida. (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2012).

2.4.2 Argamassa de assentamento

De acordo com a norma brasileira NBR 13281 (ABNT, 2005), a argamassa de assentamento constitui uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes e água, contendo, ou não, aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou constituir uma argamassa industrializada.

A argamassa de assentamento é responsável pela união dos blocos, transmissão e uniformização das tensões entre os blocos da alvenaria, como também pela absorção de pequenas deformações, e impermeabilização à água e ao vento (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) estabelece que a argamassa de assentamento, utilizada na alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, deve atender aos requisitos definidos na NBR 13281 (ABNT, 2005). Ademais, estabelece que o menor valor para a resistência à compressão da argamassa deve ser 1,5 MPa, e o maior valor é limitado a 70 % da resistência característica à compressão do bloco, referida à área líquida.

Parsekian e Soares (2010) indicam valores recomendáveis de resistência à compressão da argamassa, para um bloco cerâmico estrutural, com relação de área bruta e área líquida igual 2,3, conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Resistências indicadas para a argamassa e o graute em função da resistência do bloco.

Bloco f_{bk} (MPa)	Argamassa : f_a (MPa)			Graute f_{gk} (MPa)
	Mínimo	Máximo	Recomendado	Recomendado
3,0	2,10	4,80	4,00	15,00
6,0	4,20	9,70	5,00	15,00
8,0	5,60	12,90	6,00	20,00
10,0	7,00	16,10	7,00 - 8,00	25,00

Fonte: Parsekian e Soares (2008) adaptada pelo Autor.

Segundo Fortes (2012), as argamassas muito resistentes podem até melhorar a resistência à compressão da alvenaria, porém irão aumentar consideravelmente o potencial de fissuração do referido elemento. A ocorrência de fissura prejudica o desempenho da alvenaria. Por esse motivo, existe a recomendação normativa de limitar o valor máximo de resistência à compressão da argamassa de assentamento.

A mistura de assentamento é, geralmente, constituída de cimento, cal e areia. Há traços com apenas cal e areia, bem como cimento e areia, os quais são pouco utilizados. Dentre as desvantagens da argamassa mais forte, no caso cimento e areia, menciona-se a grande rigidez e a menor capacidade de absorver deformações (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Parsekian e Soares (2010) destacam, ainda, que acontecendo qualquer minúscula deformação na junta de argamassa com o traço mais forte, surgem tensões elevadas e como resultado, o aparecimento de fissuras. Portanto, é um grande equívoco pensar que por se tratar de argamassa de assentamento para alvenaria estrutural, é preciso utilizar traço com grande resistência.

Na utilização de traço fraco, com cal e areia, a resistência à compressão e a aderência são baixas, prejudiciais à resistência da alvenaria. A utilização de cal, na composição de traços de argamassa de assentamento, proporciona à mistura, uma melhor trabalhabilidade, aumenta a retenção de água e a capacidade de absorver deformações, embora ocasione uma pequena redução na sua resistência (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

As argamassas de assentamento podem apresentar-se em estado plástico ou endurecido. Neste estado, constata-se características como a aderência, a resiliência, a resistência à compressão e a retração. No estado plástico, verificam-se apenas a trabalhabilidade e a capacidade de retenção de água.

Dentre as referidas características, destacam-se a trabalhabilidade, a aderência e a resistência à compressão, analisadas a seguir.

A trabalhabilidade é uma importante propriedade da argamassa no estado plástico, porém, bastante subjetiva. Na realidade, a experiência do executor da parede é fator preponderante para a determinação da consistência ideal da argamassa de assentamento. Isto não significa falta de controle do traço. É possível, através de ensaio, conforme a figura 4, e descrito na NBR 13276 (ABNT, 2005), determinar a consistência, escolhida pelo operário executor.

Figura 4 - Ensaio de consistência da argamassa



Fonte: Autor (2015).

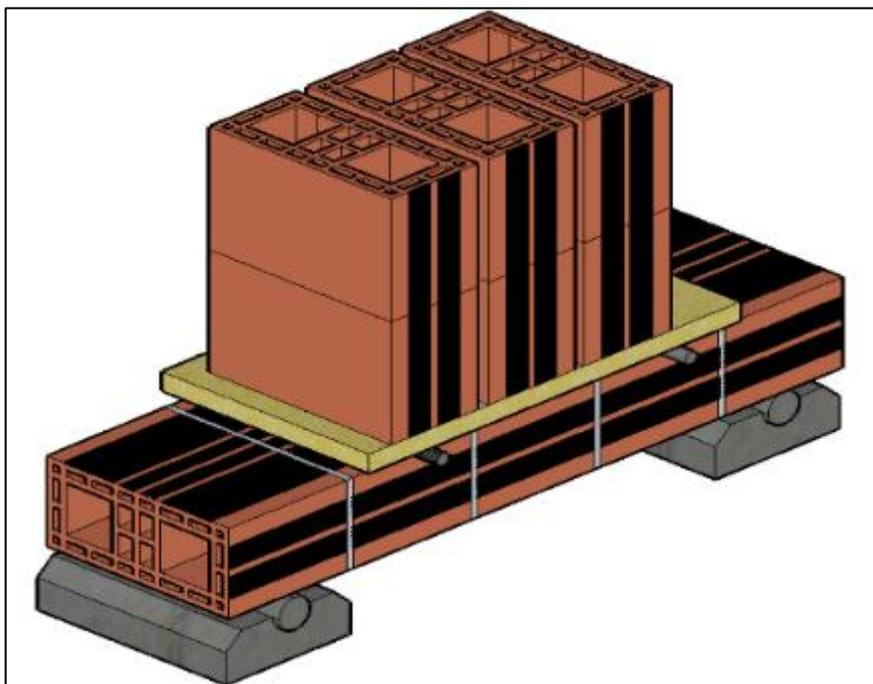
Em relação à aderência da argamassa, salienta-se que esta é a segunda propriedade mais importante para a resistência da alvenaria, perdendo apenas para a resistência dos blocos. Na verdade, a aderência da argamassa tem o papel de resistir às tensões tangenciais e normais de tração (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2012), a aderência entre a argamassa e o bloco é resultado de um intertravamento mecânico e, possivelmente, devido a algum grau de adesão química, embora este mecanismo de aderência ainda seja desconhecido. Os pesquisadores definem, ainda, que são vários os fatores que influenciam nesta relação: o tipo de argamassa, relação água/cimento, teor de ar incorporado, propriedade do bloco, mão de obra e condição de cura. Em termos gerais, a compatibilidade entre a argamassa e o bloco é o fator-chave para uma boa aderência.

A aderência inicia-se quando a argamassa de assentamento no estado plástico é colocada e espalhada sobre as superfícies do bloco, e a mistura de cimento e água é sugada para os vazios dos componentes cerâmicos (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2012).

Comumente, a aderência da argamassa é medida indiretamente através do ensaio de tração na flexão com prismas de 5 blocos, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Detalhe do ensaio de tração na flexão de prisma



Fonte: adaptada de Parsekian, Hamid e Drysdale (2012).

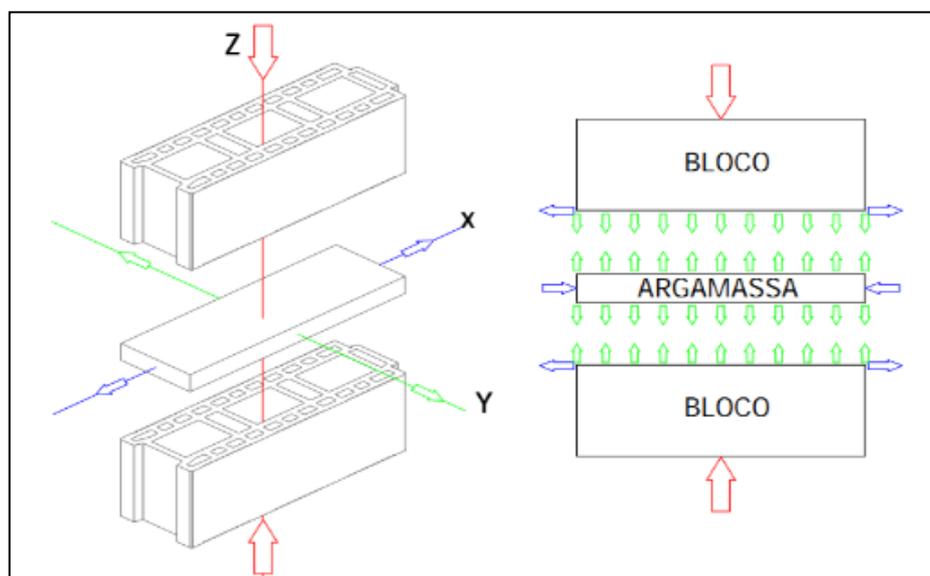
No que concerne à resistência à compressão da argamassa, é importante dizer que ela possui certa parcela de influência na resistência à compressão da parede, e serve como uma forma de controle da qualidade da argamassa (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2012).

Para Parsekian e Soares (2010), para compreender a grande importância da resistência da argamassa é necessário entender seu comportamento quando ensaiada em corpo de prova de argamassa e quando ensaiada assentada entre os blocos. Quando o ensaio é realizado somente com o corpo de prova, sem confinamento, ficando o material livre para se deformar horizontalmente, a resistência da argamassa é resultado de uma tensão, apenas na direção vertical.

Considerando ainda Parsekian e Soares (2010), acrescenta-se que quando o ensaio for com corpos de prova de prisma ou parede, a argamassa está confinada e com o início do carregamento vertical, a argamassa deforma-se tanto na vertical quanto na horizontal, devido ao efeito de Poisson. Isto resultará no aparecimento de forças horizontais, impostas pela aderência e o confinamento do bloco, e conseqüentemente submetendo a argamassa a um estado triplo de tensões: uma compressão gerada pelo carregamento vertical e duas compressões laterais, resultantes da restrição do bloco, conforme consta na Figura 6. Assim, a

resistência à compressão da argamassa assentada será maior do que a resistência à compressão do corpo de prova da argamassa, ensaiado isoladamente.

Figura 6 - Estado tripla de tensões.



Fonte: Adaptada de Parsekian e Soares (2010).

2.4.3 Graute

De acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), graute é o componente utilizado para preenchimento dos espaços vazios do bloco, com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar a capacidade resistente. A referida norma também especifica os materiais constituintes do graute que é o cimento, o agregado miúdo, o agregado graúdo, a água, o aditivo e, em alguns casos, a cal hidratada, a qual não deve superar o volume do cimento em 10%.

Romagna (2000 *apud* Miranda, 2012) menciona que o graute pode ser classificado em dois tipos. O graute fino constituído de agregado graúdo e que possui uma dimensão máxima característica inferior e igual a 4,8 mm. E o graute grosso constituído de agregado graúdo e que possui dimensão máxima característica superior a 4,8mm, chegando até 1/3 da medida da menor dimensão dos furos grauteados.

Quando houver a especificação de graute, a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), que trata sobre projetos com blocos cerâmicos, determina que deve ser feito um estudo em laboratório, através de ensaio com prismas, para avaliar a influência do graute na resistência à compressão da alvenaria. Neste caso, os prismas devem ser grauteados e argamassados com os mesmos materiais e da mesma forma a ser empregada na obra.

A NBR 15812-2 (ABNT, 2010), que trata da execução e controle de obra, não especifica o valor da resistência do graute, no entanto, recomenda que o graute deve ter resistência à compressão de modo que a resistência do prisma grauteado atinja a resistência especificada pelo projetista.

A norma também menciona que para garantir o completo preenchimento dos furos dos blocos, e sem segregação, o graute deve possuir uma consistência compatível com o método de adensamento utilizado. Quanto à dosagem do graute, a norma detalha que deve ser levada em conta a absorção dos blocos e das juntas de argamassa, a qual pode proporcionar uma redução na quantidade de água da mistura.

Nessralla (2013) ressalta que a absorção de água, na superfície de contato entre o bloco e o graute, pode diminuir a resistência do conjunto, pois irá causar uma retração do graute, gerando vazios e fissura na estrutura, e este efeito pode ser minimizado utilizando-se um traço adequado em sua preparação.

A pesquisadora acrescenta que, dentre as características desejadas para o graute, destacam-se a consistência e a fluidez, já que o graute deve ser capaz de preencher completamente uma coluna de bloco, e não deve apresentar retração. Caso ocorra a retração, o bloco preenchido pode separar-se do graute. Este componente deve ter boa resistência à compressão, caso seja utilizado em alvenaria estrutural, no intuito de aumentar a sua resistência.

No entanto, a resistência à compressão do graute deve ser controlada, uma vez que peças muito resistentes apresentam também alta rigidez, e como consequência, a estrutura pode não suportar impactos, e nem se deformar, favorecendo a ruptura. De acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), o ensaio de resistência à compressão do graute deve seguir as diretrizes determinadas na NBR 5739 (ABNT, 2007).

2.5 Resistência à compressão da alvenaria estrutural

2.5.1 Determinação da resistência à compressão da alvenaria estrutural

A resistência à compressão da alvenaria é o parâmetro mais importante para o dimensionamento da alvenaria estrutural. Existem três ensaios para a determinação da resistência à compressão da alvenaria: (1) resistência à compressão de prismas, descrito no anexo A, da NBR 15812-2 (ABNT, 2010); (2) resistência à compressão de pequenas paredes, descrito no anexo B da referida norma e; (3) compressão simples da parede estrutural, cujo método está descrito na NBR 8949 (ABNT, 1985).

Segundo Parsekian e Soares (2010), o ensaio mais preciso, para a determinação da resistência à compressão da parede, é aquele que mais se aproxima das dimensões reais, especificado nas NBR 8949 (ABNT, 1985) e NBR 15812-2 (ABNT, 2010), anexo B. Estes ensaios, no entanto, são de difícil realização por exigir maior custo, devido à utilização de estruturas e equipamentos mais robustos.

Os prismas são componentes da alvenaria estrutural muito utilizados em ensaios, pois são de fácil manuseio, demandam menor tempo de fabricação e os recursos laboratoriais são de baixo custo, quando comparados aos ensaios realizados com paredes em escala mais próxima da realidade. Além disso, fornecem resultados representativos em relação à resistência de uma parede, como também referentes à interação entre o bloco e a argamassa de assentamento (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Considera-se, então, que o ensaio de prisma é o método mais adequado para a determinação da resistência à compressão estimada da alvenaria estrutural, uma vez que atende aos requisitos de menor custo e maior viabilidade para a sua execução.

2.5.2 Prisma

A NBR 15812-2 (ABNT, 2010) define prisma como o corpo de prova obtido pela superposição de blocos, unidos por junta de argamassa, grauteados ou não. Menciona ainda que os prismas são utilizados para a caracterização e controle da alvenaria estrutural com bloco cerâmico. Os ensaios para a determinação da resistência à compressão dos prismas estão descritos no anexo A da referida norma.

De acordo com Fortes (2012), para determinar as tensões de projeto, bem como para controlar a qualidade da alvenaria, deve-se realizar os ensaios de resistência à compressão em prismas. O pesquisador explica que o mecanismo de transferência de carga do topo à base, no ensaio de resistência à compressão de prisma, exige cuidados, tendo em vista a necessidade de um capeamento capaz de obter uma superfície plana e lisa, além de uma espessura do prato da prensa capaz de transferir uniformemente a carga sobre o prisma.

Ressalta-se que a NBR 15812-2 (ABNT, 2010) prescreve que as faces dos prismas devem ser regularizadas através de capeamento com pastas de cimento ou argamassa com resistências superiores às resistências dos blocos, considerando a área líquida.

O prisma é composto por dois ou mais blocos, unidos por juntas de argamassa, com espessura de 10 mm, com variação de ± 3 mm, em que a argamassa de assentamento deve ser disposta sobre toda a face do bloco, incluindo todos os septos laterais e transversais.

A NBR 15812-2 (ABNT, 2010) especifica que o corpo de prova de um prisma é constituído por dois blocos principais sobrepostos, íntegros e isentos de defeitos. No entanto, segundo Pinheiro (2009), alguns pesquisadores como Sabbatini (1984), Franco (1992), Oliveira (1986) e Rizzatti (2003) recomendam que as pesquisas em alvenaria sejam realizadas empregando-se prismas com, no mínimo, três blocos.

Damasceno e Neto (2008), em uma análise experimental de prismas constituídos por blocos cerâmicos, tendo como objetivo principal avaliar os parâmetros que influenciam a resistência à compressão desses prismas, verificaram que o aumento da quantidade de fiadas resultou em uma diminuição da eficiência. Isto se deve ao fato de que os prismas de três blocos são menos influenciados pelo efeito de confinamento gerado pelos pratos da prensa. Dessa forma, consideraram que o ensaio com prismas de três blocos é mais representativo do comportamento das paredes de alvenaria estrutural (DAMASCENO; NETO, 2008).

Além dos referidos fatores que influenciam na resistência à compressão dos prismas, acrescenta-se a resistência à compressão do bloco e da argamassa, a mão de obra, a geometria do bloco, as condições de laboratório, entre outros.

Segundo Nessralla (2013), na execução dos prismas de alvenaria, o efeito da mão de obra é muito importante na resistência à compressão, pois uma junta mal preenchida pode mascarar ou acentuar a influência de determinada variável investigada. É aconselhável o uso de aparatos, como régua, esquadros, prumos e níveis na execução dos prismas, para garantir a máxima homogeneidade do preenchimento e espessura das juntas.

2.5.3 Fator de eficiência

Ramalho e Corrêa (2003) destacam que existe o conceito de eficiência definido pela relação entre a resistência à compressão dos elementos e a resistência à compressão do bloco que o constitui. Os valores de eficiência dependem de fatores como a forma, o tipo de material e até mesmo a resistência dos blocos.

A relação entre a resistência à compressão da parede cerâmica e o bloco cerâmico estrutural é geralmente menor quando comparada com a relação entre a resistência à compressão da parede de concreto e o bloco cimentício. Nos casos em que as paredes são executadas com blocos cerâmicos, com resistência entre 4,5 e 20 MPa, não-grauteadas, e com argamassas comumente utilizadas, que constituem, na verdade, a situação mais comum no Brasil, estima-se que a eficiência apresente valores entre 0,2 e 0,5. Os valores da eficiência, nos casos de prismas, variam entre 0,3 e 0,6 (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

De acordo com Nessralla (2013), é importante destacar que a resistência do bloco cerâmico é geralmente maior que a da parede e, como consequência, o fator de eficiência será menor que 1. Isso ocorre porque a parede recebe outros componentes em sua estrutura.

Gomes (1983 *apud* Santos, 2008) defende que um fator de eficiência de 0,30 é desejável para paredes de alvenaria cerâmica. Os resultados encontrados por Gomes (1983 *apud* Santos, 2008) com paredes de blocos cerâmicos, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados de fatores de eficiência (GOMES, 1983).

Resistência à compressão (MPa)			Fator de eficiência
Argamassa	Bloco	Parede	
10,20	9,60	3,15	0,32
5,10	7,50	2,56	0,34
11,97	7,50	2,93	0,39

Fonte: Adaptada de Santos (2008).

Em um estudo desenvolvido por Garcia (2000), através de ensaios realizados na Escola de Engenharia de São Carlos, em que foram testados blocos cerâmicos, prismas de dois e três blocos, bem como paredes de 120 cm x 240 cm (largura x altura), os valores de eficiência foram determinados em função de dois tipos de argamassa utilizada. As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores de resistência à compressão e fatores de eficiência, respectivamente.

Tabela 3 - Resultados médios de resistências (GARCIA, 2000).

Resistência à compressão (MPa) – Área Bruta				
Argamassa	Bloco	Prisma (2 Blocos)	Prisma (3 Blocos)	Parede (120 x240 cm)
22,98	12,56	6,39	5,55	4,24
12,83	12,56	7,23	5,21	4,16

Fonte: Adaptada de Santos (2008).

Tabela 4 - Resultados médios de fatores de eficiência (GARCIA, 2000).

Fatores de eficiência			
Bloco	Prisma (2 Blocos)	Prisma (3 Blocos)	Parede (120 x240 cm)
1	0,51	0,44	0,34
1	0,58	0,41	0,33

Fonte: Adaptada de Santos (2008).

2.6 Modelos de ruptura

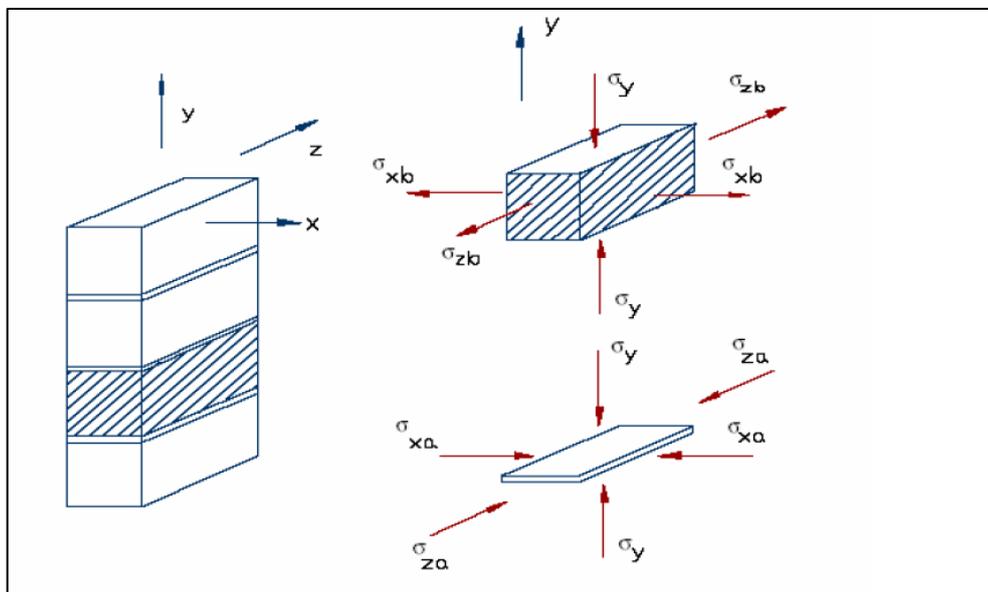
Vários pesquisadores estudaram os modelos de ruptura, a fim de explicar o comportamento da alvenaria. Dentre os trabalhos sobre alvenaria cerâmica, destacam-se os dos seguintes autores: Hilsdorf (1967); Atkinson e Noland (1985); Lenczner (GOMES,1983).

Hilsdorf (1967) apud GOMES (1983) foi o primeiro pesquisador a chegar a conclusões satisfatórias sobre a forma de ruptura na alvenaria, elaborando um modelo matemático, considerando o comportamento elástico e baseando-se nos esforços resistidos pelos componentes da alvenaria.

Hilsdorf (1967 apud Nesralla, 2013) sugere que a argamassa tem a tendência de se estender lateralmente em relação ao bloco, pelo fato de possuir módulo de deformação menor que a do bloco, causando um estado de tensão triaxial de tração no bloco. Isso ocorre devido à ligação bloco/argamassa (aderência). O bloco dificulta a expansão da argamassa, aparecendo tensões triaxiais de compressão na argamassa.

A Figura 7 apresenta o estado de tensões, gerado em prismas de alvenaria, segundo o modelo estabelecido por Hilsdorf.

Figura 7- Distribuições de tensões no prisma conforme o modelo de Hilsdorf .



Fonte: Nessralla (2013)

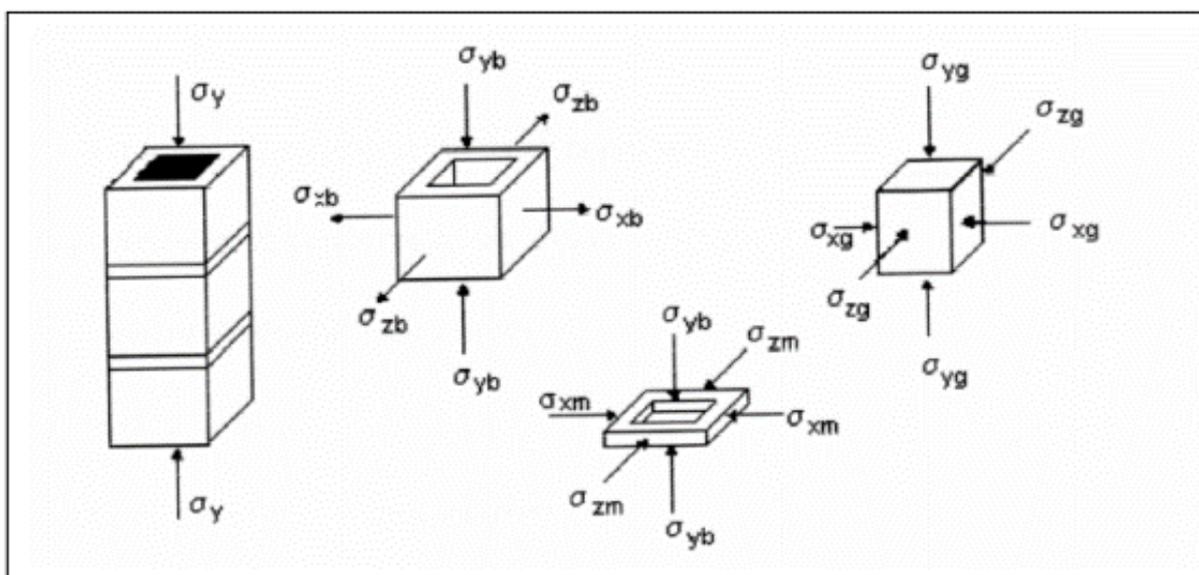
Nessralla (2013) complementa que neste modelo, quando a tensão de tração no bloco for superior ao seu limite de resistência à tração, ocorre a ruptura e assim a parede irá romper devido às forças de tração quando submetida a um ensaio de compressão.

No entanto, Hilsdorf (1967 *apud* Nessaralla, 2013) não explicou o comportamento de paredes grauteadas, submetidas à compressão axial. Nessaralla (2013), então, cita o estudo de Hamid e Drysdale (1979), desenvolvido através de ensaios de prismas de bloco de concreto grauteados, nos quais observaram que o rompimento ocorre com o surgimento de fissuras verticais no bloco. Estas ocorrências devem-se ao fato da maior deformação lateral do graute e da argamassa em relação ao bloco, e poderiam acarretar o desprendimento de uma das faces do bloco e o rompimento do graute.

Assim como no modelo de Hilsdorf, o graute e o bloco têm módulos de deformação diferentes e o graute tende a se deformar lateralmente, quando submetido a esforços de compressão. Por ter um módulo de deformação menor, o bloco tende a restringir esta deformação confinando o graute. Surgem, então, as tensões no graute e na parede do bloco. Desta forma, a parede poderá se romper por trações geradas devido à aderência da argamassa e do bloco, ou devido a trações geradas pelo graute nas faces do bloco, dependendo das características dos seus componentes. (NESSRALLA, 2013).

É possível observar na Figura 8, o estado de tensão, gerado em um prisma grauteado, no momento em que se aplica uma carga uniaxial de compressão.

Figura 8 - Tensões nos componentes de alvenaria grauteada, no modelo de Hamid e Drysdale.



Fonte: Nesaralla (2013)

A teoria de Atkinson e Noland (1985) foi desenvolvida, relacionando propriedades de resistência e deformação de prismas submetidos a esforços de compressão, sendo baseada no critério de Hilsdorf (1969). De acordo com Atkinson e Noland (1985), os critérios que afetam a resistência à compressão uniaxial da alvenaria são: a resistência à tração

uniaxial e biaxial do bloco e da argamassa, assim como os padrões de forma do prisma. O modelo sugere que quanto maiores os blocos, menores são as tensões de tração induzidas à alvenaria.

A partir do modelo proposto por Atkinson e Noland (1985), McNary e Abramns (1985) realizaram ensaios de prismas com blocos cerâmicos, tijolos maciços e diferentes tipos de argamassas, para confrontar os dados experimentais com os valores teóricos. Na realização dos procedimentos experimentais foram feitos os seguintes ensaios: compressão triaxial da argamassa, compressão uniaxial dos blocos e compressão uniaxial dos prismas. (SANTOS, 2008).

Os autores concluíram que tendo a argamassa, a tendência de se expandir lateralmente, quando ligada mecanicamente ao bloco, esta característica é restringida, surgindo, assim, tensões laterais de tração no bloco e de compressão na argamassa, e que a resistência dos prismas é governada pela resistência à tração dos blocos e pelas propriedades de deformação da argamassa. (SANTOS, 2008).

Argamassas mais fortes possuem um comportamento na curva tensão versus deformação essencialmente linear, porque seus prismas fissuraram subitamente e romperam explosivamente no carregamento último. Já as argamassas mais fracas apresentam um comportamento mais dúctil, ocorrendo fissuração lenta nos prismas. Portanto, de acordo com esta teoria, considerando a não linearidade da argamassa, pode ocorrer o fendilhamento do bloco, ao invés do esmagamento da argamassa. (SANTOS, 2008).

Gomes (1983 *apud* Santos, 2008) apresenta o critério de Lenczner que considera a contribuição da argamassa de assentamento na resistência da alvenaria, baseando-se na compatibilidade de deformações entre os elementos da alvenaria, bloco e argamassa. De acordo com Santos (2008), a argamassa, por possuir um módulo de elasticidade menor que o bloco, fica submetida a esforços de compressão e os blocos, a esforços de tração, ocorrendo a ruptura por tração no bloco, devido a sua baixa resistência à tração.

2.7 Módulo de deformação dos componentes e elementos da alvenaria estrutural.

O anexo D da NBR 15270-3 (ABNT, 2005), que trata das diretrizes para a seleção de métodos de ensaios para a determinação de características especiais, recomenda a aplicação do método de ensaio, especificado na NBR 8522 (ABNT, 2008), para a determinação do módulo de deformação longitudinal de componentes como o bloco, a argamassa e o graute, da alvenaria estrutural.

A NBR 8522 (ABNT, 2008) detalha que o módulo de elasticidade pode ser considerado um módulo de deformação, quando se trabalha com o material no regime elástico.

De acordo com Parsekian e Soares (2010), o módulo de deformação da alvenaria depende das características dos blocos e da argamassa. Algumas normas internacionais trazem valores tabelados para essa propriedade, de acordo com a resistência e tipo de bloco e argamassa. O enfoque simplificado estima o módulo de deformação em função da resistência de prisma.

Segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2012), como a curva tensão versus deformação não é linear, o módulo de deformação pode ser definido como a secante ou corda de curva entre 5% e 30% da tensão de ruptura em ensaios de prisma. Geralmente, esta região não é linear. A faixa inferior a 5% é ignorada, pois neste começo as deformações podem, ainda, estar associada a acomodações das interfaces da argamassa e bloco. Em elementos estruturais, estas acomodações ocorrem com peso próprio.

Nos primeiros relatos sobre o módulo de elasticidade da alvenaria $E_{(a)}$, este é estimado entre 750 a 1000 vezes o valor da resistência de prisma (f_{pk}). Resultados de ensaio indicam valores muito dispersos, o que em parte pode ser justificada por variações no ensaio de prisma, como sua configuração, carregamento, instrumentação e método de cálculo. Ensaios posteriores demonstram valores de 390 a 444 vezes o valor do f_{pk} para alvenaria de cerâmica. (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2012).

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) estabelece que o módulo de deformação longitudinal para alvenaria com bloco cerâmico é $600 f_{pk}$, limitando ao valor máximo de 12 GPa.

No que se refere ao módulo de deformação do bloco cerâmico estrutural, destaca-se que não há uma norma específica que trate sobre esta questão, para este tipo de bloco. Os métodos de ensaio, especificados na NBR 8522 (ABNT, 2008), embora tratem do módulo de elasticidade dos corpos de prova de concreto, na realidade, são aplicados para fins de determinação do módulo de deformação do bloco cerâmico estrutural, conforme recomenda o anexo D da NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Quanto à argamassa, acrescenta-se que Cheema e Klingner (1986 *apud* SANTOS, 2008) determinaram o módulo de elasticidade tangente na origem e secante das argamassas, em função da resistência à compressão, utilizando as fórmulas 1 e 2:

$$E_{at} = 1000. f_a \quad (1)$$

$$E_{as} = 500. f_a \quad (2)$$

Onde:

E_{at} = módulo de elasticidade tangente da argamassa.

E_{as} = módulo de elasticidade secante da argamassa.

f_a = resistência à compressão da argamassa.

Gomes (1983 apud SANTOS, 2008) determinou pelo projeto de norma 18:04.02-0001/1982 – ABNT, que foi convertido na NBR 8522 (ABNT, 2008), o módulo de deformação secante da argamassa, pela origem e a 40 % da carga de ruptura. Os resultados obtidos, para os dois traços utilizados em sua pesquisa, são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Modulo de deformação secante das argamassas.

Tipo de parede	Traço (Massa)	Resistencia à compressão (MPa)	Módulo de deformação (MPa)
C	1:0,62:6	5,80	7000
D	1:0,62:6	4,80	5000
E	1:0,62:4	10,2	9600
F	1:0,62:6	5,11	7100
H	1:0,62:6	5,40	6800

Fonte: Santos (2008) adaptada pelo Autor.

Quanto ao módulo de deformação da alvenaria, Pasquali (2007), em sua pesquisa, apresentou os valores dos módulos de deformação de seus ensaios em pequenas paredes, demonstrados no Quadro 2.

Quadro 2 - Valores de módulo de elasticidade encontrados por Pasquali (2007).

Tipo do bloco cerâmico	Resistência a compressão σ (MPa)	Módulo de Deformação E (MPa)	E_p/σ	Média E_p/σ	Observações
Vazados de paredes maciças	4,68	5185	1108	1122	Ensaio de pequenas (σ e E) (argamassa 2, 4, e 10 MPa, respectivamente)
	5,16	5200	1008		
	4,48	5604	1251		
Vazados de paredes Vazadas	4,56	4196	920	803	Ensaio de pequenas (σ e E) (argamassa 2, 4, e 10 MPa, respectivamente)
	4,34	3665	844		
	5,21	3355	644		

Fonte: Pasquali (2007) adaptada pelo Autor.

2.8 Controle da resistência da alvenaria através de ensaio de prisma

De acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), a forma de controle de obra de alvenaria estrutural cerâmica depende da probabilidade relativa de ruptura de alvenaria, em

função da relação entre o valor da resistência característica de projeto ($f_{pk,proj}$) e da resistência característica estimada ($f_{pk,est}$).

A referida norma menciona, ainda, que há obras de menor exigência estrutural e obras de maior exigência estrutural.

As obras com menor exigência estrutural caracterizam-se pela maior resistência característica, especificada para o prisma no projeto ($f_{pk,proj}$), ser menor ou igual a 15 % da resistência característica do bloco, ou menor do que 50 % da resistência característica do prisma ($f_{pk,est}$), calculada conforme o item 8.2, da NBR 15812 (ABNT, 2010). Destaca-se que a norma indica que não deve haver preenchimento dos furos do bloco com objetivo de aumentar a resistência à compressão da alvenaria. Os ensaios de caracterização dos materiais e de recebimento dos blocos são suficientes para o controle em obra com menor exigência estrutural.

Nos casos em que a obra não se enquadra na descrição acima, classifica-se como obra de maior exigência estrutural e seu controle pode ser padrão ou otimizado, através do ensaio de prisma, da argamassa e do graute. A norma acrescenta que o controle deve ser feito separadamente para paredes não grauteadas e paredes grauteadas, com objetivo de aumentar a resistência à compressão.

No conceito de controle-padrão, cada pavimento de cada edificação corresponde a um lote para coleta de amostras, constituído por no mínimo 12 prismas, sendo 6 para ensaio e 6 para eventual contraprova.

O controle otimizado, por sua vez, deve ser realizado em função do tipo de empreendimento que pode ser uma edificação isolada ou constituir um conjunto de edificações iguais, caracterizadas assim desde que atendam as seguintes condições: fazer parte de um único empreendimento; ter o mesmo calculista; ter resistências de projeto idênticas e utilizar os mesmos materiais e métodos construtivos.

Na edificação isolada, cada pavimento representa um lote para coleta de amostras, constituído, também, por no mínimo 12 prismas, dos quais seis são para eventual contraprova, no caso do primeiro pavimento, e naqueles pavimentos em que houver mudança de materiais ou procedimento executivo. Após os ensaios do primeiro lote de alvenaria, deve-se calcular o coeficiente de variação, o qual é utilizado para definir o número de amostras do lote subsequente.

A NBR 15812 (ABNT, 2010) define, ainda, que a cada novo lote ensaiado, deve-se recalcular o coeficiente de variação e a resistência característica estimada, adicionando-se

os resultados dos lotes anteriores que tenham sido executados com os mesmos materiais e procedimentos.

O número de prismas a serem ensaiados, para os pavimentos subsequentes, deve ser extraído, conforme dados na Tabela 6, a partir do coeficiente de variação atualizado e a razão entre a resistência característica especificada em projeto ($f_{pk,proj}$) para o pavimento, e a resistência característica estimada ($f_{pk,est}$), calculada conforme item 8.2, da NBR 15812-2 (ABNT, 2010). A referida norma salienta que para edificações com mais de cinco pavimentos, o coeficiente de variação deve ser sempre considerado no mínimo igual a 15%.

Acrescenta-se que deve ser moldado número adicional de prismas igual ao que será ensaiado para eventual contraprova. Na eventual indisponibilidade dos resultados dos prismas do lote anterior, o pavimento deve ser considerado como primeiro lote.

Tabela 6 - Número mínimo de prismas a serem ensaiados (redução de acordo com a probabilidade relativa à ruína)

Coeficiente de Variação (CV)	$f_{pk,projeto}/f_{pk,estimado}$				
	$\leq 0,15$	$> 0,15$ e $\leq 0,30$	$> 0,30$ e $\leq 0,50$	$> 0,50$ e $\leq 0,75$	$> 0,75$
$>25\%$	6	6	6	6	6
$\leq 25\%$ e $\geq 20\%$	0	2	4	6	6
$< 20\%$ e $\geq 15\%$	0	2	2	2	4
$< 15\%$ e $\geq 10\%$	0	2	2	2	2
$< 10\%$	0	0	0	0	0

Fonte: ANBT NBR 15812-2:2010 adaptada pelo Autor.

Para o caso de conjunto de edificações iguais, nos termos da NBR 15812 (ABNT, 2010), o controle otimizado deve ser realizado em pelo menos um das edificações do empreendimento da mesma forma como foi executado o controle otimizado para edificação isolada. Cada pavimento das demais edificações construídas, simultaneamente, com os mesmos materiais e procedimentos daquela que seguir o controle prescrito para edificação isolada, constitui um lote, em que o número de ensaios é definido conforme Tabela 6. Todos os resultados dos pavimentos e das edificações, que forem construídos com os mesmos materiais e procedimentos, devem ser usados para atualizar o valor do coeficiente de variação e a resistência característica estimada ($f_{pk,est}$).

A norma ressalta que, sempre que houver mudança de fornecedores ou de tipos de materiais na obra, ou ainda mudança significativa na mão de obra, deverá ser feita nova caracterização dos materiais e da alvenaria, conforme determinado no item 8.1, da NBR 15812 (ABNT, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, descrevem-se as características dos materiais utilizados na pesquisa, os métodos de produção da argamassa e do graute, bem como de moldagem dos prismas. Ademais, especificam-se os ensaios de caracterização do bloco cerâmico estrutural e os ensaios para a determinação das propriedades mecânicas da argamassa, do graute e dos prismas.

Acrescenta-se que os materiais (bloco cerâmico estrutural, argamassa, brita, cimento e areia), utilizados nesta pesquisa, foram adquiridos de canteiro de obra localizado na região metropolitana de Fortaleza, pertencente a uma construtora de grande porte da nossa região. A referida obra trata-se de um empreendimento hoteleiro, constituído de 11 edifícios de quatro pavimentos e 13 bangalôs de dois pavimentos, sendo todos construídos em alvenaria estrutural em blocos cerâmicos.

3.1 Caracterização do graute e da argamassa de assentamento.

3.1.1 Caracterização dos componentes do graute.

O traço do graute, utilizado nesta pesquisa, foi especificado pela empresa responsável pelo controle tecnológico dos materiais aplicados na referida obra, onde foram coletados os materiais constituintes do graute, quais sejam, a areia, a brita, o cimento e o aditivo plastificante.

Na Tabela 7, verificam-se as especificações dos referidos materiais, utilizados na produção do graute e os respectivos consumos, para a produção de um metro cúbico.

Tabela 7 - Traço do graute utilizado na pesquisa.

Materiais	Consumo (kg/m³)
Cimento CP II Z 32	408,7
Areia natural de leito de rio	743,0
Brita granítica	902,3
Água (Fator de a/c = 0,54)	220,7
Aditivo Muraplast FK 110 (0,8% Massa Cimento)	3,26

Fonte: Empresa de controle tecnológico adaptada pelo Autor.

Destaca-se, quanto às propriedades no estado endurecido e fresco do referido graute, a resistência característica à compressão de 25 MPa e o abatimento do tronco de cone de 180 ± 20 mm, respectivamente.

Dentre os materiais que compõem o graute, apresentam-se as características do cimento e do aditivo, conforme informações dos fabricantes nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8 - Propriedades do Cimento CP II Z 32

Propriedade	Valores
Finura - #200 (%)	1,02
Finura - # 325 (%)	7,55
Área de superfície específica (Blaine cm ² /g)	4950
Água de consistência (%)	28,78
Tempo de pega - Início (min)	171
Tempo de pega - Fim (min)	233
Expansibilidade a quente (mm)	0,04
Resistência à compressão - 3 dias (MPa)	25,90
Resistência à compressão - 7 dias (MPa)	29,66
Resistência à compressão - 28 dias (MPa)	35,42

Fonte: Fabricante adaptada pelo Autor.

Tabela 9 - Propriedades do aditivo Muraplast FK 110

Propriedade	Valores
Densidade (g/cm ³)	1,20
Dosagem sobre a massa do cimento (%)	0,2 – 1,0
Plastificante multifuncional de pega normal	

Fonte: MC Bauchemie adaptada pelo Autor.

No que se refere à areia e à brita, ressalta-se que suas principais propriedades físicas foram determinadas no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, de acordo com as normas técnicas, e os respectivos valores estão nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Propriedades físicas do agregado miúdo

Propriedade	Referência Normativa	Valores
Módulo de finura	NBRNM 248/2003	2,71
Dimensão máxima característica (mm)	NBR NM 248/2003	4,75
Massa específica (Kg/m ³)	NBR NM 52/2009	2540
Massa unitária – solto (Kg/m ³)	NBR NM 45/2006	1432
Massa unitária – compactado (Kg/m ³)	NBR NM 45/2006	1533
Teor de material pulverulento (%)	NBR NM 46/2003	1,03

Fonte: Autor (2015).

Tabela 11 – Propriedades físicas do agregado graúdo

Propriedade	Referência Normativa	Valores
Módulo de finura	NBR NM 248/2003	8,1
Dimensão máxima característica (mm)	NBR NM 248/2003	9,5
Massa específica (Kg/m ³)	NBR NM 53/2009	2570
Massa unitária – solto (Kg/m ³)	NBR NM 45/2006	1966
Massa unitária – compactado (Kg/m ³)	NBR NM 45/2006	2057

Fonte: Autor (2015).

3.1.2 Caracterização da Argamassa de assentamento

A argamassa utilizada para o assentamento dos blocos, na moldagem dos prismas, é industrializada de múltiplo uso. De acordo com o fabricante, a referida argamassa pode ser utilizada para o assentamento de elementos de alvenaria de vedação, com diversos tipos de blocos, como também para o assentamento de alvenaria estrutural.

Neste último caso, o uso é possível desde que comprovada as suas propriedades em laboratório, com as caracterizações prévias dos componentes e dos elementos da alvenaria estrutural, conforme as normas vigentes e mediante a aprovação do responsável técnico pelo projeto de alvenaria estrutural.

Ressalta-se que a empresa que realiza o controle tecnológico dos materiais empregados na obra em questão, executou os ensaios de caracterização e resistência à compressão dos materiais, verificou que os requisitos normativos foram atendidos e obteve a aprovação por parte do calculista.

Constam na Tabela 12 algumas propriedades da argamassa de assentamento múltiplo uso, utilizada no assentamento dos prismas, conforme informações do fabricante. Acrescenta-se que alguns ensaios foram realizados para a comprovação destas propriedades, os quais serão apresentados nos capítulos seguintes.

Tabela 12 - Propriedade da Argamassa de assentamento

Propriedade	Referência Normativa	Valores	Especificação
Resistência à compressão (MPa)	NBR 13279/2005	4,0 a 6,5	P4
Densidade de massa aparente no estado endurecido (Kg/m ³)	NBR 13280/2005	1400 a 1800	M4
Resistência à tração na flexão (MPa)	NBR 13279/2005	1,5 a 2,7	R3
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	NBR 15259/2005	3,0 a 4,0	C4
Densidade de massa no estado fresco (Kg/m ³)	NBR 13278/2005	1600 a 1800	D4
Retenção de água (%)	NBR 13277/2005	72 a 85	U2
Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	NBR 15258/2005	≥ 0,20	A3

Fonte: Fabricante adaptada pelo Autor.

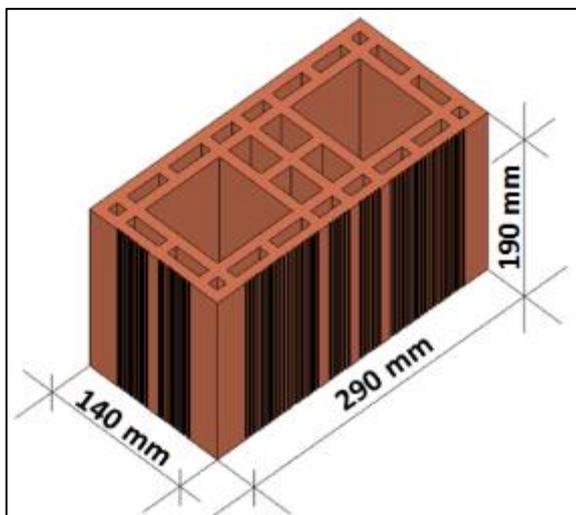
3.2 Caracterização dos blocos cerâmicos estruturais.

3.2.1 Determinação das características geométricas do bloco cerâmico estrutural.

Os métodos para determinação das características geométricas do bloco cerâmico estrutural estão descritos no anexo A, da NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

O bloco cerâmico utilizado nos ensaios desta pesquisa é do tipo estrutural, com parede vazada, com dimensões de 140mm (largura) x 190mm (altura) x 290 mm (comprimento), conforme mostra a Figura 9, e fabricado pela Cerâmica Assunção Ltda, localizada no município de Aquiraz, no estado do Ceará.

Figura 9 - Bloco cerâmico estrutural de parede vazada



Fonte: Autor (2015).

3.2.1.1 Coleta, Seleção e preparação das amostras do bloco cerâmico estrutural

As amostras dos blocos cerâmicos estruturais foram coletadas na obra em questão e transportadas, em estrados de madeira, para o Laboratório da Divisão de Materiais (DIMAT), do Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), onde os referidos paletes foram organizados em superfície plana e limpa, para evitar a ação de agentes contaminantes.

Inicialmente, foram selecionadas treze amostras, conforme determina a NBR 15270-2 (ABNT, 2005), para a determinação das características geométricas, físicas e mecânicas, de acordo com a NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Antes de dar início aos ensaios, as amostras foram limpas, as rebarbas foram retiradas, bem como foram identificadas e colocadas em ambiente protegido, para resguardar suas características originais, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Limpeza e identificação das amostras



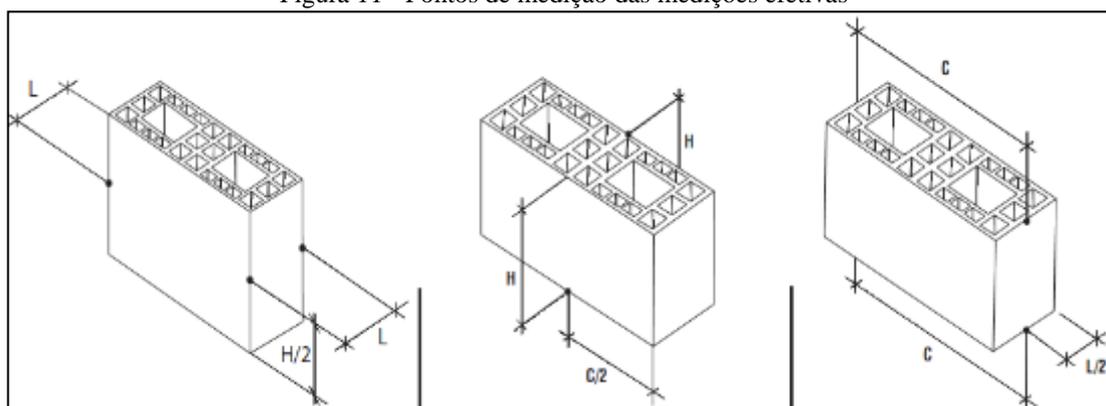
Fonte: Autor (2015).

3.2.1.2 .Medidas das faces – Dimensões efetivas.

As amostras dos blocos selecionados foram colocadas sobre uma superfície plana e indeformável, para que as medidas das faces fossem determinadas, através de um paquímetro digital da marca Digimess, com calibração 309/15, e sensibilidade de 0,01 mm.

Os valores para a largura (L), altura (H) e comprimento (C), foram obtidos através da média entre as duas medidas em cada bloco, nos pontos indicados na Figura 11:

Figura 11 - Pontos de medição das medições efetivas



Fonte: Sinduscon – MG (2007).

4.2.1.1 Espessura dos septos e paredes externas dos blocos.

Para a determinação da espessura dos septos e paredes externas dos blocos, conforme Figura 12, também foi utilizado o referido paquímetro, sempre buscando realizar as medidas nos pontos onde a parede apresenta a menor espessura. Destaca-se que as medições

das espessuras dos septos devem ser obtidas na região central dos blocos, utilizando, no mínimo, quatro medições.

Figura 12 - Medições dos septos e paredes externas



Fonte: Autor (2015).

3.2.1.3 Desvio em relação ao esquadro (D).

O desvio em relação ao esquadro, consoante a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), foi mensurado nos treze corpos de prova, de acordo com a Figura 13, com o uso de um esquadro metálico de $90^\circ \pm 0,5^\circ$ e uma régua metálica com sensibilidade de 0,5 mm.

Figura 13 - Medição do desvio em relação ao esquadro

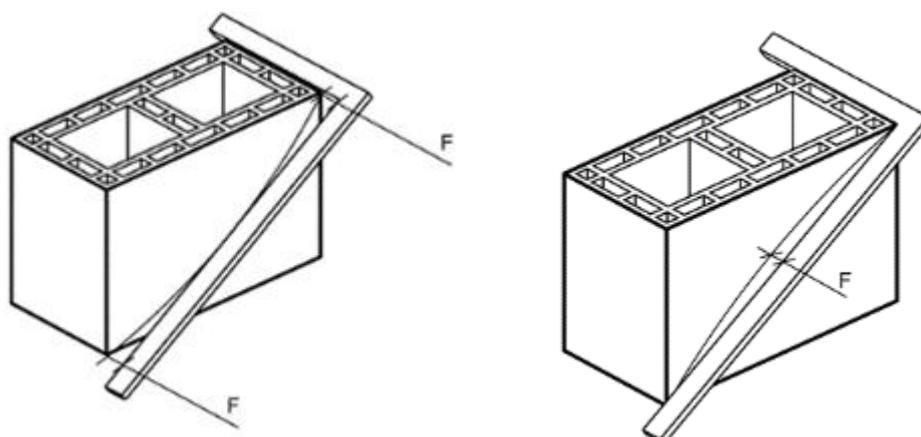


Fonte: Autor (2015).

3.2.1.4 Planeza das faces (F).

A planeza de uma das faces destinadas ao revestimento, também foi medida com um esquadro metálico e uma régua metálica, através da flecha formada na diagonal, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Medição da planeza ou flecha



Fonte: ABNT NBR 15270-3:2005.

3.2.1.5 Área bruta (Ab)

De acordo com a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), a área bruta de cada bloco foi determinada pela multiplicação dos valores médios, obtidos da largura e do comprimento de cada um dos treze blocos, expressa em milímetros quadrados. Em seguida, calculou-se o valor médio da área bruta, determinado a partir da média aritmética dos valores individuais dos referidos componentes. Os valores acima foram definidos com aproximação decimal.

A Figura 15 apresenta a forma de medição do comprimento e largura das amostras, os quais foram utilizados para o cálculo da área bruta.

Figura 15 - Medição das dimensões efetivas



Fonte: Autor (2015).

3.2.1.6 Área líquida (Aliq).

Após a determinação da área bruta, ainda conforme a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), os blocos foram imersos, por 24 horas, em água à temperatura ambiente. Com o auxílio de uma balança hidrostática, os blocos foram pesados, imersos em água à temperatura de 25°C, obtendo-se a massa aparente (M_a), consoante a Figura 16.

Figura 16 - Imersão e pesagem dos blocos



Fonte: Autor (2013).

Em seguida, os blocos foram enxutos com um pano úmido e, imediatamente, pesados, obtendo-se a massa saturada (M_u), conforme a Figura 17.

Figura 17 - Blocos enxutos e, imediatamente, pesados.



Fonte: Autor (2015).

A área líquida de cada bloco, expressa em milímetros quadrado, foi, então, calculada através da equação 3.

$$A_{liq} = \frac{M_u - M_a}{\gamma \cdot H} \quad (3)$$

Onde:

A_{liq} - área líquida em mm^2 ;

M_u - massa do bloco saturado, em g;

M_a - massa aparente do bloco, em g;

H - altura do bloco, em mm;

γ - massa específica da água, g/mm^3 .

3.2.2 *Determinação das características físicas do bloco cerâmico estrutural.*

3.2.2.1 *Massa seca (Ms)*

A descrição do método de determinação da massa seca do bloco consta no anexo B da NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Após a execução dos procedimentos para determinar as características geométricas, os treze blocos foram colocados na estufa, a uma temperatura de $105^\circ C$, por um período de vinte e quatro horas. Logo após a retirada da estufa, cada bloco foi pesado e a massa seca foi determinada, conforme a Figura 18.

Figura 18- Blocos na estufa e medição da massa seca.



Fonte: Autor (2015).

3.2.2.2 *Índice de absorção de água (AA).*

Para calcular o índice de absorção de água, utilizaram-se os valores de massa úmida dos treze blocos, obtidos no ensaio para a determinação da área líquida, como também

os valores de massa seca, obtidos a partir do ensaio para a determinação das características físicas.

Calculou-se, então, o índice de absorção de água de cada bloco, nos termos da NBR 15270-3 (ABNT, 2005), e aplicando a equação 4.

$$AA\% = \frac{M_u - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

AA - Índice de absorção de água;

M_u - Massa do bloco saturado, em g;

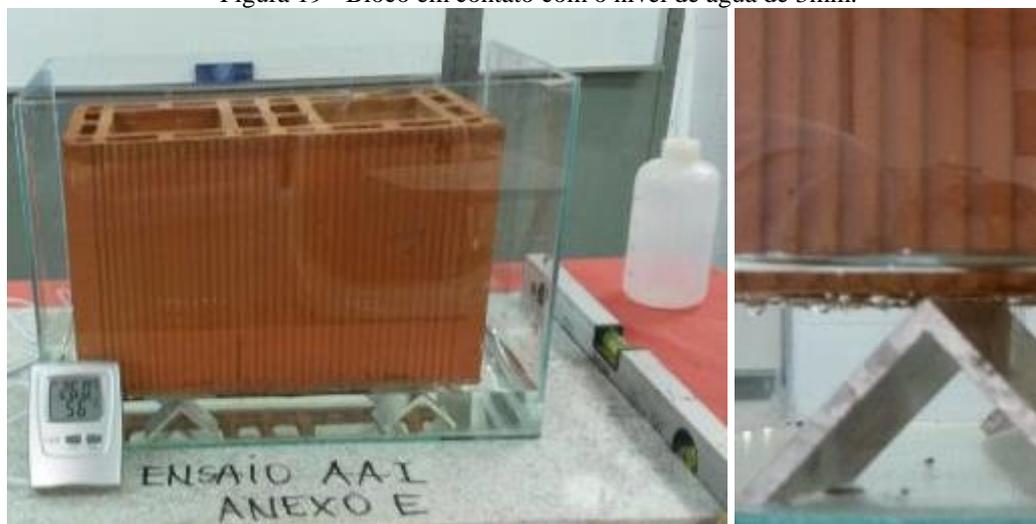
M_s - Massa seca do bloco, em g.

3.2.2.3 Absorção de água inicial (AAI).

Para determinar o índice de absorção inicial de água, utilizaram-se seis blocos cerâmicos estruturais, conforme determina o anexo D, da NBR 15270-3 (ABNT, 2005), os quais foram colocados em uma estufa, a uma temperatura de 110°C, por um período de vinte e quatro horas. Após a retirada da estufa, aguardou-se, no mínimo, duas horas, até o início dos ensaios, para que a temperatura dos blocos atingisse a temperatura do ambiente. Acrescenta-se que para a medição da temperatura, utilizou-se um equipamento termo-higrômetro.

Em seguida, determinou-se a massa seca inicial de cada corpo de prova, expressa em grama, e, logo depois, posicionou-se o bloco nos apoios localizados no fundo de uma caixa de vidro, quando, então, disparou-se o cronômetro e o blocos permaneceram por um período de 60 segundos em contato com o nível de água de 3mm, em relação ao topo dos referidos apoios, conforme a Figura 19.

Figura 19 - Bloco em contato com o nível de água de 3mm.



Fonte: Autor (2015).

Na sequência, elevou-se o corpo de prova rapidamente e retirou-se o excesso de água da face ensaiada, utilizando-se uma flanela de algodão umedecida. E realizou-se a pesagem de cada bloco, com superfície de contato seca e com poros saturados, em um intervalo máximo de 30 segundos, a contar da retirada do contato com a água, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Pesagem depois da retirada de contato com a água



Fonte: Autor (2015).

Realizou-se, logo depois, a imersão da outra face de assentamento, bem como a pesagem de cada bloco, também em um intervalo máximo de 30 segundos, a contar da retirada do segundo contato com a água. Ressalta-se que o peso inicial da segunda pesagem corresponde ao peso final da primeira determinação.

De acordo com a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), o índice de absorção de água inicial de cada bloco é calculado pela equação 5.

$$AAI = 193,55 * \frac{\Delta_p}{A_{liq}} \quad (5)$$

Onde:

AAI - Índice de absorção de água inicial (sucção) da face ensaiada dos blocos, expresso em (g/193,55cm²)/min;

Δ_p - É a variação de massa obtida no ensaio, em grama;

A_{liq} - Área líquida dos blocos ensaiados, em centímetros quadrados.

3.2.3 *Determinação das propriedades mecânicas do bloco cerâmico estrutural.*

3.2.3.1 *Resistência à compressão do bloco cerâmico estrutural (f_{bk})*

A principal característica mecânica do bloco cerâmico estrutural é a resistência à compressão, determinada através dos métodos descritos no anexo C, da NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Após a determinação das características geométricas e físicas das treze unidades de bloco cerâmico estrutural, efetuou-se o capeamento de suas faces de assentamento, com uma argamassa de regularização e resistência de 30 MPa, e com espessura não superior a 3 mm, conforme a Figura 21.

Figura 21 - Argamassa de capeamento para regularização do bloco.



Fonte: Autor (2015).

Transcorrido o tempo de cura da argamassa, os blocos capeados foram imersos, por vinte quatro horas, em água, atendendo, assim, o tempo mínimo de seis horas, estabelecido no anexo C, da NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Em seguida, conforme mostra a Figura 22, romperam-se os blocos saturados na máquina universal de ensaio da marca EMIC, modelo DL100T, calibração nº 797/15, no Laboratório da Divisão de Materiais (DIMAT), do Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), para fins de determinação da resistência à compressão de cada bloco.

Figura 22 - Bloco antes e depois da ruptura.



Fonte: Autor (2015).

Destaca-se que, a partir dos valores de resistência à compressão de cada bloco, determinou-se a resistência característica à compressão do bloco cerâmico estrutural, nos termos do item 5.5 da NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

3.2.3.2 Módulo de deformação do bloco cerâmico estrutural (E_b)

O método para a determinação do módulo de deformação do bloco cerâmico estrutural, nesta pesquisa, seguiu as orientações que constam na NBR 8522 (ABNT, 2008), que, no entanto, estabelece o método para a determinação do módulo de elasticidade do concreto. Esta norma foi utilizada como parâmetro, pois não há uma norma específica que se refira à deformação do bloco cerâmico estrutural, como também por que há a indicação da sua aplicação na tabela D.1, do anexo D, na NBR 15270-3 (ABNT, 2005), o qual trata da determinação de características especiais.

Para a realização dos ensaios de determinação do módulo de deformação do bloco cerâmico estrutural, utilizou-se um extensômetro com dupla base de medida, acoplado à máquina universal de ensaio, da marca EMIC, modelo DL100T, que é controlada pelo programa Test Script (TESC). Este software permite a sistematização dos ensaios, através da elaboração e aplicação de métodos de ensaio, conferindo consistência aos resultados.

A linguagem do TESC constitui um recurso para programar um método de ensaio, através da qual, define-se o *script* do ensaio onde se descreve a forma de aplicação da carga, o momento de medição da deformação, bem como o registro de dados e personalização dos resultados.

Nos ensaios para a determinação do módulo de deformação do bloco cerâmico estrutural, utilizaram-se seis amostras, previamente capeadas, da mesma forma que se executou no ensaio para a determinação da resistência à compressão.

Antes da efetiva realização do ensaio para a determinação do módulo de deformação, selecionou-se o *script* específico para este ensaio, e definiram-se os valores das variáveis, como as dimensões efetivas das faces do bloco, a medida base do extensômetro e a resistência média de ruptura do bloco cerâmico estrutural, a qual foi estabelecida, anteriormente, a partir dos valores de resistência à compressão de três amostras de bloco, dentre as seis amostras inicialmente preparadas para o ensaio de módulo de deformação.

No que se refere à preparação dos corpos de prova, para a determinação do módulo de deformação, destaca-se que as amostras devem ser posicionadas no centro dos pratos da prensa, e os medidores de deformação devem ser fixados de forma que os pontos de medição fiquem equidistantes em relação aos extremos do corpo de prova, como mostra a Figura 23.

Figura 23 – Fixação do extensômetro na amostra e posição nos pratos da prensa.



Fonte: Autor (2015).

Inicia-se, então, de fato, o ensaio para a determinação do módulo de deformação do bloco, com a elevação do carregamento até a tensão de 30% da tensão de ruptura (σ_b), com uma velocidade constante. Neste limite da tensão, mantem-se o carregamento por 60 (sessenta) segundos, e, em seguida, reduz-se o processo de carregamento, com a mesma

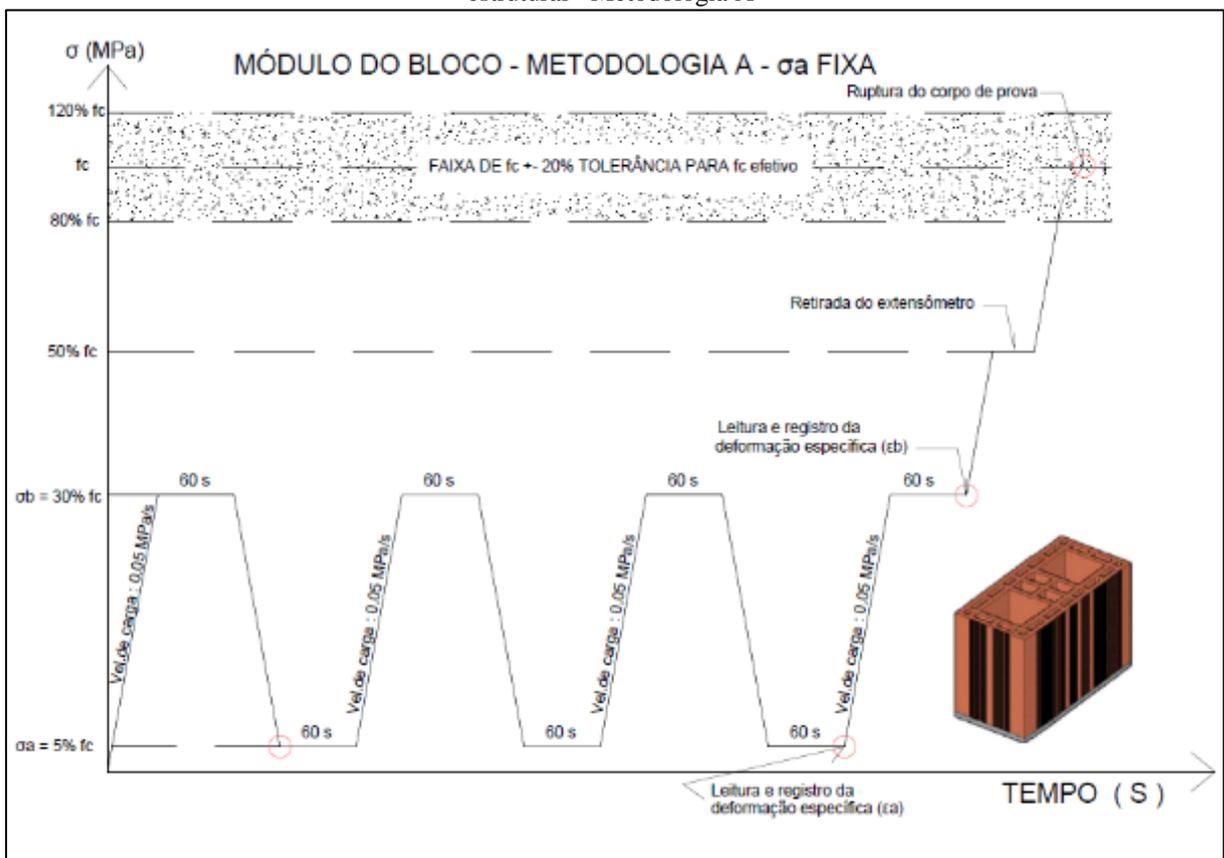
velocidade constante, até a tensão básica de 5% da tensão de ruptura (σ_a), mantendo-se, mais uma vez, a carga por 60 (sessenta) segundos.

No que tange à referida velocidade, destaca-se que foi adotada a velocidade de 0,05 MPa/s, que é igual à velocidade aplicada nos ensaios para determinar a resistência à compressão dos blocos, a qual é especificada pela NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Na sequência, efetuaram-se mais três ciclos de carregamento, entre σ_a e σ_b , como representa a Figura 24. Salienta-se que, no último ciclo de carregamento, são registradas as medidas das deformações específicas ϵ_a e ϵ_b , correspondentes às tensões mencionadas.

Na etapa final, eleva-se o carregamento até atingir 50% da tensão estimada de ruptura, quando o programa solicita a retirada do extensômetro para realizar a ruptura do bloco.

Figura 24- Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de deformação do bloco estrutural - Metodologia A



Fonte: adaptado da ABNT NBR 8522 (2008).

O cálculo do módulo de deformação do bloco cerâmico estrutural, expresso em GPa, é efetuado através da equação 6 :

$$E_b = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} * 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} * 10^{-3} \quad (6)$$

Onde:

σ_b é a tensão maior, em MPa ($\sigma_b = 30\% f_c$)

σ_a é a tensão básica, em MPa ($\sigma_a = 5\% f_c$)

ε_b é a deformação específica média, sob a tensão maior;

ε_a é a deformação específica média, sob a tensão básica.

3.3 Montagem dos prismas não grauteados e grauteados, e moldagem dos corpos de prova das argamassas e dos grautes.

3.3.1 Montagem dos prismas não grauteados e grauteados de dois blocos.

Prepararam-se noventa e seis blocos, com uma argamassa de regularização, em apenas uma de suas faces, antes da montagem dos prismas não grauteados e grauteados, tendo em vista a impossibilidade de capeamento nas idades iniciais sem comprometer a aderência entre os blocos e a argamassa de assentamento.

Para o referido capeamento das amostras, utilizou-se uma matriz de madeira, parafusada para facilitar a desmontagem, conforme a Figura 25. Antes de lançar a argamassa de regularização, aplicou-se um óleo mineral em toda superfície de contato com a matriz, para facilitar a desforma do bloco.

Figura 25 - Matriz de madeira utilizada para o capeamento dos blocos.



Fonte: Autor (2015).

Aplicou-se a argamassa em todos os nichos da matriz de madeira, adensou-se, manualmente, a argamassa, e depois, cada bloco foi acomodado, utilizando-se ferramentas, como martelo de borracha, nível e prumo, para garantir o nivelamento e a espessura uniforme de 3mm, em toda a superfície de capeamento do bloco, de acordo com o que determina a NBR 15812-2 (ABNT, 2010).

Do total das amostras capeadas, destacaram-se quarenta e oito blocos para a montagem dos prismas grauteados, efetuando-se em vinte e quatro blocos, o corte da argamassa nos dois furos do bloco, para possibilitar o preenchimento com graute, depois da montagem do prisma.

Moldaram-se quarenta e oito prismas com dois blocos, sendo vinte e quatro prismas não grauteados e vinte e quatro prismas grauteados, consoante a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), a qual determina a utilização de prumo, régua e martelo de borracha, como também especifica a espessura da junta de assentamento de 10mm. O argamassamento foi realizado em toda a face de assentamento do bloco, incluindo os septos e as paredes externas, de acordo com a Figura 26.

Figura 26 - Processo de montagem dos prismas não grauteados



Fonte: Autor (2015).

A montagem dos prismas não grauteados e grauteados ocorreu na mesma data. Acrescenta-se que na preparação dos prismas grauteados, o grauteamento dos furos dos prismas ocorreu no mesmo dia do assentamento dos blocos. O anexo A, da NBR 15812-2 (ABNT, 2010) determina, no entanto, que o grauteamento deve ser efetuado 24 horas após o assentamento.

Para não comprometer a aderência entre o bloco e a argamassa, ao efetuar o grauteamento no mesmo dia, o bloco totalmente capeado foi colocado em uma superfície rígida, e utilizando-se duas caixas adaptadas, com as mesmas dimensões dos furos, espalhou-se a argamassa em toda face restante do bloco. Em seguida, assentou-se o bloco superior, de acordo com a Figura 27.

Figura 27- Montagem do prisma grauteado.



Fonte: Autor (2015).

Após duas horas, as duas caixas foram cuidadosamente retiradas, quando, então, verificou-se que não havia resíduos de argamassa de assentamento no interior dos furos dos prismas. Na sequência, iniciou-se o processo de grauteamento, lançando-se o graute, com cautela, através de um funil, em duas camadas, aplicando-se doze golpes em cada camada, com uma haste de socamento, conforme a Figura 28.

Figura 28 - Processo de grauteamento dos prismas.



Fonte: Autor (2015).

No dia seguinte, as áreas dos furos grauteados foram regularizadas com a mesma argamassa de capeamento dos blocos, para garantir a uniformidade da superfície de contato com o prato da máquina de ensaio, e, assim, assegurar uma melhor distribuição da força durante o ensaio de resistência à compressão.

3.3.2 Montagem dos prismas de cinco blocos para determinação da tração na flexão.

A montagem de doze prismas não grauteados de cinco blocos, para a determinação da resistência à tração na flexão, seguiu as orientações normativas do anexo C, da NBR 15961-2 (ABNT, 2011), sendo realizada no mesmo dia em que houve a montagem dos prismas de dois blocos.

Inicialmente, posicionou-se o primeiro bloco em uma superfície rígida e nivelada, aplicou-se a argamassa de assentamento em toda a superfície superior do bloco, e, em seguida, assentou-se o segundo bloco, cuidadosamente, com o auxílio de martelo de borracha, nível e prumo, em sua posição definitiva. Este procedimento de montagem do segundo bloco foi executado também para os três blocos finais, observando-se, sempre, uma espessura de 10 mm na junta de assentamento. Ao final, com uma função de sobrecarga, posicionaram-se dois blocos, conforme a Figura 29.

Figura 29 - Montagem dos prismas não grauteados de cinco blocos.



Fonte: Autor (2015).

Ressalta-se que, depois da montagem dos prismas de cinco blocos, como também de dois blocos, todos os prismas ficaram em local, ao abrigo de sol e vento, para posterior ruptura nas datas pré-definidas, conforme a Figura 30.

Figura 30 – Prismas de dois e cinco blocos durante o processo de cura.



Fonte: Autor (2015).

3.3.3 *Determinação das propriedades da argamassa no estado fresco e moldagem dos corpos de prova.*

No início da preparação, em um misturador mecânico, com eixo vertical, diâmetro interno de 800mm e capacidade de 100 litros, colocaram-se 50 Kg da argamassa de assentamento industrializada, com 7 litros de água, conforme orientação do fabricante, efetuando-se a homogeneização, conforme determina a NBR 15812-2 (ABNT, 2010).

O ensaio de consistência da argamassa, nos termos da NBR 13276 (ABNT, 2005), indicou o valor médio de 235mm, que serviu como parâmetro para as demais betonadas de argamassa de assentamento, de acordo com a Figura 31. Ressalta-se que houve, durante a montagem dos prismas, uma pequena adição de água na argamassa, para garantir a mesma consistência inicial e tentar recompor a quantidade de água evaporada.

Figura 31 - Ensaio de consistência da argamassa.



Fonte: Autor (2015).

Para a determinação das propriedades mecânicas da argamassa, foram moldados corpos de prova, com diferentes geometrias e seu respectivo tipo de adensamento, conforme as normas para cada formato.

Inicialmente, moldaram-se doze corpos de prova cúbicos, utilizados para a determinação da resistência à compressão, seguindo as prescrições do anexo D, da NBR 15961-2 (ABNT, 2011), que estabelece o uso de moldes metálicos cúbicos com 40mm de aresta. Para a moldagem, realizou-se o adensamento manual, aplicando-se 30 golpes com um soquete de madeira, em duas camadas. Em seguida, os corpos de prova foram rasados com uma régua metálica e cobertos com um filme plástico, conforme a Figura 32.

Figura 32 - Moldagem dos corpos de prova cúbicos.



Fonte: Autor (2015).

Com a argamassa proveniente da mistura preparada no início, moldaram-se vinte e quatro corpos de prova cilíndricos, de 50mm de diâmetro e altura de 100mm, utilizados para determinar a resistência à compressão e o modulo de deformação da argamassa, conforme a NBR 7215 (ABNT, 1996), que determina a compactação manual, aplicando-se 30 golpes com um soquete metálico, em cada uma das quatro camadas, de acordo com a Figura 33.

Figura 33 - Moldagem dos corpos de prova cilíndricos.



Fonte: Autor (2015).

Por último, e utilizando a mesma argamassa preparada inicialmente, moldaram-se doze corpos de prova prismáticos, com dimensões de 160mm de comprimento e seção quadrada de 40mm de lado, utilizados para determinar a resistência à tração na flexão e, na sequência, a resistência à compressão, seguindo as prescrições da NBR 13279 (ABNT, 2005), a qual determina que os moldes metálicos prismáticos devem ser preenchidos em duas camadas, sendo aplicadas 30 quedas através da mesa de adensamento em cada camada. Na etapa final, os moldes foram rasados com uma régua metálica e cobertos com um filme plástico, conforme a Figura 34.

Figura 34 - Moldagem dos corpos de prova prismáticos.



Fonte: Autor (2015).

Acrescenta-se que todos os corpos de prova de argamassa permaneceram no mesmo local dos prismas de dois e cinco blocos, para garantir as mesmas condições de cura, com uma temperatura de 23° C e umidade relativa de 65%, medidas com um aparelho termo higrômetro.

3.3.4 *Determinação das propriedades do graute no estado fresco e moldagem dos corpos de prova.*

Após a preparação do graute, em uma betoneira com eixo inclinado, com capacidade de 120 litros, destacou-se uma porção do graute com o objetivo de executar o ensaio, de acordo com a Figura 35, para a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, o *slump test*, conforme descrito na NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Figura 35 - Slump test



Fonte: Autor (2015).

O valor médio do abatimento do troco de cone foi de 192mm, atendendo, assim, o valor especificado no traço do graute de 180 ± 20 mm. Moldaram-se, então, vinte e quatro corpos de prova cilíndricos, com 100mm de diâmetro e altura de 200mm, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015). Após um período de vinte quatro horas, os corpos de provas foram desformados, identificados e imersos em uma solução de água e cal, permanecendo até as datas pré-definidas para a determinação de suas propriedades mecânicas.

3.4 Determinação das propriedades mecânicas da argamassa de assentamento, dos prismas não grauteados e grauteados, e do graute.

3.4.1 Determinação das propriedades mecânicas da argamassa de assentamento.

3.4.1.1 Resistência à tração na flexão da argamassa de assentamento (R_f).

Nas datas previstas para a realização dos ensaios, os corpos de prova de argamassa prismáticos foram colocados em um dispositivo de carga, para a determinação da resistência à tração na flexão, posicionado na máquina universal de ensaio, da marca EMIC, modelo DL100T, adaptada com uma célula de carga de 2 toneladas força, e controlada pelo programa Test Script (TESC), o qual possibilitou programar o referido ensaio, a partir da definição de uma velocidade de carregamento de 50 N/s, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), conforme a Figura 36.

Figura 36 - Ensaio para a determinação da resistência à tração na flexão.



Fonte: Autor (2015).

A resistência à tração na flexão das amostras de argamassa foi calculada através da equação 7.

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot L}{40^3} \quad (7)$$

Onde:

R_f – é a resistência à tração na flexão, em Megapascal (MPa);

F_f – é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em Newton (N);

L – é a distância entre os suportes, em milímetro (mm).

3.4.1.2 Resistência à compressão da argamassa de assentamento após o ensaio de tração na flexão (R_c).

Após a realização do ensaio de resistência à tração na flexão, as metades dos corpos de prova prismáticos, rompidos na flexão, foram posicionadas em um dispositivo de apoio para compressão axial, assim como na Figura 37, de maneira que a face rasada não tivesse contato com os dispositivos de apoio, tampouco com o dispositivo de carga.

Realizou-se, então, o ensaio de resistência à compressão na mesma máquina e com a mesma célula de carga do ensaio anterior; no entanto, com outro *script*, com uma velocidade de carregamento de 500N/s, conforme NBR 13279 (ABNT, 2005).

Figura 37 - Ensaio de resistência à compressão da argamassa após ensaio de tração na flexão.



Fonte: Autor (2015).

A resistência à compressão axial das amostras de argamassa foi calculada através da equação 8.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (8)$$

Onde:

R_c – é a resistência à compressão, em Megapascals (MPa);

F_c – é a carga máxima aplicada, em Newton (N);

1600 – é a área da seção da amostra 40 mm x 40 mm, em milímetros quadrados (mm²).

3.4.1.3 Resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos da argamassa de assentamento (R_c).

Nas datas pré-definidas, os corpos de prova de argamassa, com forma cúbica, foram posicionados no dispositivo de apoio para compressão axial, conforme a Figura 38, observando-se, também, que a face rasada não deve ter contato com os dispositivos de apoio, tampouco com o dispositivo de carga.

Realizou-se, então, o ensaio de resistência à compressão da argamassa de assentamento, com forma cúbica, na mesma máquina e com a mesma célula de carga, utilizadas no ensaio anterior, e velocidade de carregamento de 500N/s, conforme anexo D, da NBR 15961-2 (ABNT, 2011).

Figura 38 - Ensaio de resistência à compressão da argamassa com forma cúbica.



Fonte: Autor (2015).

O cálculo da resistência à compressão axial dos corpos de prova cúbicos, da argamassa de assentamento, foi efetuado através da equação 8.

3.4.1.4 Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos da argamassa de assentamento (R_c).

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova da argamassa de assentamento, com forma cilíndrica, efetuou-se o capeamento das superfícies com enxofre, conforme determina a NBR 7215 (ABNT, 1996). Em seguida, posicionaram-se as amostras em um dispositivo de carga, na mesma máquina e com a mesma célula de carga, utilizadas no ensaio anterior, e velocidade de carregamento de 0,25 MPa/s.

A resistência à compressão axial em corpos de prova cilíndricos foi calculada através da equação 9.

$$R_c = \frac{F_c}{A_c} \quad (9)$$

Onde:

R_c – é a resistência à compressão, em Megapascals (MPa);

F_c – é a carga máxima aplicada, em Newton (N);

A_c – é a área do cilindro, em milímetros quadrados (mm^2).

3.4.1.5 Módulo de deformação da argamassa de assentamento (E_a).

O ensaio para determinação do módulo de deformação da argamassa de assentamento, nesta pesquisa, seguiu as orientações estabelecidas pela NBR 8522 (ABNT, 2008), que, no entanto, refere-se à determinação do módulo de deformação do concreto. Esta norma foi utilizada como parâmetro, pois não há uma norma específica que se refira à argamassa de assentamento para alvenaria estrutural, como também por que há a indicação da sua aplicação na tabela D.1, do anexo D, na NBR 15270-3 (ABNT, 2005), ensaios especiais.

Para a realização dos ensaios de determinação do módulo de deformação da argamassa de assentamento, utilizou-se um extensômetro, com dupla base de medida, instalado na máquina universal de ensaio, da marca EMIC, modelo DL100T, adaptada com uma célula de carga de 2 toneladas força, e controlada pelo programa Test Script (TESC), o qual possibilitou programar o referido ensaio, a partir da definição de uma velocidade de carregamento de 0,25 MPa/s, estabelecida pela NBR 7215 (ABNT, 1996).

Antes da efetiva realização do ensaio para a determinação do módulo de deformação, selecionou-se o *script* específico para este ensaio, e definiram-se os valores das

variáveis, como o diâmetro do corpo de prova, a medida base do extensômetro e a resistência média de ruptura da argamassa, definida a partir dos valores de resistência à compressão de três amostras cilíndricas.

No que se refere à preparação dos corpos de prova, para a determinação do módulo de deformação, destaca-se que as amostras devem ser posicionadas no centro do dispositivo de carga, e os medidores de deformação devem ser fixados de forma que os pontos de medição fiquem equidistantes em relação ao diâmetro do corpo de prova, e no centro da altura, de acordo com a Figura 39. Destaca-se, ainda, que a medida base do extensômetro utilizada foi de 50mm.

Figura 39 – Ensaio do módulo de deformação da argamassa (E_a).

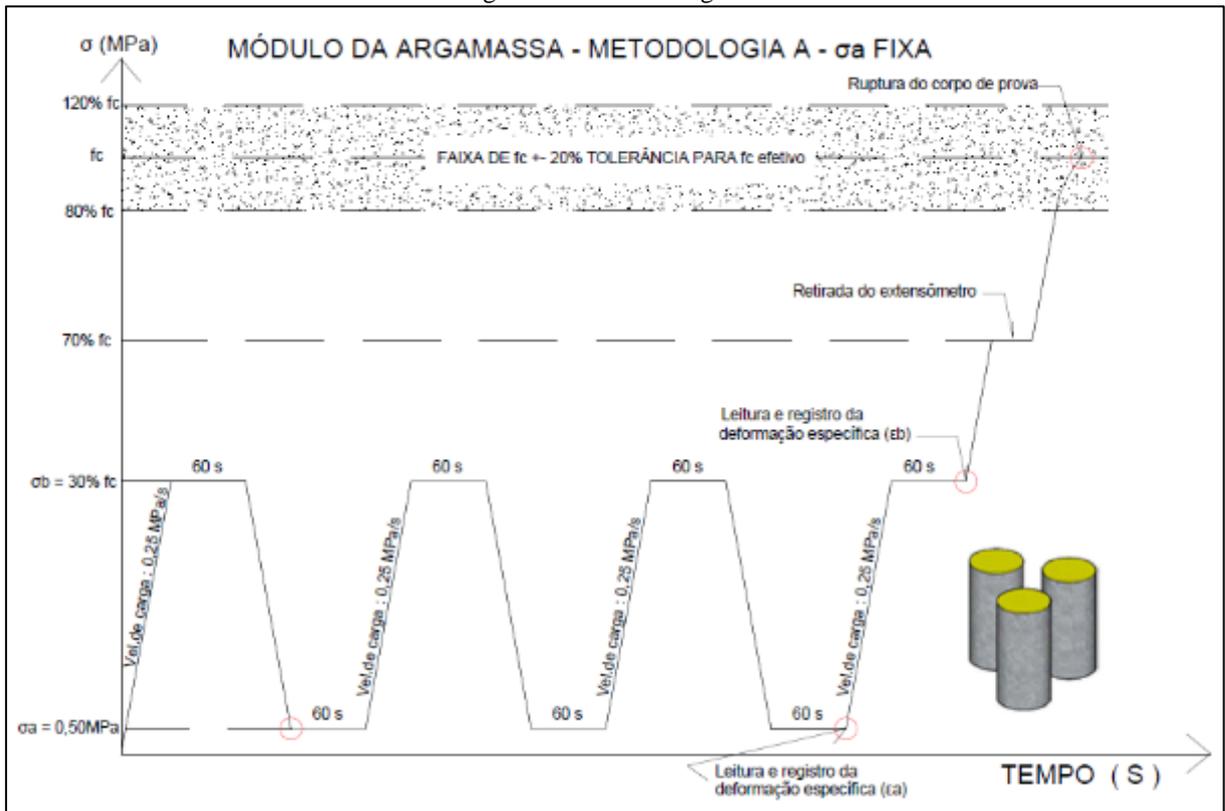


Fonte: Autor (2015).

Inicia-se, então, o ensaio para a determinação do módulo de deformação da argamassa, com a elevação do carregamento até a tensão de 30% da tensão de ruptura (σ_b), com a velocidade constante de 0,25 MPa/s. Neste limite da tensão, mantém-se o carregamento por 60 (sessenta) segundos, e, em seguida, reduz-se o processo de carregamento, com a mesma velocidade constante, até a tensão básica de 5% da tensão de ruptura (σ_a), mantendo-se, mais uma vez, a carga por 60 (sessenta) segundos.

Na sequência, efetuaram-se mais três ciclos de carregamento, entre σ_a e σ_b , como representa a Figura 40. Salienta-se que, no último ciclo de carregamento, são registradas as medidas das deformações específicas ϵ_a e ϵ_b , correspondentes às tensões mencionadas.

Figura 40 - Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de deformação da argamassa - Metodologia A



Fonte: adaptado da ABNT NBR 8522 (2008).

Na etapa final, eleva-se o carregamento até atingir 70% da tensão estimada de ruptura, quando o programa solicita a retirada do extensômetro, para realizar a ruptura do corpo de prova da argamassa.

O valor do módulo de deformação da argamassa de assentamento, expresso em GPa, é determinado pela equação 10 :

$$E_a = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} * 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} * 10^{-3} \quad (10)$$

Onde:

σ_b é a tensão maior, em MPa ($\sigma_b = 0,3fc$)

σ_a é a tensão básica em MPa ($\sigma_a = 0,05fc$);

ε_b é a deformação específica média, sob a tensão maior;

ε_a é a deformação específica média, sob a tensão básica.

3.4.2 *Determinação das propriedades mecânicas dos prismas não grauteados e grauteados.*

Na da prevista para cada idade de ensaio, realizaram-se os ensaios de seis prismas não grauteados e seis prismas grauteados, sendo destinados, em cada grupo, três prismas para o ensaio de resistência à compressão e três prismas para a determinação do módulo de deformação, atendendo as determinações do anexo A, da NBR 15812-2 (ABNT, 2010).

Acrescenta-se que, no intuito de complementar os métodos e, assim, padronizar os procedimentos dos ensaios para a determinação do módulo de deformação dos prismas, ademais da referida norma, observou-se a Metodologia A que consta na NBR 8522 (ABNT, 2008).

3.4.2.1 *Resistência à compressão dos prismas não grauteados e grauteados.*

Para o ensaio de resistência à compressão dos prismas não grauteados e grauteados, os corpos de prova dos prismas foram posicionados na máquina de compressão, de modo que o centro de gravidade do bloco coincidisse com o dos pratos da prensa, garantido, assim, uma maior centralização da carga de ruptura.

A referida máquina, na qual se realizaram os ensaios, como mostra a Figura 41, refere-se ao modelo DL100T, da marca EMIC, calibração n° 669/14, e é controlada pelo programa Test Script (TESC), o qual possibilitou programar o referido ensaio, a partir da definição de uma velocidade de carregamento de 0,15 MPa/s, conforme o anexo A, da NBR 15961-2 (ABNT, 2011).

Figura 41- Ensaio de resistência à compressão dos prismas.



Fonte: Autor (2015).

Determinou-se a resistência à compressão média dos prismas não grauteados e grauteados, relativa a cada idade, de acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), considerando-se para o cálculo da tensão, a área bruta.

3.4.2.2 *Módulo de deformação dos prismas não grauteados e grauteados.*

Para a realização dos ensaios de determinação do módulo de deformação dos prismas não grauteados e grauteados, utilizou-se um extensômetro, com dupla base de medida, instalado na máquina universal de ensaio, da marca EMIC, modelo DL100T, e controlada pelo programa Test Script (TESC), o qual possibilitou programar o referido ensaio, a partir da definição de uma velocidade de carregamento de 0,15 MPa/s, estabelecida pelo anexo A, da NBR 15961-2 (ABNT, 2011).

Antes da efetiva realização do ensaio para a determinação do módulo de deformação dos prismas, selecionou-se o *script* específico para este ensaio, e definiram-se os valores das variáveis, como as dimensões efetivas do prisma, a medida base do extensômetro e a resistência à compressão média do prisma, a qual foi estabelecida, anteriormente, a partir dos valores de resistência à compressão de três amostras de prisma, dentre as seis amostras inicialmente preparadas.

No que se refere à preparação dos corpos de prova, para a determinação do módulo de deformação, destaca-se que as amostras devem ser posicionadas no centro dos pratos da prensa, e os medidores de deformação devem ser fixados de forma que os pontos de medição fiquem equidistantes em relação aos extremos do corpo de prova, como mostra a Figura 42.

Figura 42 - Ensaio para a determinação do módulo de deformação dos prismas.

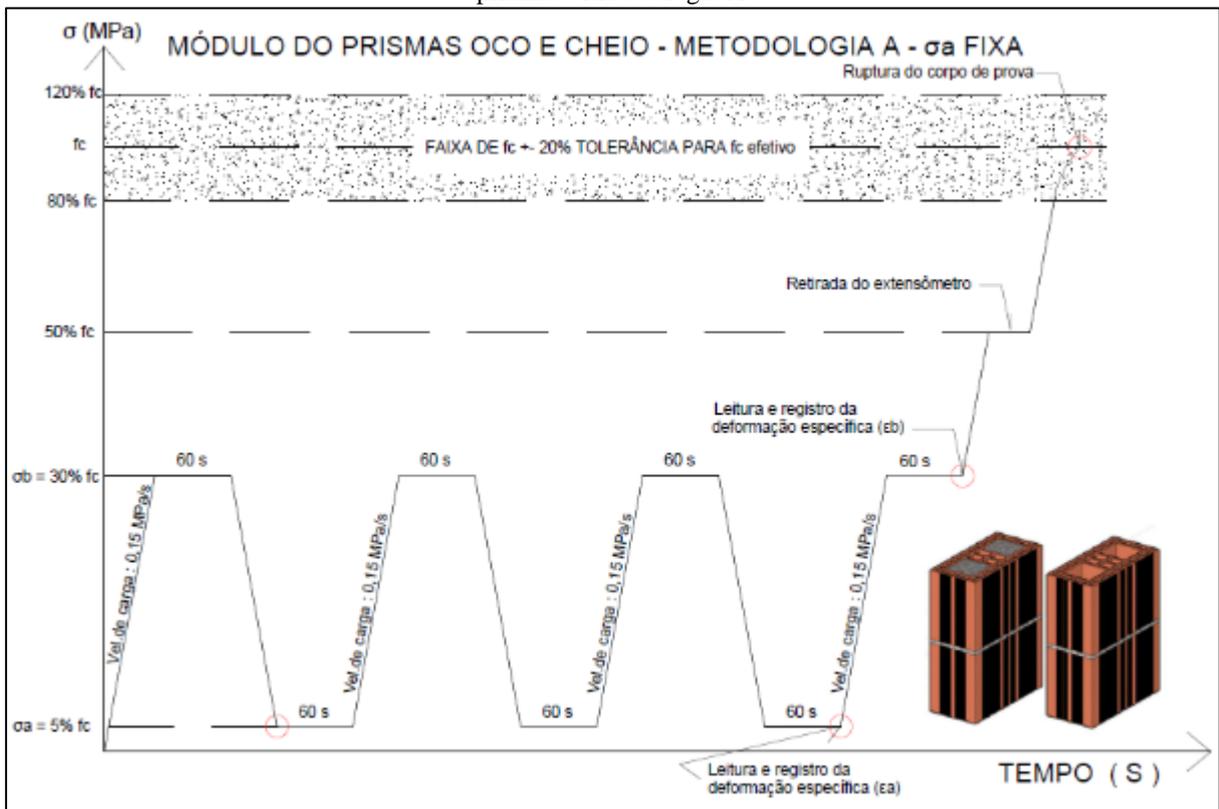


Fonte: Autor (2015).

Inicia-se, então, o ensaio para a determinação do módulo de deformação dos prismas, com a elevação do carregamento até a tensão de 30% da tensão de ruptura (σ_b), com uma velocidade constante. Neste limite da tensão, mantém-se o carregamento por 60 (sessenta) segundos, e, em seguida, reduz-se o processo de carregamento, com a mesma velocidade constante, até a tensão básica de 5% da tensão de ruptura (σ_a), mantendo-se, mais uma vez, a carga por 60 (sessenta) segundos.

Na sequência, efetuaram-se mais três ciclos de carregamento, entre σ_a e σ_b , como representa a Figura 43. Salienta-se que, no último ciclo de carregamento, são registradas as medidas das deformações específicas ϵ_a e ϵ_b , correspondentes às tensões mencionadas. Na etapa final, eleva-se o carregamento até atingir 50% da tensão estimada de ruptura, quando o programa solicita a retirada do extensômetro, para realizar a ruptura do prisma.

Figura 43 - Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de deformação dos prismas - Metodologia A



Fonte: adaptado da ABNT NBR 8522 (2008).

Após o rompimento dos prismas, calculou-se a resistência à compressão efetiva de cada prisma e comparou-se com o valor da resistência à compressão média dos três primeiros prismas. Nos casos em que o valor da resistência à compressão efetiva do prisma era diferente da resistência à compressão média, em 20%, desconsiderou-se o valor da resistência à compressão, bem como o valor do módulo de deformação.

O valor do módulo de deformação dos prismas não grauteados e grauteados foi calculado no intervalo correspondente à curva secante entre 5% e 30% da tensão de ruptura, expresso em GPa, e calculado a partir da equação 11 :

$$E_p = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} * 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} * 10^{-3} \quad (11)$$

Onde:

σ_b é a tensão maior, em MPa ($\sigma_b = 0,3f_c$)

σ_a é a tensão básica, em MPa ($\sigma_a = 0,05f_c$)

ε_b é a deformação específica média, sob a tensão maior;

ε_a é a deformação específica média, sob a tensão básica.

Depois da realização dos ensaios de resistência à compressão e do módulo de deformação dos prismas não grauteados e grauteados, as amostras foram armazenadas no galpão, para uma melhor análise dos diferentes modelos de ruptura e das interações entre o bloco, a argamassa de assentamento e o graute.

3.4.2.3 Resistência à tração na flexão de prismas com cinco blocos (ft).

A resistência à tração na flexão de prisma com cinco blocos foi determinada conforme o anexo C, da NBR 15961-2 (ABNT, 2011). Para a realização dos ensaios de resistência à tração na flexão de prismas com cinco blocos, utilizaram-se dois apoios metálicos, uma prancha de madeira e roletes metálicos com diâmetros de 25mm e comprimento de 400mm, bem como blocos extras, atuando como sobrecarga.

Na etapa inicial, os prismas foram cuidadosamente colocados na horizontal e transportados, através da prancha de madeira, para os apoios metálicos, equidistantes em 800mm entre os eixos, e fixados na laje de reação, de acordo com a Figura 44.

Figura 44 - Transporte dos prismas de cinco blocos



Fonte: Autor (2015).

Na sequência, com os corpos de prova centralizados nos apoios metálicos, colocaram-se dois roletes em cima dos prismas, no meio dos dois blocos centrais, e apoiou-se a prancha de madeira sobre os roletes, como mostra a Figura 45.

Figura 45 - Preparação da base sobre o prisma de cinco blocos.



Fonte: Autor (2015).

Iniciou-se, então, o carregamento com blocos previamente pesados, um a um, de maneira a não provocar impacto, e com uma velocidade de 4 blocos por minutos. O ensaio finalizava quando o prisma rompia, calculando-se, então, o valor total de carregamento, conforme a Figura 46. Salienta-se que a altura do prisma de cinco blocos foi mensurada e o seu peso estimado, pelos pesos individuais dos seus componentes.

Figura 46 - Ensaio de tração na flexão de prisma de cinco blocos



Fonte: Autor (2015).

O valor da resistência à tração na flexão de prismas de cinco blocos, expresso em GPa, é determinado pelas equações 12 e 13:

$$M = \frac{\left(\frac{G}{H}\right) * L^2}{8} + \frac{P * b}{2} \quad (12)$$

$$ft = \frac{6 * M}{c * l^2} \quad (13)$$

Onde:

P é o peso total da sobrecarga (roletes + madeira + blocos);

G é o peso total do prisma;

H é a altura do prisma;

L é o comprimento livre entre apoios;

b é a distância entre os apoios e o ponto de aplicação de carga;

c é o comprimento do bloco;

l é a largura do bloco;

M é o momento máximo.

3.4.3 *Determinação das propriedades mecânicas do graute*

Nas idades previamente determinadas, e com o objetivo de obter as propriedades mecânicas do graute, executaram-se os ensaios de seis corpos de prova cilíndricos, de diâmetro de 100mm e altura de 200mm, sendo destinadas, três amostras para o ensaio de resistência à compressão, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007), e três amostras para a determinação do módulo de deformação, conforme a NBR 8522 (ABNT, 2008).

3.4.3.1 *Resistência à compressão do graute (fg).*

Para o ensaio de resistência à compressão do graute, os três corpos de prova passaram por um processo de retificação de topo, e posterior capeamento com argamassa de enxofre, realizado na data prevista da ruptura.

Na sequência, os corpos de provas foram centralizados e rompidos na máquina universal de ensaio, da marca EMIC, modelo DL100T, que é controlada pelo programa TESC, responsável pela leitura das forças e aplicação de uma velocidade de carregamento 0,45 MPa/s, em consonância com a NBR 5739 (ABNT, 2007).

O valor da resistência à compressão do graute, expresso em MPa, é determinado pela equação 14:

$$R_g = \frac{F_c}{A_s} \quad (14)$$

Onde:

R_g – é a resistência à compressão, em Megapascals (MPa);

F_c – é a carga máxima aplicada, em Newton (N);

A_s – é a área da seção, em milímetros quadrados (mm²).

3.4.3.2 Módulo de deformação do graute (E_g).

Para o ensaio de módulo de deformação do graute, os três corpos de prova passaram por um processo de retificação de topo, e posterior capeamento com argamassa de enxofre, realizado na data prevista da ruptura.

Para a realização dos ensaios de determinação do módulo de deformação do graute, utilizou-se um extensômetro, com dupla base de medida, instalado na máquina universal de ensaio, da marca EMIC, modelo DL100T, e controlada pelo programa Test Script (TESC), o qual possibilitou programar o referido ensaio, a partir da definição de uma velocidade de carregamento de 0,45 MPa/s, estabelecida pela NBR 8522 (ABNT, 2008).

Antes da efetiva realização do ensaio para a determinação do módulo de deformação, selecionou-se o *script* específico para este ensaio, e definiram-se os valores das variáveis, como o diâmetro do corpo de prova, a medida base do extensômetro e a resistência média de ruptura do graute, definida a partir dos valores de resistência à compressão de três amostras cilíndricas, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007).

A NBR 8522 (ABNT, 2008) define que a base de medida das deformações deve ser no mínimo igual a 2/3 do diâmetro do corpo de prova e no máximo igual a esse diâmetro. Atendendo este parâmetro, definiu-se a medida base de 75 mm, utilizada no ensaio de módulo de deformação.

Os corpos de prova foram centralizados nos pratos da prensa e os medidores de deformação foram fixados de forma que os pontos de medição ficassem equidistantes dos extremos do corpo de prova, como demonstra a Figura 47.

Figura 47 - Ensaio de módulo de deformação do graute

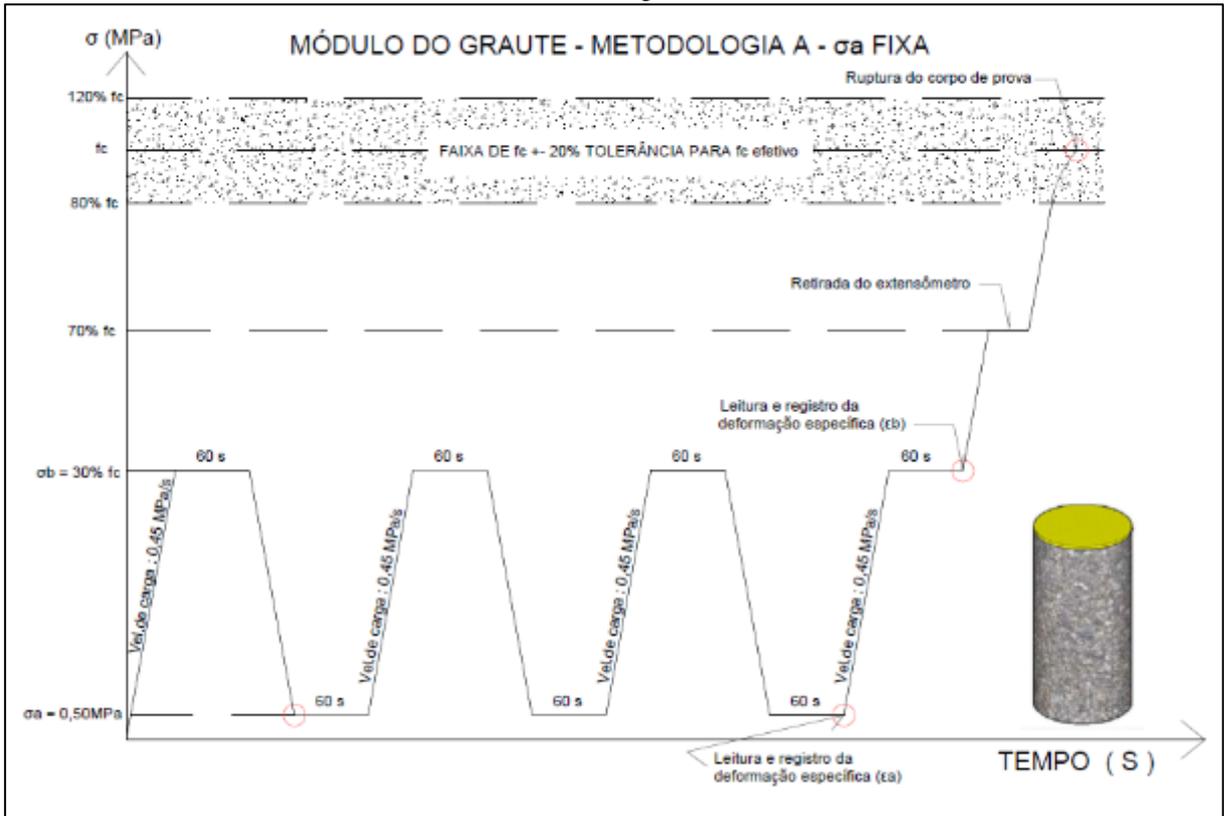


Fonte: Autor (2015).

O ensaio para a determinação do módulo de elasticidade do graute iniciou-se com a elevação do carregamento até a tensão de 30% da tensão de ruptura (σ_b), com a velocidade constante de 0,45 MPa/s. Neste limite da tensão, manteve-se o carregamento por 60 (sessenta) segundos, e, em seguida, reduziu-se o processo de carregamento, com a mesma velocidade constante, até a tensão básica de 0,5 MPa (σ_a), mantendo-se, mais uma vez, a carga por 60 (sessenta) segundos.

Na etapa seguinte, efetuaram-se mais três ciclos de carregamento, entre σ_a e σ_b , como representa a Figura 48. Salienta-se que, no último ciclo de carregamento, foram registradas as medidas das deformações específicas ϵ_a e ϵ_b , correspondentes às tensões mencionadas.

Figura 48 - Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de deformação do graute - Metodologia A



Fonte: adaptado da NBR 8522 (ABNT, 2008).

Na etapa final, elevou-se o carregamento até atingir 70% da tensão estimada de ruptura, quando o programa solicita a retirada do extensômetro, para realizar a ruptura do corpo de prova de graute.

Após o rompimento dos corpos de prova, calculou-se a resistência efetiva à compressão e comparou-se com o valor da resistência média à compressão dos três primeiros corpos de prova. Nos casos em que o valor da resistência à compressão efetiva do graute fosse diferente da resistência à compressão média em 20%, desconsiderou-se o valor da resistência à compressão, bem como o valor do módulo de deformação.

O valor do módulo de elasticidade do graute, expresso em GPa, é determinado segundo a equação 15 :

$$E_g = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} * 10^{-3} = \frac{\sigma_b - 0,5}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} * 10^{-3} \quad (15)$$

Onde:

σ_b é a tensão maior, em MPa ($\sigma_b = 0,3fc$)

σ_a é a tensão básica, em MPa ($\sigma_a = 0,5$ MPa)

ε_b é a deformação específica média, sob a tensão maior;

ε_a é a deformação específica média, sob a tensão básica.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

Neste capítulo são apresentados, analisados e discutidos os principais resultados obtidos nos ensaios de características geométricas, físicas e mecânica dos blocos, como também das propriedades mecânicas da argamassa de assentamento, dos prismas não grauteados e grauteados e do graute.

4.1 Resultados dos ensaios das características geométricas do bloco cerâmico estrutural.

4.1.1 Medidas das faces – dimensões efetivas

São apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 13, 14 e 15, as dimensões efetivas de comprimento, altura e largura, obtidas nos ensaios realizados com os treze blocos cerâmicos estruturais que foram utilizados nesta pesquisa.

Tabela 13 - Comprimento efetivo do bloco cerâmico estrutural

Comprimento dos blocos (mm)			
Amostras	Valor individual (mm) 1	Valor individual (mm) 2	Dimensão efetiva média (mm)
BLOCO 1	290,20	290,40	290,30
BLOCO 2	288,40	289,25	288,83
BLOCO 3	289,95	289,75	289,85
BLOCO 4	289,40	291,45	290,43
BLOCO 5	289,25	290,00	289,63
BLOCO 6	289,10	288,35	288,73
BLOCO 7	289,60	290,60	290,10
BLOCO 8	288,15	288,60	288,38
BLOCO 9	291,30	289,45	290,38
BLOCO 10	289,10	287,85	288,48
BLOCO 11	291,40	289,90	290,65
BLOCO 12	291,65	292,30	291,98
BLOCO 13	288,15	288,35	288,25
Dimensão efetiva média dos blocos			289,69

Fonte: Autor (2015).

Percebe-se que os valores individuais do comprimento de cada bloco estão entre os valores de tolerância individual que é de ± 5 mm, em relação ao comprimento de fabricação do bloco que é de 290mm, conforme estabelece a tabela 2 da NBR 15270-2 (ABNT, 2005). No que se refere à dimensão efetiva média do comprimento, verifica-se que está entre os valores de tolerância que é de ± 3 mm, em relação ao comprimento de fabricação do bloco que é de 290mm, conforme estabelece a tabela 3 da NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

Vale destacar que se a variação dimensional estiver relacionada ao comprimento dos blocos, há comprometimento da modulação, pois não é possível a modulação dos blocos

com tamanhos variáveis e, em alguns casos extremos, pode comprometer a resistência ao cisalhamento da parede (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Tabela 14 - Altura efetiva do bloco cerâmico estrutural

Altura dos blocos (mm)			
Amostras	Valor individual (mm) 1	Valor individual (mm) 2	Dimensão efetiva média (mm)
BLOCO 1	189,95	190,70	190,33
BLOCO 2	189,90	190,45	190,18
BLOCO 3	189,65	190,10	189,88
BLOCO 4	189,65	188,55	189,10
BLOCO 5	190,60	191,15	190,88
BLOCO 6	189,30	191,25	190,28
BLOCO 7	189,30	191,25	190,28
BLOCO 8	189,30	191,25	190,28
BLOCO 9	189,30	191,25	190,28
BLOCO 10	189,30	191,25	190,28
BLOCO 11	189,30	191,25	190,28
BLOCO 12	189,30	191,25	190,28
BLOCO 13	191,25	191,05	191,15
Dimensão efetiva média dos blocos			190,26

Fonte: Autor (2015).

Verifica-se que os valores individuais da altura de cada bloco estão entre os valores de tolerância individual que é de ± 5 mm, em relação à altura de fabricação do bloco que é de 190mm, conforme estabelece a tabela 2 da NBR 15270-2 (ABNT, 2005). Quanto à dimensão efetiva média da altura, constata-se que está entre os valores de tolerância que é de ± 3 mm, em relação à altura de fabricação do bloco que é de 190mm, conforme estabelece a tabela 3 da NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

Quando esta variação dimensional do componente referir-se à altura; isto provocará o aumento ou diminuição da espessura das juntas horizontais. Como consequência do aumento das espessuras das juntas, há a redução da resistência da parede. Esta não conformidade também ocasiona variações no pé-direito do pavimento (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Tabela 15 - Largura efetiva do bloco cerâmico estrutural

Largura dos blocos (mm)			
Amostras	Valor individual (mm) 1	Valor individual (mm) 2	Dimensão efetiva média (mm)
BLOCO 1	142,60	141,95	142,28
BLOCO 2	142,00	141,65	141,83
BLOCO 3	141,95	142,65	142,30
BLOCO 4	142,05	141,70	141,88
BLOCO 5	141,25	141,55	141,40
BLOCO 6	141,15	141,20	141,18
BLOCO 7	142,20	141,40	141,80
BLOCO 8	141,45	141,85	141,65
BLOCO 9	142,40	142,30	142,35
BLOCO 10	141,85	141,35	141,60
BLOCO 11	142,45	142,80	142,63
BLOCO 12	143,10	142,75	142,93
BLOCO 13	141,45	141,40	141,43
Dimensão efetiva média dos blocos			141,94

Fonte: Autor (2015).

Observa-se que os valores individuais da largura de cada bloco estão entre os valores de tolerância individual que é de ± 5 mm, em relação à largura de fabricação do bloco que é de 140mm, conforme estabelece a tabela 2 da NBR 15270-2 (ABNT, 2005). No tocante à dimensão efetiva média da largura, percebe-se que está entre os valores de tolerância que é de ± 3 mm, em relação à largura de fabricação do bloco que é de 140mm, conforme estabelece a tabela 3 da NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

A variação da largura dos componentes cerâmicos está relacionada, diretamente, à espessura da parede, ou seja, caso a largura do bloco diminua, a da parede diminuirá. Para corrigir tais variações, é necessária a aplicação de uma maior camada de revestimento, causando um aumento de custo da construção. Ademais, se a largura diminui em comparação ao que foi projetado, a parede também reduz a sua característica mecânica (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

4.1.2 Espessura dos septos e paredes externas

Os resultados individuais e médios, das espessuras das paredes externas e dos septos das amostras, estão expressos, respectivamente, nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 - Medidas das paredes externas do bloco cerâmico estrutural

Espessura das paredes externas dos blocos (mm)					
Amostras	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Média Esp. Paredes Externas
BLOCO 1	9,37	9,81	9,42	9,31	9,48
BLOCO 2	8,27	8,91	9,31	9,54	9,01
BLOCO 3	8,02	9,24	9,3	9,29	8,96
BLOCO 4	8,74	8,95	8,85	8,17	8,68
BLOCO 5	8,44	9,41	9,28	8,97	9,03
BLOCO 6	8,55	8,73	9,97	9,26	9,13
BLOCO 7	8,77	8,17	9,56	8,92	8,86
BLOCO 8	9,00	9,35	8,72	9,91	9,25
BLOCO 9	9,37	8,92	8,99	9,21	9,12
BLOCO 10	8,03	8,30	8,63	9,75	8,68
BLOCO 11	9,09	8,76	8,45	9,11	8,85
BLOCO 12	9,22	8,69	9,85	8,99	9,19
BLOCO 13	9,89	8,67	8,08	8,73	8,84

Fonte: Autor (2015).

Tabela 17 - Medidas dos septos do bloco cerâmico estrutural

Espessura dos septos dos blocos (mm)						
Amostras	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Média dos Esp. Septos (mm)
BLOCO 1	7,41	8,34	8,27	8,44	8,22	8,14
BLOCO 2	7,84	8,87	8,41	8,49	7,87	8,30
BLOCO 3	7,13	8,92	8,02	7,58	8,70	8,07
BLOCO 4	7,85	8,76	8,20	8,44	8,20	8,29
BLOCO 5	8,34	7,79	8,30	8,50	8,08	8,20
BLOCO 6	8,02	9,55	8,73	7,24	7,80	8,27
BLOCO 7	8,51	8,42	8,40	8,32	7,46	8,22
BLOCO 8	7,99	8,27	8,35	8,08	8,31	8,20
BLOCO 9	8,58	8,48	7,66	7,87	8,80	8,28
BLOCO 10	8,12	7,98	8,02	8,72	8,36	8,24
BLOCO 11	8,06	7,95	8,61	8,46	8,28	8,27
BLOCO 12	8,57	8,26	8,22	8,06	7,86	8,19
BLOCO 13	8,00	7,93	8,11	8,17	8,50	8,14

Fonte: Autor (2015).

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005), no item 5.2.1, relativo aos blocos cerâmicos de paredes vazadas, determina que a espessura mínima das paredes externas é 8mm, e a dos septos é 7mm. Percebe-se, então, que as dimensões das paredes externas e dos septos, conforme as Tabelas 16 e 17, atendem aos valores mínimos estabelecidos na referida norma.

É necessário observar a espessura das paredes externas e dos septos do bloco, pois uma pequena variação de 1mm nas referidas dimensões, pode acarretar uma grande redução da área líquida que é responsável pela real absorção da carga, diminuindo, assim, a resistência do bloco (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

4.1.3 Desvio em relação ao esquadro (D).

As medidas dos desvios em relação ao esquadro estão expressas na Tabela 18.

Tabela 18 - Medida do desvio em relação ao esquadro do bloco cerâmico estrutural

Amostras	Esquadro D (mm)
BLOCO 1	0,00
BLOCO 2	1,25
BLOCO 3	0,50
BLOCO 4	1,00
BLOCO 5	0,00
BLOCO 6	0,00
BLOCO 7	1,50
BLOCO 8	1,00
BLOCO 9	0,00
BLOCO 10	0,50
BLOCO 11	1,00
BLOCO 12	0,00
BLOCO 13	0,00

Fonte: Autor (2015).

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005), no item 5.3, determina que o desvio em relação ao esquadro deve ser no máximo 3mm. Verifica-se, então, conforme a Tabela 18, que as medidas do desvio em relação ao esquadro, de cada bloco, atendem aos valores estabelecidos na referida norma.

4.1.4 Planeza das faces ou flecha (F)

As medidas da planeza das faces de cada bloco estão expressas na Tabela 19.

Tabela 19 - Medida da planeza do bloco cerâmico estrutural

Amostra	Planeza (mm)
BLOCO 1	0,50
BLOCO 2	1,00
BLOCO 3	1,00
BLOCO 4	0,50
BLOCO 5	1,00
BLOCO 6	1,00
BLOCO 7	0,50
BLOCO 8	0,00
BLOCO 9	1,50
BLOCO 10	1,00
BLOCO 11	1,50
BLOCO 12	1,50
BLOCO 13	1,50

Fonte: Autor (2015).

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005), no item 5.4, determina que a planeza das faces deve ser no máximo 3mm. Verifica-se, então, conforme os valores da Tabela 19, que as medidas da planeza das faces ou flechas, obtidas em cada bloco, atendem aos valores estabelecidos na referida norma.

É importante destacar que as variações relativas ao desvio em relação ao esquadro e à planeza do bloco, podem gerar excentricidades, e como consequência, diminuir a resistência da unidade básica da alvenaria (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

4.1.5 Área bruta (A_b)

Os valores das áreas brutas, calculadas para cada bloco, estão na Tabela 20.

Tabela 20 - Medidas da área bruta do bloco cerâmico estrutural

Amostras	C (mm)	L(mm)	Área Bruta (mm ²)
BLOCO 1	290,30	142,28	41303,9
BLOCO 2	288,83	141,83	40964,8
BLOCO 3	289,85	142,30	41245,7
BLOCO 4	290,43	141,88	41206,2
BLOCO 5	289,63	141,40	40953,7
BLOCO 6	288,73	141,18	40762,9
BLOCO 7	290,10	141,80	41136,2
BLOCO 8	288,38	141,65	40849,0
BLOCO 9	290,38	142,35	41335,6
BLOCO 10	288,48	141,60	40848,8
BLOCO 11	290,65	142,63	41455,4
BLOCO 12	291,98	142,93	41732,7
BLOCO 13	288,25	141,43	40767,2
Valor da área bruta			41120,20

Fonte: Autor (2015).

O valor da área bruta é definido pela a média aritmética dos valores das áreas de cada bloco.

4.1.6 Área líquida (Aliq)

Os valores das áreas líquidas, calculadas para cada bloco, estão na Tabela 21.

Tabela 21 - Medidas das áreas líquidas do bloco cerâmico estrutural

Amostras	H (mm)	M. Aparente - Ma (g)	M. Úmida - Mu (g)	Área Líquida (mm ²)
BLOCO 1	190,33	3734,00	6805,00	16135,56
BLOCO 2	190,18	3757,00	6829,00	16153,54
BLOCO 3	189,88	3735,00	6785,00	16063,20
BLOCO 4	189,10	3773,00	6844,00	16240,08
BLOCO 5	190,88	3684,00	6704,00	15821,87
BLOCO 6	190,28	3701,00	6740,00	15971,62
BLOCO 7	190,28	3725,00	6754,00	15919,06
BLOCO 8	190,28	3730,00	6776,00	16008,41
BLOCO 9	190,28	3662,00	6647,00	15687,82
BLOCO 10	190,28	3722,00	6753,00	15929,58
BLOCO 11	190,28	3771,00	6850,00	16181,84
BLOCO 12	190,28	3753,00	6824,00	16139,80
BLOCO 13	191,15	3722,00	6782,00	16008,37
Valor da área líquida				16020,06

Fonte: Autor (2015).

O valor da área líquida é a média aritmética dos valores das áreas de cada bloco.

Tanto para a área bruta como para a área líquida, não existem parâmetros normativos. No entanto, a relação entre a área líquida e a área bruta consiste em um dado muito importante, utilizado para a classificação e a caracterização dos blocos. Com base nos valores da área líquida e da área bruta, obtidos, calcula-se, então, a razão “área líquida / área bruta” para os blocos cerâmicos estruturais que constituem as amostras:

$$\text{Área líquida} / \text{área bruta} = 16020,06/41120,20 = 0,39 \times 100 = 39\%$$

Significa que a área líquida corresponde a 39 % da área bruta, lembrando que para determinação da resistência à compressão do bloco e dos prismas, utilizam-se sempre as áreas brutas. Por isso, o valor dessa propriedade mecânica, na realidade, está minorado, pois a carga é efetivamente distribuída na área líquida do bloco.

4.2 Resultados dos ensaios das características físicas do bloco cerâmico estrutural.

4.2.1 Massa Seca (Ms)

O valor da massa seca de cada um dos treze blocos está expresso na Tabela 22.

Tabela 22 - Medição da massa seca do bloco cerâmico estrutural

Amostras	M. Seca (Ms) (g)
BLOCO 1	6209,00
BLOCO 2	6217,00
BLOCO 3	6209,00
BLOCO 4	6295,00
BLOCO 5	6158,00
BLOCO 6	6203,00
BLOCO 7	6163,00
BLOCO 8	6218,00
BLOCO 9	6144,00
BLOCO 10	6177,00
BLOCO 11	6240,00
BLOCO 12	6234,00
BLOCO 13	6217,00
Massa Seca média	6206,46

Fonte: Autor (2015).

O valor da massa seca média consiste na média aritmética dos valores individuais de massa seca de cada bloco. Salienta-se que a norma não apresenta valor de referência.

4.2.2 Índice de absorção de água (AA).

Os valores dos índices de absorção de água individuais dos treze blocos estão na Tabela 23.

Tabela 23 - Valores dos índices de Absorção de água

Amostra	M. Seca (Ms) (g)	M. Úmida (Mú) (g)	Índice de Absorção (%)
BLOCO 1	6209,00	6805,00	9,60
BLOCO 2	6217,00	6829,00	9,84
BLOCO 3	6209,00	6785,00	9,28
BLOCO 4	6295,00	6844,00	8,72
BLOCO 5	6158,00	6704,00	8,87
BLOCO 6	6203,00	6740,00	8,66
BLOCO 7	6163,00	6754,00	9,59
BLOCO 8	6218,00	6776,00	8,97
BLOCO 9	6144,00	6647,00	8,19
BLOCO 10	6177,00	6753,00	9,32
BLOCO 11	6240,00	6850,00	9,78
BLOCO 12	6234,00	6824,00	9,46
BLOCO 13	6217,00	6782,00	9,09
Índice de Absorção d'água (AA)			9,18

Fonte: Autor (2015).

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005), no item 5.6, determina que o índice de absorção de água (AA) não deve ser inferior a 8% e nem superior a 22%. Destaca-se, então, considerando que todos os valores dos índices de absorção de água foram maiores que 8% e menores que 22%, como se verifica na Tabela 23, que os blocos cerâmicos estruturais atendem ao requisito da citada norma.

Embora os parâmetros normativos tenham sido atendidos, vale salientar que o bloco apresentou um índice de absorção de água muito próximo ao valor mínimo de referência normativa, indicando baixa porosidade e, portanto, maior resistência do bloco.

4.2.3 Índice de absorção de água inicial (AAI).

Os resultados dos ensaios de absorção de água inicial dos seis blocos estão na Tabela 24.

Tabela 24 - Valores dos índices de Absorção de água inicial

Amostra	M. Seca (Ms) (g)	M. M. final L1 (g)	M. M. final L2 (g)	AAI (g/193,55cm ² /min)
BLOCO 1	6642,00	6655,00	6672,00	16,87
BLOCO 2	6079,00	6092,00	6111,00	21,22
BLOCO 3	6197,00	6213,00	6235,00	22,56
BLOCO 4	6177,00	6197,00	6213,00	24,02
BLOCO 5	6588,00	6604,00	6623,00	18,18
BLOCO 6	6615,00	6633,00	6645,00	15,98
Índice de Absorção de água inicial (AAI) (g/193,55cm ² /min)				19,81

Fonte: Autor (2015).

De acordo com a NBR 15270-2 (ABNT, 2005), se o índice de absorção de água inicial (AAI), para os blocos cerâmicos estruturais, resultar em valor superior a 30 g/193,55 cm²/min, os blocos devem ser umedecidos antes do assentamento.

Como o valor médio do AAI encontrado foi de 19,81g/193,55 cm²/minuto, menor que o limite mencionado, os blocos foram assentados, para a montagem dos prismas, sem serem previamente umedecidos.

4.3 Resultados dos ensaios das propriedades mecânicas do bloco cerâmico estrutural.

4.3.1 Resistência característica à compressão do bloco cerâmico estrutural.

Os resultados individuais das resistências à compressão dos blocos estão na Tabela 25.

Tabela 25 - Valores da resistência à compressão dos blocos cerâmicos estruturais.

Amostras	Área bruta média (mm ²)	Carga (N)	f _{bi} (MPa)
BLOCO 1	41303,88	601384,80	14,6
BLOCO 2	40964,76	638563,19	15,6
BLOCO 3	41245,66	567398,56	13,8
BLOCO 4	41206,21	571650,56	13,9
BLOCO 5	40953,68	651383,00	15,9
BLOCO 6	40762,90	577117,38	14,2
BLOCO 7	41136,18	672706,81	16,4
BLOCO 8	40849,03	648186,06	15,9
BLOCO 9	41335,59	746620,81	18,1
BLOCO 10	40848,77	589856,70	14,4
BLOCO 11	41455,41	716825,06	17,3
BLOCO 12	41732,70	676191,50	16,2
BLOCO 13	40767,20	650644,50	16,0
Resistência Média (MPa)			15,5
Desvio Padrão (MPa)			1,32
Coefficiente de Variação (CV)%			8,51

Fonte: Autor (2015).

Para o cálculo da resistência característica do bloco (f_{bk}), foi utilizado o procedimento estabelecido na norma NBR 15270-2 (ABNT, 2005), no item 5.5.

Inicialmente, calculou-se a resistência à compressão característica estimada do bloco (f_{bk,est}), aplicando a equação 16.

$$f_{bk,est} = 2 \cdot [(f_{b1} + f_{b2} + f_{b3} + \dots + f_{b(i-1)}) / (i - 1)] - f_{bi} \quad (16)$$

Onde:

f_{b1}, f_{b2} ... f_{bi} são os valores de resistência à compressão individual dos blocos, em ordem crescente, conforme a Tabela 26;

Tabela 26 - Valores das resistências dos blocos em ordem crescente

f _{b1}	f _{b2}	f _{b3}	f _{b4}	f _{b5}	f _{b6}	f _{b7}	f _{b8}	f _{b9}	f _{b10}	f _{b11}	f _{b12}	f _{b13}
13,8	13,9	14,2	14,4	14,6	15,6	15,9	15,9	16,0	16,2	16,4	17,3	18,1

Fonte: Autor (2013).

i = n/2, se n for par;

i = (n - 1)/2, se n for ímpar;

n é a quantidade de blocos da amostra.

Como n é igual a 13, usa-se a expressão $i = (n - 1)/2$, logo, $i = 6$.

$$f_{bk,est} = 2x [(13,8 + 13,9 + 14,2 + 14,4 + 14,6) / 5] - 15,60 = 12,80 \text{ MPa}$$

Após o cálculo do $f_{bk,est}$, deve-se proceder à seguinte análise para adotar o f_{bk} :

- a) Se o valor do $f_{bk,est} \geq f_{bm}$ que consiste na média da resistência à compressão de todos os blocos, adota-se f_{bm} como a resistência característica do lote (f_{bk});
- b) Se o valor do $f_{bk,est} < \emptyset \times f_{b1}$, adota-se como resistência característica à compressão (f_{bk}), o valor da expressão $\emptyset \times f_{b1}$. Sendo f_{b1} o menor valor individual da resistência à compressão, entre todos os blocos, e \emptyset é um valor adotado de 0,99, devido à quantidade da amostra, conforme a NBR 15270-2 (ABNT, 2005).
- c) Caso o valor calculado de $f_{bk,est}$ esteja entre os limites mencionados acima ($\emptyset \times f_{b1}$ e f_{bm}), adota-se este valor como a resistência característica à compressão do bloco (f_{bk}).

Como o valor do $f_{bk,est}$ é igual a 12,8 MPa, menor, portanto, que o valor de 13,80 MPa que corresponde à expressão $\emptyset \times f_{b1}$, então, a resistência característica à compressão do bloco (f_{bk}) é **13,80 MPa**. Ressalta-se que a referida norma estabelece que a resistência à compressão (f_{bk}) dos blocos cerâmicos estruturais deve ser considerada a partir de 3,0 MPa, em relação à área bruta.

Vale destacar que o baixo coeficiente de variação das resistências dos blocos, constatado no ensaio, conforme a Tabela 25, indica uma homogeneidade nos resultados da resistência à compressão de cada bloco.

Parsekian (2002), em sua tese, também realizou ensaios de resistência à compressão com bloco cerâmico de parede vazada, com características geométricas muito semelhantes ao bloco desta pesquisa, e constatou 13,41 MPa como resistência à compressão média e 11,40 MPa como resistência característica à compressão, valores estes que são próximos aos encontrados nesta pesquisa.

4.3.2 Módulo de deformação do bloco cerâmico estrutural (E_b).

Os resultados individuais dos módulos de deformação dos blocos cerâmicos estruturais estão na Tabela 27.

Tabela 27 - Valores do módulo de deformação dos blocos cerâmicos estruturais.

Amostras	Área bruta média (mm ²)	Carga (N)	f _{bi} (MPa)	E _b (GPa)
BLOCO 1	40873	719446,56	17,60	-
BLOCO 2	41929	722995,19	17,24	-
BLOCO 3	41052	654516,06	15,94	-
BLOCO 4	40937	625807,25	15,29	16,37
BLOCO 5	41223	573984,31	13,92	17,63
BLOCO 6	41359	723762,44	17,50	13,30
f _{bm} (MPa) - E _b (GPa)			16,25	15,77
f _{bk} (MPa)			13,27	-
Desvio Padrão (MPa)			1,20	1,64
Coeficiente de Variação (%)			7,37%	10,43%

Fonte: Autor (2015).

Observa-se que a resistência característica do bloco (13,27 MPa), utilizada para a determinação do módulo de deformação, e calculada conforme o procedimento estabelecido no item 5.5, da norma NBR 15270-2 (ABNT, 2005), apresenta valor próximo ao f_{bk} (13,80 MPa), relativo as treze amostras ensaiadas para a determinação das características mecânicas do bloco. E o módulo de deformação do bloco E_b é igual 15,77 GPa.

Acrescenta-se que o módulo de deformação do bloco deste estudo apresenta valor muito superior ao definido por Parsekian (2002), em sua pesquisa, que foi de 2,53 GPa, embora os blocos utilizados em ambas as pesquisas possuam características geométricas muito semelhantes. Ressalta-se que esta considerável divergência entre os valores do módulo de deformação do bloco pode ser justificada pelos diferentes equipamentos de medição da deformação, utilizados nos ensaios.

4.4 Resultado da resistência à tração na flexão da argamassa de assentamento.

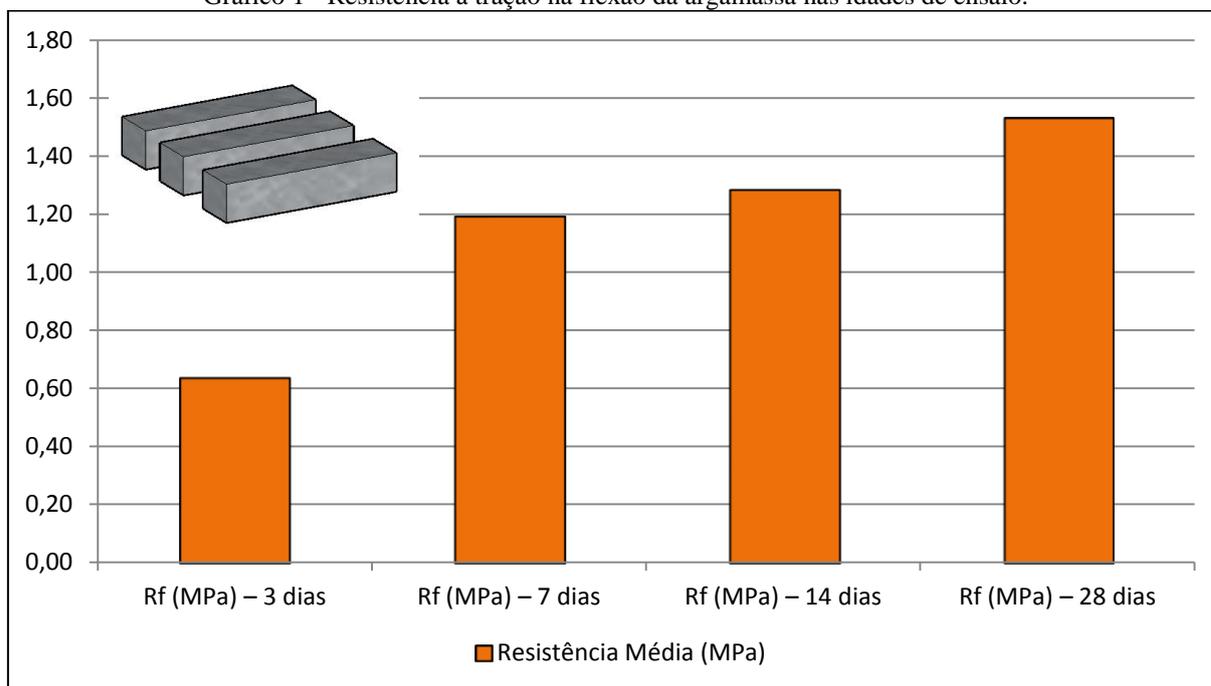
Os resultados da resistência à tração na flexão da argamassa de assentamento, nas idades de ensaio, estão na Tabela 28, e representados no Gráfico 1.

Tabela 28 - Valores das resistências à tração na flexão da argamassa de assentamento.

Amostras	R _f (MPa) – 3 dias	R _f (MPa) – 7 dias	R _f (MPa) – 14 dias	R _f (MPa) – 28 dias
CP 1	0,63	1,17	1,34	1,50
CP 2	0,60	1,34	1,27	1,57
CP 3	0,68	1,06	1,24	1,52
Resistência Média (MPa)	0,64	1,19	1,28	1,53
Desvio Padrão (MPa)	0,04	0,14	0,05	0,04
Coeficiente de Variação (%)	5,76	11,69	4,11	2,34
R_{fj} / R_{f28} (%)	41,53	77,86	83,78	100,00

Fonte: Autor (2015)

Gráfico 1 - Resistência à tração na flexão da argamassa nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

Para a determinação da resistência à tração na flexão da argamassa, deve-se calcular o desvio absoluto máximo que consiste na diferença entre a resistência média e a resistência individual, que mais se afaste, para mais ou para menos.

O item 6.4, da NBR 13279 (ABNT, 2005), especifica que o desvio absoluto máximo da serie, em cada idade de ensaio, deve ser menor que 0,30 MPa. Destaca-se que o valor da resistência de todos os corpos de prova, em todas as idades, atendeu este parâmetro. Por conta disso, nenhum valor foi descartado, e o valor da resistência à tração na flexão da argamassa consiste na média dos valores individuais de cada idade.

Quanto a resistência à tração na flexão média, aos 28 dias, verifica-se, na Tabela 28, que a argamassa de assentamento apresentou um valor de 1,53 MPa, classificando-se, assim, como argamassa do tipo R3, conforme a NBR 13281(ABNT, 2005).

Evidencia-se, no que se refere à evolução da resistência à tração na flexão da argamassa, que na idade de 7 dias, o valor da resistência atinge 77,86% da resistência aos 28 dias.

4.5 Resultado da resistência à compressão da argamassa de assentamento depois do ensaio de tração na flexão.

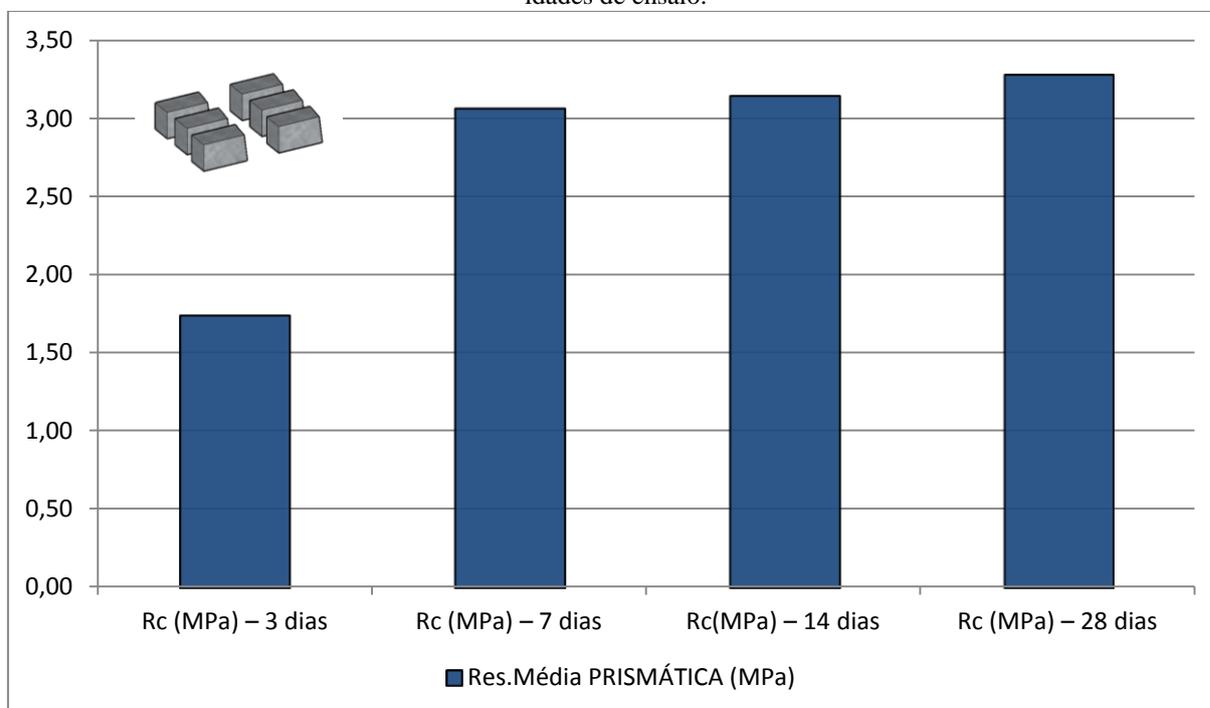
Os resultados da resistência à compressão da argamassa de assentamento, depois do ensaio de tração na flexão, nas idades de ensaio, estão na Tabela 29, e representados no Gráfico 2.

Tabela 29 - Valores das resistências à compressão da argamassa de assentamento, depois do ensaio de tração na flexão.

Amotras	R _c (MPa) – 3 dias	R _c (MPa) – 7 dias	R _c (MPa) – 14 dias	R _c (MPa) – 28 dias
CP 1	1,62	3,08	2,70	3,44
CP 2	1,73	3,12	3,12	3,09
CP 3	1,86	3,28	3,22	3,42
CP 4	1,83	3,05	3,25	3,04
CP 5	1,77	3,15	3,33	3,28
CP 6	1,67	2,72	3,27	3,43
Resistência Média (MPa)	1,75	3,07	3,15	3,28
Desvio Padrão (MPa)	0,09	0,19	0,23	0,18
Coefficiente de Variação (%)	5,21	6,08	7,32	5,46
R_{cj} / R_{c28} (%)	53,19	93,46	95,90	100,00

Fonte: Autor (2015).

Gráfico 2 - Resistência à compressão da argamassa de assentamento, depois do ensaio de tração na flexão, nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

O item 6.5, da NBR 13279 (ABNT, 2005), especifica que o desvio absoluto máximo da série, em cada idade de ensaio, deve ser menor que 0,50 MPa. Ressalta-se que o

valor da resistência de todos os corpos de prova, em todas as idades, atendeu este parâmetro, e como consequência, nenhum valor foi descartado, e o valor da resistência à compressão da argamassa refere-se à média dos valores individuais de cada idade.

Quanto à resistência à compressão média, aos 28 dias, verifica-se na Tabela 29 que a argamassa de assentamento apresentou um valor de 3,28 MPa, classificando-se, assim, como argamassa do tipo P3, conforme a NBR 13281(ABNT, 2005).

Quanto ao valor mínimo da resistência à compressão da argamassa de assentamento, estabelecida na NBR 15812-1 (ABNT, 2010), verifica-se que a argamassa de assentamento desta pesquisa atendeu o valor mínimo de 1,50 MPa.

No que se refere aos resultados das resistências à compressão para a argamassa, em função da resistência do bloco cerâmico vazado, indicados por Parsekian e Soares (2010), conforme Tabela 1, verifica-se que a resistência à compressão da argamassa ($f_a = 3,28$ MPa), utilizada nesta pesquisa, apresentou um valor abaixo do mínimo de 7 MPa. Acrescenta-se que a referida relação entre as resistências da argamassa e do bloco cerâmico vazado é estabelecida, considerando-se uma relação de área bruta e líquida igual a 2,3. E nesta pesquisa, a relação entre a área bruta ($A_b = 41120,20$ mm²) e a área líquida ($A_{liq} = 16020,06$ mm²), é de 2,6, ou seja, muito próximo a 2,3.

Destaca-se, no que se refere à evolução da resistência à compressão da argamassa, que na idade de 7 dias, o valor da resistência à compressão atinge em torno de 90% da resistência aos 28 dias.

4.6 Resistência à compressão da argamassa de assentamento nos corpos de prova cúbicos.

Os resultados da resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos da argamassa de assentamento, nas idades de ensaio, estão na Tabela 30, e representados no Gráfico 3.

Tabela 30 - Valores das resistências à compressão dos corpos de prova cúbicos da argamassa de assentamento.

Amotras	R _c (MPa) – 3 dias	R _c (MPa) – 7 dias	R _c (MPa) – 14 dias	R _c (MPa) – 28 dias
CP 1	1,35	2,53	2,53	2,70
CP 2	1,39	2,11	2,55	2,85
CP 3	1,42	2,31	2,61	2,72
Resistência Média (MPa)	1,39	2,32	2,56	2,76
Desvio Padrão (MPa)	0,04	0,21	0,04	0,08
Coefficiente de Variação (%)	2,66	9,05	1,74	2,88
R_{cj} / R_{c28} (%)	50,31	84,03	93,01	100,00

Fonte: Autor (2015).

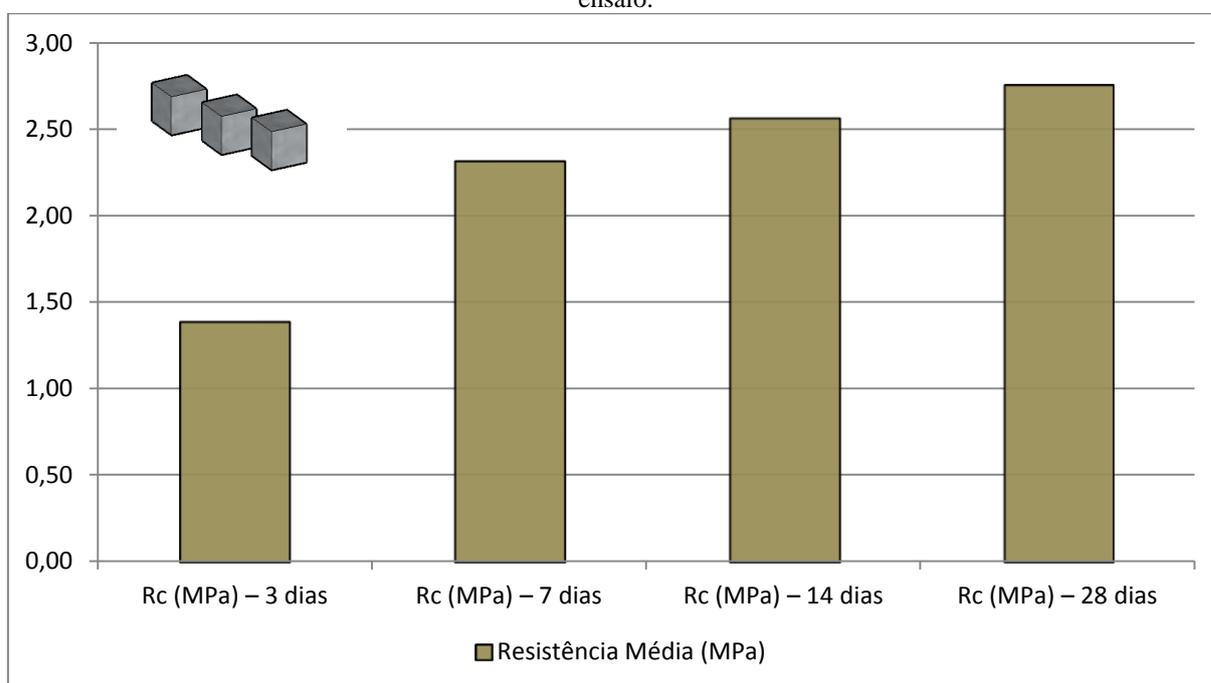
Em conformidade com a NBR 15961-2 (ABNT, 2011), a resistência à compressão da argamassa consiste na média dos valores individuais em cada idade.

Verifica-se que na idade de 7 dias, o valor da resistência média, dos corpos de prova cúbicos de argamassa, alcança valor próximo a 80% da resistência aos 28 dias.

Ao estabelecer uma comparação da evolução da resistência média, dos corpos de prova cúbicos de argamassa, verificados nesta pesquisa, com o progresso da resistência à compressão constatado em outros estudos, destaca-se o trabalho de Parsekian (2002) que também analisou a evolução da resistência à compressão média da argamassa nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias.

O referido pesquisador constatou que a resistência à compressão média da argamassa, na idade de 7 dias, alcançava quase 70% da resistência aos 28 dias que é uma porcentagem próxima aos 80% verificado nesta pesquisa. Vale destacar que a argamassa utilizada pelo citado pesquisador é do tipo não industrializada, bem como é importante salientar que o corpo de prova possuía a mesma forma cúbica, mas com 100mm de lado.

Gráfico 3 - Resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos da argamassa de assentamento, nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

4.7 Resistência à compressão e módulo de deformação da argamassa de assentamento nos corpos de prova cilíndricos.

Os resultados da resistência à compressão e módulo de deformação dos corpos de prova cilíndricos da argamassa de assentamento, nas idades de ensaio, estão na Tabela 31, e demonstrados nos Gráficos 4 e 5.

Tabela 31 - Valores das resistências à compressão e módulo de deformação dos corpos de prova cilíndricos da argamassa de assentamento.

Amotras	R _c (MPa) 3 dias	E _a (GPa) 3 dias	R _c (MPa) 7 dias	E _a (GPa) 7 dias	R _c (MPa) 14 dias	E _a (GPa) 14 dias	R _c (MPa) 28 dias	E _a (GPa) 28 dias
CP 1	2,97	-	3,86	-	4,39	-	4,37	-
CP 2	3,20	-	3,82	-	4,23	-	4,50	-
CP 3	2,14	-	3,84	-	4,03	-	4,39	-
CP 4	2,81	4,48	4,62	7,86	3,95	7,26	4,19	7,46
CP 5	2,13	7,78	3,47	6,56	4,60	8,28	4,39	7,46
CP 6	2,55	5,06	4,49	9,23	4,55	8,94	4,35	8,40
R_c(MPa) / E(GPa)	2,63	5,77	4,02	7,88	4,29	8,16	4,37	7,77
Desvio P. (MPa)	0,44	1,76	0,44	1,34	0,27	0,85	0,10	0,54
Coef. Var. (%)	16,73	30,52	10,99	16,94	6,26	10,37	2,26	6,98
R_{cj} / R_{c28} (%)	60,33	-	92,01	-	98,27	-	100,00	-

Fonte: Autor (2015)

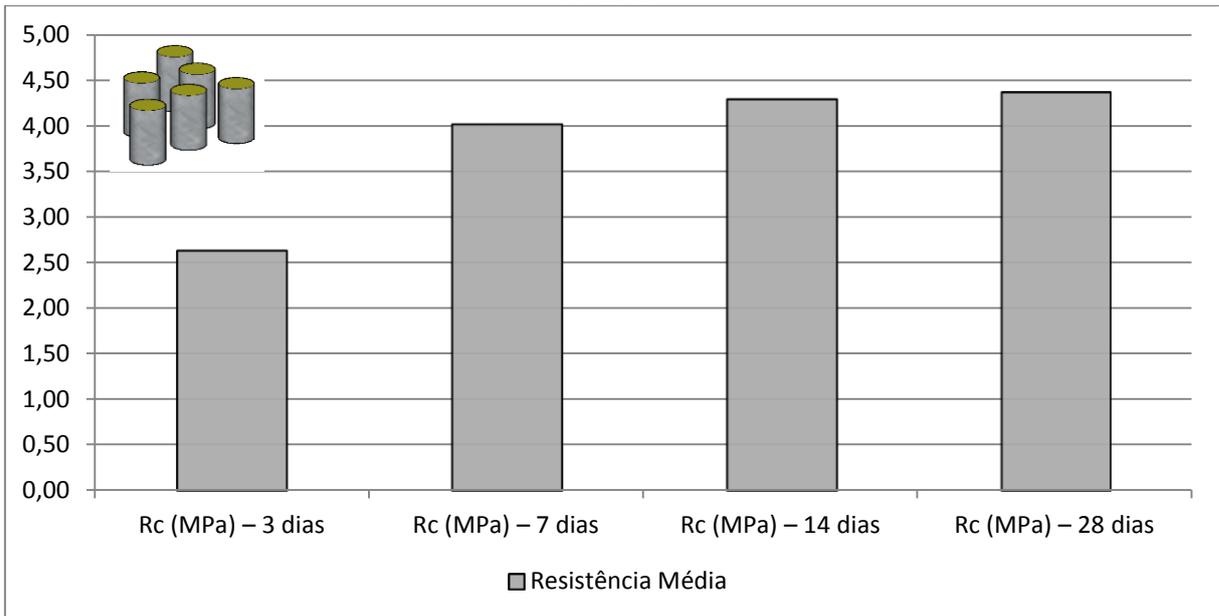
Em conformidade com a NBR 7215 (ABNT, 1996), a resistência à compressão da argamassa consiste na média dos valores individuais em cada idade.

Verifica-se que, na idade de 7 dias, o valor da resistência à compressão média, dos corpos de prova cilíndricos de argamassa, é superior a 90% da resistência aos 28 dias.

Parsekian (2002) também analisou a evolução da resistência à compressão média nos corpos de prova cilíndricos da argamassa, nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias e verificou que a resistência à compressão média da argamassa, na idade de 7 dias, também alcançava valor superior a 90% da resistência aos 28 dias.

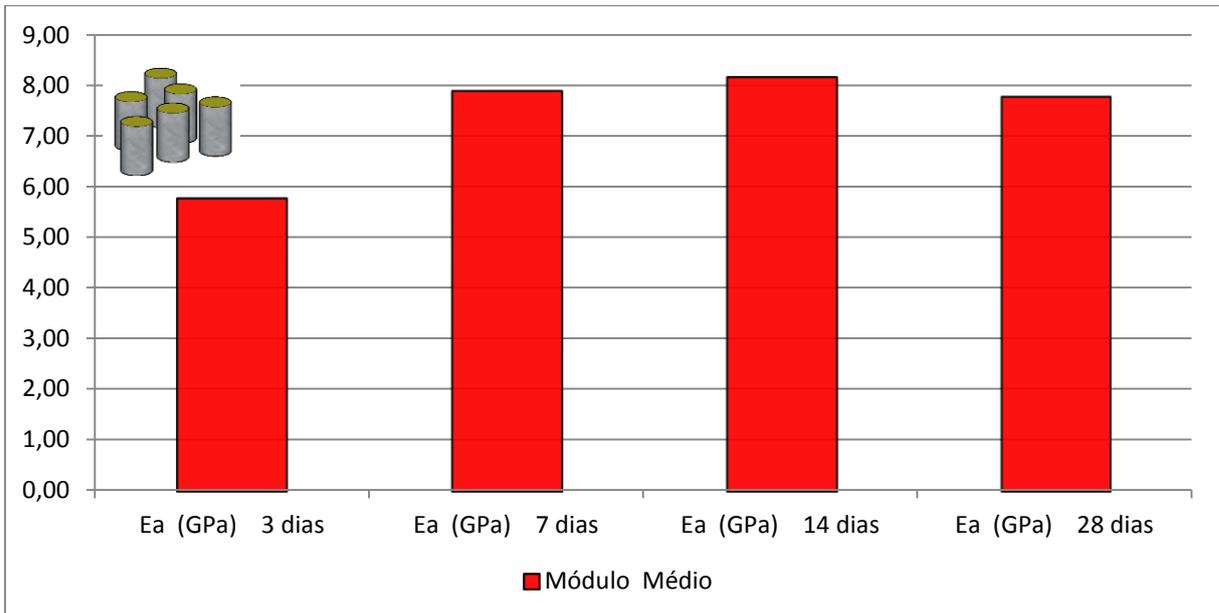
No que se refere ao módulo de deformação da argamassa de assentamento, observa-se uma dispersão dos valores individuais, e conseqüente elevado coeficiente de variação nas idades de 3 e 7 dias.

Gráfico 4 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos de argamassa de assentamento, nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

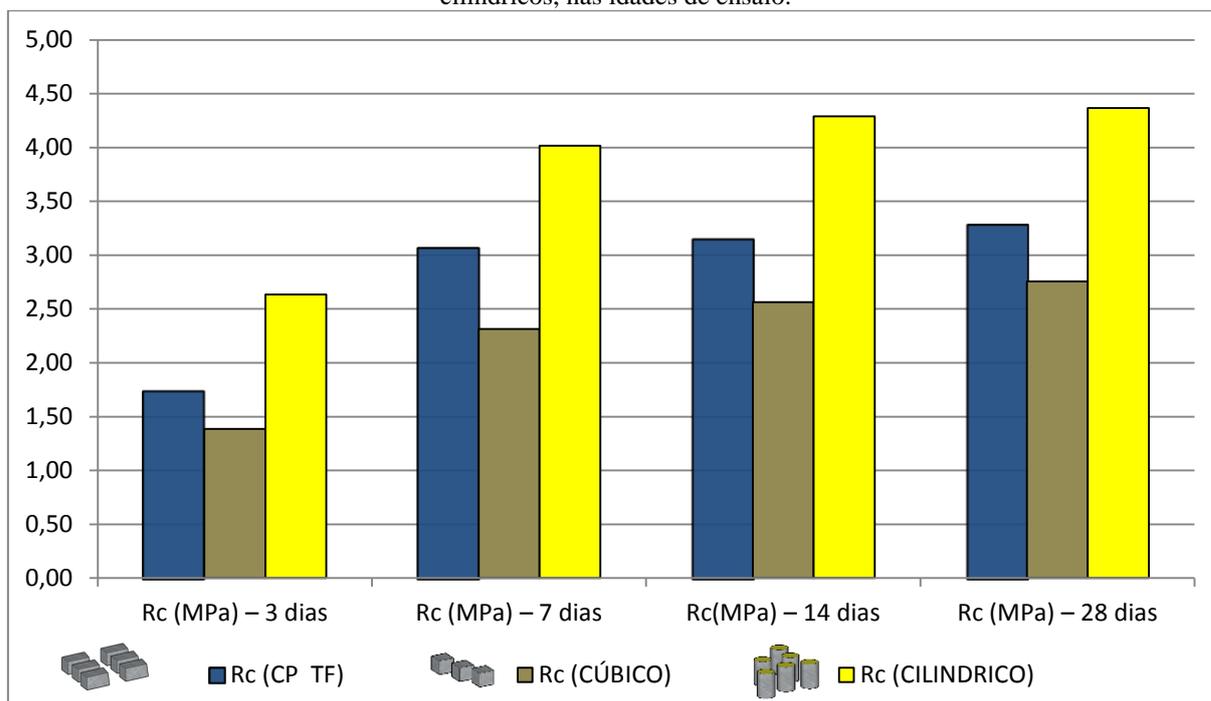
Gráfico 5 - Módulo de deformação dos corpos de prova cilíndricos de argamassa de assentamento, nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

Para uma melhor comparação dos valores da resistência à compressão nos corpos de prova prismáticos (após a tração na flexão), cúbicos e cilíndricos da argamassa de assentamento, nas idades de ensaio, os resultados estão reunidos no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Resistências à compressão da argamassa de assentamento nos corpos de prova prismáticos, cúbicos e cilíndricos, nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

Constata-se que, em todas as idades, a resistência à compressão da argamassa, nos corpos de prova cilíndricos, indicaram valores superiores ao da resistência à compressão nos corpos de prova prismáticos e cúbicos, devido, provavelmente, ao adensamento no momento da moldagem dos corpos de prova cilíndricos, bem como por conta do capeamento com enxofre, que permite uma uniformidade na distribuição das cargas e/ou em virtude da velocidade de ensaio.

Percebe-se, ainda, que o Gráfico 6 indica que os valores da resistência à compressão da argamassa, nos corpos de prova após o ensaio de tração na flexão, são superiores em relação aos corpos de prova cúbicos, em razão, possivelmente, do tipo de adensamento aplicado em cada corpo de prova e/ou em virtude do formato prismático (em que uma parte do corpo de prova fica fora do apoio do dispositivo), após o ensaio de tração na flexão.

4.8 Resistência à compressão e módulo de deformação dos prismas não grauteados e dos prismas grauteados.

Os resultados da resistência à compressão e módulo de deformação do prisma não grauteado, nas idades de ensaio, estão na Tabela 32, e apresentados nos Gráficos 7 e 8, respectivamente.

Tabela 32 - Valores das resistências à compressão e módulo de deformação do prisma não grauteado.

Amotras	$f_{pi,o}$ (MPa) 3 dias	$E_{pi,o}$ (GPa) 3 dias	$f_{pi,o}$ (MPa) 7 dias	$E_{pi,o}$ (GPa) 7 dias	$f_{pi,o}$ (MPa) 14 dias	$E_{pi,o}$ (GPa) 14 dias	$f_{pi,o}$ (MPa) 28 dias	$E_{j,p,o}$ (GPa) 28 dias
CP 1	2,70	-	3,88	-	3,21	-	3,46	-
CP 2	2,28	-	3,41	-	3,89	-	3,42	-
CP 3	2,46	-	2,46	-	3,01	-	3,38	-
CP 4	2,05	8,6	2,59	4,61	2,65*	15,08*	3,80	7,18
CP 5	2,00	4,6	2,20*	10,98*	3,78	8,59	3,83	4,59
CP 6	1,87*	4,37*	3,28	5,29	3,28	4,75	3,50	8,09
$f_{pm,o}$ (MPa)- E_{pi} (GPa)	2,30	6,60	3,12	4,95	3,43	6,67	3,57	6,62
$f_{pk,j}$ (MPa)	1,82	-	2,07	-	2,45	-	3,03	-
Desvio P. (MPa)	0,29	2,83	0,59	0,48	0,38	2,72	0,20	1,82
Coef. Var. (%)	12,66	42,85	18,96	9,71	11,10	40,71	5,55	27,43
$f_{pi,o} / f_{p28,o}$ (%)	64,46	99,70	87,63	74,77	96,33	100,76	100,00	100,00

*Resultados desconsiderados

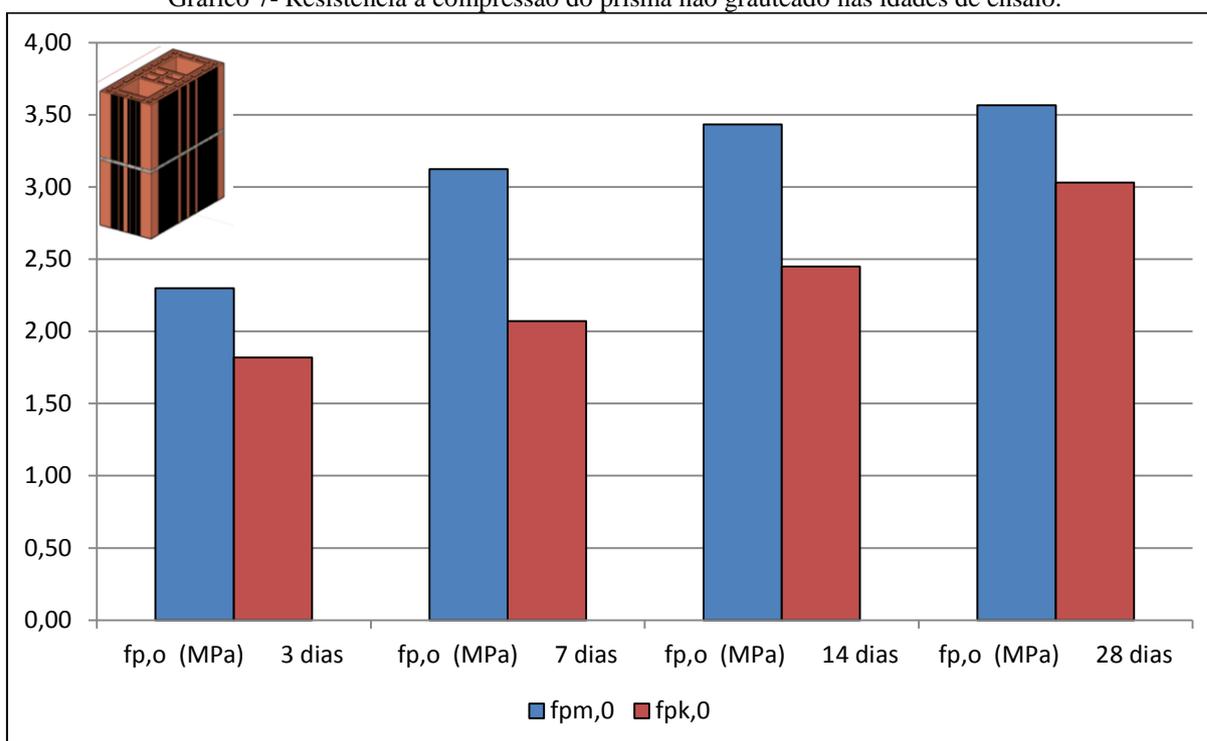
Fonte: Autor (2015).

Quando se compara a resistência à compressão efetiva de cada prisma não grauteado, utilizado no ensaio de módulo de deformação, com o valor da resistência à compressão média dos três primeiros prismas, destaca-se que alguns valores de resistência à compressão, marcados com asterisco, foram desconsiderados, pois estavam fora da margem de 20%, conforme estabelece a NBR 8522 (ABNT, 2008), para fins de cálculo da resistência à compressão média do prisma não grauteado.

Verifica-se que na idade de 7 dias, o valor da resistência à compressão média, dos prismas não grauteados, é quase 90% da resistência aos 28 dias. Parsekian (2002) também analisou a evolução da resistência à compressão média de prisma não grauteado, constituído, porém, por três blocos cerâmicos de parede vazada, nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias e verificou que a f_{pm} , na idade de 7 dias, também alcançou valor em torno de 90% da resistência aos 28 dias.

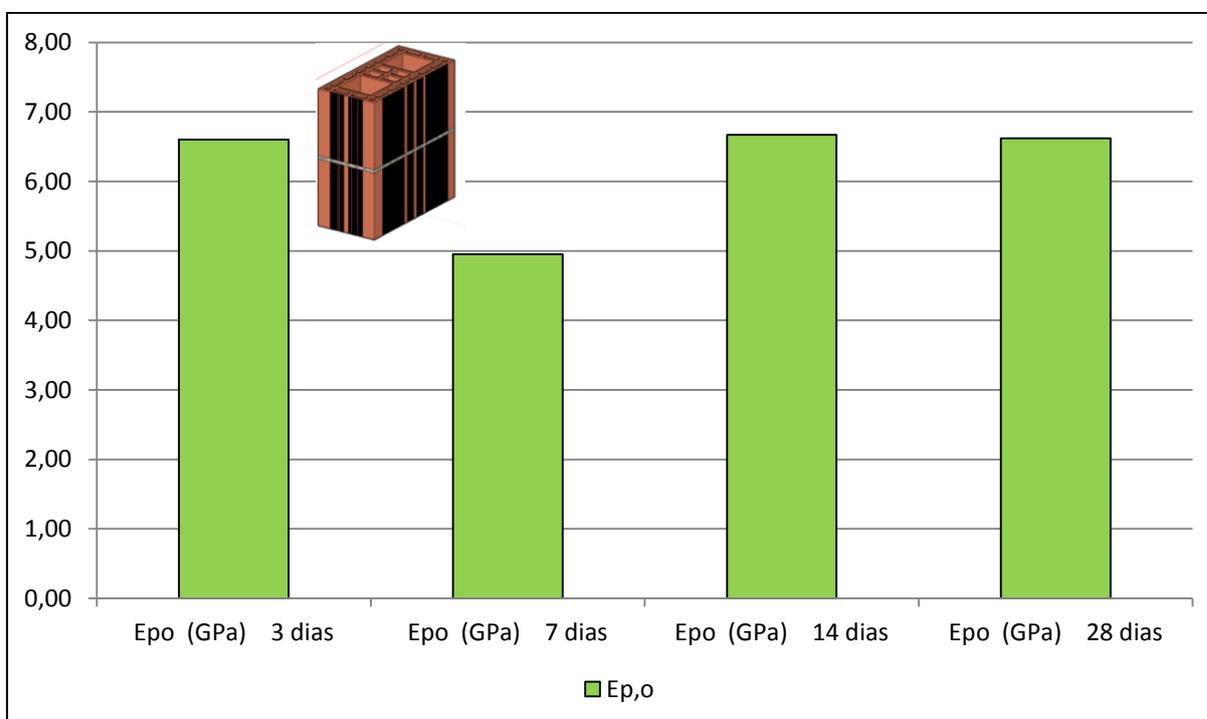
Para o cálculo da resistência característica à compressão do prisma não grauteado ($f_{pk,j}$), foram utilizados todos os valores individuais de resistência à compressão. Neste caso, portanto, nenhum valor foi desconsiderado.

Gráfico 7- Resistência à compressão do prisma não grauteado nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

Gráfico 8 - Módulo de deformação do prisma não grauteado nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

Quando se estabelece a relação entre a resistência à compressão característica ($f_{pk} = 3,03$ MPa) do prisma não grauteado, na idade de 28 dias, e a resistência à compressão característica ($f_{bk} = 13,80$ MPa) do bloco que o constitui, determina-se o valor de eficiência

igual a 0,20 que está fora da faixa de 0,3 a 0,6, mencionada por Ramalho e Corrêa (2003). Isto pode ter sido influenciado pela baixa resistência à compressão da argamassa de assentamento, aplicada em um bloco com elevada resistência à compressão.

Conforme se verifica na Tabela 32, a resistência à compressão média do prisma não grauteado, na idade de 28 dias, é de 3,57 MPa, bem próximo ao valor da resistência à compressão média de 4,61 MPa, constatado por Santos (2008) que também ensaiou prismas não grauteados, constituídos por blocos cerâmicos de parede vazada e argamassa com resistência à compressão próxima à da argamassa utilizada nesta pesquisa.

No tocante ao módulo de deformação do prisma não grauteado, Lopes (2014) também realizou ensaio de módulo de deformação de prisma não grauteado, constituído por dois blocos cerâmicos de parede vazada, e determinou um valor de 3,49 GPa que é inferior ao valor de 6,62 GPa, na idade de 28 dias, constatado nesta pesquisa. Cumpre ressaltar que o bloco cerâmico, utilizado por Lopes (2014), tem dimensões diferentes das verificadas no bloco utilizado nesta pesquisa, bem como que a argamassa é do tipo não industrializada com resistência à compressão de 4,93 MPa.

Juste (2001) destaca, inclusive, que a comparação direta dos resultados de módulo de deformação pode ser inviabilizada por conta de diversos fatores, como a velocidade de carregamento e dimensões do corpo de prova, os quais podem afetar os valores encontrados.

Verifica-se que os resultados de ensaio, em todas as idades, conforme Tabela 32, indicam valores muito dispersos, evidenciado pelo elevado coeficiente de variação; o que, possivelmente, pode ter sido influenciado pela espessura do prato da prensa, utilizada no ensaio e/ou falha na fixação e localização dos transdutores.

Os resultados da resistência à compressão e módulo de deformação do prisma grauteado, nas idades de ensaio, estão na Tabela 33, e apresentados nos Gráficos 9 e 10, respectivamente.

Tabela 33 - Valores das resistências à compressão e módulo de deformação dos prismas grauteados.

Amotras	$f_{pi,c}$ (MPa) 3 dias	$E_{pi,c}$ (GPa) 3 dias	$f_{pi,c}$ (MPa) 7 dias	$E_{pi,c}$ (GPa) 7 dias	$f_{pi,c}$ (MPa) 14 dias	$E_{pi,c}$ (GPa) 14 dias	$f_{pi,c}$ (MPa) 28 dias	$E_{pi,c}$ (GPa) 28 dias
CP 1	5,93	-	7,77	-	7,15	-	7,43	-
CP 2	4,73	-	5,84	-	7,38	-	7,76	-
CP 3	6,80	-	6,78	-	7,21	-	7,11	-
CP 4	5,47	4,22	5,83	6,59	7,26	8,88	7,81	5,98
CP 5	5,51	6,55	6,37	9,04	7,85	7,27	8,77	9,88
CP 6	5,55	4,82	7,19	8,66	7,56	7,20	8,88	9,20
$f_{pm,c}$ (MPa)- E_{pi} (GPa)	5,66	5,20	6,63	8,10	7,40	7,78	7,96	8,35
$f_{pk,c}$ (MPa)	4,69	-	5,31	-	6,29	-	6,77	-
Desvio P. (MPa)	0,68	1,21	0,77	1,32	0,26	0,95	0,72	2,08
Coef. Var. (%)	12,03	23,28	11,58	16,29	3,58	12,21	8,98	24,94
$f_{pi,c} / f_{p28,c}$ (%)	71,14	62,21	83,29	96,93	92,96	93,18	100,00	100,00

Fonte: Autor (2015).

Nas amostras de primas grauteados, nenhum valor de resistência efetiva à compressão foi desconsiderado, pois todos os valores estavam dentro da margem de 20%, conforme NBR 8522 (ABNT, 2008), para fins de cálculo da resistência à compressão média, bem como da resistência característica, dos prismas grauteados.

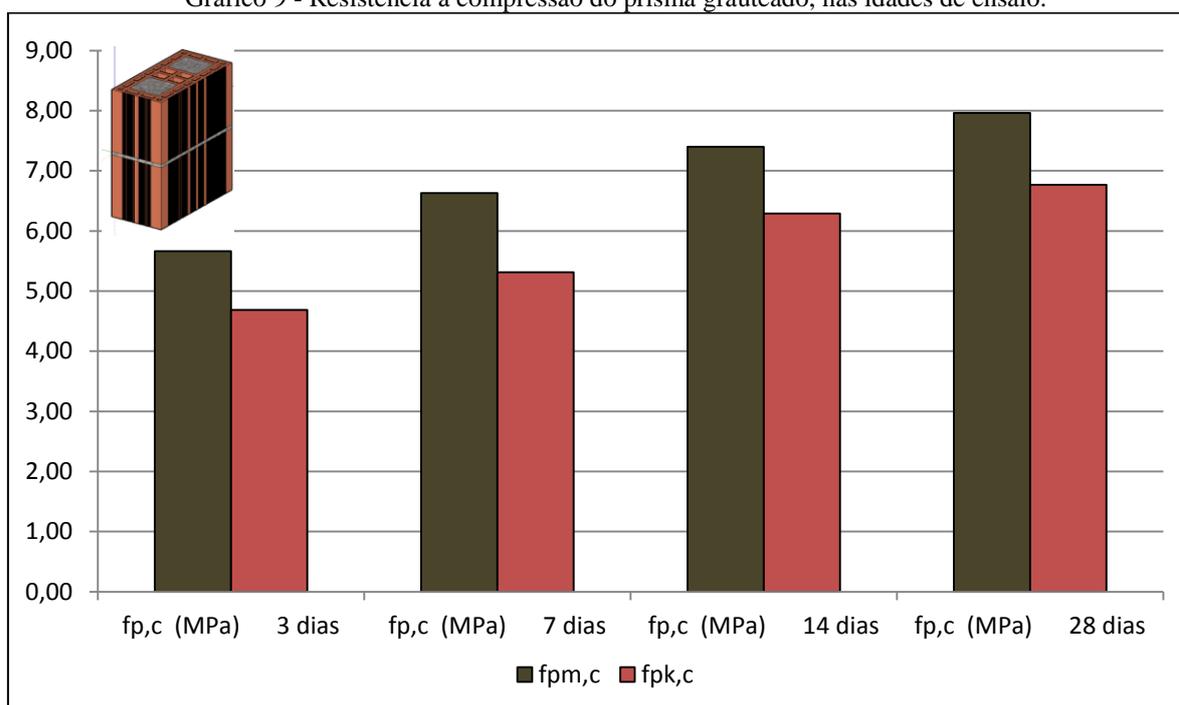
Observa-se que na idade de 7 dias, o valor da resistência à compressão média do prisma grauteado é superior a 80% da resistência aos 28 dias.

Lopes (2014) realizou ensaio de resistência à compressão de prisma grauteado, constituído por dois blocos cerâmicos de parede vazada, e constatou um valor de 6,84 MPa que é próximo ao valor de 7,96 MPa, na idade de 28 dias, constatado nesta pesquisa.

No tocante ao módulo de deformação do prisma grauteado, Lopes (2014) também realizou ensaio de módulo de deformação de prisma grauteado, constituído por dois blocos cerâmicos de parede vazada, e determinou um valor de 9,03 GPa que está em concordância com o valor de 8,35 GPa, na idade de 28 dias, constatado nesta pesquisa.

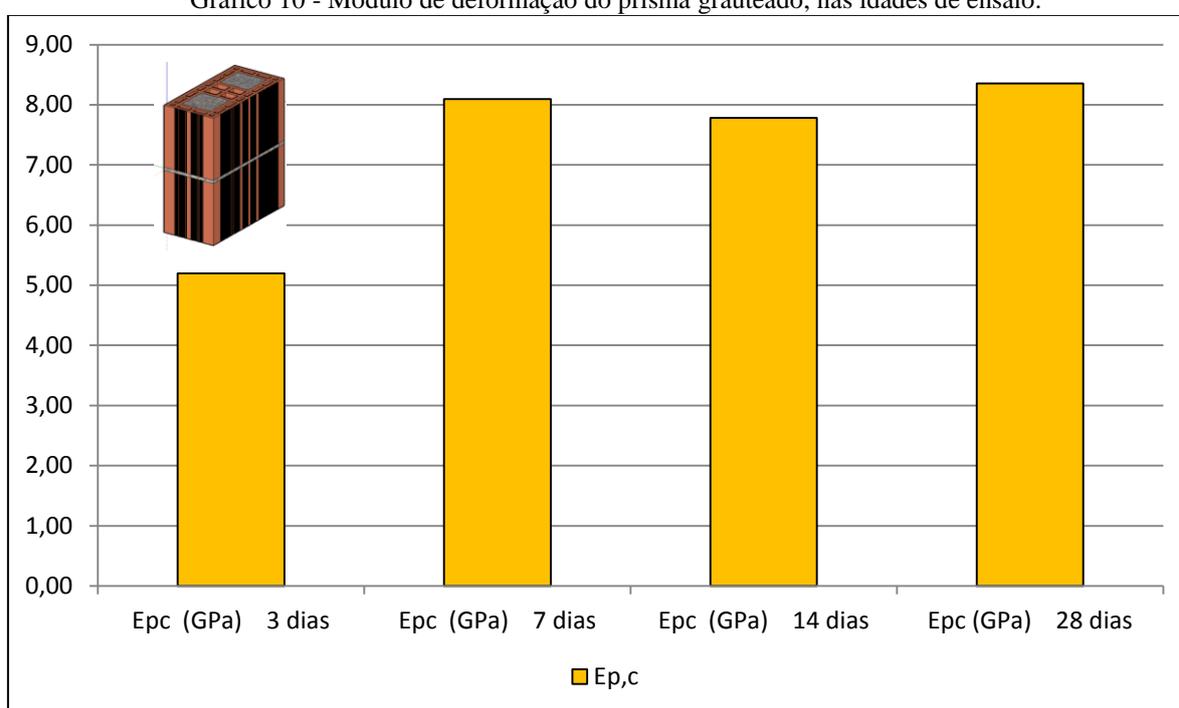
Cumprе ressaltar que o bloco cerâmico, utilizado pelo citado pesquisador, tem dimensões diferentes das verificadas no bloco utilizado nesta pesquisa, bem como que a argamassa é do tipo não industrializada com resistência à compressão de 4,93 MPa.

Gráfico 9 - Resistência à compressão do prisma grauteado, nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

Gráfico 10 - Módulo de deformação do prisma grauteado, nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

No que se refere ao módulo de deformação do prisma grauteado, percebe-se que os resultados de ensaio, em todas as idades, conforme Tabela 33, também indicam valores dispersos, no entanto, com uma variação menor em relação à variação dos valores do módulo de deformação dos prismas não grauteados.

Salienta-se que, tanto o cálculo da resistência característica à compressão do prisma não grauteado, como do prisma grauteado, foram realizados de acordo o item 8.2, da NBR 15812-2 (ABNT, 2010), utilizando-se a área bruta do prisma.

4.9 Resistência à compressão e módulo de deformação do graute.

Os resultados da resistência à compressão e módulo de deformação do graute, nos corpos de prova cilíndricos, nas idades de ensaio, estão na Tabela 34, e representados nos Gráficos 11 e 12.

Tabela 34 - Valores da resistência à compressão e módulo de deformação do graute.

Amotras	f_g (MPa) 3 dias	E_g (GPa) 3 dias	f_g (MPa) 7 dias	E_g (GPa) 7 dias	f_g (MPa) 14 dias	E_g (GPa) 14 dias	f_g (MPa) 28 dias	E_g (GPa) 28 dias
CP 1	18,99	-	29,52	-	32,17	-	37,00	-
CP 2	21,45	-	28,68	-	32,92	-	36,51	-
CP 3	23,91	-	30,36	-	32,37	-	36,93	-
CP 4	21,45	17,50	30,74	21,36	32,87	22,14	37,10	23,31
CP 5	21,33	18,05	29,33	20,87	32,52	21,45	37,10	23,30
CP 6	22,26	18,31	28,98	20,63	32,36	21,38	37,67	24,49
f_{gm} - E_g (MPa)	21,57	17,95	29,60	20,95	32,54	21,66	37,05	23,70
Desvio P. (MPa)	1,59	0,41	0,80	0,37	0,30	0,42	0,37	0,68
Coef. Var. (%)	7,39	2,30	2,70	1,78	0,92	1,94	1,01	2,89
f_{gi,c} / f_{g28} (%)	58,20	75,75	79,89	88,41	87,81	91,38	100,00	100,00

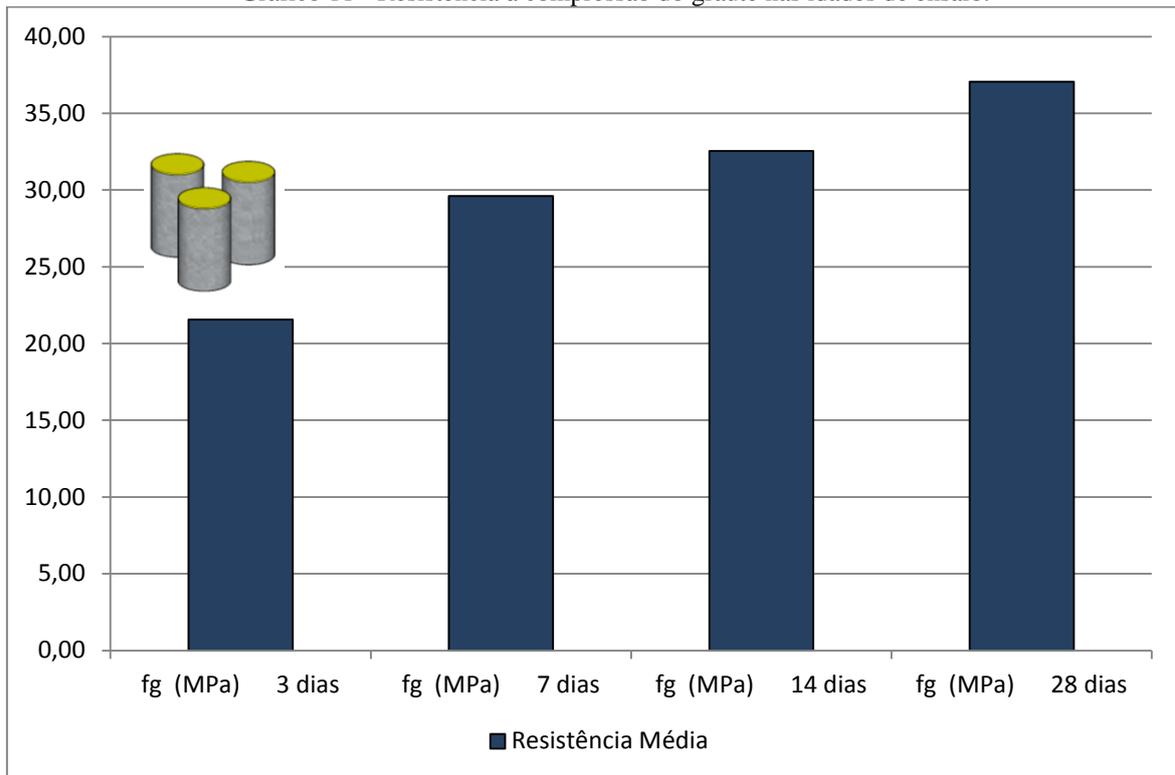
Fonte: Autor (2015).

Observa-se na Tabela 34 que a resistência à compressão média ($f_{gm} = 37,05$ MPa) do graute, na idade de 28 dias, é superior à resistência especificada no traço ($f_g = 25$ MPa).

Verifica-se, ainda, na Tabela 34 que, na idade de 7 dias, o valor da resistência à compressão do graute alcança quase 80 % da resistência média à compressão do graute aos 28 dias.

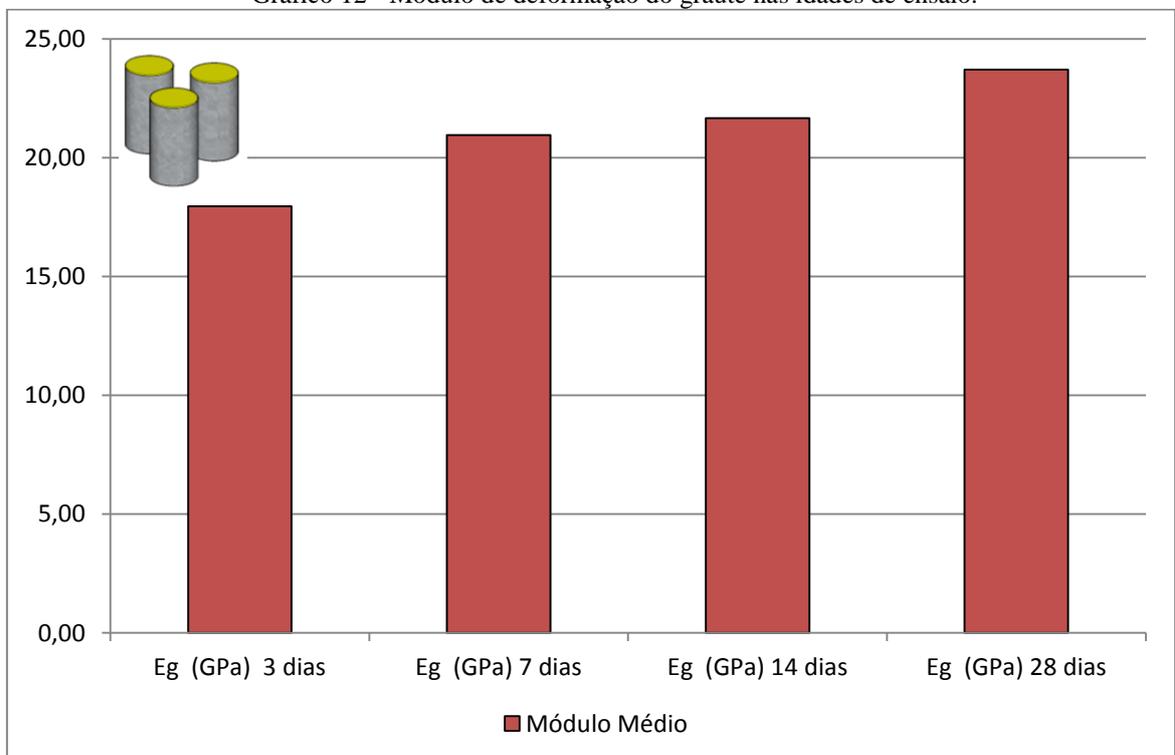
No que se refere aos resultados das resistências à compressão para o graute, em função da resistência do bloco cerâmico vazado, indicados por Parsekian e Soares (2010), conforme Tabela 1, verifica-se que a resistência à compressão do graute ($f_g = 37,05$ MPa), determinada nesta pesquisa, apresentou um valor acima do recomendado de 25 MPa.

Gráfico 11 - Resistência à compressão do graute nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

Gráfico 12 - Módulo de deformação do graute nas idades de ensaio.



Fonte: Autor (2015).

Em relação ao módulo de deformação do graute, percebe-se que os resultados de ensaio, em todas as idades, conforme Tabela 34, apresentam valores muito próximos, em cada idade, e, portanto, baixo coeficiente de variação. Esta homogeneidade de valores nos resultados, para cada idade, deve-se, possivelmente, ao tamanho do corpo de prova que sofreu a mínima influência do prato da prensa.

4.10 Resistência à tração na flexão nos prismas com cinco blocos.

Os resultados da resistência à tração na flexão em prismas com cinco blocos, nas idades de ensaio, estão na Tabela 35.

Tabela 35 - Valores das resistências à tração na flexão nos prismas com cinco blocos.

Amotras	Idade 7 dias	Idade 14 dias	Idade 28 dias
	f_{tj} (MPa)	f_{tj} (MPa)	f_{tj} (MPa)
CP 1	0,0664	0,0738	0,113
CP 2	0,0629	0,0729	0,149
CP 3	0,0749	0,0858	0,067
Resistência Média f_{tf} (MPa)	0,07	0,08	0,11
Desvio Padrão (MPa)	0,01	0,01	0,04
Coeficiente de Variação (%)	9,03	9,29	37,70
t_{f1} / f_{t28} (%)	62,04	70,66	100,00

Fonte: Autor (2015).

Segundo a NBR 15961-2 (ABNT, 2011), os valores individuais da resistência à tração na flexão do prisma com cinco blocos, que sejam inferiores a 30% do valor médio dos 50% maiores valores, devem ser descartados. A referida norma específica, ainda, que para o cálculo do valor característico, deve-se seguir os procedimentos do item 8.2, utilizando-se um número mínimo de quatro corpos de prova com resultados válidos.

Acrescenta-se que, nesta pesquisa, foi calculado o valor da resistência média à tração na flexão apenas em três corpos de prova de prisma com cinco blocos, nas idades de ensaio. Destaca-se, ainda, que para a idade de 3 dias, como se verifica na Tabela 35, não constam valores de resistência à tração na flexão do prisma, uma vez que os corpos de prova quebraram durante o transporte, impossibilitando, assim, a realização do ensaio.

Verifica-se na Tabela 35 que, na idade de 7 dias, o valor da resistência média à tração na flexão do prisma alcança 62,04 % da resistência média à tração na flexão, aos 28 dias; o que sugere um aumento considerável da aderência entre o bloco e a argamassa, indicando uma boa compatibilidade entre a consistência da argamassa e o índice de absorção de água inicial do bloco.

4.11 Modos de ruptura dos prismas grauteados e não grauteados.

Os prismas não grauteados, nas idades iniciais, apresentaram um modo de ruptura em que houve o esmagamento da argamassa, devido ao fato da resistência à compressão da argamassa, confinada entre os blocos, atingir o seu limite máximo. Na medida em que houve um aumento da resistência à compressão da argamassa, nas idades subsequentes, observou-se que no modo de ruptura dos prismas não grauteados, surgiram pequenas fissuras e houve deslocamento das paredes do bloco, próximo à junta de assentamento, característico de rompimento por tração lateral do bloco, devido à força gerada pela deformação da argamassa de assentamento, conforme Figura 49.

Figura 49 - Modos de ruptura encontrados nos prismas não grauteados.



Fonte: Autor (2015).

No que se refere ao modo de ruptura dos prismas grauteados, constatou-se o surgimento de fissuras verticais nas faces transversais dos blocos, em todas as idades, por conta da maior deformação lateral do graute que se expande e atinge sua capacidade de resistência à compressão, ocasionando o deslocamento das paredes dos blocos, conforme a Figura 50.

Figura 50 - Modos de ruptura encontrados nos prismas grauteados.



Fonte: Autor (2015).

5 CONCLUSÃO

Ao analisar os resultados dos ensaios, quanto às características geométricas, físicas e mecânicas, constatou-se que o bloco cerâmico estrutural atende aos requisitos normativos. Sobre as características mecânicas do bloco cerâmico estrutural, verificou-se que os resultados são satisfatórios, uma vez que a resistência característica à compressão do bloco, determinada em 13,62 MPa neste estudo, é bem superior ao valor mínimo, definido pela NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

No que refere à argamassa de assentamento, embora o parâmetro mínimo normativo tenha sido atendido, o valor de resistência à compressão da argamassa é menor que o recomendado pelos pesquisadores. Infere-se, então, que a argamassa de assentamento deste estudo não apresenta uma boa interação com o bloco, objeto desta pesquisa, conforme demonstra o baixo valor da eficiência entre o prisma não grauteado e o bloco que o constitui.

Quanto à comparação dos valores de resistência à compressão da argamassa de assentamento, em função das formas prismáticas e cúbicas dos corpos de prova e do processo de moldagem, conclui-se que existe um acréscimo em torno de 15% da resistência nos corpos de prova prismáticos, quando comparada com a resistência dos corpos de prova cúbicos.

Em relação ao graute, percebe-se que a resistência à compressão verificada neste estudo, está acima do valor da resistência à compressão, especificada no traço. E no que concerne à evolução da resistência à compressão do graute, constatou-se significativa resistência, na idade de 7 dias, assim como nos prismas grauteados.

No tocante à avaliação da resistência à compressão dos prismas grauteados e não grauteados, depreende-se que os valores de resistências à compressão, alcançados na idade de 7 dias, indicam considerável resistência, apesar da pouca idade, e que a prática construtiva no sistema de alvenaria estrutural, em que se executa em torno de 3 pavimentos por mês, não oferece risco quanto à estabilidade estrutural em relação às cargas verticais atuantes na fase construtiva.

Acrescenta-se, com base nos valores de resistência à compressão dos prismas, nas idades iniciais, verificados nesta pesquisa, que o controle otimizado nas obras de maior exigência estrutural, para fins de controle da alvenaria, poderia ser efetuado antes da idade de 28 dias. Isto possibilitaria uma estimativa da resistência à compressão, bem como uma redução das amostras dos pavimentos subsequentes, sem a necessidade de aguardar o decurso do tempo de cura.

No que diz respeito ao módulo de deformação da argamassa, do graute e dos prismas, admite-se a dificuldade de estabelecer uma comparação dos resultados com os valores indicados na literatura, tendo em vista à diversidade de fatores que podem influenciar nos resultados, como velocidade de carregamento, dimensões dos corpos de prova e tipo de equipamento.

5.1 Sugestões para trabalho futuro

Considerando a diversidade de variáveis relacionadas ao estudo da resistência à compressão da alvenaria, ao longo do tempo de cura, bem como levando em conta a dificuldade ao tentar se estabelecer relações, recomendam-se outros estudos com as seguintes abordagens:

- a) Estudo da resistência à compressão da alvenaria, ao longo do tempo de cura, no sistema de alvenaria estrutural, utilizando-se argamassa de assentamento com resistências diferentes.
- b) Estudo da resistência à compressão da alvenaria, ao longo do tempo de cura, no sistema de alvenaria estrutural, utilizando-se graute com resistências diferentes.
- c) Estudo da resistência à compressão da alvenaria, ao longo do tempo de cura, no sistema de alvenaria estrutural, comparando a resistência à compressão nos prismas com 3 blocos, pequenas paredes e parede em tamanho real.
- d) Realizar diagnóstico das características geométricas, físicas e mecânicas dos blocos cerâmicos estruturais, produzidos pela indústria de cerâmica no estado do Ceará.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739/2007: Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado Miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8522: **Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice da consistência.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Termologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2: Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e vedação – Métodos de Ensaio.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-1: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 1: Projetos.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-2: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 2: Execução e controle de obras.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-1: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-2: Alvenaria estrutural – Execução e controle de obras.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão .** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8949: Paredes de alvenaria estrutural ensaio à compressão simples – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado Graúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

DAMASCENO, J. C. C.; NETO, J. A. N. **Investigação experimental da resistência à compressão simples de prismas de blocos estruturais.** *Publica*, Rio Grande do Norte, vol. 4, nº 1, p.0108, 2008. Disponível em: <<http://www.reitoria.ufrn.br/ojs/index.php/publica/article/view/42/35>> Acesso em: 10 agosto 2014.

FORTES, E. S. **Influência do capeamento e caracterização da resistência à compressão de alvenaria estrutural de blocos de concreto.** 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, 2012.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** 1992. 319 p.132 Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FRASSON JÚNIOR, A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo construtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural.** Florianópolis, 2000. 146p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao Estudo da Resistência à Compressão de Paredes de Alvenaria de Blocos Cerâmicos.** São Carlos, 2000. 255p. Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Estruturas – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

GROHMANN, L. Z. **Análise do comportamento de Prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica.** 2006. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

HENDRY, A. W. *Masonry Walls: materials and construction.* **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 15, n. 8, p. 323-330, junho 2001.

JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforço de compressão.** 2001. 235p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2001.

LOGULLO, B. G. **Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento da alvenaria de blocos de concreto.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP, 2006.

LOPES, G.M. **Estudo teórico e experimental de paredes esbeltas de alvenaria estrutural.** 133 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

MIRANDA, L. A. **Estudo do efeito do não preenchimento das juntas verticais e eficiência do graute na resistência da alvenaria estrutural de blocos cerâmicos.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estrutural) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2012.

NESSRALLA, M.A. **Resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural: bloco cerâmico de 44cm.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013.

OLIVEIRA, L. A. P. **Estudo do desempenho dos grautes com adições para enchimento de blocos de alvenaria estrutural.** São Paulo, 1986. 100p. Dissertação (Mestrado) - Escola

PARSEKIAN, G. A. **Tecnologia de produção de Alvenaria Estrutural Protendida.** São Paulo. 2002. 263f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural.** São Carlos: EdUFSCar: 2012.

PARSEKIAN, Guilherme Ari; SOARES, Márcia Monteiro. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projetos, execução e controle.** São Paulo: O Nome da Rosa: 2010.

PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica.** 2007. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PINHEIRO, D.G.; **Estudo do comportamento mecânico de blocos cerâmicos com diferentes larguras.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

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

RIZZATTI, E.; ROMAN, H.R.; MOHAMAD, G.; NAKANISHI, E.Y. **Revista Matéria**, v. 16, n. 2, pp. 730 – 746, 2011.

ROMAN, H. R. **Características físicas e mecânicas que devem apresentar os tijolos e blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e estrutural.** III SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL. Florianópolis: [s.n.]. 1991. p. 101-108.

SABBATINI, F. H. **Processos construtivos de edifícios de alvenaria sílico-calcária.** São Paulo, 1984. 298p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SAMPAIO, M. B. **Fissuras em edifícios residenciais em alvenaria estrutural**. 122 f. 2010. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SANTOS, M. J. F. **Análise da resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassas**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SOARES, M. M. M. **Especificação, execução e controle de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos de acordo com a NBR 15812**. 187 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

TAUIL, C. A; NESE, F. J. M. **Alvenaria estrutural**. SãoPaulo: Pini, 2010.