

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSAMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO  
DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO**

**THUANY ESPÍRITO SANTO DE LIMA**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ**

**ABRIL - 2019**

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSAMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO  
DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO**

**THUANY ESPÍRITO SANTO DE LIMA**

"Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil".

Orientador: Prof. Jonas Alexandre

Coorientador: Prof. Jean Marie Désir

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

ABRIL – 2019

**FICHA CATALOGRÁFICA**

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

L732

Lima, Thuany Espírito Santo de.

Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de alvenaria estrutural de blocos de concreto / Thuany Espírito Santo de Lima. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

111 f. : il.

Bibliografia: 90 - 100.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, 2019.

Orientador: Jonas Alexandre.

Coorientador: Jean Marie Desir.

1. Alvenaria estrutural. 2. Argamassamento. 3. Miniparede. 4. Prisma. 5. Modo de ruptura. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 624

# INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSAMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO

**THUANY ESPÍRITO SANTO DE LIMA**

"Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil".

Aprovada em 17 de abril de 2019.

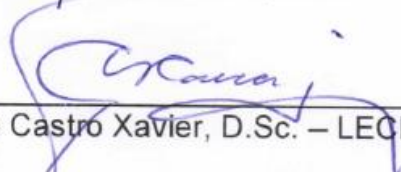
Comissão examinadora:



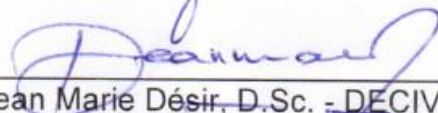
Prof. Leonardo Gonçalves Pedroti, D.Sc. – DEC/UFV



Prof. Carlos Maurício Fontes Vieira, D.Sc. – LAMAV/UENF



Prof. Gustavo de Castro Xavier, D.Sc. – LECIV/UENF



Prof. Jean Marie Désir, D.Sc. - DECIV/UFRGS

Co-orientador



Prof. Jonas Alexandre, D.Sc. – LECIV/UENF

Orientador

## DEDICATÓRIA

*Ao meu tio Marcos (in memoriam),  
Meu eterno agradecimento e amor.*

*“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada,  
não existirão resultados. A força não provém da capacidade física, provém de uma  
vontade indomável.”*

*Mahatma Gandhi*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, meu Pai, primeiramente. Somente pela fé que possuo, foi possível chegar até aqui mediante a tantas adversidades que vivi durante todo esse processo.

À minha mãe, Luciane. Minha maior incentivadora. A que sempre desejou esse mestrado, as vezes até mais do que eu. Devo tudo a você. Ao meu pai, Dagoberto. Que além de pai, e exemplo dentro da engenharia, esteve comigo desenvolvendo o sistema de transporte das paredes dessa pesquisa. Obrigada por todo auxílio. À minha família, obrigada por estarem sempre comigo.

Ao meu tio Marcos, por todos ensinamentos durante toda a minha vida. Por ser meu exemplo de dedicação, bondade, trabalho, honestidade e honra. Por ter ajudado na minha formação de ser humano, com princípios éticos e cristãos. Por todo incentivo ao estudo, por vibrar nas minhas conquistas e me apoiar quando mais precisei. Este mestrado é dedicado a você. Você vive em mim!

Ao meu orientador Jonas Alexandre, que mais que um professor, se tornou um grande amigo, incentivador. Obrigada por toda compreensão nesse período e por acreditar no meu potencial.

Ao meu coorientador, Jean Marie Désir. Sem sua ajuda, esse trabalho não seria realizado. Obrigada por aceitar o desafio e compartilhar comigo todo seu conhecimento, mesmo à distância.

Ao meu grande amigo e braço direito Valber Domingos Pinheiro. Esse trabalho também é seu. Obrigada pelo convívio ao longo de todos esses anos e pelo apoio em todos os ensaios e dificuldades. Minha eterna gratidão e amizade.

Aos amigos da Oficina de Cerâmica do LECIV e aos amigos da pós-graduação, que partilharam comigo todos os dias dessa caminhada, sofrendo com a rotina, chorando com as dificuldades e festejando nas alegrias. Vocês foram essenciais para que meu objetivo fosse alcançado.

À minha grande amiga Grazielle Pinheiro Lobo. Que sempre me incentivou e apoiou nos momentos que precisei. Que esteve comigo, especificamente, no

turbulento início desse processo. Obrigada por todos esses anos de amizade e dedicação.

Aos demais amigos, agradeço por todo apoio e compreensão à minha ausência, devido ao árduo caminho que escolhi seguir.

Ao técnico do LAMAV, Renan da Silva Guimarães, seria impossível realizar esses ensaios sem sua ajuda e empenho. Meus mais sinceros agradecimentos.

Aos técnicos do LECIV, José Renato Freitas e André Flores, aos técnicos de da centrífuga, Renato, Lucas e Valber, obrigada pelo tempo e conhecimento disposto na busca de soluções e realização dos ensaios.

Aos professores do LECIV - UENF, por todos os ensinamentos durante os anos de graduação e mestrado.

As agências de fomento (CAPES, FAPERJ e CNPQ) pelo suporte indireto nesse trabalho.

## RESUMO

A alvenaria estrutural é uma das técnicas construtivas mais empregadas no Brasil quando o objetivo é a diminuição do custo e do tempo de execução de edifícios. Neste sistema, a parede, que é formada por blocos unidos por argamassa de assentamento, desempenha a função de elemento de transmissão das cargas até as fundações da construção. Nesse processo construtivo, o tipo de assentamento pode ser determinante na produção e no rendimento da obra. Dois tipos são recomendados, o argamassamento total, que cobre toda área líquida do bloco, e o parcial, onde a argamassa é colocada somente sobre as paredes longitudinais do bloco formando um cordão lateral. Entretanto, na prática, é comum observar, em alguns casos, a mistura dos dois tipos em uma mesma parede. Assentada por diferentes profissionais uma mesma parede pode exibir padrão de argamassamento distinto, onde as fiadas alternam entre os assentamentos total e parcial, configurando um argamassamento misto. Nesse contexto, propôs-se uma pesquisa com blocos estruturais de concreto provenientes do Norte Fluminense, com o objetivo de avaliar a influência do padrão de argamassamento no comportamento mecânico da alvenaria estrutural. Foram confeccionados prismas e miniparedes com argamassamento parcial, total e misto, a fim de verificar a resistência à compressão e avaliar o modo de ruptura de cada um dos padrões. Os resultados dos ensaios de compressão dos prismas e miniparedes mostraram que o tipo de assentamento influencia significativamente na resistência à compressão da alvenaria, sendo que os padrões de argamassamento parcial e misto apresentam perda de capacidade de resistência à compressão e ruptura mais frágil do que os elementos com argamassamento total.

**Palavras-chave:** Alvenaria estrutural, Argamassamento, Miniparede, Prisma, Modo de ruptura.



## ABSTRACT

The structural masonry is one of the most used constructive techniques in Brazil when the objective is the reduction of the cost and execution time in buildings. In this system, the wall, which is formed by blocks joined with mortar, acts as a transmission element of the loads to the foundations of the construction. For such construction process, the mortar bedding type can be decisive in the production and the yield of the work. Two types are recommended, full mortar bedding, covering net area of unit and face shell bedding, where the mortar is placed only on the face shell area of the block. However, in practice, it is common to observe in some cases the mixing of the two types on the same wall. Seated by different professionals, the same wall can display distincts mortar bedding types, where the rows alternate between full mortar bedding and face shell bedding, forming a mixed mortar bedding. Concerning this subject, this research with hollow-blocks concrete originating from the North Fluminense region, in order to evaluate the influence of the mortar bedding type on the mechanical behavior of the structural masonry. Prisms and mini-walls were made with full mortar bedding, face shell bedding and mixed mortar bedding, in order to verify the compressive strength and to evaluate the rupture mode of each of the patterns. The compression tests results of the prisms and mini-walls showed that the type of settlement influences significantly in the compression resistance of the masonry, with the patterns of face shell bedding and mixed mortar bedding showing a loss of compressive strength and rupture more fragile than the elements with full mortar bedding.

**Keywords:** Structural masonry, Mortar bedding type, Mini-wall, Prism, Rupture mode.

# SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES .....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 – Considerações iniciais.....	1
1.2 - Objetivos .....	3
1.2.1 – Objetivos Gerais .....	3
1.2.2 – Objetivos Específicos .....	3
1.3 - Justificativa.....	4
1.4 - Estrutura da Dissertação .....	5
<b>CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>7</b>
2.1 – Aspectos históricos da alvenaria .....	7
2.2 – Alvenaria estrutural no Brasil .....	12
2.3 – Alvenaria.....	15
2.3.1 – Componentes da alvenaria .....	15
2.3.1.1 - Unidades .....	15
2.3.1.2 – Argamassa de assentamento .....	19
2.3.2 – Prismas e Miniparedes .....	20
2.3.3 – Fatores que afetam a resistência à compressão da alvenaria .....	21
2.3.3.1 – Resistência da unidade .....	22
2.3.3.2 – Resistência da argamassa de assentamento .....	22
2.3.3.3 – Espessura das juntas de assentamento .....	23
2.3.4 – Modos de ruptura da alvenaria à compressão .....	24
2.3.5 – Equações empíricas para determinação da resistência à compressão da alvenaria .....	28
2.3.6 - Tipos de argamassamento dos blocos.....	30
<b>CAPÍTULO III – PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>34</b>
3.1 – Considerações iniciais.....	34
3.2 – Etapa preliminar .....	35

3.2.1 - Blocos .....	36
3.2.1.1 – Análise dimensional .....	36
3.2.1.2 – Propriedades físicas dos blocos .....	38
3.2.1.3 – Resistência à compressão dos blocos .....	40
3.2.2 – Argamassa de assentamento .....	42
3.2.2.1 – Caracterização dos materiais constituintes da argamassa .....	42
3.2.2.2 - Caracterização da mistura .....	42
3.3 – Etapa de confecção dos prismas e miniparedes .....	46
3.3.1 – Prismas .....	47
3.3.2 – Miniparedes .....	48
3.4 – Etapa de rompimento dos corpos de prova .....	52
3.4.1 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas .....	52
3.4.2 – Ensaio à compressão das miniparedes .....	54
<b>CAPÍTULO IV – RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
4.1 – Considerações iniciais .....	58
4.2 – Resultados da etapa preliminar .....	58
4.2.1 – Blocos .....	58
4.2.1.1 – Análise Dimensional .....	58
4.2.1.2 – Propriedades físicas dos blocos .....	59
4.2.1.3 – Resistência à compressão .....	60
4.2.2 – Argamassa de assentamento .....	61
4.2.2.1 – Caracterização da areia .....	61
4.2.2.2 – Caracterização da água .....	62
4.2.2.3 – Caracterização da mistura .....	63
4.3 – Resultados da etapa de rompimento dos corpos de prova .....	66
4.3.1 – Prismas .....	66
4.3.2 – Miniparedes .....	72
<b>CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>86</b>
5.1 – Conclusões .....	86
5.2 – Recomendações para trabalhos futuros .....	88
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>101</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Prédio de cunho popular em alvenaria estrutural de blocos de concreto. ....	2
<b>Figura 2</b> – Bloco do condomínio Parque Água Marinha em Campos dos Goytacazes/RJ, construído em alvenaria estrutural de blocos de concreto. ....	3
<b>Figura 3</b> - Pirâmides de Gizé – Egito. ....	8
<b>Figura 4</b> - Coliseu Romano – Itália. ....	8
<b>Figura 5</b> - Seção de catedral gótica de Amiens – Paris, França (LOURENÇO, 1999). ....	9
<b>Figura 6</b> - (a) Catedral de Wells - Inglaterra; (b) Catedral de Notre-Dame de Amiens, Paris - França. ...	9
<b>Figura 7</b> - Forno Hoffman (LOURENÇO, 1999). ....	10
<b>Figura 8</b> - Edifício Monadnock - Chicago, EUA. ....	11
<b>Figura 9</b> - Primeiros edifícios residenciais em alvenaria estrutural no Brasil, Conjunto Habitacional Parque da Lapa (RAMALHO e CORRÊA, 2003). ....	13
<b>Figura 10</b> - (a) Edifício residencial de luxo em alvenaria estrutural de bloco de concreto em Jundiaí/SP. (b) Edifício residencial de classe média/baixa em alvenaria estrutural de bloco cerâmico em Jundiaí/SP. ....	14
<b>Figura 11</b> - Bloco de concreto ....	16
<b>Figura 12</b> - Tipos de blocos de concreto (SAHARA, 2017). ....	17
<b>Figura 13</b> - (a) Prisma e (b) Miniparede de bloco estrutural de concreto (IZQUIERDO, 2011). ....	21
<b>Figura 14</b> - Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa segundo modelo de Hilsdorf (RAMALHO e CORRÊA, 2003). ....	25
<b>Figura 15</b> - Mecanismos de falhas em alvenaria: (a) tração direta das juntas; (b) tensão diagonal das juntas; (c) compressão devido à dilatação da argamassa; (d) tração direta das unidades; (e) deslizamento ao longo das juntas. (SUTCLIFFE <i>et al.</i> , 2001). ....	26
<b>Figura 16</b> - Modo de ruptura em prismas de concreto com argamassamento parcial (SHRIVE, 1982). ....	27
<b>Figura 17</b> - Modo de ruptura dos prismas com argamassamento total (ROMAGMA, 2000). ....	27
<b>Figura 18</b> – Argamassamento do bloco (a) parcial (b) total (PORTELLA, 2015). ....	30
<b>Figura 19</b> - Fluxograma do programa experimental. ....	35
<b>Figura 20</b> - Determinação do comprimento dos blocos. ....	36
<b>Figura 21</b> - Determinação das espessuras das paredes dos blocos. ....	37
<b>Figura 22</b> - Dimensões dos furos (a) direção transversal (b) direção longitudinal. ....	38
<b>Figura 23</b> - Determinação da massa dos blocos à temperatura ambiente. ....	40
<b>Figura 24</b> - Determinação da massa aparente por meio de balança hidrostática. ....	40
<b>Figura 25</b> - Capeamento com pasta de cimento. ....	41
<b>Figura 26</b> – Dispositivo para o ensaio de resistência à compressão dos blocos. ....	41
<b>Figura 27</b> - Execução do ensaio de retenção de água da argamassa de assentamento com funil de Büchner. ....	44
<b>Figura 28</b> - Ensaio para a determinação da resistência à tração na flexão da argamassa de assentamento. ....	45
<b>Figura 29</b> - Ensaio para a determinação da resistência à compressão da argamassa de assentamento. ....	45
<b>Figura 30</b> - Esquema dos prismas que foram moldados, sendo as dimensões em mm. ....	48
<b>Figura 31</b> - Execução dos prismas (a) construção de prisma com argamassamento total (b) construção de prisma com argamassamento parcial (c) prisma construído. ....	48
<b>Figura 32</b> - Esquema do perfil U utilizado na confecção das miniparedes, dimensões em mm. ....	49
<b>Figura 33</b> - Início do assentamento da miniparede sobre perfil U. ....	49

<b>Figura 34</b> - Modulação das miniparedes em amarração direta, dimensões em mm.....	50
<b>Figura 35</b> - Esquema das miniparedes que foram moldadas, sendo as dimensões em mm.....	50
<b>Figura 36</b> - Execução das miniparedes (a) construção de miniparede com argamassamento total (b) construção de miniparede com argamassamento parcial (c) detalhe da execução da junta vertical (d) miniparede construída. ....	51
<b>Figura 37</b> - Miniparedes armazenadas em local livre de intemperes à temperatura ambiente para o processo de cura. ....	52
<b>Figura 38</b> – Prisma posicionado para ensaio no atuador hidráulico controlado pelo sistema servohidraulico MTS® do LECIV/UENF.....	53
<b>Figura 39</b> - Instrumentação dos prismas (a) vista frontal do prisma instrumentado (b) vista traseira do prisma instrumentado (c) Esquema de posicionamento dos transdutores lineares no prisma, dimensões em mm.....	54
<b>Figura 40</b> - Esquema do sistema metálico elaborado para o transporte das miniparedes, dimensões em mm (a) vista frontal (b) vista lateral de fixação do vergalhão. ....	55
<b>Figura 41</b> - Transporte das paredes (a) sistema de transporte montado (b) transporte sendo realizado.....	55
<b>Figura 42</b> - Instrumentação das miniparedes (a) vista frontal da miniparede instrumentada (b) vista traseira da miniparede instrumentada (c) Esquema de posicionamento dos transdutores lineares na miniparede, dimensões em mm.....	57
<b>Figura 43</b> - Modo de ruptura dos blocos à compressão. ....	61
<b>Figura 44</b> - Resultado do ensaio de granulometria da areia.....	62
<b>Figura 45</b> - Comparação da porcentagem retida da areia utilizada com a NBR 7211 (2009). ....	62
<b>Figura 46</b> - Ensaio de consistência da argamassa de assentamento. ....	64
<b>Figura 47</b> - Resultados dos ensaios dos prismas com assentamento total (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal. ....	67
<b>Figura 48</b> - Resultados dos ensaios dos prismas com assentamento parcial (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal. ....	68
<b>Figura 49</b> - Comparação entre os resultados dos ensaios de prismas com diferentes padrões de assentamento (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal. ....	69
<b>Figura 50</b> - Modo de ruptura dos prismas com argamassamento parcial. ....	70
<b>Figura 51</b> - Modo de ruptura dos prismas com argamassamento total. ....	71
<b>Figura 52</b> - Primeiras fissuras nos diferentes padrões de assentamento (a) argamassamento total, predominância de fissuras verticais (b) argamassamento parcial, primeiras fissuras na lateral da parede (c) argamassamento misto, fissuras verticais e laterais. ....	74
<b>Figura 53</b> - Modo de ruptura das miniparedes com argamassamento total. ....	74
<b>Figura 54</b> - Rotação da pequena parede estrutural provocada pelo esmagamento do bloco ou da argamassa (MOHAMAD <i>et. al.</i> , 2011).....	75
<b>Figura 55</b> - Modo de ruptura das miniparedes com argamassamento parcial. ....	76
<b>Figura 56</b> - Modo de ruptura das miniparedes com argamassamento misto.....	77
<b>Figura 57</b> - Resultados das miniparedes com assentamento total (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal. ....	78

<b>Figura 58</b> - Resultados dos ensaios das miniparedes com assentamento parcial (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal.....	79
<b>Figura 59</b> - Resultados dos ensaios das miniparedes com assentamento misto (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal.....	80
<b>Figura 60</b> - Comparação entre os resultados dos ensaios de miniparedes com diferentes padrões de assentamento (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento horizontal e (c) em relação ao deslocamento lateral.....	81
<b>Figura 61</b> - Comparação entre os resultados dos deslocamentos verticais dos ensaios de miniparedes utilizando a instrumentação e o deslocamento do atuador (a) no argamassamento total (b) no argamassamento parcial (c) no argamassamento misto.....	83

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Dimensões nominais dos blocos de concreto (adaptada da NBR 6136, 2016). .....	18
<b>Tabela 2</b> - Designação por classes, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos (adaptada da NBR 6136, 2016).....	37
<b>Tabela 3</b> - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração (adaptada da NBR 6136, 2016).....	39
<b>Tabela 4</b> - Ensaio realizado no estado fresco e suas respectivas normas técnicas. ....	43
<b>Tabela 5</b> - Ensaio realizado no estado endurecido e suas respectivas normas técnicas. ....	45
<b>Tabela 6</b> - Total de miniparedes e prismas que foram ensaiados. ....	47
<b>Tabela 7</b> - Dimensões médias dos blocos de concreto usados para confecção das alvenarias. ....	59
<b>Tabela 8</b> - Propriedades físicas dos blocos de concreto usados para a confecção das alvenarias, em média. ....	59
<b>Tabela 9</b> - Resultados da resistência à compressão dos blocos de concreto.....	60
<b>Tabela 10</b> - Resultados da análise físico-química da água. ....	63
<b>Tabela 11</b> - Proporções em massa dos materiais constituintes da argamassa de assentamento. ....	64
<b>Tabela 12</b> - Características da argamassa de assentamento. ....	65
<b>Tabela 13</b> - Resultados da resistência à compressão dos prismas. ....	66
<b>Tabela 14</b> – Resultados da resistência à compressão das miniparedes. ....	72
<b>Tabela 15</b> - Deformabilidade dos padrões de assentamento. ....	84
<b>Tabela 16</b> - Resistência à compressão da argamassa de assentamento. ....	101
<b>Tabela 17</b> - Resistência à tração na flexão da argamassa de assentamento. ....	101
<b>Tabela 18</b> - Análise dimensional do bloco inteiro (14cmX19cmX39cm).....	102
<b>Tabela 19</b> - Análise dimensional do meio bloco (14cmX19cmX19cm). ....	105
<b>Tabela 20</b> – Propriedades físicas do bloco inteiro (14cmX19cmX39cm). ....	108
<b>Tabela 21</b> - Propriedades físicas do meio bloco (14cmX19cmX19cm). ....	108
<b>Tabela 22</b> - Resistência à compressão do bloco inteiro (14cmX19cmX39cm).....	109
<b>Tabela 23</b> - Resistência à compressão do meio bloco (14cmX19cmX19cm). ....	110
<b>Tabela 24</b> – Resultados individuais da resistência à compressão dos prismas.....	111
<b>Tabela 25</b> - Resultados individuais da resistência à compressão das miniparedes. ....	111

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

### • Letras romanas maiúsculas

CH	-	Cal hidratada;
CP	-	Cimento Portland;
CV	-	Coeficiente de variação;
$D_{\text{furo}}$	-	Diâmetro do furo;
$E_a$	-	Módulo de elasticidade da argamassa;
$E_b$	-	Módulo de elasticidade do bloco;
$E_{PP}$	-	Módulo de elasticidade da pequena parede;
L	-	Comprimento nominal;
M	-	Argamassamento misto;
P	-	Argamassamento parcial;
Sd	-	Desvio-padrão;
T	-	Argamassamento total;

### • Letras romanas minúsculas

a.C	-	Antes de Cristo;
d.C.	-	Depois de Cristo;
$f_a$	-	Resistência à compressão da argamassa;
$f_{ak}$	-	Resistência característica à compressão da argamassa;
$f_{amk}$	-	Resistência média característica à compressão da argamassa;
$f_b$	-	Resistência à compressão individual do bloco;
$f_{bk}$	-	Resistência característica à compressão do bloco;
$f_{bk, \text{est}}$	-	Resistência característica à compressão do bloco estimada;
$f_{bt}$	-	Resistência à tração do bloco;
$f_{ck}$	-	Resistência característica à compressão do concreto/argamassa;
$f_m$	-	Resistência à compressão da alvenaria;
$f_p$	-	Resistência à compressão de prismas;
$f_{ppk}$	-	Resistência característica à compressão da pequena parede;
$f_{pm}$	-	Resistência característica à compressão dos prismas;
$f_{par}$	-	Resistência da parede;
$k_1$	-	Coeficiente que considera a não uniformidade de distribuição de tensões laterais.

### • Letras gregas

$\varepsilon_{PH}$	-	Deformação horizontal no ponto P;
$\varepsilon_{PL}$	-	Deformação lateral no ponto P;
$\varepsilon_{PV}$	-	Deformação vertical no ponto P;
$\nu_H$	-	Coeficiente de Poisson na direção horizontal;
$\nu_L$	-	Coeficiente de Poisson na direção lateral;
$\eta$	-	Eficiência;
$\sigma$	-	Tensão;
$\sigma_P$	-	Tensão no ponto P;
$\sigma_y$	-	Resistência à compressão do bloco.



- **Siglas**

ABCP	-	Associação Brasileira de Cimento Portland;
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ACI	-	<i>American Concrete Institute</i> ;
ANICER	-	Associação Nacional da Indústria Cerâmica;
ASTM	-	<i>American Society for Testing and Materials</i> ;
BSI	-	<i>British Standard Institute</i> ;
CEI	-	Centro de Estatística e Informações;
FIBRA	-	Federação das Indústrias do Distrito Federal;
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IPT	-	Instituto de Pesquisa Tecnológica;
LECIV	-	Laboratório de Engenharia Civil;
NBR	-	Norma Brasileira Regulamentadora;
NM	-	<i>Norma Mercosur</i> ;
ONU	-	Organização das Nações Unidas;
PIB	-	Produto Interno Bruto;
UENF	-	Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro;
USP	-	Universidade de São Paulo.

- **Unidades**

°C	-	Graus Celsius;
cm	-	Centímetro;
g	-	Gramas;
h	-	Hora;
k	-	Quilo;
M	-	Mega;
m	-	Metro;
min	-	Minuto;
mm	-	Milímetro;
N	-	Newton;
Pa	-	Pascal;
s	-	Segundo;
Ton	-	Tonelada;

## **CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO**

### **1.1 – Considerações iniciais**

Ao longo das últimas décadas, o Brasil passou por diversos processos de desenvolvimento, tanto de cunho econômico quanto social. Apesar do êxito alcançado nos últimos anos, o déficit habitacional segue como um dos principais problemas do Brasil. Este é causado pelo grande fluxo migratório em direção aos grandes centros sem devido planejamento. Sendo, por isso, um dos pontos que atualmente gera maior demanda de estudos visando sua minimização.

Segundo a ONU-Habitat (2010), 800 milhões de pessoas vivem em comunidades carentes em todo mundo. De acordo com o Centro de Estatística e Informações (CEI, 2014), este número é calculado com base em quatro itens: domicílios precários, coabitação familiar, ônus excessivo com aluguel urbano e adensamento excessivo de domicílios alugados. No Brasil, o número aumenta a cada ano e é estimado em 11,4 milhões de pessoas (IBGE, 2010).

A fim de sanar a carência no setor de habitação, o governo federal lançou, há alguns anos, diversos programas que facilitam a compra de moradias populares. Isso impulsionou o mercado, tornando a construção civil o setor que representa em torno de 6,2% do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro segundo a Federação das Indústrias do Distrito Federal (FIBRA, 2017). As construções mais usuais atualmente são as de alvenaria estrutural com blocos de concreto e cerâmico, paredes de concreto e concreto armado. Apesar da desaceleração da indústria da construção civil em 2016, esta primeira concepção estrutural se encontra bem difundida no país, sendo um dos maiores sistemas construtivos adotados para fins residenciais e comerciais.



**Figura 1** – Prédio de cunho popular em alvenaria estrutural de blocos de concreto.

A construção em alvenaria estrutural difere do concreto armado, basicamente, ao utilizar a parede de alvenaria como estrutura e não apenas como vedação.

O processo de construção em alvenaria estrutural é feito por meio da superposição de blocos, unidos por junta de argamassa. As unidades são moduladas de maneira que as paredes sejam amarradas umas às outras, sem a necessidade de quebra de blocos para adaptação. Além de ser um método racional de utilização dos materiais, é de mais rápida execução, devido principalmente, à inexistência de vigas e pilares.

As vantagens deste método construtivo são a economia de fôrmas, redução nos revestimentos, redução nos desperdícios de materiais e mãos-de-obra, redução do número de especialidades e flexibilidade na execução. Por outro lado, a dificuldade de adaptar a arquitetura em futuras reformas, a interferência entre projetos, e a necessidade de mão-de-obra qualificada, são dadas como desvantagem do sistema (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

A região de Campos dos Goytacazes no Norte do estado do Rio de Janeiro se destaca há muitos anos pelo uso de alvenaria de vedação, já que na região encontra-se um grande polo cerâmico. Entretanto, a partir dos anos 2000, a alvenaria estrutural com blocos de concreto vem ganhando força na região, existindo, hoje, uma grande quantidade de prédios construídos com esse sistema estrutural.



**Figura 2** – Bloco do condomínio Parque Água Marinha em Campos dos Goytacazes/RJ, construído em alvenaria estrutural de blocos de concreto.

Com base nos aspectos supracitados e em busca de contribuir para o avanço do sistema, será apresentado nesse trabalho, um estudo sobre a influência dos tipos de argamassamento em alvenaria estrutural de blocos de concreto utilizando materiais provenientes da região.

## **1.2 - Objetivos**

### **1.2.1 – Objetivos Gerais**

Neste estudo, pretende-se verificar a influência do tipo de assentamento, total ou em cordão lateral, na resistência à compressão das paredes de alvenaria estrutural. Conforme observado em certas obras, também será verificado o efeito do argamassamento misto, alternando o tipo de assentamento em algumas fiadas de uma mesma parede.

### **1.2.2 – Objetivos Específicos**

- Verificar as características das componentes da alvenaria (unidade e argamassa de assentamento) conforme prescrições normativas, discutindo criticamente os valores esperados da faixa de resistência da argamassa e dos blocos;
- Verificar as características mecânicas dos prismas construídos com argamassamento total e parcial, avaliando o modo de ruptura, a possibilidade

de efeito de escala e discutindo os resultados esperados de acordo com a revisão bibliográfica;

- Verificar as características mecânicas das miniparedes confeccionadas com argamassamento total, parcial e misto, observando a faixa de resistência, o modo de ruptura, a eficiência e a deformabilidade, comparando-as;

### **1.3 - Justificativa**

O acelerado crescimento populacional resultou no aumento da necessidade de moradias. Entretanto, mesmo com os diversos investimentos públicos e privados para a construção de habitações populares, estes não foram suficientes para extinguir o déficit habitacional brasileiro. Para a produção em larga escala de novas moradias é importante considerar fatores como agilidade, custo e segurança do sistema construtivo. Neste contexto, a alvenaria estrutural supre as maiores necessidades e expectativas.

Ao realizar um projeto nesse sistema, o projetista estima a resistência do bloco e conseqüentemente da parede para suportar as cargas da estrutura. Nesse aspecto, os projetistas utilizam um conhecimento generalista sobre os materiais. Entretanto, o Brasil é um país com grandes dimensões onde um material produzido em um local difere do outro. Por isso, Ramalho e Côrrea (2003) destacam a necessidade da padronização dos componentes para tornar o número de ensaios necessários para a estimativa razoável, salientando a importância do conhecimento das características físicas e mecânicas dos materiais componentes. Santos (2008) concluiu que diferentes comportamentos são observados na estrutura quando submetida à compressão, o que é resultado do tipo de bloco utilizado na composição das paredes, pois cada tipo dispõe de diferentes formas, dimensões e material utilizado. Assim a escolha do tipo de bloco é de suma importância para a alvenaria estrutural, o que justifica a necessidade de uma padronização dos blocos.

No processo de construção da alvenaria, o tipo de argamassamento pode ser determinante na produção e no rendimento da obra. O argamassamento parcial nas juntas horizontais tem se tornado uma opção muito utilizada, pois promove uma maior rapidez na execução. Por isso, os efeitos do tipo de argamassamento na distribuição de tensões, fissuração e ruptura de paredes estruturais é objeto de estudo de pesquisadores há alguns anos. Apesar do empenho dos pesquisadores

para alavancar as pesquisas científicas na área, ainda é perceptível o empirismo em alguns canteiros de obras de alvenaria estrutural. Sobre a forma de assentamento dos blocos é comum que uma mesma parede seja assentada por diferentes profissionais, e que esses utilizem diferentes formas de assentamento, resultando em paredes inteiras com padrões de argamassamento distintos, onde as fiadas alternam esses padrões que se denomina argamassamento misto. Tais paredes, assim construídas, possuem suas resistências e comportamento estrutural desconhecidos. Assim, este estudo visa quantificar, no nível de capacidade de carga dos elementos estruturais submetidos à compressão, o efeito do uso de argamassamento total, parcial e misto no comportamento estrutural de miniparedes de alvenaria estrutural de blocos de concreto.

Camacho (2015) afirma que muitos problemas relevantes à alvenaria permanecem sem resposta e requerem mais experiências de investigação. Muitos pesquisadores empenham suas energias a fim de encontrar meios de prever corretamente a resistência das alvenarias utilizando equações empíricas ou ensaios experimentais de prismas e paredes, entretanto o alto grau de dispersão nos resultados dificulta o entendimento geral desse sistema construtivo. Esse fenômeno se deve ao grande número de fatores que interferem no comportamento estrutural da alvenaria, entre eles qualidade de acabamento, qualidade de mão-de-obra, condições ambientais durante a produção, condições de cura, espessura da junta, e propriedades física e mecânica dos materiais.

Além disso, se verifica a necessidade de pesquisas que avaliem os efeitos das resistências dos materiais constituintes da alvenaria estrutural, considerando principalmente seu modo de ruptura, segundo Mohamad *et al.* (2017). Isso justifica as pesquisas, a fim de adicionar e analisar a uniformidade dos dados.

#### **1.4 - Estrutura da Dissertação**

Após este capítulo que aborda a introdução ao tema, objetivos (gerais e específicos) e justificativa, o texto organiza-se na seguinte maneira:

No Capítulo II foi realizada uma revisão bibliográfica dos principais temas relacionados, apresentando os principais conceitos e os trabalhos científicos de significativa importância, mostrando o atual estado da arte dos temas abordados neste texto;

No Capítulo III, expõe-se o programa experimental empregado para a execução das miniparedes e dos prismas, bem como as caracterizações dos blocos e da argamassa de assentamento. São apresentadas as normas técnicas utilizadas, ensaios e equipamentos empregados em todo procedimento.

O Capítulo IV apresenta os resultados experimentais da pesquisa, sendo divididos nos subitens de acordo com seu agrupamento, todos os resultados são precedidos das respectivas discussões.

Já o Capítulo V mostra as principais conclusões encontradas e indicando os pontos positivos e negativos visualizados durante a execução deste trabalho, além de sugerir propostas de continuidade de desenvolvimento do tema proposto.

Por último, apresenta-se as referências bibliográficas e os anexos com os resultados individuais obtidos.

## CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Aspectos históricos da alvenaria

A alvenaria é o sistema de construção mais antigo utilizado pelo homem, e mesmo após séculos, ainda é utilizado como sistema construtivo. A palavra alvenaria tem origem no árabe *al-banná* e significa trabalho feito pelo pedreiro ou trabalho feito por aquele que constrói (SILVA, 2011). Sintetizando esse conceito, a alvenaria é um elemento construtivo resultante da superposição de pedras, tijolos ou outros materiais, naturais ou artificiais, ligados de forma estável por juntas de argamassa, em fiadas horizontais que sobrepõem umas as outras, podendo haver ou não armadura envolta por concreto.

As primeiras construções em alvenaria são datadas de 9000-8000 a.C., próximas ao lago Hulen, em Israel, onde casas em alvenaria de pedra não argamassada em formato circular de 3 a 9 metros de diâmetro, semienterradas com profundidade de 70 centímetros, foram encontradas (MUSGROVE e FLETCHER, 1989).

Em 7700-7600 a.C, a estrutura circular é mudada para uma estrutura retangular, possibilitando ampliações no espaço interno. Neste período ainda, devido à falta de afloramentos rochosos e/ou grande demanda de matéria-prima argilosa, as habitações começam a serem fabricadas em tijolos de barro secos ao sol. São exemplos deste tipo de construção, as encontradas na região da Mesopotâmia e em Jericó, Palestina.

A civilização egípcia, conhecida pela construção de grandes monumentos, em 2800-2000 a.C. construíram suas pirâmides, que servem de tumba para os faraós, e diversos templos em alvenaria de pedra. A pirâmide de Quéops, mais famosa das três pirâmides de Gizé, foi construída em 2550 a.C. usando cerca de 4 milhões de blocos de pedra, alcançando 174 metros de altura e sendo durante mais de quatro mil anos a construção mais alta do mundo, perdendo seu posto em 1889 com a inauguração da Torre Eiffel em Paris, França.





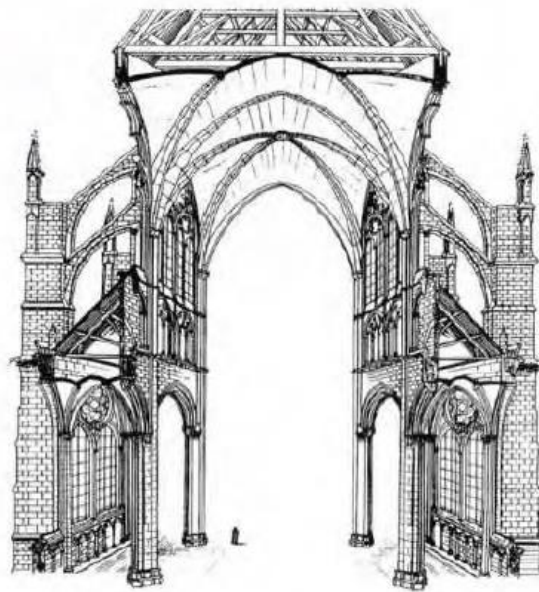
**Figura 3** - Pirâmides de Gizé – Egito.

Durante o Império Romano, mais especificamente entre 0-1200 d.C., ocorreu a generalização da produção de tijolos de barro secos ao sol, assentes sobre juntas de barro, devido a variedade e facilidade de matéria-prima na região, e a dificuldade de trabalhar com as pedras de grandes dimensões. Os Romanos construíram inúmeras obras de alvenaria de pedra e de tijolos de barro, como palácios, igrejas, pontes, aquedutos, e nesse processo surge uma nova forma de execução de vãos, o elemento arco, justamente pela facilidade de trabalho adquirida com os elementos de menores dimensões, os tijolos. Segundo Ramalho e Côrrea (2003), os vãos feitos por arcos são obtidos arranjando convenientemente as unidades de alvenaria, garantindo o fundamento elementar da alvenaria estrutural que é a não existência de valores significativos de tensões de tração. Um dos monumentos mais conhecidos da Roma antiga é o Coliseu, construído entre 70-90 d.C. com aproximadamente 50 metros de altura, todo em alvenaria de pedra e possuindo os arcos, em todo o perímetro, como característica arquitetônica marcante.



**Figura 4** - Coliseu Romano – Itália.

Através da arte de talhar pedra nos anos 1150-1600 d.C., surgem as mais belas construções em alvenaria, as grandes catedrais de arquitetura gótica. A estrutura consiste em um esqueleto de colunas, contrafortes, paredes, arcos e abóbodas. Na Figura 5 tem-se a seção da catedral gótica de Amiens em Paris, França, datada de 1220-1288 d.C., onde são evidenciados os elementos estruturais típicos da arquitetura gótica. Exemplos clássicos de catedrais góticas são a Catedral de Wells - Inglaterra com data de 1175-1490 d.C. (Figura 6a) e a Catedral de Notre-Dame de Amiens, Paris - França construída em 1163-1345 d.C. (Figura 6b).



**Figura 5** - Seção de catedral gótica de Amiens – Paris, França (LOURENÇO, 1999).



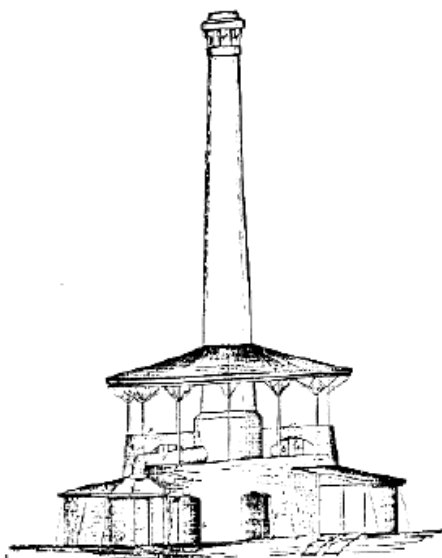
(a)



(b)

**Figura 6** - (a) Catedral de Wells - Inglaterra; (b) Catedral de Notre-Dame de Amiens, Paris - França.

No norte da Europa as construções eram dominadas pelo uso do tijolo, pois a região apresentava escassez de pedra. Conforme aumentava o número de construções, maior era a demanda pelo tijolo que até esse período era produzido manualmente. Com a Revolução Industrial desenvolveu-se a mecanização da produção, permitindo o desenvolvimento de novas técnicas e novos materiais. A grande transformação da indústria cerâmica de tijolos ocorre na Alemanha, em 1858, quando se cria o forno Hoffman. Este possibilitou que a queima fosse realizada de forma contínua e concomitante.



**Figura 7** - Forno Hoffman (LOURENÇO, 1999).

Camacho (1995) alerta ao fato que essas obras eram construídas de forma empírica, por conhecimentos adquiridos entre as gerações num processo de tentativa e erro. Mesmo assim, obras de grande porte foram erguidas possuindo a alvenaria como elemento de sustentação, muitas delas sobreviventes de grandes eventos sísmicos durante os anos, o que evidencia a resistência da alvenaria.

A dificuldade dos projetistas devido à falta de conhecimento técnico é vista com o caso do Edifício Monadnock (Figura 8), em Chicago, construído entre 1889-1893 em alvenaria não armada de tijolos cerâmicos, com 16 pavimentos e aproximadamente 60 metros de altura. As paredes estruturais localizadas na base possuem espessura de aproximadamente 1,80 metros, sendo que se fosse dimensionado pelos procedimentos utilizados atualmente, a espessura seria inferior a 30 centímetros (RAMALHO e CORRÊA, 2003).



**Figura 8** - Edifício Monadnock - Chicago, EUA.

Ainda no século XIX, as vigas e pilares de ferro fundido e posteriormente o advento do aço, do concreto armado e concreto protendido possibilitaram a construção de estruturas esbeltas e de grande altura com peças de pequena dimensão. Isso levou a alvenaria ao declínio, tornando-se esta apenas um elemento de vedação, já que os outros sistemas construtivos possuíam embasamento científico e normas técnicas.

O sistema construtivo utilizando alvenaria ficou esquecido por anos, até o final da Segunda Guerra Mundial, quando ocorreu carência de aço e insumos amplamente utilizados na construção civil, prejudicando, assim, a utilização do concreto armado. É nessa ocasião que a alvenaria toma status de um verdadeiro sistema de engenharia, e passa a receber investimentos para pesquisas científicas, criando-se teorias científicas de utilização e sai da zona de empirismo.

Segundo Camacho (2006), a primeira norma técnica para cálculo de alvenaria de tijolos foi publicada em 1948 na Inglaterra. Na década de 50, o engenheiro suíço Paul Haller realizou testes em mais de 1600 paredes, iniciando a alvenaria estrutural moderna. Ainda nesse período, com os dados coletados, Paul Haller projetou e construiu um edifício de 13 pavimentos em alvenaria não armada com paredes internas de 15 cm e paredes externas de 37,5 cm.

Nas duas décadas seguintes, mais avanços foram realizados. Em 1966, foi editado o primeiro código americano de Alvenaria Estrutural (Recommended Building

Code Requirements for Engineered Brick Masonry). Já em 1978, uma nova norma inglesa (BS-5628) que trabalha com método semiprobabilístico é editada e o critério das tensões admissíveis é abandonado, passando a utilizar o critério de dimensionamento no estado limite último.

Ao contrário da alvenaria tradicional que é projetada e construída empiricamente, a alvenaria estrutural é definida como um sistema construtivo racionalizado, onde as alvenarias possuem função estrutural e de vedação simultaneamente. O principal conceito estrutural ligado à sua utilização é a transmissão de ações através de tensões de compressão.

## **2.2 – Alvenaria estrutural no Brasil**

A alvenaria estrutural no Brasil começou na década de 1960, quando a Construtora Camargo Corrêa importa a *Besser machine* dos Estados Unidos da América para a fabricação de blocos de concreto, a fim de construir casas para os trabalhadores da obra da hidrelétrica de Ilha Solteira/SP (PARSEKIAN, 2014). Em 1966 foi construído o primeiro prédio de alvenaria estrutural com quatro pavimentos em blocos vazados de concreto no Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa, em São Paulo (Figura 9a). Em 1972, nesse mesmo conjunto habitacional foram construídos quatro blocos de 12 pavimentos em alvenaria estrutural armada de blocos de concreto (Figura 9b) (RAMALHO e CORRÊA, 2003). Esses edifícios foram projetados pelo Engenheiro José Luís Pereira, com a ajuda de consultores americanos e seguindo a norma técnica americana vigente a época. (PARSEKIAN, 2014).



(a)

(b)

**Figura 9** - Primeiros edifícios residenciais em alvenaria estrutural no Brasil, Conjunto Habitacional Parque da Lapa (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

O sistema gradualmente entrou em uso nos edifícios construídos em outros lugares do Brasil. Acompanhando a demanda, foram realizados no Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT os primeiros testes de compressão de paredes, também nos anos 70.

No final da década de 1980, uma parceria entre a Universidade de São Paulo – USP e várias empresas iniciou o maior programa de estudo do potencial da alvenaria estrutural. Através desses estudos foi possível avaliar o comportamento da alvenaria confeccionada com materiais locais, determinar as melhores técnicas de projeto e construção, e em decorrência disso, novos componentes foram produzidos, como novos formatos e tamanhos de blocos, equipamentos e ferramentas foram desenvolvidos, a produtividade da mão-de-obra foi analisada e um comparativo de custos entre sistemas construtivos foi realizado. É a partir deste período que as normas técnicas brasileiras para alvenaria estrutural são criadas.

No início dos anos 1990, as primeiras construtoras a adotar o sistema ficaram satisfeitas com o resultado atingindo, já que a alvenaria estrutural foi ganhando a credibilidade do público com a criação da normalização técnica, e por consequência se expandiu naquela década. Várias empresas de projetos de engenharia e arquitetura foram fundadas, com experiência em alvenaria estrutural.

A partir de 2000, a indústria de construção do Brasil acelerou. A alvenaria estrutural tornou-se, de longe, o sistema de construção mais amplamente escolhido para construir milhares de unidades residenciais na última década. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, o país possui 95 unidades de produção de blocos certificadas por eles, que em conjunto fabricam 90 milhões de blocos por mês. De acordo com a Associação Nacional da Indústria Cerâmica - ANICER, em 2008, 4.346 empresas produziram 4 bilhões de componentes de blocos por mês (PARSEKIAN, 2014).

Hoje, a alvenaria estrutural é considerada um sistema construtivo comum no Brasil. Apesar do estigma, ainda existente, de que a alvenaria estrutural só serviria para o público de classes média e baixa, muitos projetistas já adotam o sistema para edifícios residenciais de luxo e até comerciais (Figura 10). As pesquisas científicas brasileiras estão direcionadas à obtenção do melhor desempenho da parede, estruturalmente e funcionalmente, auxiliando no desenvolvimento do sistema na construção civil.



(a)



(b)

**Figura 10** - (a) Edifício residencial de luxo em alvenaria estrutural de bloco de concreto em Jundiaí/SP. (b) Edifício residencial de classe média/baixa em alvenaria estrutural de bloco cerâmico em Jundiaí/SP.

## **2.3 – Alvenaria**

A alvenaria é um material compósito e complexo no qual blocos sólidos ou vazados, argamassa e, em muitos casos, argamassa e reforço são combinados. Na combinação mais simples, a alvenaria é formada por blocos unidos por argamassa. Prever a capacidade da alvenaria tem sido objeto de estudo dos pesquisadores há várias décadas.

### **2.3.1 – Componentes da alvenaria**

Para Ramalho e Corrêa (2003), um componente da alvenaria é uma entidade básica, que compõe os elementos que, por sua vez, compõem a estrutura. Os principais componentes da alvenaria são: blocos ou unidades, argamassa, graute e armadura. Por outro lado, os elementos são uma parte suficientemente elaborada da estrutura, que são formados por no mínimo dois componentes citados anteriormente. Os principais elementos da alvenaria estrutural são: paredes, pilares, cintas, vergas e contravergas. Através da composição desses elementos que se têm a estrutura da edificação projetada em sistema de alvenaria estrutural.

Esclarecidos esses conceitos, a seguir serão explicados os dois componentes mais importantes da alvenaria estrutural e essenciais a este trabalho: a unidade e a argamassa.

#### **2.3.1.1 - Unidades**

As unidades são as principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura.

Quanto ao material componente, as unidades mais utilizadas no Brasil para edificações de alvenaria estrutural são, em ordem decrescente de utilização: unidades de concreto, unidades cerâmicas e unidades sílico-calcáreas. Quanto à forma as unidades podem ser maciças ou vazadas, sendo denominados tijolos ou blocos, respectivamente. Já quanto à aplicação, as unidades podem ser classificadas de vedação e estruturais (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

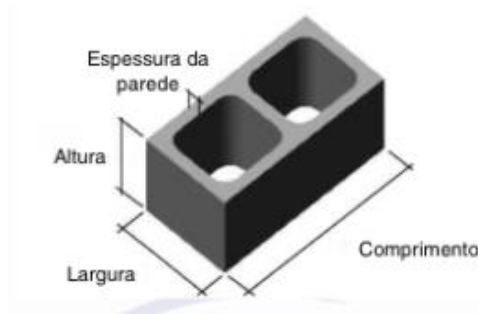
Neste trabalho a unidade utilizada será o bloco estrutural vazado de concreto, sendo descritas no subitem a seguir suas características.



### 2.3.1.1.1 - Bloco estrutural vazado de concreto

Os primeiros blocos de concreto surgem por volta de 1850 na Europa, eram unidades maciças e pesadas, o que dificultava e tardava o assentamento. Por volta de 1890 nos EUA surge o bloco vazado, mais leve, permitindo maior produtividade. No Brasil, o bloco vazado de concreto é bastante utilizado, pois permite a colocação de armaduras verticais e possui dimensões variadas, facilitando a modulação dos espaços (FREITAS, 2008).

Segundo a NBR 6136 (2016), o bloco vazado de concreto simples é o componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta (Figura 11).



**Figura 11** - Bloco de concreto

Medeiros e Sabbatini (1993) definem o bloco como unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo, conformada através de vibração e prensagem.

A NBR 6136 (2016) classifica os blocos quanto ao uso conforme as classes descritas a seguir:

1. Classe A – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
2. Classe B – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
3. Classe C - com ou sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo. Recomenda-se o uso de blocos com função estrutural classe C, com largura de 90 mm para edificações de, no máximo, um pavimento. Os blocos com função estrutural classe C, com largura de 115 mm, para edificações de, no máximo, dois

pavimentos, e os blocos com função estrutural classe C, com largura de 140 mm e 190 mm, para edificações até cinco pavimentos. Os blocos de 65 mm têm seu uso restrito para alvenarias sem função estrutural.

Os blocos de concreto são encontrados em diversas formas, específicas para cada função (Figura 12), com resistências à compressão variáveis. As dimensões nominais de cada tipo e família de bloco são apresentadas na Tabela 1, em conformidade com a NBR 6136 (2016).



**Figura 12** - Tipos de blocos de concreto (SAHARA, 2017).

**Tabela 1** - Dimensões nominais dos blocos de concreto (adaptada da NBR 6136, 2016).

Familia		20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40	
Medida Nominal (mm)	Largura	190	140		115			90		65	
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-
	<p>Nota 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de <math>\pm 2,0</math> mm para a largura e <math>\pm 3,0</math> mm para a altura e para o comprimento.</p> <p>Nota 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873.</p> <p>Nota 3 As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.</p>										

Com relação ao aspecto visual, os blocos devem ter arestas vivas, não devem apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e a durabilidade da construção, não sendo permitido qualquer reparo que oculte defeitos existentes no bloco.

- **Propriedades físicas**

As principais propriedades físicas dos blocos de concreto são: absorção de água e umidade relativa.

A capacidade de absorção de água do bloco de concreto é usada como indicador de impermeabilidade que além de ser uma propriedade importante com relação à durabilidade do bloco, influi no desempenho dos outros componentes: se o bloco absorver água da argamassa, haverá perda de aderência desta e se absorver água do graute poderá causar retração do mesmo.

Já a umidade provoca o mesmo efeito em blocos de concreto que o visto em concreto convencional. Nos dois casos ocorre o mesmo comportamento, quando é absorvida umidade, o concreto expande-se, no contrário, quando perde umidade, o concreto retrai-se. Essa movimentação do bloco, uma vez inserido na parede, pode provocar fissuras e diminuição da durabilidade.

- **Propriedades mecânicas**

A propriedade mecânica mais importante dos blocos é a resistência à compressão do bloco, pois tem grande influência na resistência à compressão da alvenaria. As paredes de alvenaria são concebidas para resistirem principalmente a esforços de compressão. Desta forma, a resistência à compressão do bloco é o principal parâmetro de dimensionamento da alvenaria e, por isso, esta propriedade é a principal variável do controle de qualidade dos blocos. Além disso, várias outras propriedades, como a durabilidade, estão intimamente ligadas a ela (CALÇADA, 1998).

Para Medeiros e Sabbatini (1993) os fatores que influenciam na resistência à compressão dos blocos de concreto são os materiais utilizados na confecção, sua proporção e a eficiência de sua moldagem.

Para determinar a resistência à compressão de blocos vazados de concreto os procedimentos estão descritos na NBR 12118 (2013).

É importante ressaltar a importância da característica mecânica dos blocos estruturais. Roman (1991) afirma que com ensaios de compressão realizados em unidades encontra-se a resistência mecânica do bloco, e os resultados obtidos auxiliam no controle de qualidade de produção, pesquisa, e em projetos estruturais. Sendo o bloco, a componente que representa em torno de 90% das paredes e prismas, procura-se correlações com a resistência da parede.

### **2.3.1.2 – Argamassa de assentamento**

A NBR 13281 (2005) define argamassa de assentamento para alvenaria estrutural como a argamassa indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural. É composta de cimento, agregado miúdo, água e cal ou outra adição cuja dosagem confere à mistura plasticidade e/ou retenção de água de hidratação necessária. Embora possuam os mesmos elementos constituintes, as argamassas têm aplicações e funções distintas do concreto. Enquanto a argamassa serve para juntar as unidades de alvenaria formando um conjunto monolítico com função estrutural, o concreto endurecido já é um material estrutural.

Como funções principais as argamassas de assentamento devem: unir solidamente as unidades de alvenaria, distribuir uniformemente as cargas atuantes

por toda área resistente dos blocos, absorver as deformações naturais na qual a alvenaria esteja submetida e selar as juntas contra a penetração de ar e água.

Nas construções tradicionais de alvenaria que utilizam unidades assentadas com argamassa, esta cumpre as funções de corrigir as irregularidades das unidades, de forma que as fiadas fiquem uniformes, aprumadas e niveladas e, sobretudo, de unir as unidades com relativa estabilidade, propiciando um conjunto durável, impermeável e com alguma resistência à tração (GALLEGOS, 2005).

As propriedades exigidas para as argamassas também diferem em relação ao concreto. Do concreto exige-se resistência a esforços mecânicos, sobretudo a resistência à compressão, enquanto, das argamassas exigem-se características de trabalhabilidade, retenção de água, coesão no estado plástico, aderência, e resistência à compressão, principalmente para alvenaria estrutural. De acordo com Sabbatini (1986), a argamassa deve ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo.

A NBR 15961-2 (2011) exige que, de modo geral, as juntas verticais e horizontais sejam de 1,0 cm, confirmado por pesquisas já desenvolvidas, pois a espessura da junta interfere nas propriedades da parede.

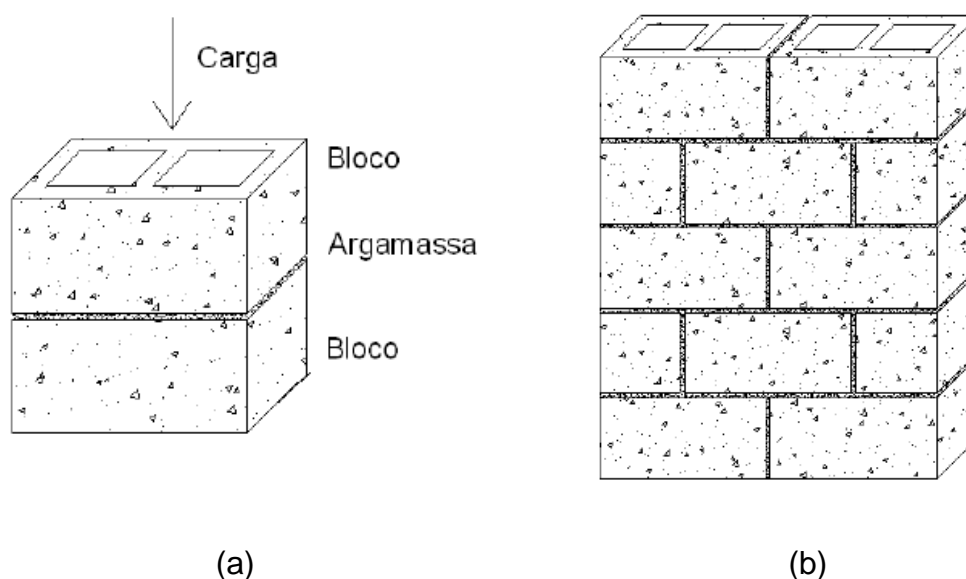
Segundo a NBR 15961-1 (2011), deve ser atendido um valor máximo limitado a  $0,7 f_{bk}$ , referido a área líquida, para a resistência à compressão das argamassas de assentamento das alvenarias estruturais.

### **2.3.2 – Prismas e Miniparedes**

Segundo Franco (1988), a propriedade que melhor define o desempenho estrutural das paredes de alvenaria é a resistência à compressão uniaxial. Por isso, pode-se dizer que a resistência à compressão é o parâmetro básico para o projeto estrutural desse sistema. Dois métodos são utilizados para avaliar essa resistência. No primeiro caso, a estimativa é feita através de equações empíricas ou empírico-analíticas que correlacionam a resistência à compressão da alvenaria com as resistências à compressão dos componentes. No segundo caso, a resistência é determinada através da extrapolação de resultados de ensaios experimentais de compressão axial em prismas ou miniparedes confeccionados com os mesmos componentes usados na obra (MOHAMAD *et al.*, 2017).

Prismas são elementos obtidos pela superposição de um certo número de blocos, normalmente dois ou três, unidos por junta de argamassa e destinados ao ensaio de compressão axial (Figura 13a) (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Miniparede é um conjunto de unidades de alvenaria ligadas por argamassa. Os blocos são dispostos alternadamente, utilizando-se também meio-bloco. Tal disposição é denominada junta amarrada (Figura 13b) (IZQUIERDO, 2011).



**Figura 13** - (a) Prisma e (b) Miniparede de bloco estrutural de concreto (IZQUIERDO, 2011).

A NBR 16522 (2016) regulamenta os métodos de ensaios de prismas e miniparedes de blocos estruturais de concreto, e será utilizada para a realização dos ensaios dessa pesquisa.

### **2.3.3 – Fatores que afetam a resistência à compressão da alvenaria**

A resistência de um elemento da alvenaria depende da resistência da unidade componente, das propriedades geométricas do elemento e da excentricidade do carregamento.

Muitos são os fatores que podem influenciar a resistência da alvenaria, sendo os mais importantes a resistência da unidade, a resistência da argamassa de

assentamento e a espessura das juntas de assentamento que serão descritos brevemente neste item.

### 2.3.3.1 – Resistência da unidade

A resistência do bloco tem caráter predominante na alvenaria: quanto maior a resistência do bloco, mais resistente será a alvenaria. Entretanto, a resistência à compressão da alvenaria será menor que a resistência à compressão do bloco, ou seja, o aumento da resistência das alvenarias não é linearmente proporcional ao aumento de resistência dos blocos. Isso se deve a dois motivos:

- A resistência medida da unidade não é a verdadeira resistência uniaxial, e sim um valor superior ao verdadeiro, pois a restrição nas extremidades das unidades causada pelos pratos da prensa de ensaio, que dependerá da geometria da unidade, gera tensões de compressão transversais, como em um ensaio tri-axial à compressão;
- Como a argamassa é mais deformável do que as unidades, ela tenderá a deformar-se mais do que as unidades, deformação essa impedida pela aderência argamassa/unidade o que provoca o surgimento de tensões de tração nas unidades transversalmente ao eixo vertical de compressão (LA ROVERE, 2001 *apud* MATA, 2006).

O conceito de eficiência é muito importante quando se aborda a influência da resistência dos blocos na resistência à compressão da alvenaria. A eficiência ( $\eta$ ) é a relação entre a resistência da parede ( $f_{par}$ ) e a resistência do bloco que a compõe ( $f_b$ ). Para blocos de concreto Ramalho e Corrêa (2003) indicam que, no Brasil, este fator varia entre 0,40 e 0,60.

$$\eta = \frac{f_{par}}{f_b} \quad (2.1)$$

### 2.3.3.2 – Resistência da argamassa de assentamento

De maneira geral, a resistência da argamassa não é uma característica essencial para a resistência da parede quanto à resistência do bloco, principalmente em blocos vazados de concreto. O ganho de resistência da parede quando

aumentada a resistência da argamassa é muito pequeno. Do ponto de vista de desempenho, é mais vantajoso utilizar argamassas menos resistentes e mais deformáveis, para acomodar pequenas deformações.

La Rovere (2001 *apud* MATA, 2006) explica que, assim como surgem tensões transversais de tração nas unidades da alvenaria submetida à compressão, surgem por equilíbrio tensões de compressão na argamassa, ficando essa submetida a um estado tri-axial de compressão. Ou seja, a resistência à compressão da argamassa na alvenaria será superior do que a obtida isoladamente, em ensaios de corpos de prova cilíndricos, que é a resistência uniaxial à compressão. Em geral, a ruptura da alvenaria ocorre na unidade, por tração-compressão, mas em argamassas muito fracas a ruptura pode ter início pelo esmagamento à compressão da argamassa.

Argamassas muito resistentes podem apresentar um efeito contrário ao desejado, reduzindo a resistência final da parede. Gomes (1983) concluiu que a argamassa de assentamento deve ter como resistência um valor entre 70% e 100% da própria resistência do bloco. E que se utilizassem argamassas mais rígidas, a alvenaria passaria a ter ruptura frágil.

### **2.3.3.3 – Espessura das juntas de assentamento**

A resistência à compressão das alvenarias está diretamente relacionada com a espessura da junta de argamassa. A espessura ideal da junta horizontal e vertical, segundo a NBR 15961-2 (2011), é de 1,0 cm. Pesquisadores como Mohamad (2007) e Oliveira (2015) concordam com essa recomendação. Oliveira (2015) concluiu que a resistência do prisma é inversamente proporcional à espessura da argamassa, porém diretamente proporcional à sua resistência.

De acordo com Fioresi *et al.* (2017) a espessura de junta de assentamento de 0,5 cm conduz a uma ruptura frágil da alvenaria, o que não é recomendado para uma construção. Os prismas com junta de argamassa de 1,0 e 1,5 cm têm tendência à ruptura mais dúctil. Então, conclui-se que a espessura de 1,0 cm é a mais indicada, por oferecer um comportamento na ruptura desejável para uma edificação e resultar em um consumo menor de material.

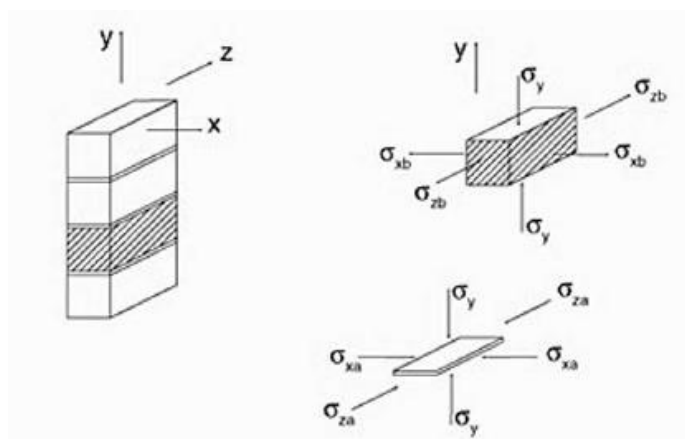


### **2.3.4 – Modos de ruptura da alvenaria à compressão**

Vários pesquisadores estudaram o modo de ruptura da alvenaria à compressão. Por ser um elemento composto pela união de componentes heterogêneos, a elaboração de modelos matemáticos que expliquem de forma fiel seu comportamento, é dificultada.

Hilsdorf (1969) considerou prismas de tijolos submetidos a uma tensão compressiva uniforme, assumiu uma distribuição de tensão lateral uniforme na argamassa e no tijolo, e usou as equações de equilíbrio para determinar uma relação entre as forças laterais na argamassa e no tijolo. Ele ainda assumiu uma envoltória de falha em linha reta, de acordo com o critério de ruptura de Mohr, para a resistência triaxial do tijolo e um modelo compressivo triaxial, de acordo com os critérios de ruptura de Mohr-Coulomb, para representar a tensão na argamassa. Assim, conseguiu expressar a resistência do prisma em função da resistência à compressão uniaxial do tijolo e da argamassa e da espessura da junta de argamassa.

De acordo com o modelo de Hilsdorf se espera que o comportamento de prismas e paredes, ao serem submetidos a um estado de compressão axial, a tendência é que os elementos se deformem lateralmente, devido ao efeito de Poisson, e a argamassa, por ter módulo de elasticidade menor, tende a deformar-se mais do que o bloco. No entanto, devido à aderência entre os blocos e a argamassa, esta deformação é impedida, surgindo tensões laterais de tração no bloco e de compressão na argamassa (Figura 14). Quando essas tensões ultrapassam a resistência à tração dos blocos, ocorre a fissuração vertical da peça, paralela à direção do carregamento, e sua conseqüentemente ruptura.



**Figura 14** - Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa segundo modelo de Hilsdorf (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Utilizando o modelo de Hilsdorf, Nessralla (2013) verificou que as paredes submetidas a um ensaio de compressão, tendem a romper devido às forças de tração, quando a resistência à tração é superada pela tensão de tração.

Knutson (1993) analisou prismas construídos com argamassa de diferentes resistências e desenvolveu modelos que dependiam da relação tensão-deformação e do módulo de elasticidade dos componentes. O modelo mostrou deficiência para alvenaria com argamassa de baixa resistência.

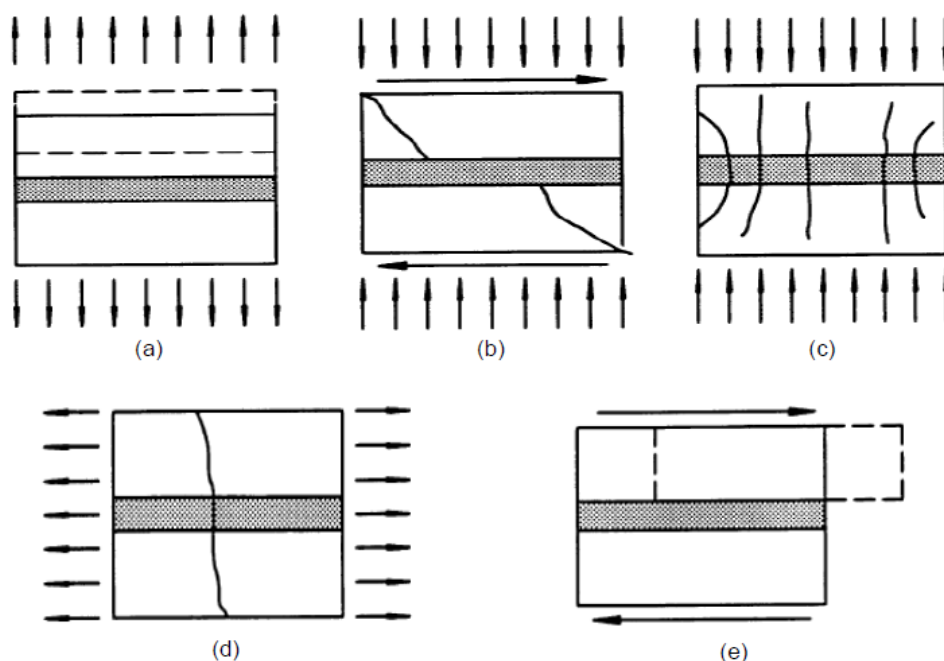
Atkinson e Noland (1983) e Atkinson *et al.* (1985) desenvolveram um modelo para prever a capacidade e o comportamento de tijolos sob esforços biaxiais e de argamassas sob esforços triaxiais. Este previa resistências mais baixas que as medidas experimentalmente, sendo assim atribuído ao modelo que prevê a resistência correspondente à primeira fissura vertical no tijolo e não ao último. Os autores concluíram que, devido às tensões de confinamento, a argamassa era o componente responsável pelo comportamento não-linear da alvenaria.

Sarhat e Sherwood (2014) usaram um banco de dados de testes para desenvolver um modelo a fim de prever a resistência à compressão de alvenaria de blocos de concreto e determinar uma relação linear entre a resistência do prisma e a resistência do bloco. Apesar da alta dispersão nos resultados obtidos, os autores observaram que o uso de argamassa de alta resistência induziu menor tensão de tração lateral nos blocos.

Cheema e Klingner (1986) realizaram uma análise numérica para descrever o modo de falha da alvenaria grauteada e não grauteada. Para a alvenaria não grauteada, quatro modos de falha foram considerados:

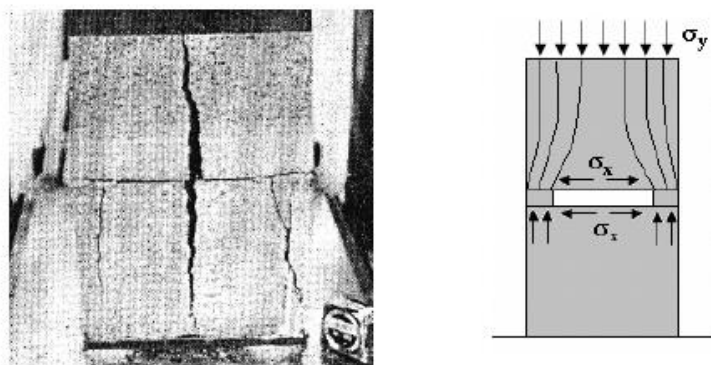
- Fendilhamento do bloco: ocorre quando a tensão de tração no bloco supera a resistência à tração do bloco;
- Esmagamento do bloco: ocorre quando a tensão principal de compressão no bloco supera a resistência máxima à compressão no bloco;
- Esmagamento da argamassa: ocorre quando a tensão de compressão axial supera a resistência à compressão da argamassa confinada;
- Fendilhamento da argamassa: ocorre quando a resistência à tração da argamassa é ultrapassada.

Lourenço e Rots (1997) desenvolveram um modelo para a análise das estruturas de alvenaria não reforçada. Eles usaram o modelo para avaliar cisalhamento de paredes de alvenaria, podendo ser empregado para prever a carga de colapso experimental e comportamento dessas. Nas Figura 15 (a, b, c, d, e) são apresentados os mecanismos de falhas encontrados em paredes de alvenaria, que coincidem com os considerados por Cheema e Klingner (1986). Percebe-se que nos casos (a) e (b) a alvenaria falha na argamassa, no caso (c) no bloco e nos casos (d) e (e) a falha se dá no conjunto bloco-argamassa.



**Figura 15** - Mecanismos de falhas em alvenaria: (a) tração direta das juntas; (b) tensão diagonal das juntas; (c) compressão devido à dilatação da argamassa; (d) tração direta das unidades; (e) deslizamento ao longo das juntas. (SUTCLIFFE *et al.*, 2001)

Shrive (1982) realizou testes experimentais em prismas de blocos de concreto assentados com argamassamento parcial. Na ruptura dos prismas, notou o desenvolvimento de tensões de tração na face lateral, causadas por rotação e esmagamento dos apoios (Figura 16). O esmagamento da argamassa lateral induz tensões horizontais que levam o material à ruptura por flexão.



**Figura 16** - Modo de ruptura em prismas de concreto com argamassamento parcial (SHRIVE, 1982).

Já Romagma (2000) avaliou o comportamento mecânico dos prismas de bloco de concreto à compressão com argamassamento total. A maioria das fissuras foram localizadas na interseção entre as paredes transversais e longitudinais dos blocos. Através da Figura 17 é possível visualizar pontos de ruptura por onde se propagaram tensões laterais devido à sobreposição das unidades.



**Figura 17** - Modo de ruptura dos prismas com argamassamento total (ROMAGMA, 2000).

Mohamad (1998) realizou estudos experimentais em prismas de blocos de concreto com dois traços de argamassas mistas: 1:1:6 e 1:0,5:4,5. Os modos de ruptura obtidos foram diferentes, de acordo com a resistência da argamassa. Nos

prismas construídos com a argamassa menos resistente e mais deformável (1:1:6), houve fendilhamento da superfície do bloco em contato com a argamassa, provavelmente, esmagamento da argamassa. Já nos prismas com argamassa mais resistente (1:0,5:4,5), ocorreram fissuras verticais, devidas à indução de tensões de tração no bloco que cortavam os septos transversais do bloco e toda a altura do prisma.

Alvarenga *et al.* (2017) observaram um diferente modo de ruptura quando foram utilizadas argamassas muito mais resistentes do que os blocos. Neste caso, os autores verificaram que a alvenaria não grauteada rompe subitamente por esmagamento do bloco.

### 2.3.5 – Equações empíricas para determinação da resistência à compressão da alvenaria

Alguns pesquisadores desenvolveram equações baseadas em dados experimentais para determinar a resistência à compressão da alvenaria a partir da resistência à compressão de seus componentes.

Colville e Wolde-Tinsae (1991) apresentaram equações que aproximam linearmente os valores apresentados na tabela da ACI/ASCE/TMS (1995) para argamassas genéricas para todos os usos com boa capacidade de ligação e boa trabalhabilidade.

$$f_m = 0,65 \cdot f_b \quad (2.2)$$

onde:

$f_m$  é a resistência à compressão da alvenaria (MPa);

$f_b$  é a resistência à compressão do bloco (MPa).

KHALAF, HENDRY e FAIRBRAIN (1994) recomendam a seguinte equação empírica:

$$f_m = 0,3 \cdot f_b + 0,2 \cdot f_a \quad (2.3)$$

em que:

$f_m$  é a resistência à compressão da alvenaria na área bruta (MPa);

$f_b$  é resistência à compressão do bloco na área bruta (MPa);

$f_a$  é a resistência à compressão da argamassa (MPa).

La Rovere e Soliz (1995) indicaram, com base no modelo de Hilsdorf, a equação abaixo para a determinação da resistência à compressão da alvenaria ( $f_m$ ):

$$f_m = \frac{\sigma_y}{k_1} \quad (2.4)$$

onde:

$\sigma_y$  é a resistência à compressão do bloco (MPa);

$k_1$  é o coeficiente que considera a não uniformidade de distribuição de tensões laterais, que variam de 1,1 a 2,5.

Mohamad (1998) propôs as equações 2.8 e 2.9 baseadas em dados experimentais para alvenarias com blocos de concreto não grauteados. Para a resistência à compressão de prismas ( $f_p$ ) em função da resistência da argamassa ( $f_a$ ), a expressão apresentada foi a seguinte:

$$f_p = f_a \cdot 0,5794 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right)^{-1,1093} \quad (2.5)$$

Para a compressão de prismas ( $f_p$ ) em função da resistência à tração do bloco ( $f_{bt}$ ), a expressão apresentada foi a seguinte:

$$f_p = f_{bt} \cdot \left[ 5,4491 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right)^2 + 3,6377 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right) + 10,219 \right] \quad (2.6)$$

em que:

$E_a$  é o módulo de deformação da argamassa (MPa);

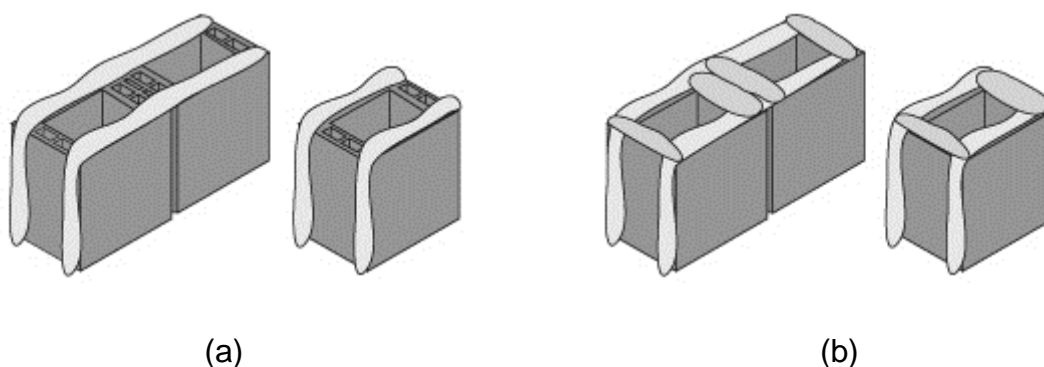
$E_b$  é o módulo de deformação do bloco (MPa).

### 2.3.6 - Tipos de argamassamento dos blocos

No processo de construção da alvenaria, o tipo de argamassamento pode ser determinante na produção e no rendimento da obra. Uma vez que alterando a forma como a argamassa é disposta no bloco se reduz o tempo de execução e o material utilizado, gerando diminuição de custo. Essa é a principal vantagem atribuída ao argamassamento parcial. Entretanto, a redução de custos deve estar atrelada a segurança da estrutura, e por isso a análise do seu comportamento estrutural sob cargas axiais é objeto de discussões no meio científico desde a década de 1980 até os dias atuais.

Dois tipos de assentamentos das unidades são usados, de forma relevante e normatizada: argamassamento parcial e argamassamento total.

O argamassamento parcial, ou em cordão, consiste em executar a junta horizontal com argamassa apenas nos septos longitudinais dos blocos (Figura 18a). É muito praticado na América do Norte e Austrália. Por outro lado, no argamassamento total, a argamassa é colocada em todos os septos dos blocos, incluindo os septos transversais (Figura 18b).



**Figura 18** – Argamassamento do bloco (a) parcial (b) total (PORTELLA, 2015).

Na sequência, apresentam-se algumas considerações relativas a alguns estudos já publicados sobre este assunto.

Gaynor *et al.* (1987) avaliaram prismas de blocos de concreto alterando o padrão de argamassamento deles. Perceberam que o padrão de assentamento teve um efeito significativo na resistência média dos prismas. Prismas construídos com argamassamento parcial falharam para cargas menores do que prismas construídos

com argamassamento total com uma relação carga máxima com argamassamento parcial / carga máxima com argamassamento total de cerca de 0,75.

Izquierdo (2011) investigou a influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional (“rapaduras”) na resistência à compressão de alvenaria de blocos de concreto. Para isso, a autora ensaiou à compressão 48 prismas e 24 miniparedes divididos em quatro grupos: argamassamento total sem ajuste dimensional, argamassamento parcial sem ajuste dimensional, argamassamento total com ajuste dimensional e argamassamento parcial com ajuste dimensional. Cada grupo contém 12 prismas e 6 miniparedes. A autora concluiu que:

- O efeito do tipo de argamassamento influenciou notavelmente na resistência à compressão dos prismas e miniparedes, sendo melhor o argamassamento total, pois os prismas e miniparedes com esse tipo de argamassamento apresentaram maior resistência e eficiência.
- A ruptura dos prismas se caracterizou pelo desenvolvimento de fissura vertical ao longo das suas espessuras, dividindo as unidades através dos septos transversais. No caso de argamassamento parcial, essa fissura ficou mais acentuada, devido ao desenvolvimento de tensões de tração na face lateral, causadas por rotação e esmagamento nos apoios. O esmagamento da argamassa lateral induz tensões horizontais que levam à ruptura por flexão.
- Assim como nos prismas, as miniparedes com argamassamento parcial apresentaram fissuras verticais acentuadas ao longo das espessuras, sendo estas as primeiras fissuras a aparecer com valores inferiores de cargas.
- Referente ao uso de peças de ajuste dimensional, a autora concluiu que as peças não influenciaram negativamente na resistência à compressão das miniparedes, pois não provocaram queda de resistência. A ruptura foi bem definida, surgindo uma fissura vertical de grande envergadura no meio das faces frontais dos corpos de prova onde estavam situadas as peças centrais, dividindo a miniparede praticamente ao meio.

Alguns autores também realizaram estudos com simulações numéricas para avaliar a influência do padrão de argamassamento em alvenaria estrutural.

Ganesan e Ramamurthy (1992) estudaram o comportamento de prismas utilizando o método dos elementos finitos. Concluíram que a utilização de



argamassa somente nas laterais dos blocos gera o surgimento de grandes concentrações de tensões nas paredes transversais dos blocos, iniciando na parede transversal central. Utilizando o argamassamento total do bloco, a concentração de tensão nesses pontos é eliminada.

Mata (2006) realizou um trabalho comparativo entre experimental e simulação numérica para estudar a influência do tipo de argamassamento no comportamento da alvenaria estrutural de blocos de concreto sob esforços de compressão. Realizou a modelagem numérica por elementos finitos em prismas e miniparedes, com argamassamento parcial e total, submetidas à compressão através do programa computacional SAP2000®. A análise experimental teve como objetivo estudar o comportamento mecânico à compressão de prismas e miniparedes utilizando blocos de concreto e argamassas comumente usadas nas obras de alvenaria estrutural, enfatizando o tipo de argamassamento. Os resultados experimentais e numéricos foram comparados e o autor chegou às seguintes conclusões:

- As análises numéricas pelo método dos elementos finitos mostraram que, tanto para os prismas quanto para as miniparedes, o padrão de argamassamento influenciou consideravelmente nas distribuições de tensão nos modelos. Além disso, as análises numéricas por elementos finitos serviram de referência para instrumentação dos corpos de prova e para posterior comparação com os resultados experimentais obtidos nos ensaios.
- Quanto aos ensaios de compressão dos prismas e das miniparedes, para os dois tipos de argamassamento, as cargas de ruptura na compressão dos prismas e das miniparedes com o padrão de argamassamento parcial foram, em todos os experimentos, menores do que a dos prismas e miniparedes com argamassamento total. Do mesmo modo, o fator de eficiência dos corpos de prova com argamassamento parcial mostrou-se menor do que os encontrados para o argamassamento total. Outro fato importante é que o comportamento à ruptura dos prismas e miniparedes com argamassamento parcial apresentou, na maioria das vezes, maiores deformações e perda da integridade do corpo de prova.
- De uma maneira geral, houve uma boa concordância entre os resultados numéricos e experimentais no regime elástico da alvenaria, principalmente para os prismas e miniparedes com argamassamento total.

Apesar do empenho dos pesquisadores para alavancar as pesquisas científicas na área, ainda é perceptível o empirismo dentro de alguns canteiros de obras de alvenaria estrutural. Um exemplo claro é no assentamento dos blocos, em que é comum uma mesma parede ser assentada por diferentes profissionais, e que esses utilizem distintas formas de assentamento, resultando, assim, em paredes inteiras com os padrões alternados entre as fiadas, o que denomina-se argamassamento misto.

Não se possui registros sobre esse tipo de paredes na bibliografia consultada, sendo sua eficiência e comportamento estrutural ainda desconhecidos, fato que justifica esse trabalho que tem por objetivo avaliá-los. É importante salientar que o padrão de argamassamento está relacionado à forma como a argamassa será disposta para a confecção da junta horizontal das paredes e prismas, não incluindo a confecção da junta vertical. Como o objetivo dessa pesquisa é estudar a influência dos três padrões de argamassamento citados anteriormente, é antecipado que todas as juntas verticais foram preenchidas com argamassa em sua totalidade, com espessura de aproximadamente 10 mm.

## CAPÍTULO III – PROGRAMA EXPERIMENTAL

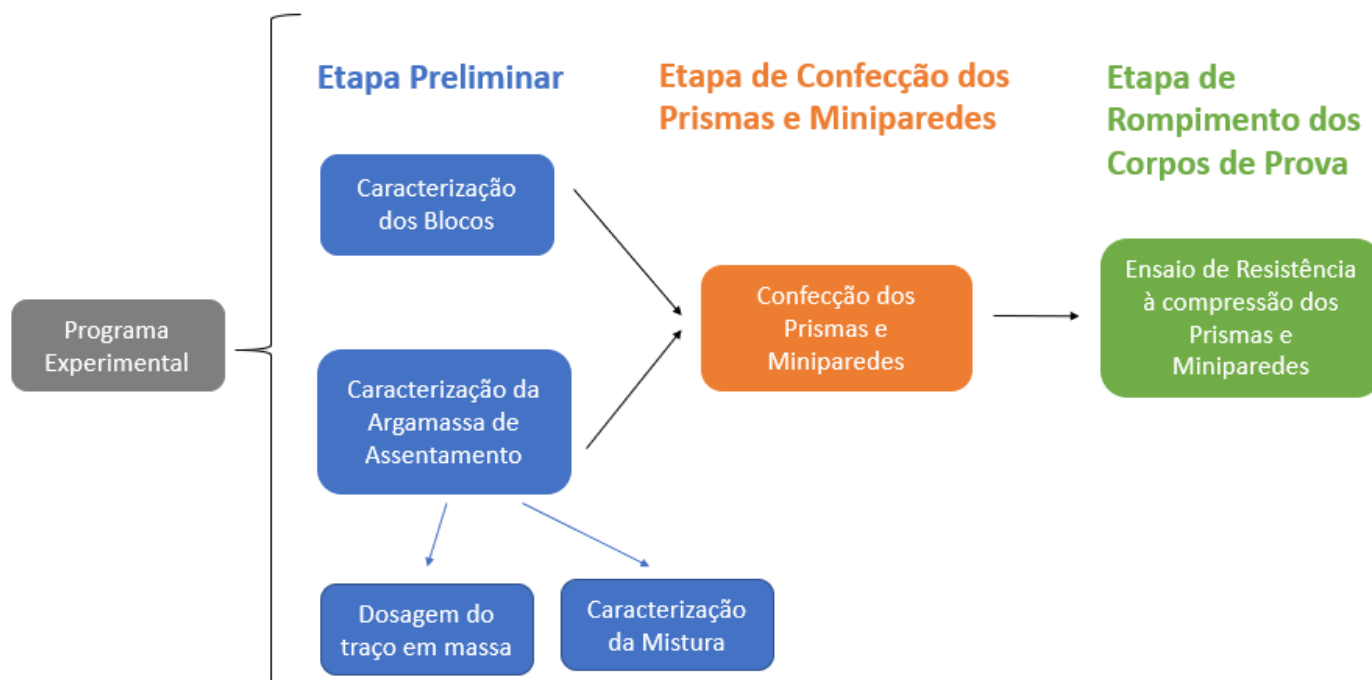
### 3.1 – Considerações iniciais

O sistema construtivo de alvenaria estrutural é caracterizado principalmente através de prismas e em alguns casos através de pequenas paredes. Ambos são compostos por unidades e argamassa de assentamento, sendo esses componentes determinantes na resistência das alvenarias. Por isso, tais componentes devem ser objeto de controle de conformidade.

Atualmente, os avanços em tecnologia dos materiais garantem, em escala industrial, a qualidade desses componentes. Contudo, neste trabalho, realizado em contexto regional, onde ainda tem-se produção manual de argamassa na obra, é importante a verificação das características em função dos materiais constituintes utilizados.

Assim sendo, para controlar todas as etapas do processo de elevação de miniparedes, apresenta-se um programa experimental desde a caracterização dos blocos, passando pela produção das argamassas até a elevação das miniparedes. A conformidade dos constituintes é assegurada pela comprovação de certos parâmetros ou características obtidas através de ensaios normatizados.

O programa experimental foi dividido em três etapas para o seu melhor desenvolvimento. A etapa preliminar consistiu na caracterização dos materiais constituintes e dos componentes da alvenaria, a etapa de confecção dos prismas e miniparedes, e por fim, a etapa de rompimento dos corpos de prova. A Figura 19 resume de maneira sucinta as etapas de execução do programa experimental.



**Figura 19** - Fluxograma do programa experimental.

Os materiais constituintes da argamassa comprados em comércios locais, compreendem cimento CP II E-40, cal hidratada CH III, areia lavada natural do Rio Paraíba do Sul e água potável corrente. Já os blocos foram provenientes de uma fábrica localizada no município de Campos dos Goytacazes/RJ, já estudada por Lima *et al.* (2018).

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

### 3.2 – Etapa preliminar

Para melhor entender o comportamento da alvenaria é preciso estudar separadamente a unidade e a argamassa. Este trabalho foi realizado com o conceito de alvenaria não armada de blocos de concreto, portanto, não foi utilizado graute, tampouco armaduras.

### 3.2.1 - Blocos

Os blocos utilizados nessa pesquisa foram blocos estruturais vazados de concreto. O lote recebido era composto por 460 blocos inteiros (14cmx19cmx39cm) e 140 meio blocos (14cmx19cmx19cm). As normas vigentes estabelecem faixas de utilização para alguns parâmetros de controle, os quais foram avaliados.

#### 3.2.1.1 – Análise dimensional

A análise dimensional consiste na verificação das dimensões dos blocos. Essas determinações se fazem necessárias uma vez que para o assentamento correto dos blocos é primordial que esses estejam padronizados e que as diferenças de dimensões observadas não comprometam o comportamento do conjunto.

As dimensões padronizadas de blocos solicitadas à fábrica foram blocos inteiros (14cmx19cmx39cm) e meio blocos (14cmX19cmX19cm). Segundo o fabricante, os blocos pertencem à classe C e possuem 4,5 MPa de resistência característica à compressão ( $f_{bk}$ ).

A NBR 12118 (2013) determina os métodos desse ensaio, sendo a tolerância permitida nas dimensões dos blocos de 1,0 mm para cada valor individual. O número de unidades da amostra é determinado pela NBR 6136 (2016), onde lotes de até 5000 unidades devem ter amostra composta por 6 unidades.

As dimensões são divididas em três tipos:

- a) Largura, altura e comprimento: Onde os blocos devem atender as dimensões especificadas segundo sua modulação e família (Figura 20).



**Figura 20** - Determinação do comprimento dos blocos.

- b) Espessura mínima das paredes: Devem atender a Tabela 2, respeitando sua classe e dimensões, e serem expressas em milímetros (Figura 21).



**Figura 21** - Determinação das espessuras das paredes dos blocos.

**Tabela 2** - Designação por classes, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos (adaptada da NBR 6136, 2016).

Classe	Largura Nominal (mm)	Paredes longitudinais <sup>a</sup> (mm)	Paredes transversais	
			Paredes <sup>a</sup> (mm)	Espessura equivalente <sup>b</sup> (mm)/m
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

<sup>a</sup> Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

<sup>b</sup> Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

- c) Dimensões dos furos: Os diâmetros dos furos para blocos das classes A e B devem ser maiores ou iguais a 70 mm para blocos de 140 mm de largura (Figura 22).



(a)

(b)

**Figura 22** - Dimensões dos furos (a) direção transversal (b) direção longitudinal.

### 3.2.1.2 – Propriedades físicas dos blocos

Para determinar as características físicas dos blocos, foram realizados os ensaios de absorção de água e umidade relativa. Essas propriedades influenciam no comportamento do bloco e são usadas como indicadores diretos da qualidade da unidade e, indiretos, da alvenaria a ser produzida com ele. Os ensaios que determinam as propriedades físicas dos blocos de concreto são normatizados pela NBR 12118 (2013).

A absorção de água é uma propriedade física do bloco que influi diretamente no comportamento da alvenaria, já que pode diminuir a aderência argamassa/bloco, se a unidade absorver água da argamassa e pode causar a retração do graute, se este perder água para a unidade. Sendo assim, o ideal para a utilização em alvenaria estrutural são blocos com menores índices de absorção de água. A NBR 6136 (2016) apresenta valores limites de absorção de água de acordo com a classe do bloco de concreto, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3** - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração (adaptada da NBR 6136, 2016).

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

<sup>a</sup> Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.  
<sup>b</sup> Blocos fabricados com agregado normal.  
<sup>c</sup> Blocos fabricados com agregado leve.  
<sup>d</sup> Ensaio facultativo.

A umidade dos blocos pode provocar fissuras e redução da durabilidade da alvenaria. O concreto possui a característica de se expandir ou contrair de acordo com a absorção ou perda de umidade, respectivamente. Blocos de concreto herdam a mesma propriedade do seu material constituinte, sendo este o motivo pelo qual não se aconselha o assentamento dos blocos se estes estiverem saturados. O parâmetro de controle dessa propriedade física é dado pela NBR 12118 (2013) que restringe a  $(40 \pm 20)$  % a umidade relativa para blocos com resistência característica à compressão igual ou superior a 8 MPa, e a  $(25 \pm 15)$  % a umidade relativa para blocos com resistência característica à compressão inferior a 8 MPa. Esse critério é determinante na consideração, ou não, dos resultados do ensaio de resistência à compressão.

Para a determinação dessas características são obtidas as massas dos 3 blocos da amostra: massa à temperatura ambiente (Figura 23), massa seca em estufa após 24 horas, massa saturada após 24 horas e massa aparente por meio de balança hidrostática (Figura 24), em conformidade com a NBR 12118 (2013).





**Figura 23** - Determinação da massa dos blocos à temperatura ambiente.



**Figura 24** - Determinação da massa aparente por meio de balança hidrostática.

### **3.2.1.3 – Resistência à compressão dos blocos**

O bloco representa em torno de 90% da área das paredes e prismas de alvenaria. Sua resistência mecânica auxilia no controle de qualidade da produção, em projetos estruturais do sistema de alvenaria estrutural e apresenta correlações com a resistência da parede.

A amostra para a execução do ensaio foi a mesma utilizada nos ensaios de análise dimensional, sendo assim possível determinar a área bruta e líquida dos blocos ensaiados.

Como mencionado anteriormente, os blocos devem possuir umidade relativa no momento do ensaio de  $(25 \pm 15) \%$ , tomando como referência a resistência à compressão fornecida pelo fabricante, neste caso 4,5 MPa. Além disso, para uniformização da distribuição sobre a região de aplicação da carga foi realizado o capeamento dos blocos com pasta de cimento na espessura de 3 milímetros (Figura 25).



**Figura 25** - Capeamento com pasta de cimento.

O ensaio foi realizado em consonância com a NBR 12118 (2013) através de um atuador hidráulico modelo 661.23F-01 controlado pelo sistema servohidráulico MTS® localizado na laje de reação do laboratório de estruturas de engenharia civil da UENF, mostrado na Figura 26.



**Figura 26** – Dispositivo para o ensaio de resistência à compressão dos blocos.

O valor estimado da resistência característica à compressão do bloco ( $f_{bk, est}$ ) referido à área bruta foi obtido pelo método de desvio-padrão da fábrica não

conhecido, conforme enunciado na NBR 6136 (2016). Os blocos devem apresentar mais de 4,5 MPa de resistência característica à compressão ( $f_{bk}$ ), para confirmar a resistência divulgada pelo fabricante.

### **3.2.2 – Argamassa de assentamento**

As argamassas de assentamento têm a função de ligar as unidades e solidarizar a estrutura. Neste trabalho foi utilizada argamassa do tipo mista, que segundo Parsekian e Soares (2010), maximizam as vantagens e minimizam as desvantagens dos dois tipos de aglomerantes, recomendando o uso em alvenaria estrutural respeitando a relação: aglomerante (cimento + cal) / agregado (areia)  $\approx$  3. Foi escolhido o traço em volume 1:1:6, sendo respectivamente cimento:cal:areia.

#### **3.2.2.1 – Caracterização dos materiais constituintes da argamassa**

A análise granulométrica da areia foi determinada de acordo com a NBR NM 248 (2003) e analisada conforme as recomendações da NBR 7211 (2009). Após isso, foram determinadas as massas unitárias da areia, conforme a NBR NM 45 (2006), do cimento e da cal, conforme a NBR 16605 (2017). Em geral, os fabricantes fornecem faixas de valores para as massas unitárias de seus produtos. Contudo, os ensaios foram realizados para maior exatidão na determinação da proporção em massa dos traços de argamassas.

Uma amostra da água do laboratório de estruturas da UENF distribuída pela concessionária local foi coletada e enviada ao laboratório da concessionária para análise físico-química.

#### **3.2.2.2 - Caracterização da mistura**

Para classificar a argamassa foram realizados os ensaios de consistência, retenção de água, densidade no estado fresco e resistência mecânica, com os resultados, foram classificadas conforme a NBR 13281 (2005).

### 3.2.2.2.1 – Ensaios de argamassa no estado fresco

A argamassa foi produzida seguindo os procedimentos da NBR 16541 (2016), incluindo o processo de maturação da argamassa. Os ensaios realizados no estado fresco e suas respectivas normativas estão descritos na Tabela 4.

**Tabela 4** - Ensaios realizados no estado fresco e suas respectivas normas técnicas.

Ensaio	Normativa técnica
Índice de Consistência	NBR 13276 (2016)
Retenção de Água	NBR 13277 (2005)
Densidade da massa no estado fresco	NBR 13278 (2005)

A trabalhabilidade da argamassa é influenciada pelo seu grau de consistência, que por sua vez é influenciado pela quantidade de água ou de aditivos na mistura. Para alvenaria estrutural é importante que a argamassa apresente uma boa trabalhabilidade, pois esse parâmetro influi no rendimento do trabalhador ao assentar os blocos. Além disso, para que ao final se tenha uma estrutura resistente, é importante que não se tenha água em excesso na argamassa, evitando segregação da massa.

Para a determinação do índice de consistência utilizou-se a mesa de consistência (*flow-table*), no qual é medido o espalhamento horizontal da argamassa moldada em um tronco de cone padronizado. A partir do índice de consistência foi determinada a quantidade de água necessária e a relação água/cimento do traço.

Parsekian e Soares (2010) frisaram que a capacidade de retenção está ligada à superfície específica (área por unidade de massa) dos componentes da argamassa. Por este motivo, a cal em relação ao cimento é melhor neste aspecto, visto que a cal tem mais superfície específica que o cimento, sendo um excelente retentor de água, a qual cede água aos poucos. A argamassa pouco retentiva perde água em excesso quando é colocada em contato com blocos com alto poder de sucção. Esta perda de água para o bloco pode tornar a argamassa pulverulenta, menos resistente à compressão e, principalmente, à aderência.

Por isso, em alvenaria estrutural são ideais argamassas com alto percentual de retenção de água. Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) destacaram três motivos

pelos quais uma alta retenção de água da argamassa é importante: primeiro, existe pouca perda de água da argamassa para o bloco; segundo, a argamassa permanece trabalhável até o assentamento; e terceiro, a quantidade de água retida permite a hidratação do cimento para o endurecimento da pasta.

Para o ensaio de retenção de água é utilizado um funil de Büchner com bomba à vácuo, mostrado na Figura 27, que permite controlar a sucção no prato com argamassa correspondente à coluna de 51 mm de mercúrio.



**Figura 27** - Execução do ensaio de retenção de água da argamassa de assentamento com funil de Büchner.

### 3.2.2.2 – Ensaio de argamassa no estado endurecido

Seis corpos de prova foram moldados em fôrmas de 40 mm de largura, por 40 mm de altura e 160 mm de comprimento, com adensamento em duas camadas, aplicando 30 golpes a cada camada na mesa de consistência (*flow-table*), conforme a NBR 13279 (2005). A desforma foi realizada após 24 horas da moldagem e os corpos de prova permaneceram no processo de cura em local livre de intemperes com temperatura ambiente até a realização dos ensaios, durante 28 dias. Os ensaios realizados no estado endurecido e suas respectivas normativas estão descritos na Tabela 5.

**Tabela 5** - Ensaio realizados no estado endurecido e suas respectivas normas técnicas.

Ensaio	Normativa técnica
Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (2005)
Resistência à compressão axial	NBR 13279 (2005)

Os ensaios foram realizados na prensa hidráulica EMIC DL 3000 com capacidade de 30 kN pertencente ao laboratório de engenharia civil da UENF, mostrado nas Figura 28 e Figura 29 .



**Figura 28** - Ensaio para a determinação da resistência à tração na flexão da argamassa de assentamento.



**Figura 29** - Ensaio para a determinação da resistência à compressão da argamassa de assentamento.

Os ensaios de resistência mecânica, em especial de resistência à compressão, foram imprescindíveis para a aceitabilidade do traço de argamassa escolhido. Para alvenaria estrutural a argamassa deve desenvolver resistência adequada a fim de não comprometer a estrutura da qual faz parte, não devendo ser mais resistente que o bloco, e ainda assim absorver as deformações as quais a alvenaria for submetida. Assim, argamassas menos resistentes não suportam as cargas impostas e argamassas mais resistentes aumentam a resistência da parede, entretanto rompem fragilmente já que não possuem ductilidade suficiente para absorver as deformações. Por isso, a NBR 15961-1 (2011) determina um valor máximo para a resistência à compressão da argamassa limitado a  $0,7 \cdot f_{bk}$  referido a área líquida.

### **3.3 – Etapa de confecção dos prismas e miniparedes**

O parâmetro de controle adotado atualmente pela NBR 15961-2 (2011) é a resistência do prisma, composto de dois blocos estruturais sobrepostos e uma camada de argamassa de assentamento de 10mm, admitindo dentro de certos intervalos combinações que garantam a resistência de prisma especificada pelo projetista. Entretanto, a parede produzida apresenta maior número de juntas horizontais, inclusive juntas verticais que não existem no prisma, o que afeta diretamente a resistência da parede. Além disso, como a resistência da parede mostra certa dependência em relação a um fator de escala, é muito importante avaliar esta dependência para os diferentes tipos de assentamentos observados em obras. Isso justifica os ensaios de miniparedes, buscando analisar os elementos da alvenaria e suas relações entre si.

Assim, além de verificar a conformidade dos componentes da alvenaria, foram moldados prismas e miniparedes para as verificações de resistência à compressão. Considerando o observado na prática, as miniparedes serão de três séries, no que diz respeito ao assentamento de argamassa, sendo:

T – Com argamassamento total;

P – Com argamassamento parcial;

M – Com argamassamento misto.

O argamassamento total é obtido colocando argamassa de assentamento nos septos longitudinais e transversais dos blocos, enquanto o argamassamento parcial prevê argamassa apenas nas paredes longitudinais dos blocos. Por outro lado, o argamassamento misto consiste em construir miniparedes alternando o padrão de argamassamento entre as fiadas, no caso deste trabalho, a 1ª fiada será com argamassamento total e a 2ª fiada com argamassamento parcial, repetindo até a conclusão das fiadas.

A amostra é composta de 3 miniparedes para cada série e 2 prismas para cada miniparede moldada, com exceção da série M que não possui prismas devido à inviabilidade de execução alternando o padrão de assentamento. A Tabela 6 mostra o total de corpos de prova que serão ensaiados por série.

**Tabela 6** - Total de miniparedes e prismas que foram ensaiados.

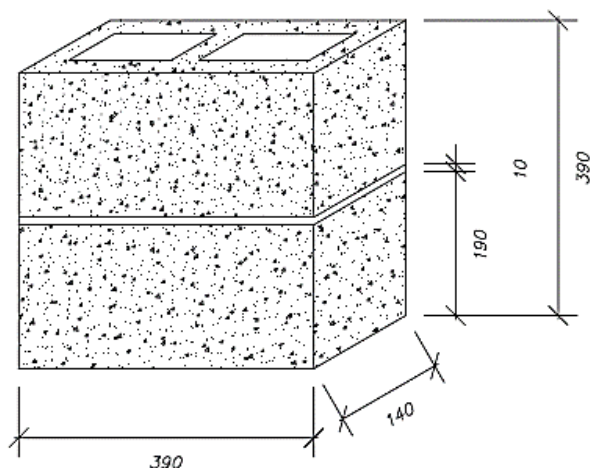
Série	Prisma	Miniparede
T	6	3
P	6	3
M	-	3
<b>Total</b>	12	9

### 3.3.1 – Prismas

Conforme recomendado pela NBR 16522 (2016) foram moldados dois prismas para cada miniparede, sendo executado, como visto na Tabela 6, seis prismas com argamassamento total e seis prismas com argamassamento parcial.

Os prismas foram construídos por um pedreiro experiente com 2 blocos de 14cmx19cmx39cm sobrepostos, espessura de argamassa de 1,0 cm e diretamente sobre o piso do laboratório, controlando o nível, o prumo e a espessura da junta. Esses detalhes podem ser vistos nas Figura 30. O índice de esbeltez dos prismas foi de 2,8.





**Figura 30** - Esquema dos prismas que foram moldados, sendo as dimensões em mm.

A Figura 31 apresenta registros fotográficos da construção dos prismas deste trabalho, evidenciando os padrões de assentamento estudados.



(a)



(b)



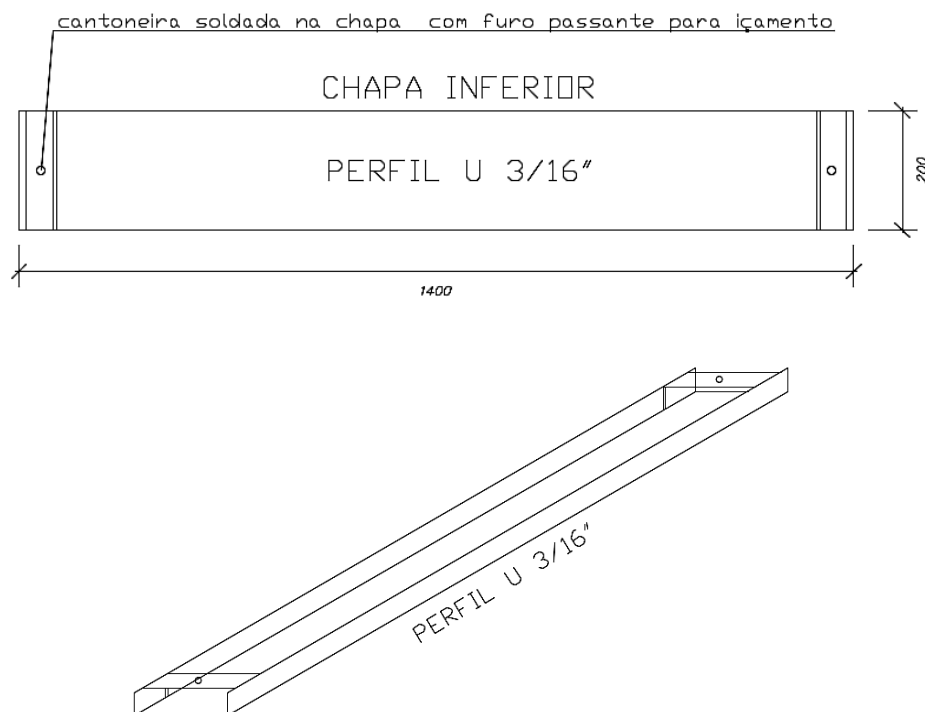
(c)

**Figura 31** - Execução dos prismas (a) construção de prisma com argamassamento total (b) construção de prisma com argamassamento parcial (c) prisma construído.

### 3.3.2 – Miniparedes

As miniparedes foram construídas por um profissional experiente pelo método convencional, utilizando colher de pedreiro. Para transportá-las até a prensa, essas

foram moldadas com auxílio de uma fina camada de argamassa sobre um perfil U 3/16", dimensionado para garantir valores insignificantes de flechas durante a operação de transporte (Figura 32 e Figura 33).

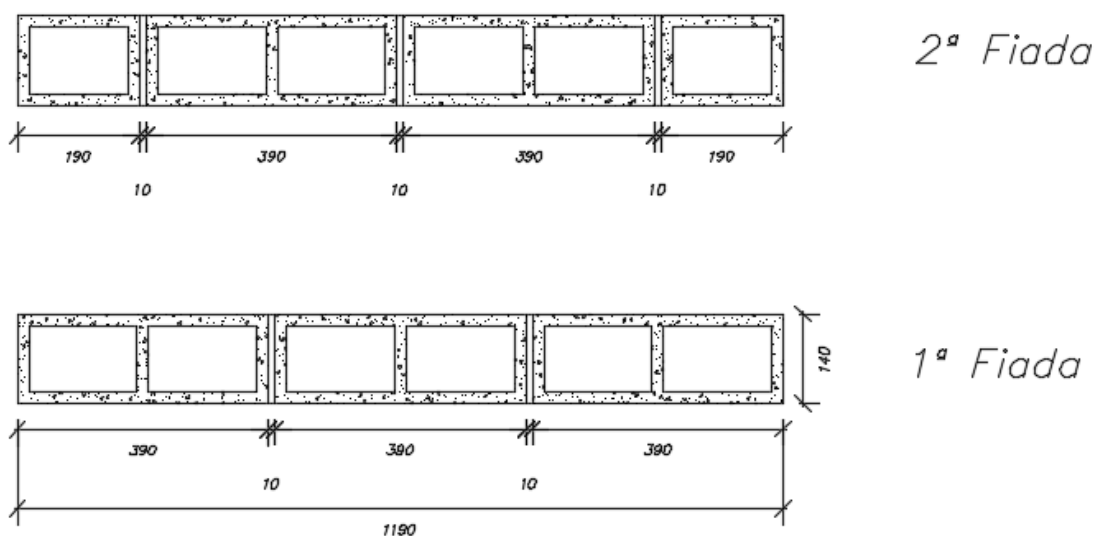


**Figura 32** -Esquema do perfil U utilizado na confecção das miniparedes, dimensões em mm.

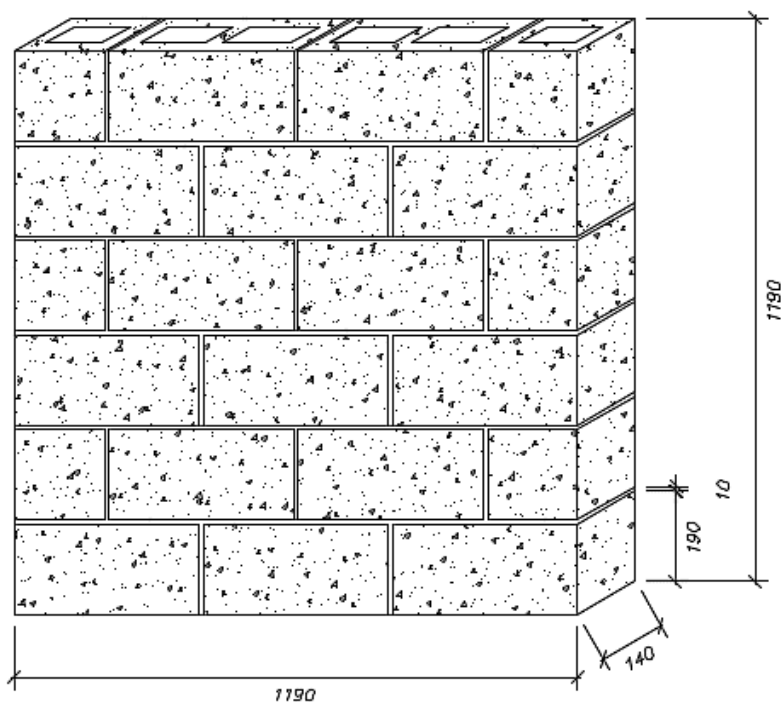


**Figura 33** - Início do assentamento da miniparede sobre perfil U.

Todas as miniparedes foram compostas por 6 fiadas, sendo a primeira e a segunda apresentadas na Figura 34, em repetição até a conclusão das fiadas. As miniparedes foram moduladas em amarração direta, de forma que não apresentassem juntas a prumo. Por consequência, obteve-se miniparedes de 1,19 m de largura por 1,19 m de altura (Figura 35). O índice de esbelteza das miniparedes foi de 8,5.

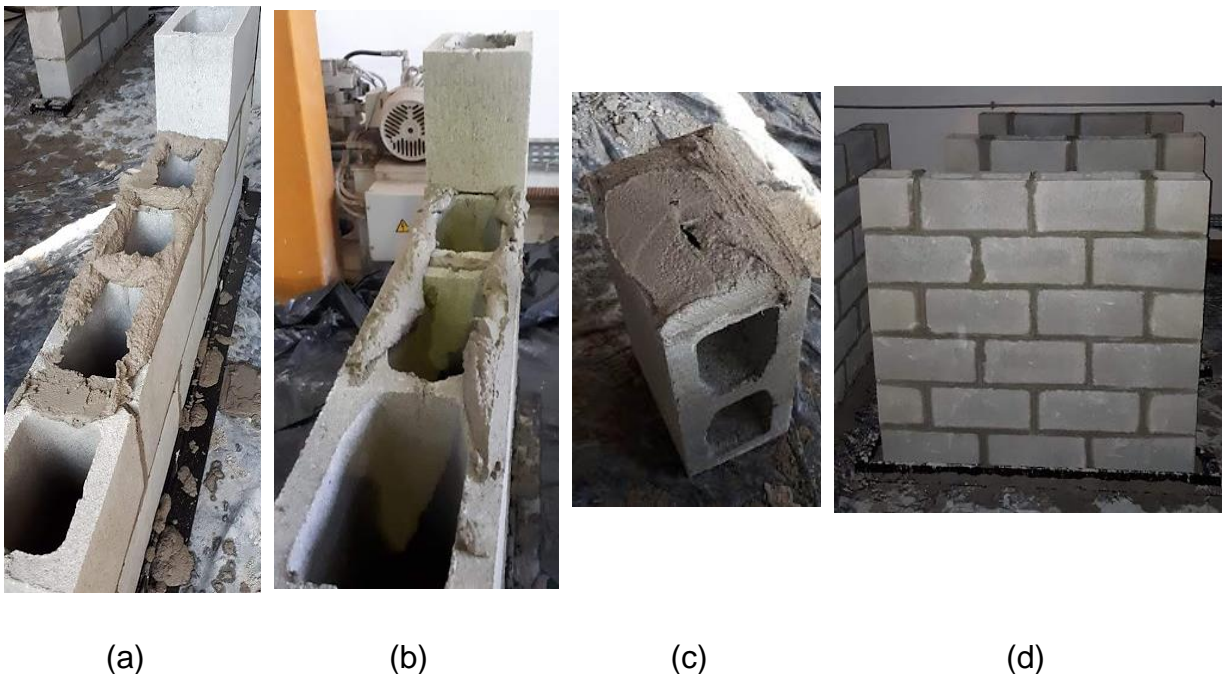


**Figura 34** - Modulação das miniparedes em amarração direta, dimensões em mm.



**Figura 35** - Esquema das miniparedes que foram moldadas, sendo as dimensões em mm.

A Figura 36 apresenta registros fotográficos mostrando os aspectos construtivos das miniparedes, incluso o detalhe das juntas verticais preenchidas em sua totalidade com argamassa de 1,0 cm de espessura aproximadamente.



**Figura 36** - Execução das miniparedes (a) construção de miniparede com argamassamento total (b) construção de miniparede com argamassamento parcial (c) detalhe da execução da junta vertical (d) miniparede construída.

Após a confecção dos prismas e miniparedes, a cura foi de 28 dias em local livre de intemperes à temperatura ambiente (Figura 37). Os prismas e miniparedes foram capeados em sua face superior com pasta de cimento em espessura de 3 mm para regularização da superfície e caiados para melhor visualização das fissuras durante o ensaio.



**Figura 37** - Miniparedes armazenadas em local livre de intemperes à temperatura ambiente para o processo de cura.

### **3.4 – Etapa de rompimento dos corpos de prova**

A etapa de rompimento dos corpos de prova consistiu na realização dos ensaios de resistência à compressão dos prismas e miniparedes.

Os ensaios de resistência à compressão dos prismas e miniparedes seguiram as recomendações da NBR 16522 (2016) e foram descritos nos itens subsequentes.

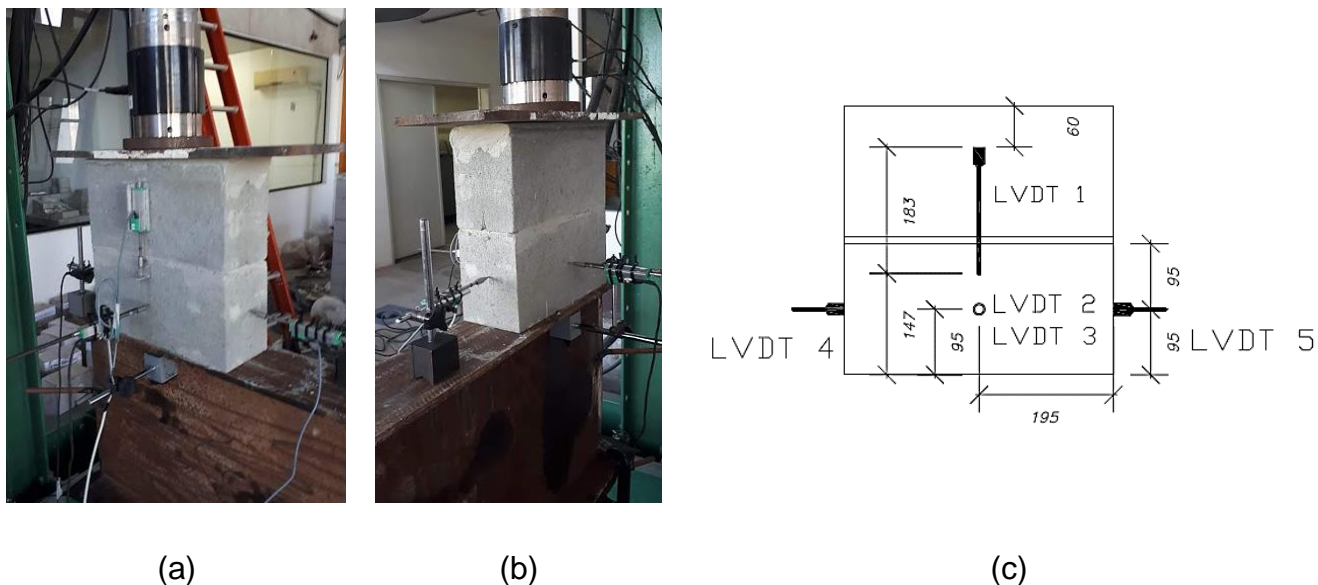
#### **3.4.1 – Ensaio de resistência à compressão dos prismas**

Os 12 prismas construídos foram submetidos à compressão, após a cura de 28 dias, em um dos atuadores hidráulicos modelo 661.23F-01, com capacidade de carga de 500kN, controlado pelo sistema servohidráulico MTS® localizado na laje de reação do laboratório de estruturas de engenharia civil da UENF (Figura 38).



**Figura 38** – Prisma posicionado para ensaio no atuador hidráulico controlado pelo sistema servohidráulico MTS® do LECIV/UENF.

Para a realização do ensaio, os prismas foram instrumentados com 5 transdutores lineares do modelo PY2-F-050-S01M da marca Gefran, com capacidade nominal de 50 mm de deslocamento, posicionados conforme a Figura 39. Os instrumentos das posições 4 e 5 foram chamados de posição lateral, 2 e 3 de posição horizontal e o 1 de posição vertical para facilitar a análise dos resultados. Os deslocamentos e a carga aplicada foram obtidos a uma taxa de 2 Hz através do dispositivo de aquisição de dados Metrolog SIAD. Todos os transdutores lineares foram previamente calibrados. Uma chapa metálica rígida foi colocada sobre os prismas para a aplicação de um carregamento uniformemente distribuído.

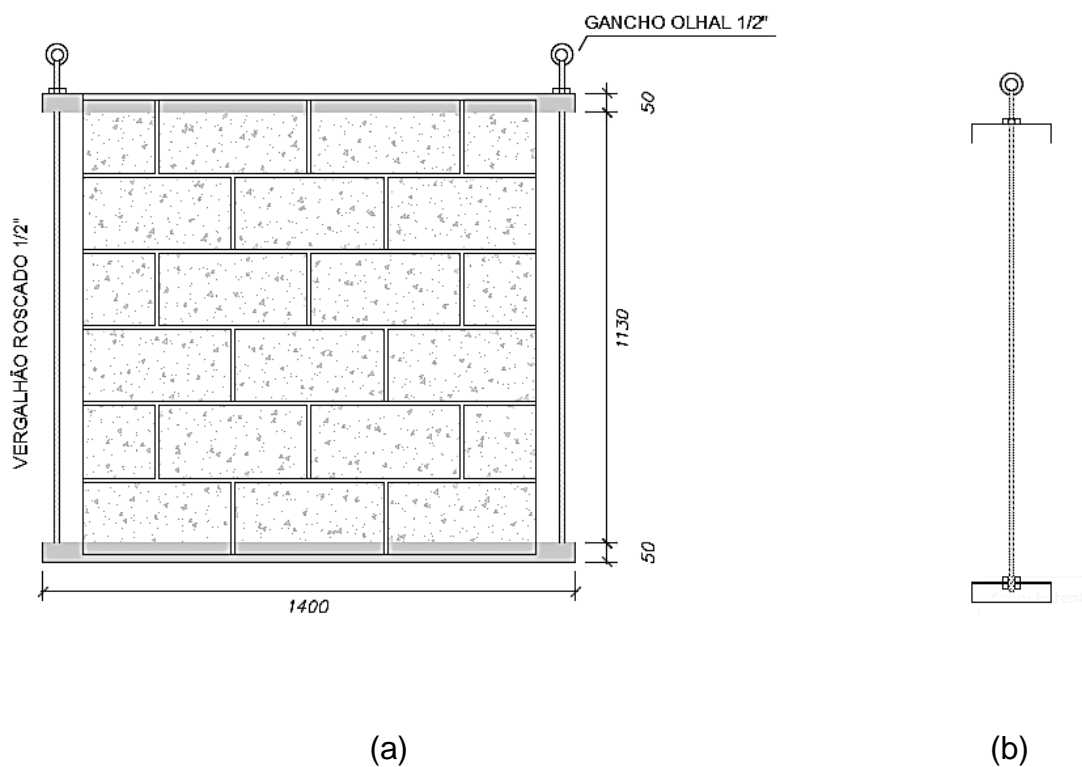


**Figura 39** - Instrumentação dos prismas (a) vista frontal do prisma instrumentado (b) vista traseira do prisma instrumentado (c) Esquema de posicionamento dos transdutores lineares no prisma, dimensões em mm.

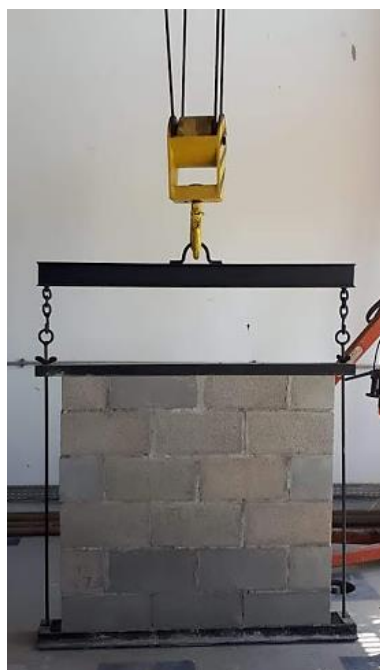
### 3.4.2 – Ensaio à compressão das miniparedes

Da mesma maneira que os prismas, as 9 miniparedes construídas foram submetidas à compressão utilizando os dois atuadores hidráulicos modelo 661.23F-01, com capacidade de carga de 500kN cada, controlados pelo sistema servohidraulico MTS® localizado na laje de reação do laboratório de estruturas de engenharia civil da UENF após a cura de 28 dias.

O transporte das paredes do local de confecção até o atuador hidráulico foi feito através de um sistema metálico elaborado para este fim, onde as miniparedes foram assentadas sobre perfis metálicos U de 3/16" (Figura 32), com cantoneiras soldadas com furos passantes nas extremidades, de forma que seja possível prender vergalhões roscados de 1/2" com porcas neste perfil inferior a outro perfil U de 3/16" superior para travamento da estrutura. Na ponta superior de cada vergalhão foi instalado um gancho olhal 1/2" para o içamento através da ponte rolante (Figura 40 e Figura 41).



**Figura 40** - Esquema do sistema metálico elaborado para o transporte das miniparedes, dimensões em mm (a) vista frontal (b) vista lateral de fixação do vergalhão.



(a)

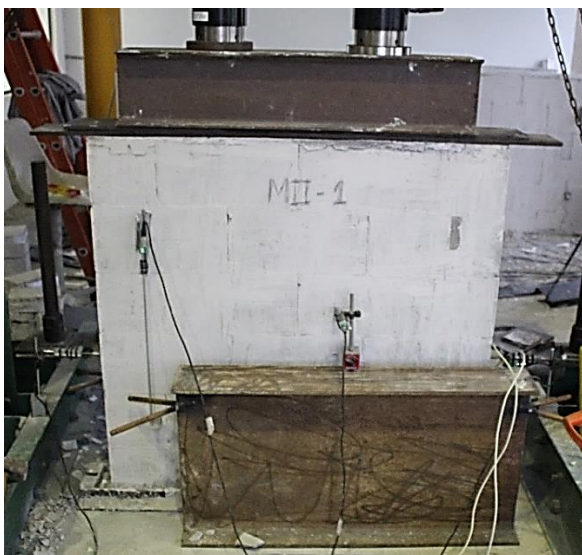


(b)

**Figura 41** - Transporte das paredes (a) sistema de transporte montado (b) transporte sendo realizado.



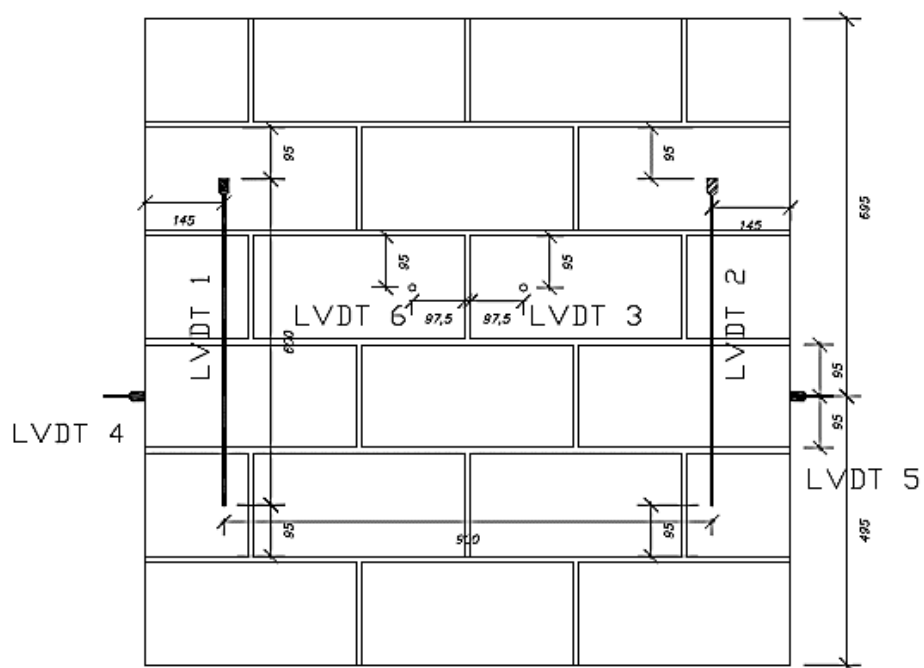
Para a instrumentação das miniparedes foram utilizados seis transdutores lineares de deslocamento com 50 mm de capacidade nominal do modelo PY2-F-050-S01M da marca Gefran, sendo colocados dois na vertical (posições 1 e 2), um em cada face, para medição dos deslocamentos verticais, um em cada lateral da parede (posições 4 e 5) e um em cada direção perpendicular ao plano da parede (posição 3 e 6), que será denominado posição horizontal para a análise dos resultados, conforme visto na Figura 42. Os deslocamentos e a carga aplicada foram obtidos a uma taxa de 2 Hz através do dispositivo de aquisição de dados Metrolog SIAD. Além disso, foram colocadas duas chapas metálicas rígidas e um perfil I de aço com rigidez e dimensões suficientes para a aplicação de um carregamento uniformemente distribuído sobre a miniparede.



(a)



(b)



(c)

**Figura 42** - Instrumentação das miniparedes (a) vista frontal da miniparede instrumentada (b) vista traseira da miniparede instrumentada (c) Esquema de posicionamento dos transdutores lineares na miniparede, dimensões em mm.

## **CAPÍTULO IV – RESULTADOS**

### **4.1 – Considerações iniciais**

Assim como o programa experimental foi dividido em três fases, a discussão dos resultados seguirá o mesmo padrão. A etapa preliminar contém os resultados da caracterização dos blocos e do traço da argamassa de assentamento que foi utilizado. A etapa de confecção das alvenarias não apresentou resultados. Na última etapa são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos prismas e miniparedes.

Neste capítulo os resultados são apresentados, com suas médias, entretanto, nos Anexos são mostrados os resultados individuais de todos os testes.

### **4.2 – Resultados da etapa preliminar**

A seguir são apresentados os resultados da análise dos blocos e da caracterização do traço da argamassa de assentamento utilizada, avaliando-se suas adequações as normas técnicas vigentes.

#### **4.2.1 – Blocos**

##### **4.2.1.1 – Análise Dimensional**

Os blocos analisados têm dimensões nominais de 14cmX19cmX39cm (Bloco Inteiro) e 14cmX19cmX19cm (Meio Bloco). De acordo com a NBR 6136 (2016), a tolerância permitida nas dimensões das paredes é de 1,0 mm para cada valor individual. A espessura mínima das paredes longitudinais e transversais é de 25 mm para blocos de 140 mm de largura da classe B. E o diâmetro dos furos tem que ser maior ou igual a 70 mm para blocos de 140 mm de largura. A Tabela 7 apresenta os resultados médios obtidos para essas dimensões.

**Tabela 7** - Dimensões médias dos blocos de concreto usados para confecção das alvenarias.

<b>Tipo</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Bloco inteiro</b>	<b>Meio bloco</b>
Largura, Comprimento e Altura	Largura	139,09	139,50
	Comprimento	389,22	189,53
	Altura	189,11	190,28
Espessura	Parede longitudinal	25,56	25,64
	Parede transversal	25,66	25,77
Dimensões dos furos	Longitudinal	157,19	139,33
	Transversal	89,23	90,92

Ao observar os dados pode-se perceber que os blocos atingiram o mínimo exigido pela NBR 6136 (2016).

#### 4.2.1.2 – Propriedades físicas dos blocos

Na Tabela 8 são mostrados os resultados médios dos ensaios de caracterização física dos blocos.

**Tabela 8** - Propriedades físicas dos blocos de concreto usados para a confecção das alvenarias, em média.

<b>Ensaio</b>	<b>Bloco inteiro</b>	<b>Meio Bloco</b>
Área bruta (mm <sup>2</sup> )	54174,46	26445,83
Área líquida (mm <sup>2</sup> )	29695,61	18783,77
Área líquida / Área bruta (%)	54,81	71,03
Absorção de água (%)	6,32	5,68
Umidade relativa (%)	12,34	15,59

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que a relação entre a área líquida e a área bruta de ambos os blocos é inferior a 75%, cumprindo assim a recomendação da NBR 6136 (2016) que define blocos vazados aqueles cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta. Em relação a umidade relativa,

ambos os blocos se mantiveram dentro da faixa de  $(25 \pm 15)$  % aceita pela NBR 6136 (2016). Quanto à absorção de água, ambos verificam abaixo de 8,0 %.

#### 4.2.1.3 – Resistência à compressão

A Tabela 9 apresenta os resultados da resistência à compressão dos blocos. O  $f_{bkest}$  foi obtido de acordo com o método de desvio-padrão da fábrica não conhecido, conforme enunciado na NBR 6136 (2016) e descrito no item 3.2.1.3.

**Tabela 9** - Resultados da resistência à compressão dos blocos de concreto.

Tipo	Resistência característica estimada relativa a área bruta ( $f_{bkest}$ ) (MPa)	Resistência característica estimada relativa a área líquida ( $f_{bkest}$ ) (MPa)	Resistência média relativa a área bruta ( $f_{bm}$ ) (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	Coefficiente de Variação (CV) (%)
Bloco inteiro	6,011	12,77	7,38	0,97	13,08
Meio bloco	7,257	13,51	8,41	0,69	8,26

Referente a resistência à compressão dos blocos, os dois possuem  $f_{bkest}$  entre 4,0 e 8,0 MPa. O fabricante sinaliza um valor mínimo de 4,5 MPa para a resistência à compressão dos blocos, sendo assim, é visto que os valores obtidos são condizentes com os fornecidos pela fábrica.

A Figura 43 ilustra o modo de ruptura observado para os blocos submetidos à compressão. Essa ruptura das unidades em formato de cone é típica em ensaio de compressão de corpo-de-prova confinado nas extremidades (MATA, 2006).



**Figura 43** - Modo de ruptura dos blocos à compressão.

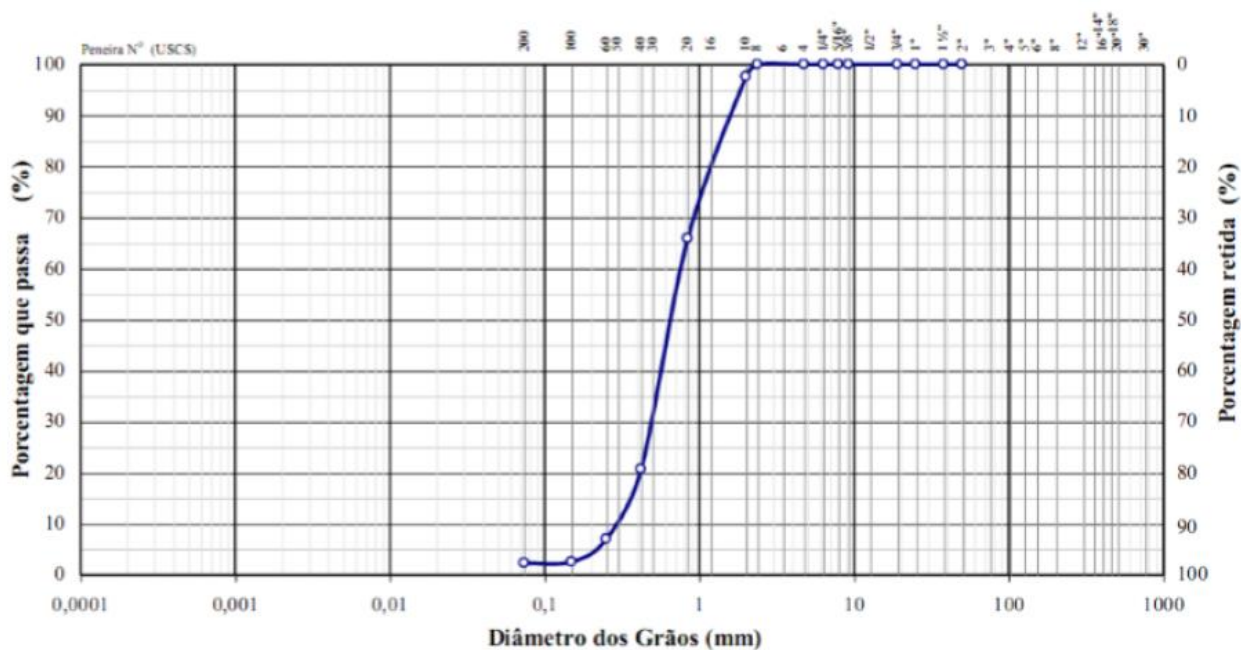
Analisando todos os ensaios dos blocos, conclui-se que os blocos utilizados foram classificados como classe B.

#### **4.2.2 – Argamassa de assentamento**

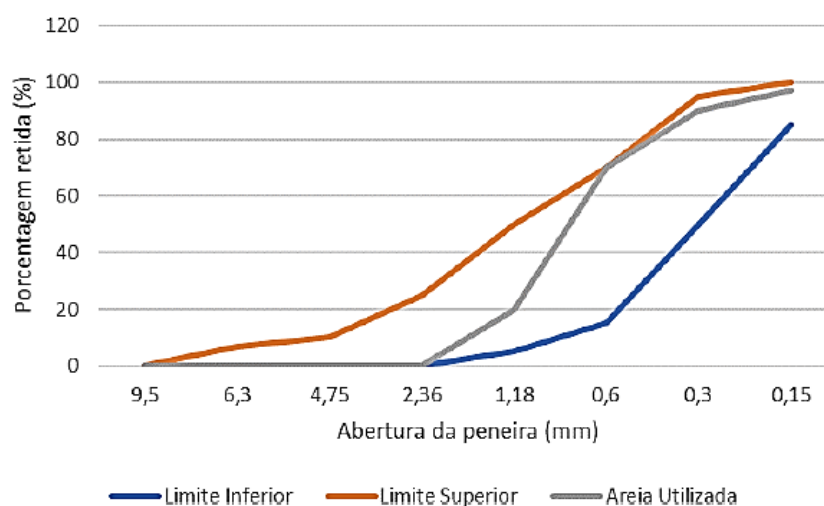
##### **4.2.2.1 – Caracterização da areia**

A Figura 44 apresenta o resultado da caracterização física do agregado miúdo utilizada para a confecção das argamassas de assentamento dessa pesquisa. Foi utilizada areia lavada proveniente do rio Paraíba do Sul.

Percebe-se pela curva granulométrica apresentada que a areia utilizada é constituída de 56% de areia grossa, 37% de areia média, 3% de areia fina e 3% de fração silte. A comparação da granulometria utilizada com a faixa granulométrica estipulada pela NBR 7211 (2009) para a utilização de agregados miúdos em concretos e argamassas é apresentada na Figura 45. Observando as curvas, nota-se a viabilidade de seu uso, uma vez que a areia utilizada se encontra entre os limites inferior e superior estipulados.



**Figura 44** - Resultado do ensaio de granulometria da areia.



**Figura 45** - Comparação da porcentagem retida da areia utilizada com a NBR 7211 (2009).

#### 4.2.2.2 – Caracterização da água

A análise físico-química da água utilizada para o amassamento da argamassa foi coletada no laboratório de estruturas do LECIV/UENF e realizada pela concessionária Águas do Paraíba, responsável pela distribuição. Os resultados encontrados estão dispostos na Tabela 10.

**Tabela 10** - Resultados da análise físico-química da água.

<b>Tipo</b>	<b>Valor detectado</b>	<b>Limite aceitável</b>
Flúor (mg/L)	0,77	até 1,5
Magnésio (mg/L)	0	até 1,0
Ferro (mg/L)	0	até 1,0
Alumínio (mg/L)	0	até 1,0
Cloro (mg/L)	0,78	0,2 até 2,0
Turbidez (uT)	0,52	até 5,0
Cor (uH)	2	até 15
Ph	6,84	6,0 a 9,5

Avaliando os resultados dispostos, percebe-se que a água apresenta Ph maior que 5,0 que é o ideal para uso em argamassas e concretos segundo a NBR 15900-1 (2009). Além disso, o índice de cloro é baixo podendo ser utilizada, também, em alvenaria armada.

#### **4.2.2.3 – Caracterização da mistura**

Na definição do traço a ser usado para o assentamento dos blocos foram realizados os ensaios das massas unitárias da areia, do cimento e da cal para a determinação da proporção em massa de cada material. A massa específica da areia usada é  $2,63 \text{ g/cm}^3$  e sua determinação seguiu os procedimentos da NBR NM 45 (2006), já as massas específicas da cal e do cimento utilizados foram  $2,31 \text{ g/cm}^3$  e  $2,97 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente, e seguiram os métodos estabelecidos pela NBR 16605 (2017).

A Tabela 11 apresenta as proporções em massa dos materiais utilizados na confecção das argamassas para o traço estabelecido.



**Tabela 11** - Proporções em massa dos materiais constituintes da argamassa de assentamento.

Traço em volume 1:1:6	Quantidades
Cimento (g)	285
Cal (g)	222
Areia (g)	1515
Água (g)	360
a/arg. anidra	0,18
a/c	1,26

A quantidade de água utilizada foi determinada realizando o ensaio de consistência (Figura 46), onde foi fixado um espalhamento médio de 260 mm  $\pm$  10 mm para garantir uma argamassa trabalhável, e para isso foi necessário um aumento na relação água/cimento.

**Figura 46** - Ensaio de consistência da argamassa de assentamento.

Na Tabela 12 são mostrados os resultados dos ensaios de retenção de água, densidade no estado fresco, resistências à compressão e à tração na flexão e classificação da argamassa segundo a NBR 13281 (2005).

**Tabela 12** - Características da argamassa de assentamento.

Ensaio	Resultados	Desvio padrão (Sd)	Coefficiente de variação (%)
Consistência (NBR 13276, 2016)	260 mm	10 mm	3,85
Densidade no estado fresco (NBR 13278, 2005)	1974 kg/m <sup>3</sup>	-	-
Retenção de água (NBR 13277, 2005)	97%	-	-
Resistência à tração na flexão (NBR13279, 2005)	1,91 MPa	0,29 MPa	15,18
Resistência à compressão (NBR 13279, 2005)	5,72 MPa	0,39 MPa	6,82
Classificação (NBR 13281, 2005)	P4 R2 D4 U5	-	-

Foram analisados os resultados dos ensaios de tração na flexão e de compressão axial conforme a NBR 13279 (2005). Os valores são considerados discrepantes quando o desvio padrão é superior a 0,5 MPa para a resistência à compressão e 0,3 MPa para a resistência à tração. Ambos se mantiveram abaixo desses índices, confirmando a homogeneidade da amostra.

Como já foi abordado no capítulo anterior, a resistência à compressão da argamassa deve ser menor que 70% da resistência à compressão da unidade referida a área líquida. Para o bloco utilizado, a argamassa deve possuir resistência à compressão menor que 8,9 MPa. O traço estudado teve resistência à compressão média de 5,72 MPa, portanto está adequado ao uso nesse trabalho.

Com relação a retenção de água, percebe-se que o traço possui alto índice de retenção, o que o torna vantajoso para o uso em alvenaria estrutural, já que a alta retenção de água da argamassa diminui a perda de água da argamassa para o bloco, mantém a trabalhabilidade da argamassa até o assentamento e auxilia no processo de hidratação do cimento.

### 4.3 – Resultados da etapa de rompimento dos corpos de prova

#### 4.3.1 – Prismas

A alvenaria estrutural é caracterizada principalmente através de ensaio de resistência de prismas, formados por unidades ligadas através de argamassa de assentamento. Neste trabalho, os prismas são compostos por 2 blocos de 14cmx19cmx39cm sobrepostos unidos com argamassa de assentamento na espessura de 10 mm, sendo 6 prismas com argamassamento total (T) e 6 prismas com argamassamento parcial (P). As resistências à compressão dos prismas foram obtidas em conformidade com a NBR 16522 (2016). A Tabela 13 apresenta os resultados dos ensaios dos prismas.

**Tabela 13** - Resultados da resistência à compressão dos prismas.

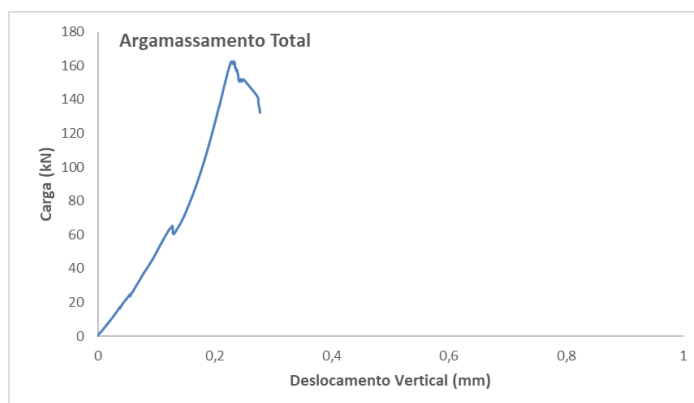
Padrão de Assentamento	Resistência característica à compressão dos blocos ( $f_{bk}$ ) (MPa)	Resistência característica à compressão dos prismas ( $f_{pm}$ ) (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	CV (%)	Eficiência prisma/bloco ( $\eta$ )	Normalização
T	6,01	3,36	0,16	4,76	0,56	1
P		2,98	0,11	3,69	0,50	0,887

Analisando apenas os valores da resistência à compressão dos diferentes padrões, percebe-se que os prismas com argamassamento total apresentaram, aproximadamente, 11% mais resistência que os prismas com argamassamento parcial. A razão entre as resistências no argamassamento parcial e no argamassamento total foi de aproximadamente 0,89, o que confere com o trabalho realizado por Nacus (1980).

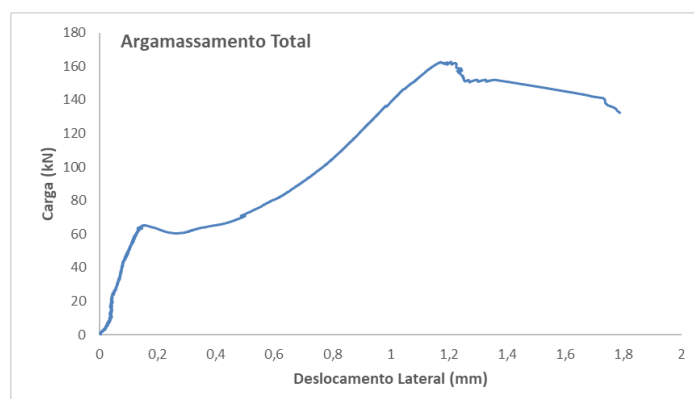
Em relação a eficiência prisma/bloco verifica-se que os prismas com argamassamento total possuem eficiência um pouco maior que os prismas parcialmente argamassados. De acordo com a prática corrente no Brasil, admite-se eficiência prisma/bloco variando de 0,5 a 0,9 para blocos de concreto, conforme

Ramalho e Corrêa (2003). Os valores de eficiência obtidos encontram-se nesse limite, validando o ensaio realizado.

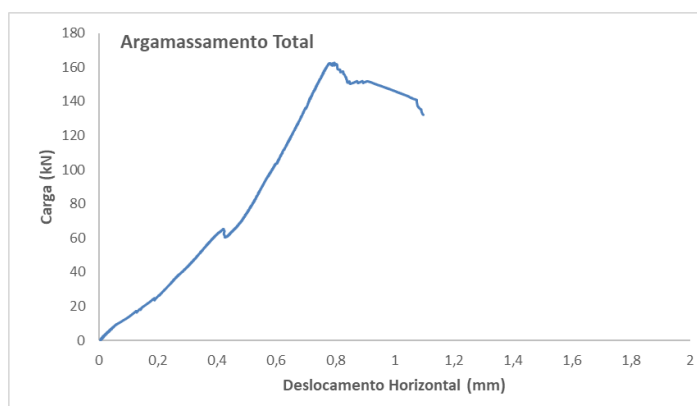
As Figura 47 e Figura 48 apresentam os resultados médios dos ensaios dos prismas de cada padrão de assentamento em relação a cada posição de transdutor linear instalado.



(a)

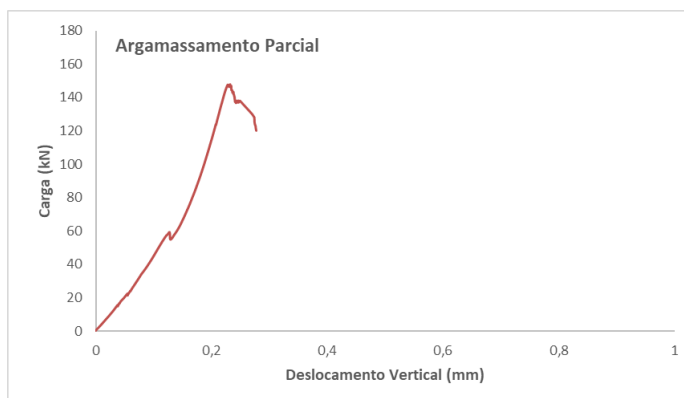


(b)

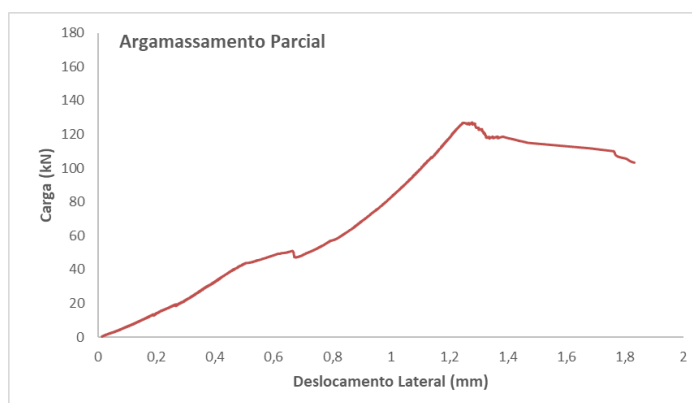


(c)

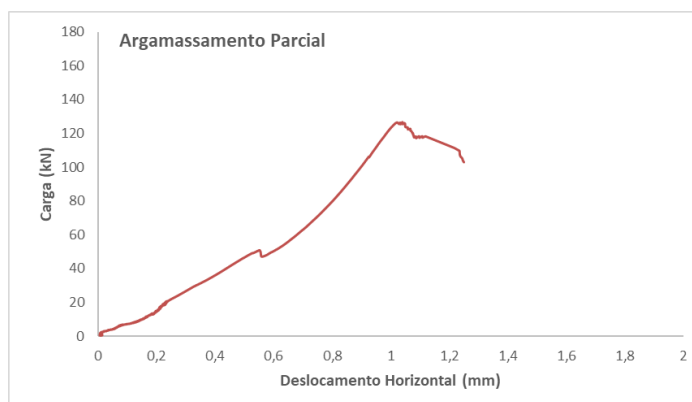
**Figura 47** - Resultados dos ensaios dos prismas com assentamento total (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal.



(a)



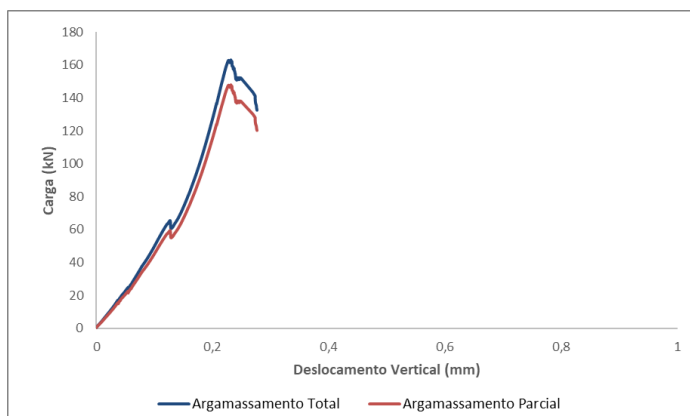
(b)



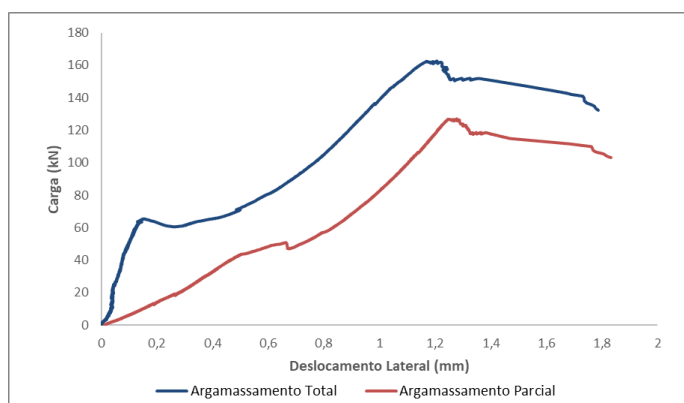
(c)

**Figura 48** - Resultados dos ensaios dos prismas com assentamento parcial (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal.

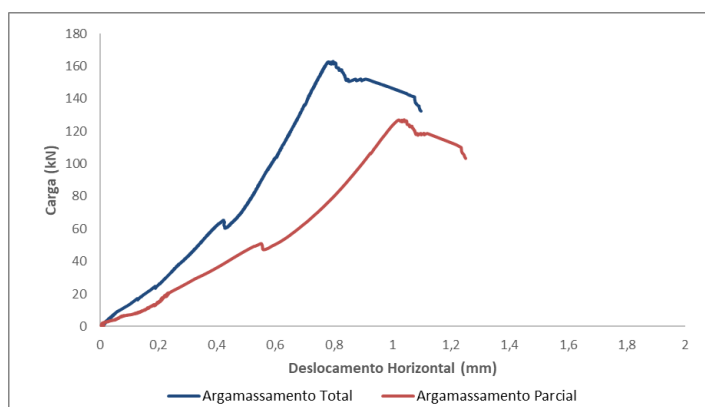
Como o objetivo é comparar os dois padrões de assentamento, apresenta-se na Figura 49 as curvas comparativas entre os dois padrões realizados nos prismas para cada posição de transdutor linear.



(a)



(b)



(c)

**Figura 49** - Comparação entre os resultados dos ensaios de prismas com diferentes padrões de assentamento (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal.

Ao analisar as curvas apresentadas, percebe-se que os comportamentos são semelhantes nos dois padrões de argamassamento, diferenciando-se apenas na carga suportada já que o argamassamento total apresentou maior resistência à compressão que o argamassamento parcial. Entretanto, quando comparados os padrões em relação ao deslocamento horizontal percebe-se que o argamassamento parcial tem maiores deslocamentos que o total. Esse fato se justifica quando

analisado o modo de ruptura apresentado nos prismas parciais, onde o prisma rompe por separação transversal do bloco devido às tensões laterais de tração no bloco, ocorrendo assim maiores deslocamentos na direção perpendicular ao plano do prisma (Figura 50).



**Figura 50** - Modo de ruptura dos prismas com argamassamento parcial.

O modo de ruptura da alvenaria normalmente é atribuído a dois motivos, tração no bloco ou esmagamento da argamassa.

Autores como Khalaf (1996), Martins *et al.* (2018) e Mohamad *et al.* (2007) analisaram o modo de ruptura em prismas de blocos de concreto não grauteados e encontraram separação entre todas as faces da unidade de alvenaria. Quando o prisma é submetido à carga compressiva axial, a argamassa tende a se expandir lateralmente mais do que o bloco. Na interface bloco/argamassa a aderência impede as tensões laterais diferenciais entre os componentes, causando tensões laterais de tração nos blocos e tensões laterais de compressão na junta de argamassa. Surgem assim fissuras verticais, paralelas à direção do carregamento.

Segundo Mohamad *et al.* (2007), a aderência na interface bloco/argamassa é, também, responsável pela igualdade de deformações e pelas condições complexas de tensões na interface entre os componentes, resultando no confinamento da argamassa. Santos *et al.* (2017) observaram que quando a argamassa é muito mais deformável do que os blocos, o modo de ruptura dos prismas sob compressão é caracterizado por esmagamento localizado da argamassa. Nesse caso, Mohamad *et.*

*al.* (2017) afirmam que a ruptura começa com níveis menores de carga devido ao colapso precoce dos vazios da argamassa. Depois dessa ruptura, o prisma não atua mais como um material compósito. A fim de evitar tal comportamento, garantindo a aderência bloco/argamassa e o confinamento de argamassa, a argamassa com baixa resistência não deve ser usada. Nesse trabalho, a argamassa utilizada se manteve em torno de 40 a 50% da resistência dos blocos referente à área líquida, estando de acordo com o limite superior de 70% proposto pela NBR 15961-1 (2011).

Como visto na Figura 50, os prismas com argamassamento parcial apresentaram ruptura por separação transversal do bloco devido às tensões laterais de tração no bloco, perceptível pelas fissuras apresentadas nas laterais do bloco, entretanto também apresentou fissura vertical paralela ao carregamento na face frontal. Martins *et al.* (2018) e Santos *et al.* (2017) obtiveram um modo de ruptura similar em seus ensaios.



**Figura 51** - Modo de ruptura dos prismas com argamassamento total.

Na Figura 51 verifica-se o modo de ruptura dos prismas com argamassamento total. É possível verificar a fragmentação de alguns trechos do bloco e a presença de fissuras verticais paralelas à direção do carregamento, entretanto concentradas nas regiões de interseção entre os septos longitudinais e transversais dos blocos. Este tipo de ruptura também ocorre devido ao efeito de tensões laterais de tração no bloco, mas aliado a uma perda de capacidade da argamassa. Romagma (2000) obteve ruptura similar em seus ensaios, e analisou este colapso local como uma associação da perda de capacidade da argamassa



com rachaduras paralelas à direção de carregamento dentro do bloco e ao longo da direção longitudinal do bloco.

#### 4.3.2 – Miniparedes

Os ensaios à compressão de prismas são a principal fonte de dados quando se refere a resistência de alvenaria estrutural, entretanto é notório o efeito do fator de escala, sendo, por isso, realizado ensaios sob compressão de pequenas paredes para melhor compreensão do comportamento da alvenaria. As miniparedes foram construídas com blocos 14cmx19cmx39cm e 14cmX19cmX19cm, classe B de 6,01 e 7,26 MPa de resistência à compressão, respectivamente, e 12% de umidade relativa, com amarração direta e unidos com argamassa de assentamento de traço em volume 1:1:6 com 5,72 MPa de resistência à compressão e espessura de 10 mm. As componentes das miniparedes possuem características físicas e mecânicas em faixas compatíveis com as recomendações das NBR 6136 (2016) e NBR 15961-1 (2011). Ao final foram ensaiadas 3 miniparedes para cada padrão de argamassamento, total (T), parcial (P) e misto (M). As resistências à compressão das miniparedes foram obtidas conforme as prescrições da NBR 16522 (2016). A Tabela 14 apresenta os resultados médios dos ensaios das miniparedes.

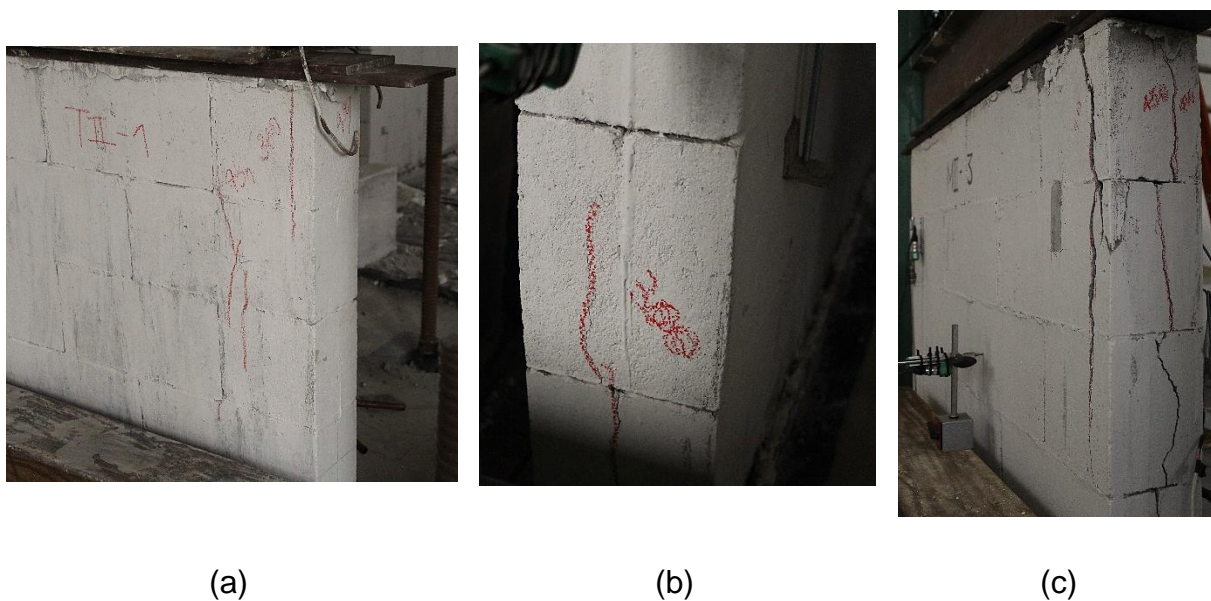
**Tabela 14** – Resultados da resistência à compressão das miniparedes.

Padrão de Assentamento	Resistência à compressão das miniparedes na primeira fissura ( $f_{ppk\text{ fissura}}$ ) (MPa)	Resistência à compressão das miniparedes na ruptura ( $f_{ppk\text{ ruptura}}$ ) (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	CV (%)	Eficiência miniparede/prisma ( $\eta$ )	Eficiência miniparede/bloco ( $\eta$ )	Normalização
T	2,58	3,07	0,05	1,54	0,91	0,51	1
P	1,86	2,50	0,08	3,27	0,84	0,42	0,815
M	2,11	2,40	0,36	14,83	-	0,40	0,783

Avaliando as resistências à compressão na ruptura verifica-se que o padrão de assentamento total apresentou maior resistência quando comparado aos demais, sendo que o parcial e o misto atingiram aproximadamente 81,5% e 78,3%, respectivamente, da resistência do padrão de assentamento total. Com isso, analisa-se que a diminuição da área de argamassa disposta durante o assentamento influi diretamente na resistência à compressão da alvenaria, uma vez que o padrão total apresenta 18,5% a mais de resistência que o padrão parcial, onde a argamassa só é colocada nos septos longitudinais dos blocos. Em relação ao padrão misto, verifica-se que mesclando os padrões, a alvenaria se torna menos resistente, já que esse padrão apresentou o menor resultado entre os diferentes tipos.

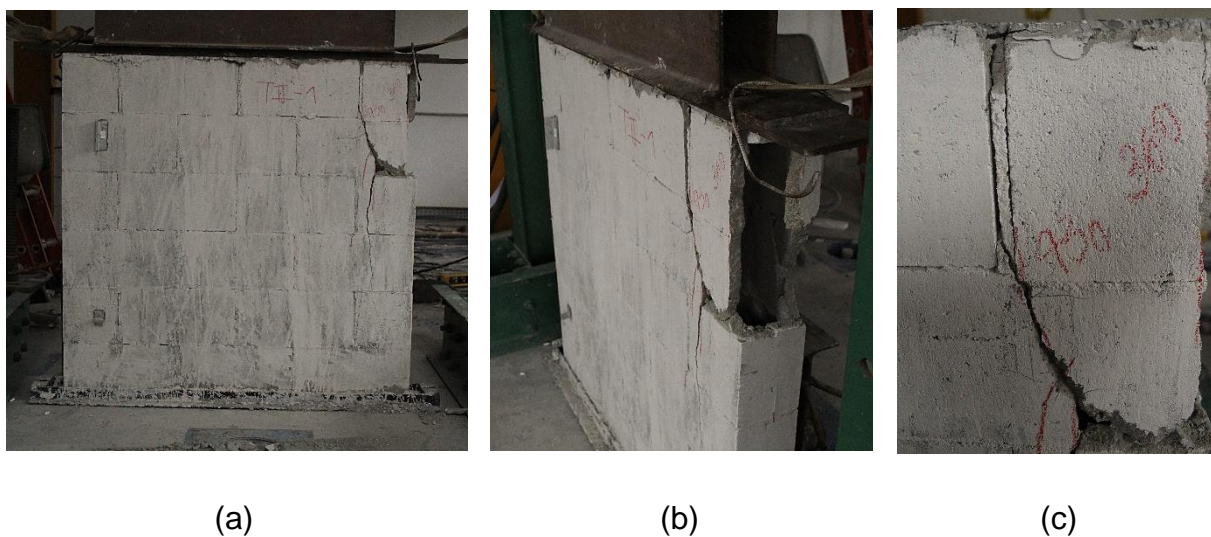
No parâmetro de eficiência miniparede/bloco verifica-se que o ganho de eficiência segue a mesma tendência observada na resistência à compressão na ruptura dos prismas, sendo as miniparedes com argamassamento total com mais eficiência, seguidas das miniparedes parciais e por último as mistas. Admite-se eficiência miniparede/bloco variando de 0,4 a 0,6, sendo assim os resultados obtidos são coerentes com a faixa de eficiência aceita. Em relação a eficiência miniparede/prisma são amplamente praticados valores próximos de 0,7. Nesse estudo, os valores para os padrões total e parcial, os quais foram realizados ensaios de prismas permitindo esta análise, são superiores a 0,7, demonstrando que o efeito do fator de escala existente na relação parede/prisma não foi muito evidente.

Com relação a resistência à compressão na primeira fissura, nota-se que as miniparedes com argamassamento total foram mais solicitadas e as primeiras fissuras surgiram verticalmente na face frontal da parede com valores elevados de carga, mais próximos da ruptura, ou seja, a primeira fissura demorou mais a ser percebida. Comportamento similar foi notado no padrão misto, entretanto com fissuras verticais na face frontal como no padrão total e com fissuras na face lateral como no padrão parcial. As miniparedes com argamassamento parcial, apresentaram fissuras com cargas mais baixas, evidenciando a concentração de tensões nas paredes laterais dos blocos devido à ausência de argamassa, gerando redução na resistência e ruptura menos dúctil, como mostra a Figura 52.



**Figura 52** - Primeiras fissuras nos diferentes padrões de assentamento (a) argamassamento total, predominância de fissuras verticais (b) argamassamento parcial, primeiras fissuras na lateral da parede (c) argamassamento misto, fissuras verticais e laterais.

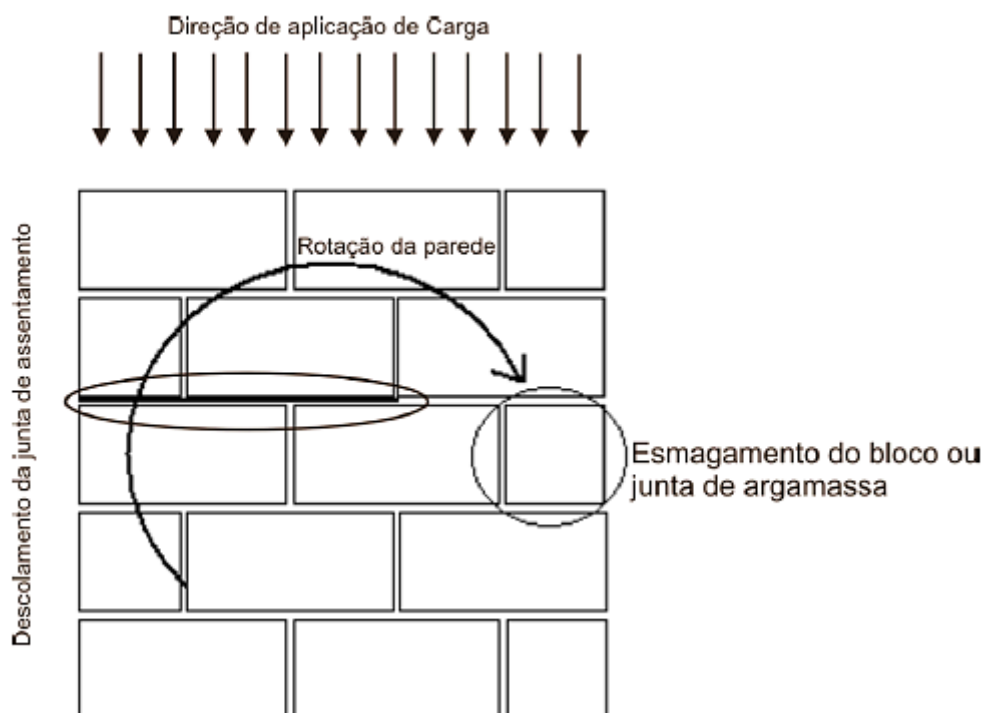
Em continuidade da análise da ruptura das miniparedes dos diferentes tipos de assentamento são apresentados nas Figura 53, Figura 55 e Figura 56 os modos de ruptura dos três padrões.



**Figura 53** - Modo de ruptura das miniparedes com argamassamento total.

Percebe-se que nas miniparedes com argamassamento total as primeiras fissuras foram provocadas pela abertura da junta vertical (Figura 53c), com posterior esmagamento localizado da argamassa devido à perda de capacidade da sua

capacidade. Por continuidade do processo de ruptura, ocorre a fissura que corta a face longitudinal do bloco, esmagando o bloco. Em consequência do esmagamento do bloco em um dos lados da parede, ocorre a rotação da parede de acordo com o esquema explicativo da Figura 54.



**Figura 54** - Rotação da pequena parede estrutural provocada pelo esmagamento do bloco ou da argamassa (MOHAMAD *et. al.*, 2011).

A Figura 55 apresenta o modo de ruptura das miniparedes com argamassamento parcial. Semelhante ao que ocorreu nos prismas desse mesmo tipo de assentamento, as miniparedes apresentaram ruptura por separação transversal do bloco devido às tensões laterais de tração no bloco (Figura 55b). Verifica-se que o início das fissuras ocorre na espessura da parede, entretanto também é visível fissuras na face frontal de abertura da junta vertical, caracterizando perda de capacidade local da argamassa e posterior esmagamento do bloco.



(a)



(b)

**Figura 55** - Modo de ruptura das miniparedes com argamassamento parcial.

O modo de ruptura do argamassamento misto é mostrado na Figura 56. Nota-se a fragmentação de alguns trechos do bloco na face frontal e a presença de fissuras verticais paralelas à direção do carregamento, entretanto concentradas nas regiões de interseção entre os septos longitudinais e transversais dos blocos. Como no argamassamento parcial, também surgem fissuras na espessura da parede ocasionando a separação transversal do bloco. Essa ruptura ocorreu devido ao efeito de tensões laterais de tração no bloco, aliado a uma perda de capacidade da argamassa.



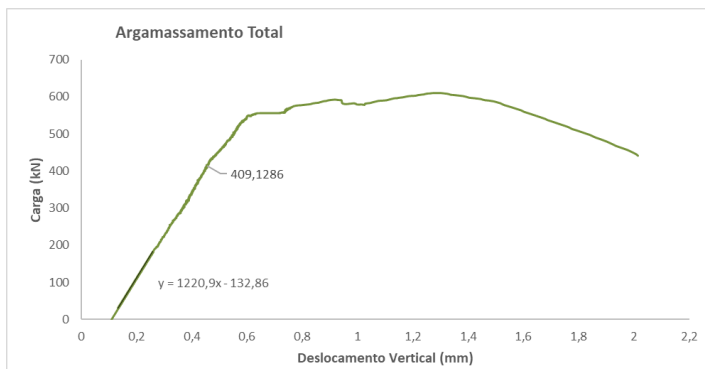
(a)



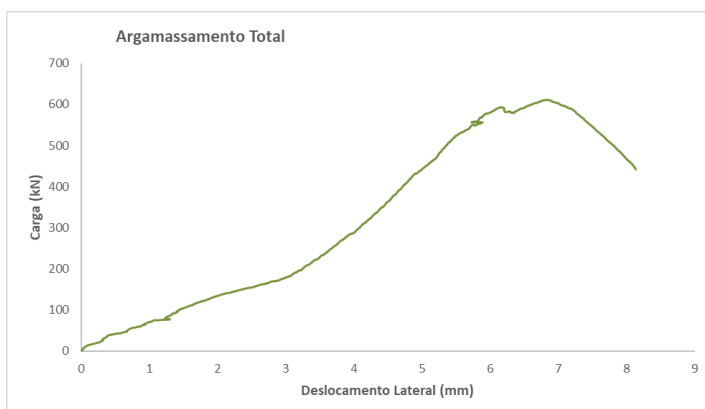
(b)

**Figura 56** - Modo de ruptura das miniparedes com argamassamento misto.

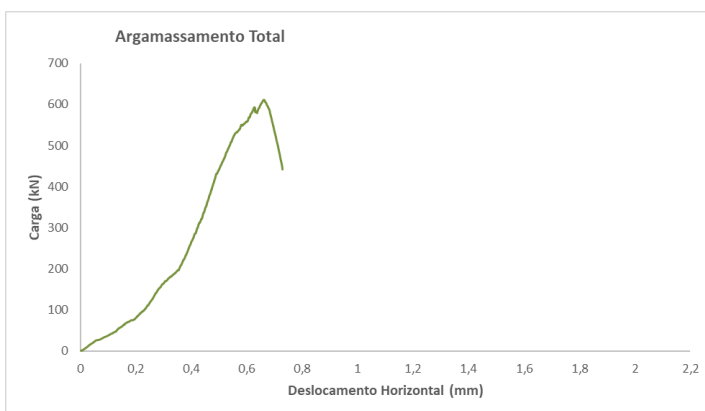
As Figura 57, Figura 58 e Figura 59 apresentam os resultados médios dos ensaios das miniparedes para cada padrão de assentamento em relação a cada posição de transdutor linear instalado. As médias das curvas foram feitas compatibilizando os intervalos entre o início e o momento da ruptura de cada ensaio realizado, tomando como base a carga aplicada, e desconsiderando conjuntos com valores discrepantes dos demais.



(a)

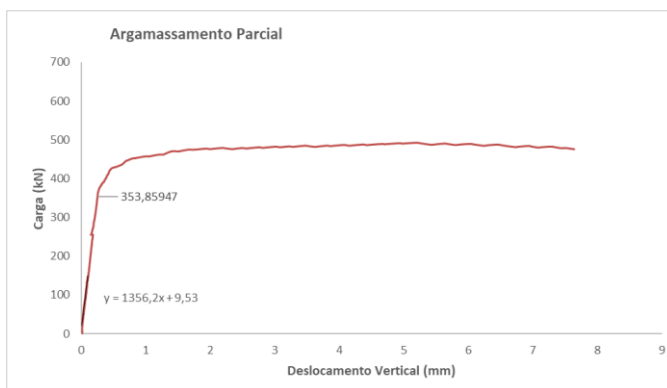


(b)

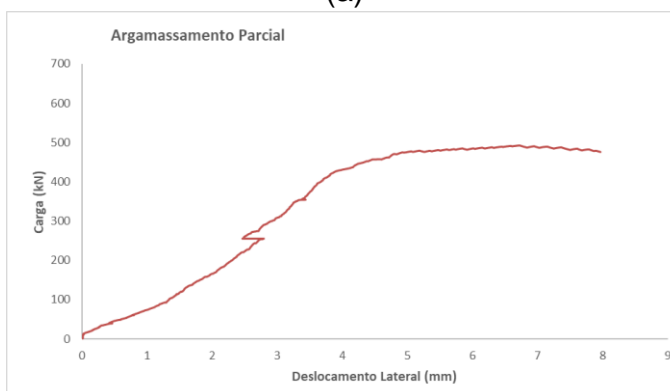


(c)

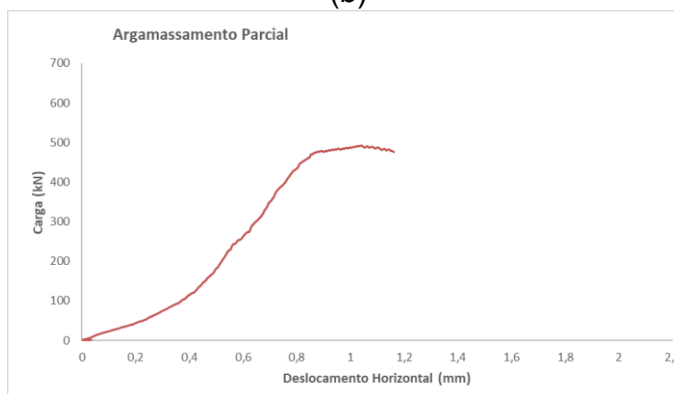
**Figura 57** - Resultados das miniparedes com assentamento total (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal.



(a)



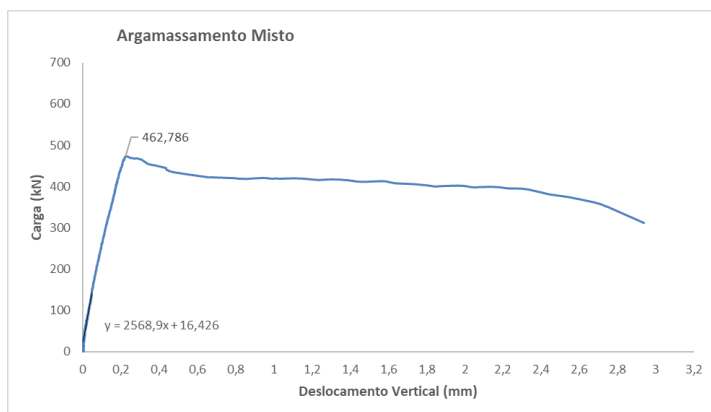
(b)



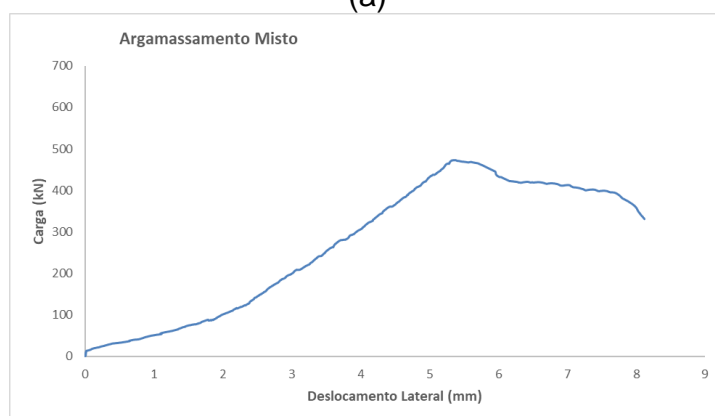
(c)

**Figura 58** - Resultados dos ensaios das miniparedes com assentamento parcial (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal.

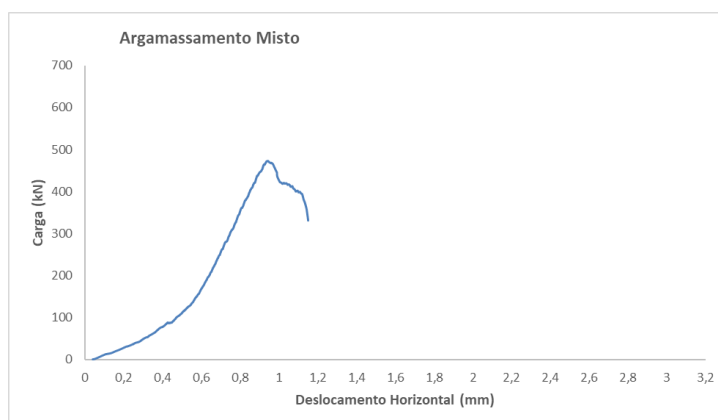




(a)



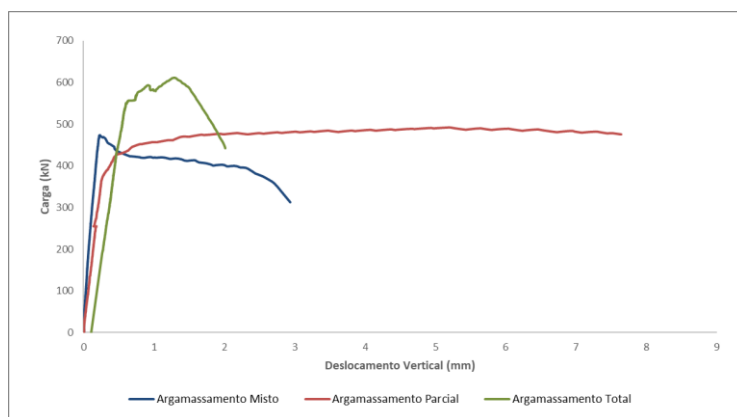
(b)



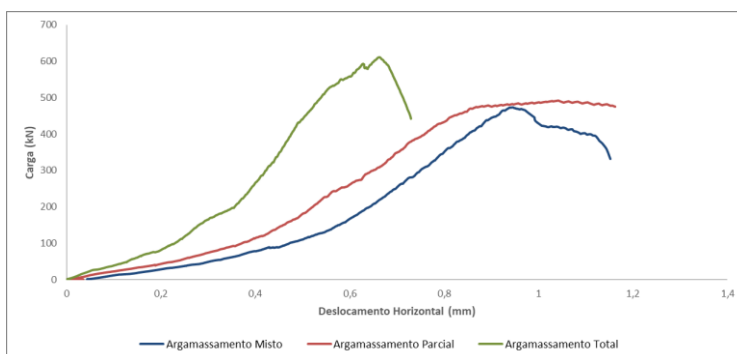
(c)

**Figura 59** - Resultados dos ensaios das miniparedes com assentamento misto (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento lateral e (c) em relação ao deslocamento horizontal.

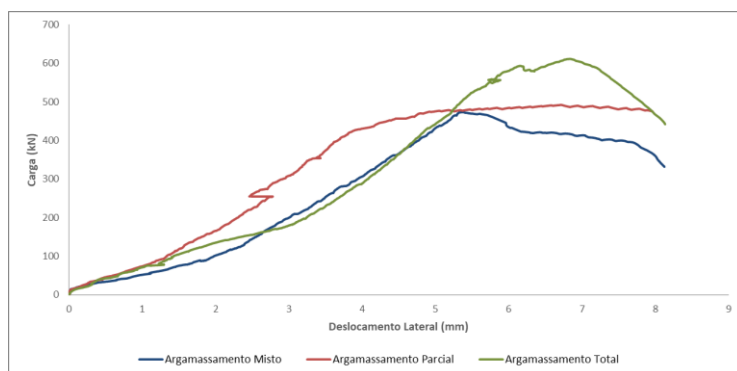
Um dos objetivos desse trabalho é comparar os padrões de assentamento das miniparedes, para isso mostra-se na Figura 60 as curvas comparativas entre os três tipos de argamassamento estudados em função de cada posição de transdutor linear instalado.



(a)



(b)



(c)

**Figura 60** - Comparação entre os resultados dos ensaios de miniparedes com diferentes padrões de assentamento (a) em relação ao deslocamento vertical, (b) em relação ao deslocamento horizontal e (c) em relação ao deslocamento lateral.

Observando as curvas apresentadas, vê-se que em relação ao deslocamento vertical, o argamassamento parcial apresenta maiores deslocamentos em cargas menores que os demais padrões. Verifica-se também que o padrão de assentamento total apresentou maior capacidade de carga e menores deslocamentos, apesar de possuir o menor módulo de elasticidade dos três padrões. Já o argamassamento misto, teve o maior módulo de elasticidade, entretanto teve

sua ruptura ao fim da zona elástica, evidenciando a fragilidade da estrutura, o que alerta ao risco de se utilizar esse tipo de assentamento nas construções do sistema.

Quanto ao deslocamento lateral, verifica-se que os comportamentos dos três padrões são semelhantes alterando apenas a capacidade de carga de cada um, contudo, mantendo a faixa de deslocamento lateral.

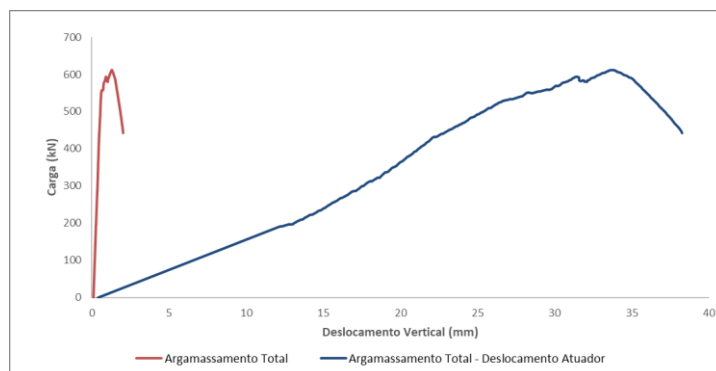
Avaliando os dados referentes ao deslocamento horizontal, percebe-se que os argamassamento misto e parcial apresentaram maiores deslocamentos que o assentamento total. Esse fato se justifica quando analisado o modo de ruptura apresentado nesses padrões, em que o rompimento por separação transversal do bloco gera maiores deslocamentos na direção perpendicular ao plano da parede.

O módulo de elasticidade é uma propriedade importante de estruturas em alvenaria. A partir dele é possível compreender o comportamento da alvenaria e prever suas deformações. Os módulos de elasticidade secante das miniparedes foram obtidos seguindo o procedimento da ACI530/ASCE/TMS402 (1996), que compreende a reta que une os pontos correspondentes as cargas a 5% e a 33% da carga de ruptura, com base na curva carga x deslocamento vertical apresentadas nas Figura 57a, Figura 58a e Figura 59a para cada padrão de assentamento.

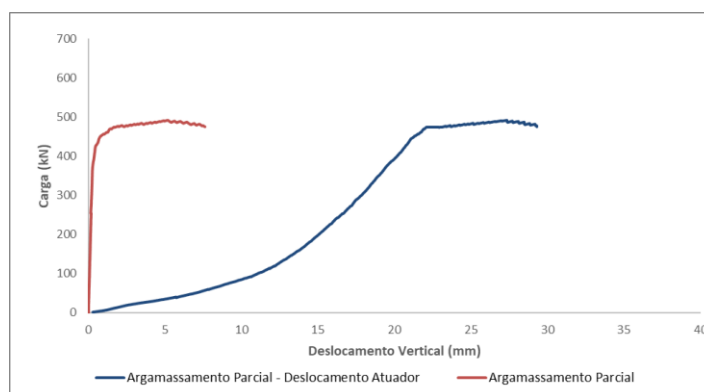
Outro parâmetro importante para a formulação de modelos matemáticos capazes de reproduzir o comportamento de uma alvenaria é o coeficiente de Poisson, o qual, em materiais homogêneos, pode ser estimado com as deformações específicas longitudinais e transversais no ensaio de compressão. Procurou-se calcular os valores de Poisson associados aos dados dos ensaios. Comparando os valores adquiridos, observa-se contrário aos materiais homogêneos e isotrópicos. A realidade da alvenaria estrutural que é formada por blocos e argamassas num arranjo muito heterogêneo exibe um comportamento diferente, apresentando propriedades diferentes nas direções ortogonais, e por isso é considerada como anisotrópica.

Avaliando os resultados mostrados nas Figura 57a, Figura 58a e Figura 59a, percebe-se que o deslocamento vertical foi muito pequeno comparado aos deslocamentos horizontal e lateral, o que não expressa adequadamente o comportamento de uma alvenaria, que tem sua maior deformação no sentido da carga aplicada. Concluiu-se que ao se instrumentar verticalmente apenas o terço

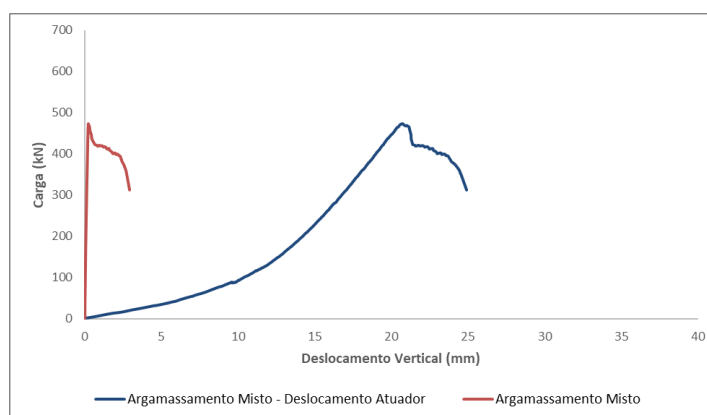
médio da parede como recomenda a NBR 16522 (2016), a última junta horizontal da argamassa, no sentido do assentamento dos blocos, ficou fora da zona de medição e com isso não se possui os valores da maior faixa de deslocamento que é, justamente, absorvida por essa argamassa. Para comparar, utilizou-se o deslocamento dos atuadores da prensa durante o tempo de ensaio como deslocamento vertical, abrangendo assim em totalidade a altura da parede, como mostrado na Figura 61.



(a)



(b)



(c)

**Figura 61** - Comparação entre os resultados dos deslocamentos verticais dos ensaios de miniparedes utilizando a instrumentação e o deslocamento do atuador (a) no argamassamento total (b) no argamassamento parcial (c) no argamassamento misto.

Como se notou a concentração das deformações na última junta horizontal da argamassa de assentamento, para determinar os coeficientes de Poisson de cada padrão estudado considerou-se o trecho linear das curvas carga x deslocamento vertical apresentadas nas Figura 57a, Figura 58a e Figura 59a. Em cada curva carga x deslocamento vertical dada pela instrumentação foi determinado o limite de proporcionalidade, e para a carga encontrada nesse limite foi associado o deslocamento correspondente a essa carga na curva carga x deslocamento vertical dada pelo deslocamento do atuador da prensa, sendo então definido um par de pontos ( $Carga_P$ ,  $Deslocamento_{PV}$ ) associado a outro par de pontos tensão x deformação em cada posição de transdutor linear instalado, sendo a tensão obtida pela relação  $Carga_P$  sobre área da seção da seção transversal onde foi aplicada a carga e a deformação obtida pela razão entre o  $Deslocamento_{PV}$  e a altura total da miniparede,  $(\frac{Carga_P}{Área}, \frac{Deslocamento_{PV}}{L})$ . Tais dados são compilados na Tabela 15.

**Tabela 15** - Deformabilidade dos padrões de assentamento.

Padrão de Assentamento	Carga <sub>P</sub> (kN)	Deslocamento <sub>PV</sub> (mm)	Deslocamento <sub>PH</sub> (mm)	Deslocamento <sub>PL</sub> (mm)	σ <sub>P</sub> (MPa)	ε <sub>PV</sub>	ε <sub>PH</sub>	ε <sub>PL</sub>	v <sub>H</sub>	v <sub>L</sub>	E <sub>PP</sub> (MPa)
T	409,128	26,273	0,481	4,768	2,455	0,022	0,007	0,008	0,311	0,363	1220,9
P	353,859	19,073	0,706	3,432	2,124	0,016	0,010	0,006	0,630	0,405	1356,2
M	462,786	20,350	0,922	5,242	2,312	0,017	0,013	0,009	0,770	0,515	2568,9

Como já visto, percebe-se que o padrão misto apresenta um limite de proporcionalidade mais elevado que os demais padrões, estando este muito próximo a carga de ruptura. Com relação a deformação vertical, vê-se que o padrão total apresenta maior deformabilidade vertical no limite de proporcionalidade, entretanto na deformabilidade lateral e horizontal o padrão misto apresentou maiores resultados gerando conseqüentemente maiores coeficientes de Poisson. Relacionando esse fato com os modos de ruptura, verifica-se que os tipos de assentamento que apresentaram ruptura por separação transversal do bloco apresentaram maiores deformabilidades nos sentidos horizontal e lateral, confirmando a anisotropia da alvenaria, ainda mais evidente quando ocorre a ausência de argamassa de assentamento nos septos transversais dos blocos.

Cabe ressaltar que esta análise de deformabilidade não é totalmente conclusiva. Por um lado, o tamanho da amostragem é pequena e por outro lado

observou-se também certas discrepâncias entre os valores de alguns dos ensaios. Foram descartados os resultados de medição lateral ou horizontal com suspeita de erro de medição. Os valores obtidos para o coeficiente de Poisson são relativamente alto em relação aos esperados. Contudo, o procedimento é conveniente para acessar valores experimentais do parâmetro.

A tentativa de analisar a relação entre as deformações revelou um fato muito importante, a concentração das deformações na última fiada da parede. Isso explica a grande dificuldade para estabelecer os parâmetros do comportamento mecânico da alvenaria.

## CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 – Conclusões

A seguir são apresentadas as conclusões obtidas em cada etapa.

- **Blocos**

Em relação as unidades, a análise dimensional mostrou que as duas dimensões de blocos utilizadas apresentam adequação as normas técnicas brasileiras. Referido as propriedades físicas, ambas as dimensões de blocos obtiveram absorção de água abaixo de 8,0%. A resistência média à compressão obtida foi de 6,01 MPa e 7,26 MPa, para o bloco inteiro e para o meio bloco, respectivamente, com ruptura em forma de cone, típica da compressão de um corpo de prova confinado nas extremidades. Desse modo, ambas as dimensões dos blocos analisados foram classificadas como Classe B.

- **Argamassa de Assentamento**

A caracterização física dos materiais que compõem a argamassa também cumpriu com as exigências das normas correspondentes. A argamassa de assentamento utilizada na confecção das miniparedes e prismas, segundo a NBR 13281 (2005) é classificada como P4 R2 D4 U5, cujo traço em volume é 1:1:6, e a resistência à compressão ensaiada foi de 5,72 MPa com relação água/cimento de 1,26 e 97% de retenção de água.

- **Prismas**

Quanto aos ensaios de compressão dos prismas conclui-se que o efeito do tipo de assentamento influi notavelmente na resistência à compressão, sendo os corpos de prova com argamassamento total mais resistentes e eficientes que os corpos de prova com argamassamento parcial. A ruptura dos prismas com argamassamento parcial se caracterizou pela separação transversal do bloco devido às tensões laterais de tração no bloco, perceptível pelas fissuras apresentadas nas na espessura do prisma, entretanto também apresentou fissura vertical paralela ao carregamento na face frontal. Nos prismas com argamassamento total foi possível verificar a fragmentação de alguns trechos do bloco e a presença de fissuras

verticais paralelas à direção do carregamento, entretanto concentradas nas regiões de interseção entre os septos longitudinais e transversais dos blocos. Este tipo de ruptura também ocorre devido ao efeito de tensões laterais de tração no bloco, mas aliado a uma perda de capacidade da argamassa.

- **Miniparedes**

Quanto aos ensaios de compressão das miniparedes chegou-se a mesma conclusão que nos prismas, sendo o tipo de assentamento influenciador na resistência à compressão das miniparedes. O argamassamento total apresentou maior resistência e eficiência, seguido do argamassamento parcial e por último o argamassamento misto. Em relação ao padrão misto, verifica-se que mesmo mesclando os padrões, a alvenaria se torna ainda menos resistente, já que esse padrão apresentou o menor resultado entre os diferentes tipos. Percebe-se, também, que o padrão de assentamento total apresentou o menor módulo de elasticidade dos três padrões. Já o argamassamento misto, teve o maior módulo de elasticidade, entretanto teve sua ruptura ao fim da zona elástica, evidenciando a fragilidade da estrutura, o que alerta ao risco de se utilizar esse tipo de assentamento nas construções do sistema.

Referente ao modo de ruptura percebe-se que nas miniparedes com argamassamento total as primeiras fissuras foram provocadas pela abertura da junta vertical, com posterior esmagamento localizado da argamassa devido à sua perda de capacidade. Desenvolvendo para o esmagamento do bloco em um dos lados gerando a rotação da parede. No argamassamento parcial, as miniparedes apresentaram ruptura por separação transversal do bloco devido às tensões laterais de tração no bloco. Sendo vistas as fissuras iniciais na espessura da parede, entretanto também é visível fissuras na face frontal de abertura da junta vertical, caracterizando perda de capacidade local da argamassa e posterior fissura de esmagamento do bloco. No modo de ruptura do argamassamento misto nota-se a fragmentação de alguns trechos do bloco na face frontal e a presença de fissuras verticais paralelas à direção do carregamento, entretanto concentradas nas regiões de interseção entre os septos longitudinais e transversais dos blocos. As fissuras iniciais se dão na espessura da parede ocasionando a separação transversal do bloco. A ruptura ocorreu devido ao efeito de tensões laterais de tração no bloco, aliado a uma perda de capacidade da argamassa.



Com relação a deformabilidade, verifica-se que os tipos de assentamento que apresentaram ruptura por separação transversal do bloco apresentaram maiores deformabilidades e maiores coeficientes de Poisson nos sentidos horizontal e lateral, confirmando a anisotropia da alvenaria, ainda mais evidente quando ocorre a ausência de argamassa de assentamento nos septos transversais dos blocos.

Conclui-se que devido a ruptura frágil e baixa resistência à compressão observada no padrão de argamassamento misto, esse não deve ser utilizado nas obras desse sistema construtivo. A utilização dos padrões de argamassamento total, mais conservador, e parcial devem ser avaliados e considerados em projeto, analisando a possibilidade de uso de cada padrão de acordo com o dimensionamento dos elementos, a resistência do bloco e da argamassa de assentamento utilizadas. A fim de evitar problemas de execução, deve-se realizar treinamentos periódicos da equipe instruindo quanto a forma de assentamento adotada pelo projetista.

## **5.2 – Recomendações para trabalhos futuros**

Recomenda-se a continuidade dos estudos dos padrões de argamassamento em alvenaria estrutural já que esse estudo abrange uma pequena variação das propriedades dos materiais, além de possuir um valor pequeno de repetições amostrais. Sendo, portanto, os dados apresentados aqui tendências comportamentais dos corpos de prova estudados.

São apresentados a seguir algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Instrumentar as miniparedes com transdutores que captem toda a altura da parede para que não se perca as deformações absorvidas pela argamassa de assentamento na última junta horizontal, no sentido do assentamento dos blocos, durante o ensaio de compressão axial.
- Instrumentar maiores repetições de prismas e miniparedes com extensômetros elétricos em diversos pontos, a fim de analisar detalhadamente a propagação da carga no ensaio de compressão;
- Realizar a análise por elementos finitos dos prismas e miniparedes de alvenaria considerando a não linearidade física dos materiais e compará-los com os resultados apresentados nesse trabalho;

- Avaliar a influência do padrão de argamassamento em miniparedes de alvenaria submetidos a cisalhamento e à flexão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarenga, R.C.S.S., Nalon, G.H.; Fioresi, L.A.F., Pinto, M.C., Pedroti, L.G., Ribeiro, J.C.L. (2017) Experimental evaluation of the influence of mortar's mechanical properties on the behavior of clay masonry. *Charact. Miner. Met. Mater.*, 671–679.

American Concrete Institute (1999). Building code requirements for structural concrete with commentary. ACI-318-99, Detroit.

American Society for Testing and Materials (2016) Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms: ASTM C 1314. Philadelphia.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) Agregados - Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos: NBR 13281. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão: NBR 13279. Rio de Janeiro.

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado: NBR 13278. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006) Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios: NBR NM 45. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) Agregados para concreto – Especificação: NBR 7211. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos: NBR 15900-1. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011) Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 1: Projeto: NBR 15961-1. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011) Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras: NBR 15961-2. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013) Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio: NBR 12118. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) Alvenaria de blocos de concreto – métodos de ensaio: NBR 16522. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência: NBR 13276. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios: NBR 16541. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos: NBR 6136. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017) Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica: NBR 16605. Rio de Janeiro.

Atkinson, R.H., Noland, J.L., Abrams, D.P. (1985) A deformation failure theory for stackbond brick masonry prism in compression, *Proceedings 7th International Brick Masonry Conference*, Melbourne, 1:577–592.

Atkinson, R.H., Noland, J.L. (1983) A proposed failure theory for brick masonry in compression, *Proceedings 3rd Canadian Masonry Symposium*, Edmonton, Canada.

Barbosa, C. S., Hanai, J. B., Lourenço, P. B., Mohamad, G. (2011) Influência da perda de água e das tensões confinantes nas propriedades físicas e mecânicas da argamassa de assentamento para alvenaria estrutural. *Anais do IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Belo Horizonte.

Barbosa, C. S., Lourenço, P. B., Hanai, J. B. (2010) On the compressive strength prediction for concrete masonry prisms. *Materials and Structures*, 43(3) 331-344.

Berto, L., Saetta, R. S., Vitaliani, R. (2005) Failure mechanism of masonry prism loaded in axial compression: computational aspects. *Materials and Structures*, 38:249-256.

Bolhassani, M., Hamid, A.A., Lau, A.C.W., Moon, F. (2015) Simplified micro modeling of partially grouted masonry assemblages. *Constr. Build. Mater.* 83:159–173.

British Standard Institute (1978) Structural use of unreinforced masonry Part. 1: BSI 5628. London.

Building Code Requirement of Masonry Structures (1995) ACI 530-95/ASCE 5-95/TMS 402-95, Masonry Standard Joint Committee, ACI, ASCE, TMS.

Building Code Requirement of Masonry Structures (1996) ACI 530-96/ASCE 5-96/TMS 402-96, Masonry Standard Joint Committee, ACI, ASCE, TMS.

Calçada, L. M. L. (1998) *Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 167p.

Camacho, J. S. (1995) *Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Camacho, J. S. (2006) *Projetos de edifícios em alvenaria estrutural*. Notas de aula. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

Camacho, J.S., Logullo, B. G., Parsekian, G. A., Soudais, P. R. N. (2015) The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behaviour. *IBRACON Struc. Mater. J.*, 8:353-364.

CEB-FIP (1990). CEB-FIP Model Code 1990, Comité Euro-International du Béton.

Centro de Estatísticas e Informações (2014) *Nota técnica déficit habitacional no Brasil*. Belo Horizonte.

Cheema, T. S., Klingner, R. E. (1986) Compressive strength of concrete masonry prisms. *ACI Journal*, 83(1):88-97.

Colville, J., Wolde-Tinsae, A. M. (1991) Compressive strength of a grouted concrete masonry. *International Brick/Block Masonry Conference 9<sup>th</sup>*, Berlin.

DRYSDALE, G. R.; HAMID, A. A. (1979) Behavior of Concrete Block Masonry Under Axial Compression. *ACI Journal*.

Federação das Indústrias do Distrito Federal (2017). Disponível em: <https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil>

Acessado em: Fevereiro de 2019.

Fioresi, L. A. F., Pinto, M. C., Nalon, G. H., Alvarenga, R. S., Pedroti, L.G., Ribeiro, J. C. L. (2017) Efeito da espessura da junta de assentamento no comportamento da alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. *61<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Cerâmica*, Gramado.

Fonseca, F. S., Fortes, E. S., Parsekian, G. A., Camacho, J. S. (2019) Compressive strength of high-strength concrete masonry grouted prisms. *Constr. Build. Mater.* 202:861–876.

Fonseca, F. S., Mohamad, G., Lourenço, P. B., Roman, H. R., Vermeltfoort, A. T. Deformation and Failure Mode of Masonry. *North American Masonry Conference 12<sup>th</sup>*, Denver, Colorado.

Fortes, E. S., Parsekian, G. A., Camacho, J. S, Fonseca, F. S. (2017) Compressive strength of masonry constructed with high strength concrete blocks. *IBRACON Struct. Mater. J.* 10(6):1273-1319.

Francis, A. J., Horman, C. B., Jerems, L. E. (1971) The effect of joint thickness and other factors on the compressive strength of brickwork. *International Brick Masonry Conference*, England.

Franco, L. S. (1988) *Desempenho da alvenaria à compressão*. Boletim Técnico da Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo.

Freitas, A. A. (2008) *Análise numérica e experimental do comportamento de prismas e miniparedes submetidos à compressão*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos. 289p.

Gallegos, H., Casabonne, C. (2005) *Albañilería Estructural*. 3ª Ed. Lima: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica do Peru.

Ganesan, T. P., Ramamurthy, K. (1992) Behavior of concrete hollow-block masonry prisms under axial compression. *Journal of Structural Engineering*.

Gaynor, P., Woodward, K., Scribner, C. (1987) *Influence of mortar bedding on masonry prism behavior*. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Report NBSIR 86-3467. 69p.

Gomes, I. R. (2001) *Simulação numérica do ensaio de compressão de prismas de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 160p.

Gomes, N.S. (1983) *A resistência das paredes de alvenaria*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo. 190p.

Haach, V. G.; Vasconcelos, G., Lourenço, P. B. (2014) Assessment of compressive behavior of concrete masonry prisms partially filled by general mortar. *J. Mater. Civ. Eng.*, 26(10).

Hilsdorf, H. K. (1969) An investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression. *Designing, Engineering and Construction with Masonry Products*, 34-41.

Ideias e negócios. Família dos blocos de concreto. Disponível em: <http://www.sahara.com.br/ideias-e-negocios/familia-dos-blocos-de-concreto/>

Acessado em: Outubro de 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) Censo 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&idnoticia=2057&busca=1&t=censo-2010-11-4-milhoes-brasileiros-6-0-vivem-aglomerados-subnormais>

Acessado em: Julho de 2017.

Izquierdo, O. S. (2011) *Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos. 155p.

Jonaitis, B.; Zavalis, R. (2013) Experimental Research of Hollow Concrete Block Masonry Stress Deformations. *International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques* 11<sup>th</sup>, Vilnius, Lituânia.

Khalaf, F.M., Hendry, A.W., Fairbairn, D.R. (1994) Study of the compressive strength of blockwork masonry. *ACI J.*, 91(4):367–375.

Khalaf, F.M. (1996) Factors influencing compressive strength of concrete masonry prism. *Mat. Concr. Res.*, 48(175).

Knutson, H.H. (1993) The stress-strain relationship for masonry. *Masonry Int. J.* 7(1):31-33.

Köksal, H. O., Karakoç, C., Yildirim, H. (2005) Compression behavior and failure mechanisms of concrete masonry prisms. *J. Mater. Civ. Eng.*, 17(1):107-115.

La Rovere, H. L. (2001) *Alvenaria Estrutural*. Notas de aula do curso de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

La Rovere, H.L., Soliz, V.H.V. (1995) Efeito da altura na resistência de prismas de alvenaria de blocos cerâmicos vazados. *Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*, Argentina.

Lima, A. N. (2010) *Análise experimental da influência da resistência e espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

Lima, T. E. S., Alexandre, J., Pinheiro, V. D., Paes, A. L. C., Azevedo, A. R. G., Monteiro, S. N., Aguiar, N. C. (2018) Caracterização de blocos estruturais de



concreto provenientes do Norte Fluminense. *73º Congresso Anual ABM Internacional*, São Paulo.

Lourenço, P. B. (1999) Dimensionamento de Alvenarias Estruturais. *Relatório 99-DEC/E-7*. Universidade do Minho, Braga.

Lourenço, P., Rots, J. (1997). Multisurface Interface Model for Analysis of Masonry Structures. *J. Eng. Mech.*, 123(7):660-668.

Lübeck, A., Mohamad, G., Fonseca, F. S., Modler, L. E., Schmidt, R. P. B. (2017) Compressive strength and failure mode of axially loaded hollow concrete block masonry. *Canadian Masonry Symposium 13<sup>th</sup>*. Halifax, Canada.

Martins, R.O.G., Nalon, G.H., Alvarenga, R.C.S.S., Pedroti, L.G., Ribeiro, J.C.L. (2018) Influence of blocks and grout on compressive strength and stiffness of concrete masonry prisms. *Constr. Build. Mater.* 182:233-241.

Mata, R. C. (2006) *Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 157p.

Maurenbrecher, A. H. P. (1985) Axial compression tests on masonry walls and prisms. *North American masonry conference 3<sup>rd</sup>*, University of Texas, Arlington, 1901-1914.

Medeiros, J. S., Sabbatini, F. H. (1993) *Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto*. Boletim Técnico – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Mendes, R.J.K. (1998) *Resistência à Compressão de Alvenarias de Blocos Cerâmicos Estruturais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 185 p.

Mohamad, G. (1998) *Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 178p.

Mohamad, G. (2007) *Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão*. Tese de Doutorado. Universidade do Minho, Braga. 290p.

Mohamad, G., Fonseca, F. S., Roman, H. R., Vermeltoort, A. T., Rizzatti, E. (2015) Behavior of Mortar under Multi-Axial Stress. *North American Masonry Conference 12<sup>th</sup>*. Denver, Colorado.

Mohamad, G., Fonseca, F. S., Vermeltoort, A. T., Martens, D. R. W., Lourenço, P. B. (2017) Strength, behavior, and failure mode of hollow concrete masonry constructed with mortars of different strengths. *Construction and Building Materials*, 134:489-496.

Mohamad, G., Lourenço, P. B., Roman, H. R. (2007) *Mechanics of hollow concrete block masonry prisms under compression: review and prospects*. *Cement & Concrete Composites*, 29(2):181-192.

Mohamad, G., Lourenço, P. B., Roman, H. R. (2011) Study of the compressive strength of concrete block prisms – stack and running bond. *IBRACON Struct. Mater. J.* 4(3):347-358.

Mohamad, G., Neto, A. B. S. S., Pelisser, F., Lourenço, P. B., Roman, H. R. (2009) Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural – previsão e modo de ruptura. *Revista Matéria*, 14(2).

Mohamad, G., Rizzatti, E., Roman, H. R. (2011) Failure mode, deformability and compressive strength of small structural masonry walls. *Ambiente Construído*. 11(3):7-22.

Müller, M. S. K. (1989) *Estudos das correlações entre resistências à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não-armada submetidos a esforços de compressão axial*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Musgrove, J., Fletcher, B. (1989) *Sir Banister fletcher's: A history of architecture*. New York: Butterworths.

Nacus, C. J. (1980) Comparison of fully bedded and face-shell bedded concrete block. *Report CE-495*. Colorado State University.

Nessralla, M. A. (2013) *Resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural: bloco cerâmico de 44 cm*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 136p.

Oliveira, A. L., Casali, J.M., Santos, S., Prudêncio Júnior, L. R. (2001) Metodologia para avaliação de trabalhabilidade de argamassas de assentamento de alvenaria. *Anais do Simpósio Brasileiro De Tecnologia das Argamassas*, Brasília.

Oliveira, R. A., Silva, F. A. N., Sobrinho, C. W. A. P., Azevedo, A. C., Delgado, J. M. P. Q., Guimarães, A. S. (2018) Structural performance of unreinforced masonry elements made with concrete and horizontally perforated ceramic blocks – Laboratory tests. *Construction and Building Materials*, 182:20-34.

Oliveira, R. P. (2015) *Estudo experimental da influência da argamassa de assentamento na resistência à compressão da alvenaria estrutural cerâmica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. 124p.

ONU-Habitat. O estado das cidades no mundo 2010-2011. Disponível em: <http://www.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=2917>. Acessado em: Julho de 2017.

Parsekian, G. A. (2012) *Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto*. São Carlos: EdUFSCar.

Parsekian, G. A. (2014) The success of masonry structures in Brazil: practice, research and challenges. *International Masonry Conference 9<sup>th</sup>*, Guimarães.

Parsekian, G. A., Côrrea, M. R. S., Lopes, G. M., Cavichioli, I. (2016) Theoretical and experimental study of slender structural masonry walls. *Ambiente Construído*. 16(4):197-213.

Parsekian, G. A., Fonseca, F. S., Pereira, J.L. (2016) Why is the masonry market in Brazil is booming? *TMS Journal*.

Parsekian, G. A., Hamid, A. A., Drysdale, R. G. (2013) *Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural*. 2ª Ed. São Carlos: EdUFSCar.

Parsekian, G. A., Soares, M. M. (2010) *Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos – projeto execução e controle*. 1ª Ed. São Paulo: O Nome da Rosa.

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

Pluijm, R. (1992) Material properties of masonry and its components under tension and shear. *Canadian Masonry Symposium 6<sup>th</sup>*, Canada.

Portella, R. P. (2015) *Fator eficiência da resistência prisma/bloco cerâmico de paredes vazadas*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 98p.

Prudêncio Júnior, L. R. (1986) *Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 123p.

Prudêncio Júnior, L. R., Oliveira, A. L., Bedin, C. A. (2002) *Alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Florianópolis: Editora Gráfica Pallotti.

Ramalho, M. A., Côrrea, M. R. S. (2003) *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. 1ª Ed. São Paulo: Pini.

Romagna, R. H. (2000) *Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 195p.

Roman, H. R. (1991) Características físicas e mecânicas que devem apresentar os tijolos e blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e estrutural. *Simpósio de desempenho de materiais e componentes de construção civil III*, Florianópolis.

Sabbatini, F. H. (1986) *Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente*. Boletim Técnico – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Santos, C.F.R., Alvarenga, R.C.S.S., Ribeiro, J.C.L., Castro, L.O., Silva, R.M., Santos, A.A.R., Nalon, G.H. (2017) Numerical and experimental evaluation of masonry prisms by finite element method. *IBRACON Struct. Mater. J.* 10:493–508.

Santos, M. J. F. (2008) *Análise da resistência de prisma e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassa*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 135p.

Sarhat, S.R., Sherwood, E.G. (2014) The prediction of compressive strength of ungrouted hollow concrete block masonry, *Constr. Build. Mater.* 58:111–121.

Schankoski, R. A., Prudêncio Júnior, L. R., Pilar, R. (2015) Influência do tipo de argamassa e suas propriedades do estado fresco nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto para edifícios altos. *Revista Matéria*, 20(4):1008-1023.

Shrive, N. G. (1982) The failure mechanism of face-shell bedded (ungrouted and unreinforced) masonry. *International Journal of Masonry Construction*.

Silva, A. F. (2007) *Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira. 109p.

Silva, R. F. (2011) *Estudo teórico-experimental da distribuição das ações verticais entre paredes de edifício de alvenaria estrutural cerâmica em escala reduzida*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira. 232p.

Solórzano, M. G. P. (1994) *Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Sutcliffe, D.J., Yu, H.S., Page, A.W. (2001) Lower Bound Limit Analysis of Unreinforced Masonry Shear Walls. *Computers and Structures*, 79:1295-1312.

Thamboo, J. A., Dhanasekar, M. (2019) Correlation between the performance of solid masonry prisms and wallettes under compression. *Journal of Building Engineering*. 22:429-438.

## ANEXOS

**Tabela 16** - Resistência à compressão da argamassa de assentamento.

Traço em volume	CPS	Força máxima aplicada (N)	Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)
<b>1:1:6</b>	<b>1</b>	9084,8	5,68	<b>5,72</b>
	<b>2</b>	9158	5,72	
	<b>3</b>	8580,7	5,36	
	<b>4</b>	9075	5,67	
	<b>5</b>	10337	6,46	
	<b>6</b>	8656,7	5,41	

**Tabela 17** - Resistência à tração na flexão da argamassa de assentamento.

Traço em volume	CPS	Força máxima aplicada (N)	Distância entre os suportes (mm)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Média (MPa)
<b>1:1:6</b>	<b>1</b>	922,38	<b>100</b>	2,16	<b>1,91</b>
	<b>2</b>	682,21		1,60	
	<b>3</b>	967,63		2,27	
	<b>4</b>	675,25		1,58	
	<b>5</b>	873,65		2,05	
	<b>6</b>	759,54		1,78	

**Tabela 18** - Análise dimensional do bloco inteiro (14cmX19cmX39cm).

Repetição	Tipo		Dimensões	Determinação			Média	Área Bruta (mm <sup>2</sup> )	Área Líquida (mm <sup>2</sup> )	
				1	2	3				
1	Largura, Comprimento e Altura		Largura 1 (mm)	139	140	139	139,33	54200,67	26045,14	
			Largura 2 (mm)	139	139	139	139,00			
			Comprimento 1 (mm)	389	389	390	389,33			
			Comprimento 2 (mm)	389	389	389	389,00			
			Altura (mm)	189	189	190	189,33			
	Espessura		Parede longitudinal 1 (mm)	26,23	25,1	-	25,67			
			Parede longitudinal 2 (mm)	25,44	25,82	-	25,63			
			Parede transversal 1 (mm)	25,8	-	-	25,80			
			Parede transversal 2 (mm)	25,1	-	-	25,10			
			Parede transversal 3 (mm)	25,44	-	-	25,44			
	Dimensões dos furos		Furo 1	Longitudinal (mm)	157,1	-	-			157,10
				Transversal (mm)	88,75	-	-			88,75
Furo 2			Longitudinal (mm)	158,22	-	-	158,22			
			Transversal (mm)	89,83	-	-	89,83			
2	Largura, Comprimento e Altura		Largura 1 (mm)	139	139	139	139,00	54117,33	26036,31	
			Largura 2 (mm)	139	139	139	139,00			
			Comprimento 1 (mm)	389	389	390	389,33			
			Comprimento 2 (mm)	389	389	390	389,33			
			Altura (mm)	189	189	189	189,00			
	Espessura		Parede longitudinal 1 (mm)	25,76	25,62	-	25,69			
			Parede longitudinal 2 (mm)	25,96	25,4	-	25,68			
			Parede transversal 1 (mm)	25,54	-	-	25,54			
			Parede transversal 2 (mm)	25,95	-	-	25,95			
			Parede transversal 3 (mm)	25,96	-	-	25,96			

	Dimensões dos furos	Furo 1	Longitudinal (mm)	157	-	-	157,00			
			Transversal (mm)	89,37	-	-	89,37			
		Furo 2	Longitudinal (mm)	157	-	-	157,00			
			Transversal (mm)	89,49	-	-	89,49			
3	Largura, Comprimento e Altura		Largura 1 (mm)	139	139	139	139,00	54200,67	26151,05	
			Largura 2 (mm)	139	139	140	139,33			
			Comprimento 1 (mm)	389	389	389	389,00			
			Comprimento 2 (mm)	389	389	389	389,00			
			Altura (mm)	189	189	189	189,00			
	Espessura		Parede longitudinal 1 (mm)	25,75	25,87	-	25,81			
			Parede longitudinal 2 (mm)	25,23	25,71	-	25,47			
			Parede transversal 1 (mm)	25,68	-	-	25,68			
			Parede transversal 2 (mm)	26	-	-	26,00			
			Parede transversal 3 (mm)	25,77	-	-	25,77			
	Dimensões dos furos		Furo 1	Longitudinal (mm)	157	-	-			157,00
				Transversal (mm)	89,77	-	-			89,77
			Furo 2	Longitudinal (mm)	157	-	-			157,00
Transversal (mm)				88,89	-	-	88,89			
4	Largura, Comprimento e Altura		Largura 1 (mm)	139	139	139	139,00	54163,67	26053,14	
			Largura 2 (mm)	139	139	139	139,00			
			Comprimento 1 (mm)	389	389	389	389,00			
			Comprimento 2 (mm)	390	390	389	389,67			
			Altura (mm)	189	189	190	189,33			
	Espessura		Parede longitudinal 1 (mm)	25,78	25,4	-	25,59			
			Parede longitudinal 2 (mm)	25	25,1	-	25,05			
			Parede transversal 1 (mm)	25,6	-	-	25,60			
		Parede transversal 2 (mm)	25,63	-	-	25,63				



	Dimensões dos furos	Furo 1	Parede transversal 3 (mm)	25,89	-	-	25,89		
			Longitudinal (mm)	158	-	-	158,00		
			Transversal (mm)	89,17	-	-	89,17		
		Furo 2	Longitudinal (mm)	157	-	-	157,00		
			Transversal (mm)	89,31	-	-	89,31		
5	Largura, Comprimento e Altura	Largura 1 (mm)	139	139	139	139,00	54117,33	26049,59	
		Largura 2 (mm)	139	139	139	139,00			
		Comprimento 1 (mm)	389	389	389	389,00			
		Comprimento 2 (mm)	390	389	389	389,33			
		Altura (mm)	189	189	189	189,00			
	Espessura	Parede longitudinal 1 (mm)	25,52	25,7	-	25,61			
		Parede longitudinal 2 (mm)	25,27	25	-	25,14			
		Parede transversal 1 (mm)	25,64	-	-	25,64			
		Parede transversal 2 (mm)	26,45	-	-	26,45			
		Parede transversal 3 (mm)	25,73	-	-	25,73			
	Dimensões dos furos	Furo 1	Longitudinal (mm)	157	-	-			157,00
			Transversal (mm)	89,44	-	-			89,44
		Furo 2	Longitudinal (mm)	158	-	-			158,00
			Transversal (mm)	88,77	-	-			88,77
6	Largura, Comprimento e Altura	Largura 1 (mm)	139	139	139	139,00	54247,11	26396,83	
		Largura 2 (mm)	139	140	139	139,33			
		Comprimento 1 (mm)	389	389	390	389,33			
		Comprimento 2 (mm)	389	389	390	389,33			
		Altura (mm)	189	189	189	189,00			
	Espessura	Parede longitudinal 1 (mm)	25,08	25,84	-	25,46			
		Parede longitudinal 2 (mm)	26,07	25,76	-	25,92			
		Parede transversal 1 (mm)	25,28	-	-	25,28			

		Parede transversal 2 (mm)	25,23	-	-	25,23			
		Parede transversal 3 (mm)	25,1	-	-	25,10			
	Dimensões dos furos	Furo 1	Longitudinal (mm)	157	-	-			157,00
			Transversal (mm)	88,52	-	-			88,52
	Furo 2	Longitudinal (mm)	156	-	-	156,00			
		Transversal (mm)	89,44	-	-	89,44			

**Tabela 19** - Análise dimensional do meio bloco (14cmX19cmX19cm).

Repetições	Tipo	Dimensões	Determinação			Média	Área Bruta (mm <sup>2</sup> )	Área Líquida (mm <sup>2</sup> )
			1	2	3			
1	Largura, Comprimento e Altura	Largura 1 (mm)	139	140	140	139,67	26397,00	13639,58
		Largura 2 (mm)	140	140	140	140,00		
		Comprimento 1 (mm)	189	189	189	189,00		
		Comprimento 2 (mm)	189	190	189	189,33		
		Altura (mm)	190	191	191	190,67		
	Espessura	Parede longitudinal 1 (mm)	25,28	25,93	-	25,61		
		Parede longitudinal 2 (mm)	25,22	25,69	-	25,46		
		Parede transversal 1 (mm)	25,8	-	-	25,80		
		Parede transversal 2 (mm)	25,48	-	-	25,48		
	Dimensões dos furos	Longitudinal (mm)	139	-	-	139,00		
Transversal (mm)		91,78	-	-	91,78			
2	Largura, Comprimento e Altura	Largura 1	139	140	139	139,33	26380,44	13812,06
		Largura 2	139	139	139	139,00		
		Comprimento 1	189	190	189	189,33		
		Comprimento 2	189	190	190	189,67		
		Altura	191	191	191	191,00		
	Espessura	Parede longitudinal 1	25,95	25,67	-	25,81		

		Parede longitudinal 2	25,46	25,68	-	25,57		
		Parede transversal 1	25,46	-	-	25,46		
		Parede transversal 2	26,6	-	-	26,60		
	Dimensões dos furos	Longitudinal	139	-	-	139,00		
		Transversal	90,42	-	-	90,42		
3	Largura, Comprimento e Altura	Largura 1	139	140	139	139,33	26380,44	13661,44
		Largura 2	139	139	140	139,33		
		Comprimento 1	189	189	190	189,33		
		Comprimento 2	189	189	190	189,33		
		Altura	190	190	191	190,33		
	Espessura	Parede longitudinal 1	25,9	25,29	-	25,60		
		Parede longitudinal 2	25,91	25,44	-	25,68		
		Parede transversal 1	25,78	-	-	25,78		
		Parede transversal 2	25,8	-	-	25,80		
	Dimensões dos furos	Longitudinal	140	-	-	140,00		
		Transversal	90,85	-	-	90,85		
4	Largura, Comprimento e Altura	Largura 1	139	140	139	139,33	26380,44	13588,64
		Largura 2	139	140	140	139,67		
		Comprimento 1	189	190	189	189,33		
		Comprimento 2	189	190	189	189,33		
		Altura	190	189	189	189,33		
	Espessura	Parede longitudinal 1	25,5	25,36	-	25,43		
		Parede longitudinal 2	25,96	25,29	-	25,63		
		Parede transversal 1	25,92	-	-	25,92		
		Parede transversal 2	25,43	-	-	25,43		
	Dimensões dos furos	Longitudinal	140	-	-	140,00		
		Transversal	91,37	-	-	91,37		

5	Largura, Comprimento e Altura	Largura 1	139	140	140	139,67	26536,67	13854,07
		Largura 2	139	140	140	139,67		
		Comprimento 1	190	190	190	190,00		
		Comprimento 2	190	190	190	190,00		
		Altura	190	190	190	190,00		
	Espessura	Parede longitudinal 1	25,27	25,76	-	25,52		
		Parede longitudinal 2	25,4	25,88	-	25,64		
		Parede transversal 1	25,83	-	-	25,83		
		Parede transversal 2	25,78	-	-	25,78		
	Dimensões dos furos	Longitudinal	140	-	-	140,00		
Transversal		90,59	-	-	90,59			
6	Largura, Comprimento e Altura	Largura 1	140	140	140	140,00	26600,00	14108,24
		Largura 2	139	139	139	139,00		
		Comprimento 1	190	190	190	190,00		
		Comprimento 2	189	190	190	189,67		
		Altura	190	190	191	190,33		
	Espessura	Parede longitudinal 1	25,91	26,05	-	25,98		
		Parede longitudinal 2	25,77	25,7	-	25,74		
		Parede transversal 1	25,71	-	-	25,71		
		Parede transversal 2	25,6	-	-	25,60		
	Dimensões dos furos	Longitudinal	138	-	-	138,00		
Transversal		90,52	-	-	90,52			

Tabela 20 – Propriedades físicas do bloco inteiro (14cmX19cmX39cm).

Repetições	Tipo de Massa (g)	Determinação		Média	Índice de absorção (%)	Umidade relativa (%)
		1	2			
1	Massa inicial ( $m_b$ )	11653,1	-	11653,1	5,77	11,86
	Massa seca ( $m_1$ )	11605,5	11542,2	11573,9		
	Massa saturada ( $m_2$ )	12240,3	12243,8	12242,1		
	Massa aparente ( $m_3$ )	6396,2	-	6396,2		
2	Massa inicial ( $m_b$ )	11251,8	-	11251,8	6,50	12,87
	Massa seca ( $m_1$ )	11160,1	11156,9	11158,5		
	Massa saturada ( $m_2$ )	11880,5	11886,6	11883,6		
	Massa aparente ( $m_3$ )	5712,5	-	5712,5		
3	Massa inicial ( $m_b$ )	11163,7	-	11163,7	6,68	12,29
	Massa seca ( $m_1$ )	11073,3	11072,3	11072,8		
	Massa saturada ( $m_2$ )	11803,6	11821	11812,3		
	Massa aparente ( $m_3$ )	6902,7	-	6902,7		

Tabela 21 - Propriedades físicas do meio bloco (14cmX19cmX19cm).

Repetições	Tipo de Massa (g)	Determinação		Média	Índice de absorção	Umidade relativa
		1	2			
1	Massa inicial ( $m_b$ )	5906	-	5906	5,53	14,79
	Massa seca ( $m_1$ )	5858,2	5858	5858,1		
	Massa saturada ( $m_2$ )	6181,6	6182,5	6182,05		
	Massa aparente ( $m_3$ )	2567,6	-	2567,6		
2	Massa inicial ( $m_b$ )	5936,5	-	5936,5	5,71	16,31
	Massa seca ( $m_1$ )	5883,2	5880,2	5881,7		
	Massa saturada ( $m_2$ )	6214,7	6220,8	6217,75		

	Massa aparente ( $m_3$ )	2701,1	-	2701,1		
<b>3</b>	Massa inicial ( $m_b$ )	5853,8	-	5853,8	5,79	15,68
	Massa seca ( $m_1$ )	5801,3	5801	5801,15		
	Massa saturada ( $m_2$ )	6130,5	6143,2	6136,85		
	Massa aparente ( $m_3$ )	2561,2	-	2561,2		

**Tabela 22** - Resistência à compressão do bloco inteiro (14cmX19cmX39cm).

Repetições	Força Aplicada (tf)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Área Líquida (cm <sup>2</sup> )	$f_{bk}$ relativo à área bruta (tf/cm <sup>2</sup> )	$f_{bk}$ relativo à área bruta (MPa)	$f_{bk}$ relativo à área líquida (tf/cm <sup>2</sup> )	$f_{bk}$ relativo à área líquida (MPa)
<b>1</b>	35,74	542,00	260,45	0,066	6,594	0,137	13,722
<b>2</b>	49,25	541,17	260,36	0,091	9,101	0,189	18,916
<b>3</b>	39,25	542,00	261,51	0,072	7,242	0,150	15,009
<b>4</b>	37,62	526,49	260,53	0,071	7,145	0,144	14,440
<b>5</b>	42,4	541,17	260,50	0,078	7,835	0,163	16,276

6	35,6	542,47	263,96	0,066	6,563	0,135	13,487
---	------	--------	--------	-------	-------	-------	--------

**Tabela 23** - Resistência à compressão do meio bloco (14cmX19cmX19cm).

Repetições	Força Aplicada (tf)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Área Líquida (cm <sup>2</sup> )	f <sub>bk</sub> relativo à área bruta (tf/cm <sup>2</sup> )	f <sub>bk</sub> relativo à área bruta (MPa)	f <sub>bk</sub> relativo à área líquida (tf/cm <sup>2</sup> )	f <sub>bk</sub> relativo à área líquida (MPa)
1	21,48	263,97	136,40	0,081	8,137	0,157	15,748
2	24,89	263,80	138,12	0,094	9,435	0,180	18,021
3	23,33	263,80	136,61	0,088	8,844	0,171	17,078
4	22,76	263,80	135,89	0,086	8,628	0,167	16,749
5	20,76	265,37	138,54	0,078	7,823	0,150	14,985

6	20,14	266,00	141,08	0,076	7,571	0,143	14,276
---	-------	--------	--------	-------	-------	-------	--------

**Tabela 24** – Resultados individuais da resistência à compressão dos prismas.

Padrão de Assentamento	Miniparede	Repetições dos Prismas (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	CV (%)
		1	2			
T	1	3,35	3,27	3,31	0,04	1,21
	2	3,3	3,2	3,25	0,05	1,54
	3	3,36	3,67	3,52	0,155	4,41
P	1	3,0	3,06	3,03	0,03	0,99
	2	2,96	2,86	2,91	0,05	1,72
	3	2,87	3,13	3,00	0,13	4,33

**Tabela 25** - Resultados individuais da resistência à compressão das miniparedes.

Padrão de Assentamento	Repetições das Miniparedes (MPa)			Média (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	CV (%)
	1	2	3			
M	2,10	2,20	2,90	2,40	0,36	14,83
P	2,40	2,60	2,50	2,50	0,08	3,27
T	3,10	3,10	3,00	3,07	0,05	1,54