



Hugo Ricardo Aquino Sousa da Silva

**Viabilidade estrutural dos blocos em concreto vazado produzidos com agregados da região do baixo amazonas estado do Pará, para a utilização em alvenaria estrutural.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macedo.

Universidade Federal do Pará  
Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



**Hugo Ricardo Aquino Sousa da Silva**

**Viabilidade estrutural dos blocos em concreto vazado produzidos com agregados da região do baixo amazonas estado do Pará, para a utilização em alvenaria estrutural.**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macedo

Belém  
Fevereiro de 2017

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Hugo Ricardo Aquino Sousa da Silva.

**TÍTULO: Viabilidade estrutural dos blocos em concreto vazado produzidos com agregados da região do baixo amazonas estado do Pará, para a utilização em alvenaria estrutural.**

GRAU: Mestre

ANO: 2017

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

**Hugo Ricardo Aquino Sousa da Silva.**

Rua do Imperador, nº 673

68.005-220 Santarém – PA – Brasil.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/ UFPA, Belém – PA

---

**Hugo Ricardo Aquino de Sousa Silva.**

Viabilidade estrutural dos blocos em concreto vazado produzidos com agregados da região do baixo amazonas estado do Pará, para a utilização em alvenaria estrutural. / Hugo Ricardo Aquino Sousa da Silva. – 2017.

Orientador: Alcebíades Negrão Macedo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2017.

1. Alvenaria Estrutural. 2. Blocos em Concreto. 3. Baixo Amazonas.

CDD – XX. ed. XXX.XXXXX

---

Universidade Federal do Pará  
Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



**Hugo Ricardo Aquino Sousa da Silva**

**Viabilidade estrutural dos blocos em concreto vazado produzidos com agregados da região do baixo amazonas estado do Pará, para a utilização em alvenaria estrutural.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFPA.  
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Profº. Dr. Alcebíades Negrão Macedo**

Orientador – PPGEC – UFPA

**Profª. Dr. Jorge Antônio da Cunha Oliveira**

Membro externo – Centro Universitário de Brasília –  
UNICEUB

**Profº. Dr. Bernardo Nunes de Moraes Neto**

Membro Interno – PPGEC – UFPA

Belém, 23 de março de 2017.

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus,  
aos meus Pais Aquino e Lidelma, à minha  
esposa Renata, aos meus filhos Rafaela e  
Heitor, aos meus irmãos Andrey e Andreza, a  
minha sobrinha Emanuela, o meu sobrinho  
Artur e a todos os amigos de luta.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, nosso Pai Maior, a Nossa Senhora que sempre abre as portas e os caminhos para caminharmos com nosso Pai.

A minha família indistintamente meu pai e minha mãe que me apoiaram nesta trajetória acadêmica desde os primeiros passos no jardim de infância até as salas dos laboratórios de mestrado.

Ao meu irmão Andrey pela amizade e amor irrestrito em tudo que faço a minha irmã Andreza, meu sobrinho Artur e minha sobrinha Emanuela pelo carinho constante.

A minha amada e tão importante esposa Renata pela compreensão durante os anos de estudo nas minhas viagens e ausência do lar, sempre apoiando e incentivando.

A Minha Filha Rafaela e Meu Filho Heitor que preenchem a minha vida desde as suas chegadas.

Em especial ao meu Orientador Professor Doutor Alcebíades Negrão Macêdo, pela paciência, compreensão, desprendimento e acima de tudo em acreditar que poderíamos concluir nosso trabalho.

Ao coordenador da época o professor Cláudio Blanco ao coordenador atual professor Dênio Raman e aos meus professores Luís Veloso, Regina, Adelson, Paulo Sergio, Ronaldson Carneiro e Renato Neves.

Ao Professor Doutor Jorge Antônio da Cunha Oliveira, em participar da banca de nossa defesa de dissertação.

Ao grande Amigo Diogo Costa que colaborou com os ensaios, bem como o Vladimir Colares meu muito obrigado e também aos colegas do mestrado Paulo Lobo, Leila, Yana, Leônice, Wallace, Ângelo, Marlon e todos que em algum momento cursaram uma disciplina.

Ao IFPA que permitiu meu afastamento parcial das salas de aula.

A Universidade Federal do Pará que permitiu meu acesso ao curso de mestrado e todos que colaboraram neste trabalho.

*“Nenhum homem realmente produtivo pensa  
como se estivesse escrevendo uma dissertação”.*

*Albert Einstein*

## RESUMO

SILVA, H. R. A. S. **Viabilidade estrutural dos blocos em concreto vazado produzidos com agregados da região do baixo amazonas estado do Pará, para a utilização em alvenaria estrutural.** 2017, 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém. 2017.

A região do Baixo Amazonas apresenta uma série de tipos de materiais que podem ser utilizados, em conjunto com outros agregados, à fabricação de blocos de concreto para utilização em alvenaria estrutural. A construção de edifícios estrutural com a utilização de blocos de concreto está crescendo consideravelmente em todo o país. Este estudo centra as atenções no município de Santarém e cidades vizinhas objetivando caracterizar a forma estrutural e mapear os agregados para a produção de blocos de concreto. Na cidade de Santarém e nos municípios em volta, assim considerados como baixo Amazonas, muitos agregados estão sendo utilizados para a produção de argamassas e concretos, seja seco ou convencional. Ainda não há uma comprovação sobre sua eficiência e eficácia. Este estudo tem como objetivo analisar o desempenho de Blocos, Prismas e Mini Paredes de Alvenaria Estrutural confeccionadas com Blocos em Concreto produzidos com agregados da Região do Baixo Amazonas. Este trabalho foi realizado com o intuito de obter um maior conhecimento sobre a alvenaria estrutural, tipo de construção que está retomando seu espaço no setor da construção civil. No tocante aos materiais e métodos a ser empregados nesta certificação serão realizados ensaios de prismas e paredes utilizando blocos de concreto e agregados da região do Baixo Amazonas

**Palavras-chave:** Alvenaria estrutural. Blocos em Concreto. Baixo Amazonas.

## ABSTRACT

SILVA, H. R. A. S. **Analysis of the structural performance of concrete blocks used in structural masonry, produced with aggregates of the baixo amazonas state of Pará**, 2017, 105 f. Dissertation (Master in Civil Engineering) – Graduate Program in Civil Engineering, Institute of Technology, Federal University of Pará, Belém, 2017.

This study aims to analyze the performance of blocks, prisms and Mini Structural masonry walls made from blocks produced with Concrete aggregates baixo amazonas Region. This region of the baixo amazonas has a number of types of materials that can be used in conjunction with other aggregates, the manufacture of concrete blocks for use in structural masonry. The construction of buildings with structural use of concrete blocks is growing considerably across the country. This study focuses attention on the city of Santarém and nearby towns in order to characterize the structural form and map the aggregates for the production of concrete blocks. In the city of Santarém and municipalities around thus considered baixo amazonas, many households are being used for the production of mortar and concrete, either dry or conventional. There is still no evidence about their effectiveness and efficiency. This work was performed in order to obtain greater insight into the structural masonry type of construction that is reclaiming its space in the building sector. In materials and methods to be employed in this certification testing of prisms and walls will be conducted using concrete blocks and aggregates of the baixo amazonas region.

**Keywords:** Structural masonry. Concrete blocks. Baixo amazonas.

## LISTA DE FIGURAS

1 – Çatal-Hüyük – Reconstrução das casas, com chamada para os terraços.....	21
2 – Arquitetura egípcia; Arquitetura romana; Arquitetura gótica. ....	22
3 – Forno Hoffman projetado na Alemanha em 1858. À esquerda tem-se uma visão global do forno e à direita vê-se uma de suas laterais .....	22
4 – Detalhes da fachada da Igreja do Convento de Santo Antônio no Recife.....	23
5 – Distribuição de tensões no prisma, conforme Hilsdorf. ....	28
6 – Relação entre as tensões de compressão e tração em um bloco ou tijolo na ruptura. ....	29
7 – Distribuição de tensões segundo Atckinson e Noland.....	30
8 – Deformação lateral dos blocos e argamassa de assentamento submetidos à compressão simples.....	31
9 – Diagrama tensão – deformação de alvenaria à compressão. ....	35
10 – Seixo rolado.....	47
11 – Rocha britada e brita mulata.....	48
12 – Areia. ....	48
13 – Areia extraída de barrancos. ....	49
14 – Areia extraída de barrancos (vermelha).....	49
15 – Areia extraída do leito do rio Amazonas (terra crescida).....	50
16 – Areias e areias grossa (quebradinho).....	50
17 – Agregados, gráudo (brita) e areia de Rurópolis.....	51
18 – Espessura das paredes dos blocos.....	58
19 – Tipos de Blocos de Concreto.....	60
20 – Família 29 de blocos.....	61
21 – Família 39 de blocos.....	61
22 – Geometria do bloco. ....	66
23 – Agregado miúdo. ....	66
24 – Agregado gráudo. ....	67
25 – Cimento. ....	67
26 – Mistura.....	67
27 – Produção dos blocos. ....	68
28 – Blocos produzidos. ....	68
29 – Fixação dos pontos de instrumentação .....	69
30 – Esquema de ensaio de compressão axial.....	69

31 – Modelo de Prisma.....	70
32 – Mini parede sem rapadura (a); mini parede com rapadura (b) (medidas em cm). ....	71
33 – Modelo de mini parede. ....	73
34 – Modelo de parede. ....	74
35 – Ensaio de compressão dos blocos.....	75
36 – Esquema de ensaio de resistência dos prismas.....	75
37 – Ensaio de resistência dos prismas.....	76
38 – Ensaio de resistência das mini paredes.....	76
39 – Ensaio de resistência das mini paredes.....	77
40 – Esquema de posicionamento de defletômetros na mini parede.....	77
41 – Esquema de ensaio de resistência da parede. ....	78
42 – Ensaio de resistência das paredes. ....	79
43 – Esquema de posicionamento dos defletômetros na parede. ....	79
44 – Corpos de prova de argamassa. ....	82
45 – Ensaio de compressão da argamassa. ....	82
46 – Detalhe das fissuras dos prismas. ....	86
47 – Detalhe do prisma após ruptura com início no bloco superior ao inferior.....	87
48 – Início de ruptura das minis paredes sentido vertical superior para inferior.....	91
49 – Detalhe da fiada de base das minis paredes com fissuras nos septos.....	91

## LISTA DE GRÁFICOS

1 – Tensão x deformação das mini paredes com blocos circulares de Lama Vermelha. ....	39
2 – Resultado da geometria dos blocos. ....	81
3 – Resistência a Compressão da argamassa aos 28 dias. ....	83
4 – Resistência a Compressão dos Blocos Ensaçados x Desvio padrão. ....	84
5 – Comparativo da Resistência dos Blocos entre os trabalhos realizados. ....	85
6 – Resistência a compressão dos prismas x carga aplicada. ....	87
7 – Comparativo da Resistência dos Prismas entre os trabalhos realizados.....	88
8 – Comparativo da Relação Prisma/ Bloco entre os trabalhos realizados. ....	89
9 – Resistência a compressão das Mini paredes. ....	90
10 – Resistência a compressão das Mini paredes. ....	92
11 – Tensão x deformação da mini parede 1. ....	92
12 – Tensão x deformação da mini parede 2. ....	93
13 – Tensão x deformação da mini parede 3. ....	93
14 – Tensão x deformação da mini parede 4. ....	94
15 – Resistência x carga. ....	95
16 – Tensão x deformação da parede. ....	96
17 – Tensão x deformação da parede. ....	96

## LISTA DE QUADROS

1 – Fator de eficiência para diversos tipos de unidades. ....	33
2 – Relação área líquida / área bruta para blocos e paredes sem graute.....	36
3 – Normas e autores internacionais pesquisados, referente a blocos cerâmicos.....	36
4 – Valores de módulo de elasticidade de autores brasileiros para blocos cerâmicos. ....	37
5 – Módulos de elasticidade da alvenaria.....	37
6 – Características do aglomerante.....	43
7 –Indicações quanto à aplicação do cimento. ....	45
8 – Argamassas e aplicações. ....	53
9 – Tipos de modulação.....	57
10 – Dimensões dos blocos de concreto.....	57
11 – Espessura mínima das paredes dos blocos. ....	58
12 – Designação dos blocos estruturais.....	61
13 – Dimensões e tolerâncias para blocos estruturais. ....	65
14 – Argamassas.....	72
15 – Tijolos.....	72

## LISTA DE TABELAS

1 – Resultado dos fatores de eficiência. ....	32
2 – Resultados da resistência à compressão das unidades seção reticulada e circular com adição de lama vermelha.....	38
3 – Resistência à compressão dos prismas com blocos, BC – LV e BR-LV.....	38
4 – Resultado da resistência a compressão das mini-paredes.....	38
5 – Resultados da resistência a compressão das paredes.....	38
6 – Valores de resistência à compressão dos blocos. ....	39
7 – Resistência à compressão das argamassas.....	40
8 – Resistência à compressão das paredinhas.....	40
9 – Resultados de resistência à compressão bloco padrão e meio bloco.....	41
10 – Resultados de resistência à tração e à compressão da argamassa.....	41
11 – Resultado em prismas.....	41
12 – Resultados das três séries de prismas. ....	41
13 – Tensões de ruptura (com apoio central). ....	41
14 – Tensões de ruptura (sem apoio central).....	42
15 – Alvenaria. ....	72
16 – Geometria dos blocos. ....	80
17 – Resistência a compressão das Mini paredes.....	90
18 – Resistência a compressão das paredes.....	94

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Justificativas</b> .....	<b>17</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura da dissertação</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Considerações gerais</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Noções históricas de alvenaria</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Alvenaria no Brasil</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4</b>	<b>Definição de blocos</b> .....	<b>24</b>
<b>2.5</b>	<b>Características</b> .....	<b>24</b>
2.5.1	Resistência à compressão da alvenaria .....	26
2.5.2	Modelos de ruptura.....	27
<b>2.6</b>	<b>Fator de eficiência</b> .....	<b>32</b>
<b>2.7</b>	<b>Módulo de elasticidade</b> .....	<b>33</b>
<b>2.8</b>	<b>Trabalhos realizados</b> .....	<b>38</b>
2.8.1	Desempenho Estrutural de blocos, Prismas, Mini Paredes e Paredes de Alvenaria Estrutural Confeccionados com Blocos Cerâmicos Produzidos a partir da Mistura de Lama Vermelha com Argila. ....	38
2.8.2	Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão.....	39
2.8.3	Avaliação experimental da interação de paredes de blocos de concreto de alta resistência sob ações verticais .....	40
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Considerações iniciais</b> .....	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização dos materiais</b> .....	<b>43</b>
3.2.1	Cimento .....	43
3.2.1.1	Propriedades físicas .....	44
3.2.1.2	Aplicações do Cimento.....	45
3.2.2	Agregados .....	46
3.2.2.1	Agregados do Baixo Amazonas .....	47
3.2.3	Argamassa .....	51

3.2.3.1	Classificação das argamassas: .....	52
3.2.4	Água .....	53
3.2.4.1	Retenção de água .....	53
3.2.5	Areia .....	54
3.2.6	Ligantes .....	54
3.2.7	Propriedades .....	55
<b>3.3</b>	<b>Dimensões dos blocos e modulação .....</b>	<b>56</b>
3.3.1	Especificação prévia do bloco .....	58
3.3.2	Blocos estruturais .....	59
3.3.3	Resistência a compressão dos blocos .....	62
<b>3.4</b>	<b>Produção dos blocos .....</b>	<b>63</b>
3.4.1	Geometria e características dos blocos .....	64
<b>3.5</b>	<b>Prismas .....</b>	<b>68</b>
<b>3.6</b>	<b>Mini paredes.....</b>	<b>71</b>
<b>3.7</b>	<b>Paredes.....</b>	<b>73</b>
<b>3.8</b>	<b>Ensaio realizados.....</b>	<b>74</b>
3.8.1	Blocos estruturais .....	74
3.8.2	Prismas .....	75
3.8.2.1	Resistência a Compressão .....	75
3.8.3	Mini paredes .....	76
3.8.3.1	Resistência a compressão .....	76
3.8.3.2	Módulo de elasticidade.....	77
3.8.4	Paredes.....	78
3.8.4.1	Resistência a compressão .....	78
3.8.4.2	Módulo de elasticidade.....	79
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANALISES .....</b>	<b>80</b>
<b>4.1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>80</b>
<b>4.2</b>	<b>Geometria do bloco.....</b>	<b>80</b>
<b>4.3</b>	<b>Argamassa .....</b>	<b>81</b>
<b>4.4</b>	<b>Bloco.....</b>	<b>83</b>
4.4.1	Resistência a Compressão Blocos .....	83
4.4.2	Análise Comparativa da resistência dos blocos entre os trabalhos .....	84
<b>4.5</b>	<b>Prismas .....</b>	<b>85</b>
4.5.1	Resultado da resistência .....	85

4.5.2	Análise Comparativa da resistência dos prismas entre os trabalhos .....	88
<b>4.6</b>	<b>Mini parede .....</b>	<b>89</b>
4.6.1	Análise Comparativa da resistência das minis paredes entre os trabalhos .....	91
<b>4.7</b>	<b>Parede .....</b>	<b>94</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>97</b>
<b>5.1</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>99</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>100</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Dos diversos materiais que podem ser utilizados como elementos de uma alvenaria estrutural, os mais utilizados hoje no Brasil são os blocos vazados de concreto, os blocos vazados cerâmicos, os blocos maciços cerâmicos, os blocos vazados silico-calcáreos e os blocos maciços silico-calcáreos. De todos, o bloco de concreto é o que tem o uso mais disseminado, sendo utilizado em larga escala em programas habitacionais, e que detém a maioria da normalização atual.

O termo alvenaria estrutural refere-se basicamente ao tipo de construção cuja resistência depende unicamente das unidades de alvenaria argamassadas. Alvenaria estrutural é uma das técnicas construtivas mais antigas, utilizada como forma de construção em habitações, monumentos e templos religiosos e que tem, a nível nacional e internacional, larga utilização na indústria da construção civil. É um processo construtivo simples que não requer equipamentos sofisticados e que permite um elevado grau de racionalização construtiva. Este sistema construtivo tem demonstrado satisfatório desempenho nos mais variados tipos de obras, aliando alta produtividade, custos compatíveis e bom desempenho estrutural.

No Brasil há uma crescente demanda por projetos de edifícios em alvenaria estrutural, pelo fato de gerar uma gama de vantagens, entre elas: redução de fôrmas, do consumo de aço

Este trabalho será realizado com o intuito de obter um maior conhecimento sobre a alvenaria estrutural, tipo de construção que está retomando seu espaço no setor da construção civil, onde verifica-se como vantagens a economia de forma, redução significativa nos revestimentos, redução nos desperdícios de material e mão de obra, redução no número de especialidades e flexibilidade no ritmo de execução da obra.

A construção de edifícios estrutural com a utilização de blocos de concreto está crescendo consideravelmente em todo o país. Este estudo centra as atenções no município de Santarém e cidades vizinhas com o objetivo de caracterizar a forma estrutural, analisar o comportamento dos prismas quando submetidos aos esforços de tração na flexão, compressão e cisalhamento. A caracterização dos agregados utilizados, bem como suas peculiaridades e dos traços executados foram apresentados no trabalho de Neves (2014).

Santarém, destaca-se na produção de agregados devido à localização das fontes de exploração, que estão num raio de 20 km das fabricas de blocos, o que reduz substancialmente o custo com transporte e conseqüentemente o valor final do bloco.

Atualmente em Santarém existem investimentos na área de habitação oriundos do governo federal, através de alguns programas, dentre os quais o Programa Minha Casa Minha

Vida, com a construção de 3081 unidades habitacionais, tipo residências unifamiliar e 1888 unidades habitacionais construídas em alvenaria estrutural, sendo estas edificações multifamiliar com 04 pavimentos sendo 04 unidades por pavimento, primeira edificação em alvenaria estrutural utilizando blocos em concreto produzidos com agregados da região do baixo Amazonas, no município de Santarém, e com o advento do Programa MCMV 3ª etapa previsto para o ano de 2017, novas técnicas de construção em massa poderá implementar no município uma nova concepção de construção para atender o déficit habitacional do município.

Na cidade de Santarém e nos municípios circunvizinhos situados na região do Baixo Amazonas, muitos agregados estão sendo utilizados para a produção de argamassas (cimento + água + areia) e concretos, seja seco ou convencional. Ainda não há uma comprovação sobre sua eficiência e eficácia.

### **1.1 Objetivo geral**

Este estudo busca como objetivo geral avaliar, do ponto de vista técnico a viabilidade de produção de Blocos de Alvenaria Estrutural, produzidos com agregados da Região do Baixo Amazonas, comparando a resistência e produção com o de outras regiões do país.

### **1.2 Objetivos específicos**

Verificar o desempenho da resistência de Blocos, Prismas, Mini Paredes e Paredes de blocos em Concreto produzidos com agregados da região do Baixo Amazonas.

Analisar os resultados da resistência à compressão de blocos em concreto, produzidos com agregados da região do Baixo Amazonas estado do Pará;

Comparar os resultados do desempenho estrutural dos Blocos, Prismas, Mini Paredes e Paredes produzidos a partir de utilização de agregados da região do baixo Amazonas com outros resultados da academia.

### **1.3 Justificativas**

A atual expansão do sistema construtivo utilizando o conceito de alvenaria estrutural está em franca expansão no Brasil, verticalizando edifícios com 15, 18 e 20. Junto a isso tem-se o crescimento do mercado imobiliário e o aumento na demanda por sistemas construtivos que aliem economia e qualidade técnica.

Frente a isso busca-se na região do baixo Amazonas a possibilidade de agregar diferentes tipos de materiais que, junto a outros agregados podem se tornar uma nova oportunidade de baratear os custos na construção civil.

Estudos realizados por especialistas em construção civil, comprovam que a alvenaria estrutural com blocos de concreto permite reduzir o custo das obras em até 30% (em torres de até quatro pavimentos) e 15% (em torres com 20 pavimentos), com ganhos ambientais. Daí a oportunidade de se buscar novas possibilidades de materiais que agreguem qualidade e economia.

A alvenaria estrutural com blocos de concreto apresenta vantagens muito superiores aos outros tipos de alvenarias, tais como confiabilidade, qualidade garantida por normas, ensaios e pelo Selo da Qualidade, custos competitivos e benefícios à sociedade.

Face a isso o planejamento da obra se dá de forma mais rápida. Blocos de concreto melhoram padrões construtivos, permitem detalhamentos estéticos, além de maior isolamento térmico, acústico e resistência ao fogo.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

Esta dissertação apresenta como estrutura o capítulo 1 correspondente à Introdução, o capítulo 2 contendo uma revisão bibliográfica, O capítulo 3 faz a apresentação dos materiais e métodos, o capítulo 4 apresentando os resultados e o capítulo 5 concluindo o estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Considerações gerais

A alvenaria é um material de construção tradicional de grande importância para a humanidade sendo utilizado há milhares de anos (DUARTE, 1999). Vale mencionar que a alvenaria estrutural começou a ser tratada como uma tecnologia de construção civil no século XVII, mediante a aplicação dos princípios de estatística na investigação da estabilidade de arcos e domos. Hendry (2002) salienta que apesar de alguns testes de resistência dos elementos de alvenaria estrutural terem sido realizados no decorrer dos séculos XIX e XX, os projetos construtivos eram delineados por meio de métodos empíricos de cálculo, trazendo em seu bojo diversas limitações (HENDRY, 2002).

Os edifícios altos em alvenaria sofreram com a baixa aceitação com o surgimento das estruturas de concreto armado, devido à baixa velocidade de construção, perderam seu espaço nos grandes centros urbanos (HENDRY, 2002). Dessa forma, as edificações em alvenaria estrutural foram pouco utilizadas por cinco décadas (HENDRY, 2002).

Em detrimento da escassez dos materiais de construção na Europa, principalmente do aço, no período da segunda guerra mundial (1939 – 1945), o interesse pelas edificações em alvenaria estrutural ressurgiu na década de 50. Portanto, nesse período foram erguidos algumas construções alvenarias estruturais, especialmente na Suíça, pois não havia indústrias de aço naquele país (HENDRY, 2002).

Incentivos públicos, como no caso da Inglaterra, promoveram a construção de inúmeros edifícios em alvenaria estrutural, nos anos seguintes (década de 60 e 70), impulsionados pelo o ressurgimento do interesse pela alvenaria estrutural na Europa ocasionado pela Segunda Guerra Mundial (HENDRY, 2002).

No Brasil a alvenaria estrutural está presente desde o início do século XVII. Todavia, esse novo entendimento de alvenaria estrutural com blocos estruturais, arrostada como um processo construtivo destinado a aquisição de edifícios mais econômicos e racionais, levou muito tempo para ser aceito (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Para ser aceita no Brasil, na década de 70, a alvenaria estrutural começou a ser abordada como uma tecnologia de engenharia, utilizando projeto estrutural abalizado em princípios científicos, devidamente validados (RAMALHO e CORRÊA, 2003), além da execução com critérios mais bem determinados. De acordo os autores, por mais que seu advento tenha sido

tardio, o método construtivo de alvenaria estrutural tornou-se uma escolha eficiente e econômica para a construção de edifícios residenciais e como também industriais.

Na década de 80, depois de anos de adequações e incremento no país, esta tecnologia construtiva foi solidificada, com a criação de normalização oficial rígida e consideravelmente ampla (SABATTINI, 2003). Percebe-se que a preferência para aplicação deste método construtivo é crescente. Ultimamente diversos empreendimentos são erguidos com este método como forma de alcançar uma redução dos custos das construções sem prejudicar a qualidade.

## **2.2 Noções históricas de alvenaria**

Os primeiros registros das habitações permanentes em alvenaria de pedra não apresentando argamassa em sua construção tem-se no período entre 9000 e 8000 a.C. na região do lago Hullen em Israel. Demais vestígios foram encontrados nas escavações de Ain Mallaha na Anatólia e em Tell Mureybet na Síria – Palestina (ASSIS, 2008). Nessas descobertas revelou o protótipo de casas com estruturas circulares e com diâmetros variando de 6m a 10m, semi-enterradas. A base de formação deste tipo de estrutura tinha a cobertura formada de barro sobre uma armação (ASSIS, 2008).

A evolução das civilizações propiciou modificações para uma estrutura retangular entre 7700 e 7600 a.C. A cidade conhecida como Çatal-Hüyük na Anatólia, que remonta a 6500 a.C. apresenta casas constituídas à base de tijolos, à semelhança de favos de uma colméia que se entrelaçam, formando um bloco compacto no qual a circulação não se fazia pelas ruas, mas, sim, pelos terraços como pode ser visto na Figura 1a.

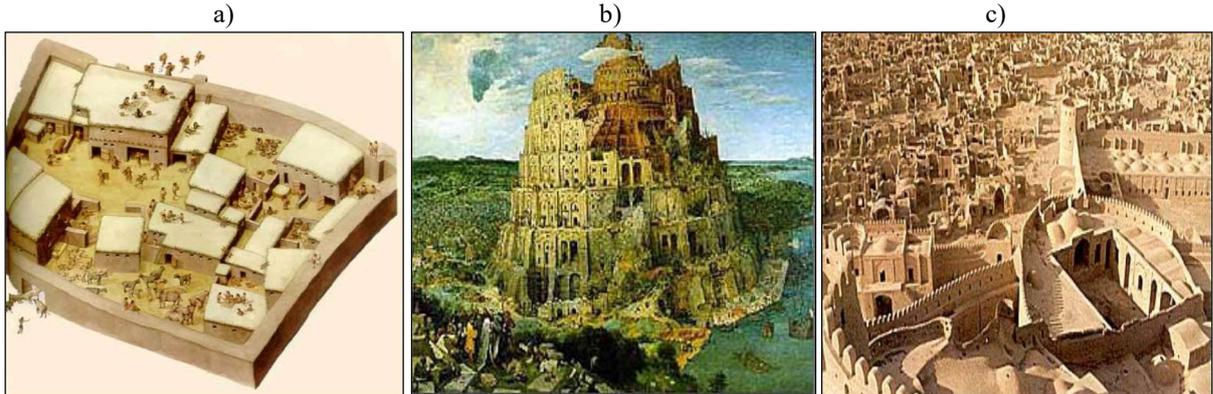
De acordo com Assis (2008) é possível encontrar nesta época povoados contendo casas circulares e ovaladas, com os tetos em cúpula, construídas em adobe plano-convexos, que com o tempo tiveram formas retangulares, tendo um ou mais andares, que possuíam paredes rebocadas e feitas com blocos de barro, na forma alongada, e secos ao sol. Perello & Port (1973), registra que a cidade de Jericó, referida na Bíblia, se igualava a este tipo de habitação, ora circundada por muralhas, com dimensões que atingiam 3,5 m de altura e 2 m de espessura, com torres circulares. Uma destas torres é conservada até os nossos dias e apresenta 9 m de altura. A Figura 1b ilustra a informações acima.

Alguns anos depois, por volta dos anos de 4000 a.C. a argila por ser maleável, foi moldada para confeccionar objetos que apresenta-sem uma melhor forma geométrica para a fixação. Assim obteve-se o tijolo de argila. Outros materiais conhecidos como adobe foram utilizados

na construção de paredes, ao longo dos tempos, o seu uso a partir da confecção de tijolos de barro secos ao sol (GALLEGOS, *apud* ASSIS, 2001).

A Figura 1c apresenta uma ilustração da Torre de Babel, construída entre 605-592 a.C. Considerada a mais formosa das cidades da época durante o reinado de Nabucodonosor II, a cidade floresceu numa ostentação e foi destruída totalmente por Jerjes em 469 a.C.

Figura 1 – Çatal-Hüyük – Reconstrução das casas, com chamada para os terraços.



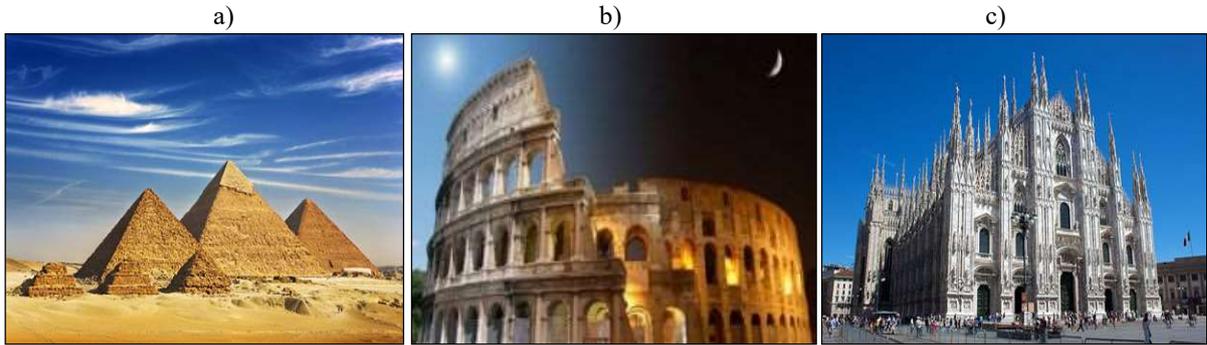
Fonte: (ASSIS, 2008).

Nota: Cidade de Bam no Iran com a torre e os muros altos (ASSIS, 2008); Ilustração da Torre de Babel, construída entre 605-592 a.C. (BARBOSA *apud* ASSIS, 2001).

Segundo Dethier (1982), a necessidade de materiais de construção combinada com a abundância de argila, o clima quente e seco necessário para secar os tijolos, e a falta de madeira e pedra obrigaram o homem a produzir o tijolo de barro. O conjunto das pirâmides na cidade Gizé, uma das sete maravilhas do mundo, permaneceu resistindo ao tempo, construídas por Quéops na 4<sup>a</sup>. Dinastia, entre 2589 a.C. e 2566 a. C., como tumbas para os faraós. Esta grande obra foi erguida à margem esquerda do rio Nilo, no Egito. A Figura 3a mostra a pirâmide de Quéops com sua base quadrada de 230 m de lado e uma altura de 147 m. Ela compõe o conjunto arquitetônico com outras duas pirâmides: Quéfrem e Miquerinos.

Algumas estruturas como por exemplo, a Romana e Romanesca apresentam em seus templos, palácios, arcos, colunas, igrejas, pontes e aquedutos construídos entre o período de 1000 e 1200 da atual era. Outras estruturas como a Gótica com as suas magníficas catedrais construídas entre 1200 e 1660. As Figuras 3b e 3c expressam a contribuição arquitetônica advindas das civilizações romana e gótica.

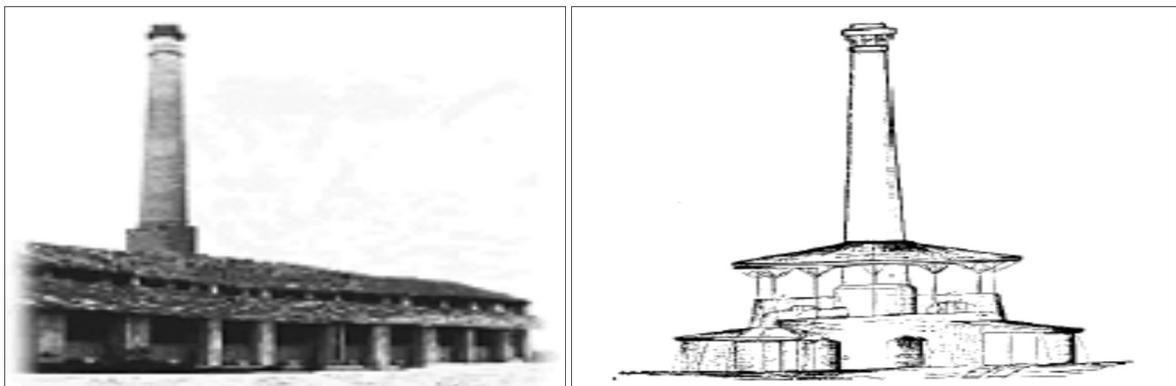
Figura 2 – Arquitetura egípcia; Arquitetura romana; Arquitetura gótica.



Fonte: (BARBOSA *apud* ASSIS, 2001); (LOURENÇO, 1999); (LOURENÇO, 1999).

Devido aos avanços no processo de tratamento da argila e moldagem dos tijolos, Hoffman projetou na Alemanha, em 1858, o primeiro forno contínuo para tijolos cerâmicos. A Figura 4 mostra um forno Hoffman, construído com diversas câmaras que se encontram ligadas a uma chaminé central, por meio de tubos. O calor é controlado no nível superior do forno.

Figura 3 – Forno Hoffman projetado na Alemanha em 1858. À esquerda tem-se uma visão global do forno e à direita vê-se uma de suas laterais



Fonte: LOURENÇO, 1999.

A Revolução Industrial propiciou o desenvolvimento de máquinas, com o passar dos tempos mais aperfeiçoadas para a produção em série possibilitaram a geração de blocos de concreto no peso e na medida da capacidade do homem de assentá-los em grande quantidade ao longo de um dia de trabalho. O formato dos tijolos, segundo vários autores, entre eles Assis (2001), manteve-se constante, paralelepípedo e maciço, desde a pré-história até o século XIX.

### 2.3 Alvenaria no Brasil

A Cantaria era confeccionada a partir da pedra lavrada ou simplesmente aparelhada em formas geométricas para construção de edifícios. Diversas ruas do Recife conservam, também,

ainda hoje algumas casas que surgiram no século XIX para residências de famílias abastadas e que representam o estilo neoclássico e um tanto afrancesado da época, conservando elementos originais de cantaria, Figura 4.

Figura 4 – Detalhes da fachada da Igreja do Convento de Santo Antônio no Recife.



Fonte: LOURENÇO, 1999.

Em 1875 o Código de Posturas proibia a construção de ranchos de palha, capim ou sapé Abria-se, então, a possibilidade para o desenvolvimento do bloco de argila (WISSEMBACH, 1990).

Azeredo (1990 apud BARRETO, 2002) lembra que o tijolo foi concebido na dimensão exata da capacidade de trabalho manual do pedreiro. Em uma de suas mãos ele poderia segurar o tijolo e, na outra, a colher. A largura do tijolo de barro cozido, ainda não industrializado, possuía a largura média da mão humana, ou seja, 15 cm. Depois desses primórdios, o tijolo enraizou-se na tradição da construção brasileira.

O tijolo furado (20x20 cm) ganhou espaço no cenário das construções devido à sua de velocidade de assentamento, alinhamento e amarração e de espaço construído. Daí progrediu-se posteriormente para o bloco de concreto que, entretanto, não excluiu o tijolo de barro cozido.

De acordo com Kalil (2007), estima-se que foram construídos no Brasil entre 1964 e 1966, mais de dois milhões de unidades habitacionais em alvenaria estrutural.

Somente no final da década de 80 é apresentada a primeira norma brasileira para o cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, a NB 10837 (1989).

De acordo com Silva (2007), com o aprimoramento das técnicas com a utilização dos blocos estruturais, o mercado começa a dar espaço para novas edificações. Em 1988, são construídos 12 edifícios no bairro do Brás, em São Paulo, com 19 pavimentos. Até então eram os edifícios mais altos já construídos no Brasil, em alvenaria estrutural armada.

No Brasil, a grande busca por conhecimento e informação da alvenaria estrutural se deu na década de 80, sendo difundida com a construção dos conjuntos habitacionais, ficando

associado como um sistema construtivo de baixa renda. Devido ao seu grande potencial de redução de custos, diversas construtoras e produtoras de blocos investiram nessa tecnologia para torná-la mais vantajosa.

## **2.4 Definição de blocos**

Blocos de concreto são materiais básicos de construção. Recentemente, o bloco de concreto de cor cinza recebeu inovação e apresentam novas variedades de tamanhos, formas, cores e texturas. Dessa forma, proporcionam construções belíssimas e ótimas aplicações funcionais como para vedação, estrutural, térmica e acústica, o que garante popularidade entre os construtores, engenheiros e principalmente arquitetos devido à flexibilidade de criação para atender projetos de residências, hospitais, escolas, edifícios comerciais e residenciais de médio e alto padrão (FKCOMERCIO, 2011).

O bloco deve atender a outras condições limites muito importantes para seu desempenho como elemento modular, estrutural e de vedação. Devem ter suas dimensões padronizadas dentro das tolerâncias definidas na norma, devem ser atendidos os limites de absorção e retração por secagem, além, é claro, do próprio controle visual. Neste último caso, se o bloco for ficar aparente, simplesmente protegido por alguma tinta ou verniz, sua textura tem que ser fina, pouco áspera. Se, por outro lado, o bloco for revestido com massa única, é mais conveniente ter uma textura mais grossa e áspera para melhor aderência da argamassa à superfície do bloco (USUDA, 2004).

A norma NBR 6136 define o bloco como um elemento de alvenaria, que precisa ter a sua extensão líquida igual ou inferior a 75% da extensão bruta. Os blocos de classe AE são empregados em paredes externas acima ou abaixo do nível do solo, sendo um grande diferencial da alvenaria tradicional, por poder ficar exposta à umidade ou qualquer clima ou condição climática extrema sem receber revestimento de argamassa enquanto os blocos de Classe BE só podem empregados acima do nível do solo e necessitam ser revestidos e não aguentam exposição as condições climáticas extremas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980).

## **2.5 Características**

O bloco de concreto foi bem aceito e é utilizado em larga escala no Brasil. Mediante esse emprego maciço, foi o primeiro bloco a ser normatizado, possui uma norma brasileira para

cálculo de alvenaria estrutural. Mesmo assim, pela diversidade de fornecedores, encontra-se blocos com problema de falta de qualidade.

O bloco de concreto deve possuir boa resistência à compressão, devendo a faixa de produção ser entre 4,5 MPa (mínima) e 18 MPa (máxima) exigida pelas normas. Poucas fábricas comercializam o bloco com alta resistência, sendo que ele é mais pesado. Já podemos encontrar no Brasil prédios com mais de 20 andares com alvenaria estrutural de blocos de concreto. A vantagem do bloco está no fato dele desempenhar várias funções, como de estrutura e de fechamento extinguindo os pilares e as vigas, além de diminuir o emprego de armaduras e de formas (CESAR, 2007).

O bloco de concreto de qualidade tem que disponibilizar qualidade e economia as edificações. Devendo apresentar: dimensões e formas adequadas, compacidade, resistência, bom acabamento geométrica, boa aparência visual principalmente se o projeto não possui revestimento. Deve também, possibilitar o isolamento termo-acústico. Estes requisitos são categóricos para a qualidade dos blocos tendo seus limites constituídos em normas técnicas apropriadas (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

Como citado anteriormente, há um conjunto completo de normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) voltadas à qualidade dos materiais e ao sistema construtivo de alvenaria estrutural com blocos de concreto. Sendo elas:

NBR 15873/2010 – Coordenação Modular para Edificações;

NBR 6136/2008 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos;

NBR 7184:1992 – Determinação da resistência à compressão;

NBR 8215/1983 – Prisma de Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural Preparo e ensaio à Compressão;

NBR 15961-1/2011 – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 1: Projeto;

NBR 15961-2/2011 – Alvenaria estrutural — Blocos de concreto — Parte 2: Execução e controle de obras;

NBR 12118/2011 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Métodos de ensaio;

NBR 14321 – Paredes de Alvenaria Estrutural – Determinação da resistência ao cisalhamento;

NBR 14322 – Paredes de Alvenaria Estrutural – Verificação da resistência à flexão simples ou à flexo-compressão;

NBR 10837:1989 – Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto;

NBR 8798:1985 – Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto;

A partir desse momento, serão elencadas algumas características que constituem os requisitos normativos e são norteadores para a qualidade ou especificação dos blocos.

### 2.5.1 Resistência à compressão da alvenaria

Os aspectos relacionados à resistência à compressão da alvenaria estão dispostos na NBR 10837 (1989, p. 14), onde as tensões admissíveis da alvenaria devem ser baseadas na resistência dos prismas na idade de 28 dias ou na idade em que a estrutura estiver submetida ao carregamento total. Entretanto, são realizadas pesquisas com diversos tipos e dimensões de corpos-de-prova, na tentativa de melhor avaliar a resistência final da estrutura.

A resistência à compressão está ligada aos critérios de dosagem, influenciado absolutamente na resistência do bloco assim como o seu índice de absorção. A cura é um fator determinante na resistência a compressão dos blocos, a qual deve ser avaliada aos 28 dias. A resistência não mais é do que a capacidade que a parede de alvenaria deverá ter para suportar as diversas ações mecânicas diagnosticadas no projeto, tais como as cargas da estrutura, vento, deformações, choques, etc. (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

Para se alcançar esta resistência, é necessário que alguns fatores estejam ligados como: características dos componentes e das juntas, aderência do conjunto, esbeltez da parede, ligação entre paredes, entre outros. Os blocos são fabricados em classes de resistência que vão desde de 4,5MPa até 18MPa. A classe de resistência mais baixa, 4,5MPa tem uso exclusivo em paredes com revestimento e não expostas às condições climáticas extremas. Sua determinação deve conter as imposições da NBR 6136 (CESAR, 2007).

De acordo com Hendry (*apud* BARBOSA, 2004, p. 25), são vários os fatores que podem influenciar os resultados da resistência da alvenaria, como: geometria do elemento, resistência da unidade, espessura da ligação, deformação característica da argamassa, resistência da argamassa e retenção de água da mesma.

Já Sabbatini (1984, p. 140) indica que os fatores influentes são: a resistência da junta de argamassa, a aderência do conjunto, as características reológicas da unidade e das juntas, a espessura e disposição das juntas, as dimensões, a existência de vazios e a tolerância dimensional das unidades de alvenaria.

Steil (2003, p. 21) ainda qualifica alguns fatores importantes quanto à influência no ensaio e prismas que apresentam nas paredes a mesma interferência. Os fatores são subdivididos em

dois grupos: os que são caracterizados pelos materiais da execução e os que são inerentes à construção. Em geral, os fatores mais importantes são:

- Blocos: sua geometria, resistência, absorção e resistência tração;
- Argamassa: resistência, retenção de água e espessura da junta;
- Módulo de elasticidade: a relação entre a rigidez dos materiais utilizados define a resistência final da alvenaria e seu modo de ruptura;
- Influência da esbeltez do prisma (SILVA, 2007, p. 37-38).

Para determinação da resistência da alvenaria a EUROCODE propõe a equação abaixo:

$$Fk = k \cdot f_b^{0,75} \cdot f_a^{0,25}$$

Equação 1

$k$  = é um coeficiente

$F_a$  = resistência à compressão média da argamassa

$F_b$  – resistência à compressão média da unidade

Sendo  $k = 0,4$ .  $\varphi$

Para  $f_b > 15 \cdot \frac{N}{mm^2}$ ,  $\varphi = \left(\frac{15}{f_b}\right) \cdot 0,33 \leq 1,5$

Para  $f_b > 15 \cdot \frac{N}{mm^2}$ ,  $\varphi = 1$

É notável que pela EUROCODE 6, a argamassa tem pouca influência em relação ao bloco.

### 2.5.2 Modelos de ruptura

Santos (2014) defende a importância da resistência à compressão da alvenaria, pois no dimensionamento, o carregamento vertical com combinação do esforço horizontal é suportado pela mesma, embora alguns autores a coloquem em 3º ou 4º grau de importância.

Monk (1967), determinou em seus resultados obtidos em testes de laboratório que a ruptura ocorreu no bloco cerâmico pelo fendilhamento vertical, onde as tensões de tração ultrapassaram a resistência à tração da unidade. “Quando unidades cerâmicas são ensaiadas à compressão, o prato de aço da prensa sendo muito mais rígido do que o bloco, produz nestas deformações laterais de compressão, ocasionando a ruptura por cisalhamento”.

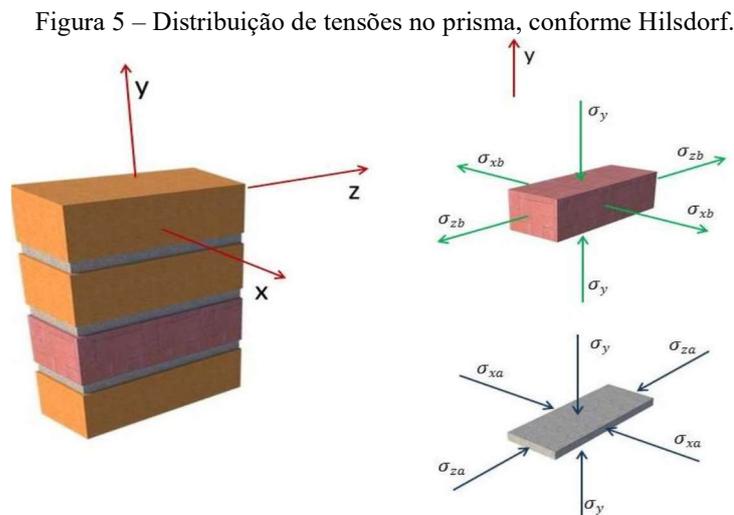
Quanto aos modelos matemáticos que explicam o comportamento da alvenaria; salientam-se, entre os trabalhos em alvenaria cerâmica, os seguintes autores: Hilsdorf (1967); Atkinson e Nolan (1985) e Lenczner:

a) Modelo de Hilsdorf

Hilsdorf chegou a conclusões satisfatórias sobre a forma de ruptura na alvenaria, elaborando um modelo matemático considerando o comportamento elástico e baseando-se nos esforços resistidos pelos componentes da alvenaria (HILSDORF, 1967 *apud* GOMES, 1986).

Suas hipóteses: comportamento de ruptura semelhante ao critério de Mohr (haverá ruptura quando a tensão de cisalhamento se igualar à resistência de cisalhamento); perfeita aderência entre bloco (tijolo maciço) e argamassa; distribuição uniforme de tensões laterais e verticais.

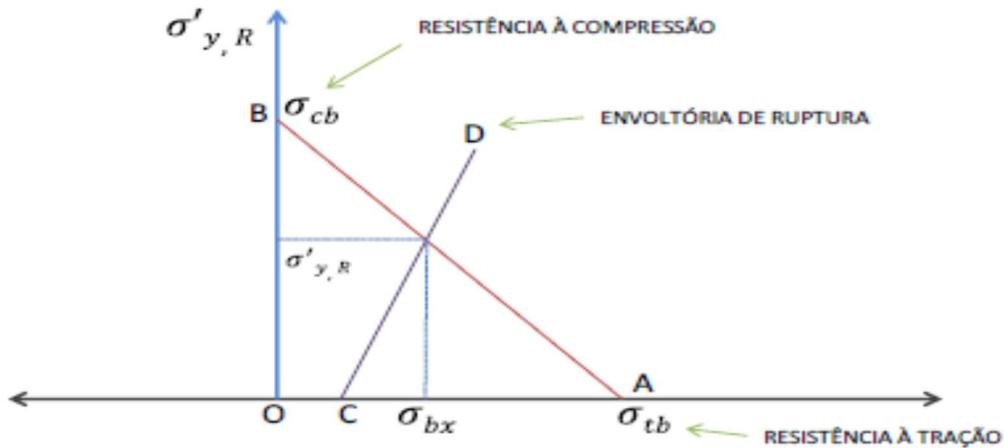
A Figura 5 apresenta o estado de tensões em prisma de alvenaria, segundo o modelo estabelecido por Hilsdorf.



Fonte: GOMES (1983) adaptado de COSTA (2014)

Neste modelo admite-se que ao mesmo tempo o bloco rompe sob estado bi-axial (tração-compressão) e a argamassa, sob estado tri axial de compressão. Na Figura 6 a linha CD, representa o esforço de compressão na argamassa, sendo que sua resistência aumenta com o nível de compressão lateral. A interseção desta reta com a reta de Coulomb AB, que define a envoltória de ruptura, causará a ruptura do prisma. Este critério permite chegar a valores quantitativos (HILSDORF, 1967 *apud* GOMES, 1986).

Figura 6 – Relação entre as tensões de compressão e tração em um bloco ou tijolo na ruptura.



Fonte: GOMES (1983) adaptado de COSTA (2014).

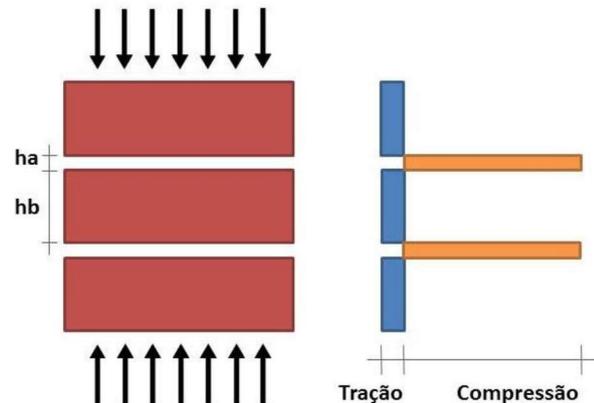
Na visão de Hilsdorf, a aplicação de cargas de compressão à argamassa, com um módulo de deformação menor que o bloco, tem a tendência de se expandir lateralmente. Quando as tensões de tração no bloco ultrapassarem a sua resistência à tração ocorre fissuração na unidade, porque há aderência entre bloco e argamassa que sugerem tensões de compressão triaxiais na argamassa, e que gera tensões de tração no bloco.

#### b) Modelo de Atkinson e Noland

Atkinson e Noland relacionaram propriedades de resistência e deformação de prismas submetidos a esforços de compressão, sendo baseada no critério de Hilsdorf (1969). Esta refere que o comportamento da alvenaria é baseado na compatibilidade de deformação dos blocos e argamassa (SANTOS, 2014).

Suas hipóteses: considera a relação linear entre a tensão de compressão local e a resistência à tração lateral biaxial; consideram o prisma com o conjunto bloco/argamassa, sujeito a uma tensão de compressão vertical uniforme; este estado de tensão é mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Distribuição de tensões segundo Atckinson e Noland.



Fonte: GOMES (1983) adaptado de COSTA (2014).

Na visão dos autores, os critérios que afetam a resistência à compressão uniaxial da alvenaria são: a resistência à tração uniaxial e biaxial do bloco e da argamassa, assim como os padrões de forma do prisma.

A partir do modelo proposto por Atckinson e Noland (1985), McNary e Abramns (1985) realizaram ensaios de prismas com blocos cerâmicos, tijolos maciços e diferentes tipos de argamassa, para confrontar os dados experimentais com os valores teóricos. Na realização dos procedimentos experimentais foram feitos os seguintes ensaios: compressão triaxial da argamassa, compressão uniaxial dos blocos e compressão uniaxial dos prismas (SANTOS, 2014).

A conclusão dos autores foi de que a argamassa tem uma tendência de se expandir lateralmente, quando ligada mecanicamente ao bloco, sendo esta característica restringida, surgindo, assim, tensões laterais de tração no bloco e de compressão na argamassa, e a resistência dos prismas é governada pela resistência à tração dos blocos e pelas propriedades de deformação da argamassa (SANTOS, 2014).

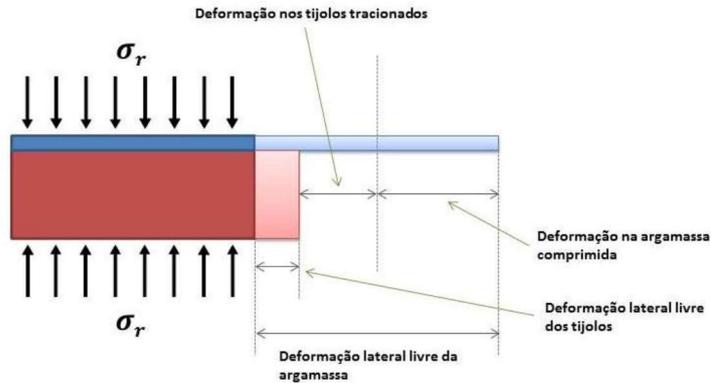
### c) Critério de Lenczner

Lenczner considera a contribuição da argamassa de assentamento na resistência da alvenaria, baseando-se na compatibilidade de deformações entre os elementos da alvenaria, bloco e argamassa (GOMES, 1986).

A argamassa, por possuir um módulo de elasticidade menor que o do bloco, fica submetida a esforços de compressão e os blocos, a esforços de tração, ocorrendo a ruptura por

tração no bloco, devido a sua baixa resistência à tração. A Figura 8 explica este critério de compatibilidade de deformações

Figura 8 – Deformação lateral dos blocos e argamassa de assentamento submetidos à compressão simples.



Fonte: GOMES (1983) adaptado de COSTA (2014).

### 2.5.3 Absorção de água

Esta característica está ligada à impermeabilidade dos produtos, levando em consideração o acréscimo imprevisto de peso à parede já sobrecarregada e à sua durabilidade. A previsão da Absorção total de blocos de concreto estrutural é abrangida pela NBR 6136. O índice de absorção é empregado como um medidor de durabilidade. A absorção Individual de blocos de concreto deve ser menor ou igual a 10% (CESAR, 2007).

A absorção inicial (determinado com a ASTM C 67) relaciona-se à capacidade de sucção do bloco. É um elemento necessário para estabelecer o potencial de aderência do bloco com uma argamassa com retenção adequada. Os blocos de concreto exibem de uma forma geral a taxa de absorção inicial de sucção por volta de 0,265g/cm<sup>2</sup>/min (CESAR, 2007).

### 2.5.4 Paredes

As paredes são elementos estruturais, definidos como laminares (uma das dimensões muito menor do que as outras duas), apoiadas de modo contínuo em sua base.

De acordo com a sua utilização são classificadas em:

**Paredes de vedação**, que resistem apenas ao seu próprio peso, e tem como função separar ambientes ou fechamento externo. Não tem responsabilidade estrutural;

**Paredes estruturais.** Tem a finalidade de resistir ao seu peso próprio e outras cargas advindas de outros elementos estruturais tais como lajes, vigas, paredes de pavimentos superiores, carga de telhado, e etc.;

Paredes de contraventamento ou enrijecedoras, **projetadas para enrijecer o conjunto, tornando-o capaz de resistir também a cargas horizontais como por exemplo o vento.**

## 2.6 Fator de eficiência

Quanto a importância da resistência do bloco na resistência da parede, o conceito de fator de eficiência é um importante item. O fator de eficiência é a relação entre a resistência do bloco e do componente (RAMALHO e CORRÊA, 2003). Esta relação exprime-se pela expressão matemática:

$$\eta = f_{par}/f_b$$

Equação 2

Onde,

$f_{par}$ : Resistência da parede

$f_b$ : Resistência do bloco

A eficiência tem variação de acordo com a forma, material ou mesmo a resistência do bloco. Usualmente, quanto maior a resistência, menor a eficiência. Também é notável que os blocos cerâmicos apresentam menor resistência que os blocos de concreto (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Gomes (1986) conclui que o fator de eficiência desejável é de 0,30 para paredes de alvenaria cerâmica, tomando como base os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado dos fatores de eficiência.

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

Fonte: Adaptada de Costa (2014).

O quadro 1 apresenta a eficiência da alvenaria obtida por alguns pesquisadores.

Quadro 1 – Fator de eficiência para diversos tipos de unidades.

<b>Unidade</b>	<b>Fator de eficiência (Autor)</b>
Tijolo cerâmico	60 a 90% (Monk)
Tijolo cerâmico	25 a 50% (Sahlin)
Tijolo cerâmico	10 a 40% (Monk)
Tijolo cerâmico	18 a 30% (Prudêncio)
Bloco cerâmico	16 a 39% (Gomes)
Bloco de concreto	65 a 90% (Sutherland)
Sílico –calcário	46% (Franco)
Sílico –calcário maciço	33% (Franco)

Fonte: Adaptada de Costa (2014).

## 2.7 Módulo de elasticidade

A informação sobre a tensão e a deformação específica na compressão auxilia a obtenção do módulo de elasticidade, com o objetivo de se avaliar, quantificar e compreender os fenômenos ocorridos nos ensaios realizados.

Em relação ao módulo de elasticidade, Mendes (1998), não teve como objetivo principal encontrar números absolutos e, sim, obter uma indicação de caminhos a trilhar e possíveis explicações do comportamento da alvenaria de blocos cerâmicos ocós e grauteados, pois ao se falar de módulo de elasticidade, necessita-se ter cuidado em não apenas conseguir o seu valor, mas sim como o gráfico tensão deformação se comportou.

Drysdale et al. (1994) ensinam que a forma de capeamento interfere na deformação, particularmente para níveis mais altos de tensão, sendo que a não linearidade começa a ser mais perceptível entre 35% e 50% da resistência da unidade.

Encontra-se diversas formulas para determinar o módulo de deformação específica dos componentes da alvenaria. Habitualmente se utiliza o gráfico tensão-deformação para uma carga de 40% a 60% da carga última para o módulo secante e de 30% para o tangente inicial; para Mohamad (2007) isto se dá por ocorrer neste trecho um comportamento linear dos componentes (prisma e parede). Para blocos cerâmicos, ou mesmo de concreto, não existem ensaios brasileiros normalizados para a determinação do módulo de elasticidade na alvenaria.

Na NBR 15270-3 (ABNT, 2005f) é indicada para blocos de cerâmica e argamassa a utilização da NBR 8522 (ABNT, 2008) para a determinação do módulo de deformação longitudinal desses componentes.

O ACI – Building Code 318 adota, para concretos de massa específica entre 1442 e 2483 kg/m<sup>3</sup>, a formula abaixo para a determinação do módulo de elasticidade secante do bloco:

Equação 3

$$E_b = 0,0428 \cdot f_b^{1/2} \cdot W_b^{1,5}$$

onde:

$E_b$  = módulo de elasticidade do bloco em MPa

$w_b$  = peso unitário do bloco em kg/m<sup>3</sup>

$f_b$  = resistência à compressão do bloco em MPa

Equação 4

$$E_b = 2,5 \times 10^4 \cdot \left(\frac{f_b}{10}\right)^{1/3}$$

onde:

$E_b$  = módulo de elasticidade do bloco em MPa

$f_b$  = resistência à compressão do bloco em MPa

O CEB – FIB Mode Code (1990) aponta que o módulo de elasticidade do bloco de concreto pode ser obtido pela equação:

Equação 5

$$E_b = 2,5 \times 10^4 \cdot \left(\frac{f_b}{10}\right)^{1/3}$$

onde:

$E_b$  = módulo de elasticidade do bloco em MPa

$f_b$  = resistência à compressão do bloco aos 28 dias em MPa

Holm (1978) recomendou a formula seguinte para a determinação do módulo de elasticidade secante para blocos de concreto:

Equação 6

$$E_b = 0,0428 \cdot f_b^{1/2} \cdot W_b^{1,5}$$

onde:

$w_b$  = peso unitário do bloco kg/m<sup>3</sup>

$f_b$  = resistência à compressão do bloco em MPa

Dahanasekar (1985) apud MOHAMAD (2007) aconselha uma relação não linear para estabelecer o módulo de elasticidade da alvenaria em função da resistência à compressão, demonstrada na equação:

$$E_{alv} = 1180. (f_c)^{0,93}$$

Equação 7

onde:

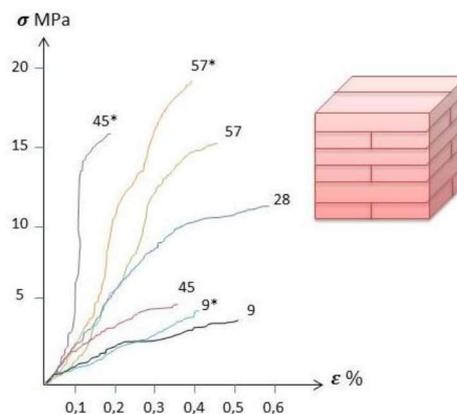
$E_{alv}$  = módulo de elasticidade da alvenaria

$f_c$  = resistência à compressão

A norma EN 1996 1-1 (2005) ministra uma aproximação simples para determinar o módulo de elasticidade da alvenaria como  $K. f_k$ , onde  $f_k$  é a resistência à compressão característica da alvenaria, sendo que o valor recomendado para K é 1000.

Knutson (1993) observou o diagrama de tensões-deformações da alvenaria para diferentes combinações de argamassa e tijolos (três sólidos e um vazado), como mostra a Figura 9. Os estudos desenvolvidos mostraram que os diagramas tensão-deformação foram diferentes em função do tipo de unidade e argamassa utilizadas. A figura abaixo demonstra o ensaio do módulo tangente inicial de três unidades maciças (representado pelas linhas sólidas) e uma vazada, (representada pela linha tracejada). O número indica à resistência do tijolo e o asterisco (\*) a argamassa forte. Observa-se que utilizando unidades vazadas o comportamento da curva tensão deformação assume um comportamento muito diferente quando se altera resistência da argamassa influenciando no modo de ruptura da alvenaria, o que nas unidades maciças não é tão significativo.

Figura 9 – Diagrama tensão – deformação de alvenaria à compressão.



Fonte: KNUTSON (1993).

Garcia (2000) investigou o módulo de elasticidade em torno de 30% a 40% da carga de ruptura de blocos, argamassa, prismas e paredes, utilizando a planilha eletrônica Office Excel para linearizar o gráfico e gerar módulo de elasticidade a partir do coeficiente angular da reta isto porque, nesse trecho, o gráfico tende a se comportar como linear. A autora considerou o terço médio para a obtenção do módulo, por esse possuir menor influência dos pratos da prensa.

Os valores encontrados pela autora estão no Quadro 2, ressaltando que a relação área líquida / área bruta é de 0,51 e os valores são de blocos e paredes sem graute.

Quadro 2 – Relação área líquida / área bruta para blocos e paredes sem graute.

Resistência média (MPa)		Área considerada	Módulo (MPa)
Bloco	16,30	Área líquida	8182
Argamassa	13,24	-	10900
Paredes	4,02	Área bruta	4829

Fonte: GARCIA (2000).

Continuando com o pensamento de Garcia (2000), Mohamad (2007) em sua tese percebeu que o módulo de elasticidade deve ser obtido no terço médio, pois os resultados são afetados pelos pratos da prensa quando se considera o deslocamento total do corpo-de-prova.

Parsekian (2002) aglomerou várias normas e autores nacionais e internacionais, relacionando, em sua maioria, o módulo de elasticidade com a tensão de ruptura do elemento ou um coeficiente multiplicador da resistência da alvenaria ou do próprio bloco. No Quadro 3 podem-se sintetizar as normas e os autores internacionais pesquisados pelo autor, referentes a blocos cerâmicos.

Quadro 3 – Normas e autores internacionais pesquisados, referente a blocos cerâmicos.

Fonte	Tipo do bloco cerâmico	Argamassa	Ep (MPa)	Observações
AS 3700 (1998)	Resistência entre 5 a 30 MPa	M2, M3	700 fp	Carga de curta duração
	Resistência superior a 30 MPa	M3, M4	1000 fp	
BS 5628 – (1995)	Qualquer	Qualquer	900 fp	
Norte Americana	-	-	700 fp	Especifica o módulo de elasticidade de acordo com a corda dos pontos 5% e 33% de fp do diagrama tensão/deformação
LENCZNER (1986)	Padrão Britânico	(i) e (ii)	3750 raiz (f <sub>bk</sub> ) – 1000	
WOLDE-TINSAE et al (1993)	Vazados	-	550 fp	Grauteados ou não

Fonte: Parsekian (2002), adaptada.

Pasquali (2007) apresenta no Quadro 4 os valores obtidos em sua pesquisa e adicionados outros autores brasileiros para blocos cerâmicos. É necessário salientar que para os módulos obtidos nem sempre foi utilizado a mesma metodologia pelos diferentes autores.

Quadro 4 – Valores de módulo de elasticidade de autores brasileiros para blocos cerâmicos.

Fonte	Tipo de bloco cerâmico	$\Sigma$ (MPa)	$E_p$ (MPa)	$E/\sigma$	Média $E/\sigma$	Observações
Gomes (1983)	Vazado	2,4	3593	1497	1152	Ensaio de paredes ( $\sigma$ e $\epsilon$ )
		3,1	2775	895		
		2,6	2449	942		
		2,9	3692	1273		
Franco (1987)	Perfurado	5,85	3661	626	529	Ensaio de Prisma ( $\sigma$ ) de paredes ( $\epsilon$ )
		5,52	2900	525		
		5,57	2816	506		
		4,82	2204	457		
Muller (1989)	Vazado	5,95	3326	559	478	Ensaio de Prisma ( $\sigma$ ) de paredes ( $\epsilon$ )
		5,70	2523	443		
		5,37	2326	433		
Mendes (1998)	Vazado	8,11	4508	556	487	Ensaio de Prisma sem graute ( $\sigma$ e $\epsilon$ )
		12,56	5249	418		
Pasquali (2006)	Vazados de Paredes maciças	4,68	5185	1108	1122	Ensaio de mini-paredes ( $\sigma$ e $\epsilon$ ) (argamassa 2,4 e 10 MPa)
		5,16	5200	1008		
		4,48	5604	1251		
	Vazados de paredes vazadas	4,56	4196	920	803	Ensaio de mini-paredes ( $\sigma$ e $\epsilon$ ) (argamassa 2,4 e 10 MPa)
		4,34	3665	844		
		5,21	3355	644		

Fonte: PASQUALI (2007, p. 107, adaptada).

Juste (2001) adverte a necessidade de uma norma específica para a obtenção do módulo de elasticidade das unidades e componentes da alvenaria. Explica, ainda, que os valores obtidos sejam afetados por diversos fatores, tais como velocidade de carregamento, dimensões dos corpos de prova, inviabilizando, assim, a comparação direta dos seus resultados com os de outros pesquisadores.

Com tanta disparidade entre autores para a determinação de módulo de elasticidade. Fez-se uso para este trabalho de valores constante apresentados por Ramalho e Corrêa (2003) para alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, Quadro 5.

Quadro 5 – Módulos de elasticidade da alvenaria

Bloco	Módulo de Elasticidade	E alv (MPa)	Valor máximo (MPa)
Cerâmico	Longitudinal	600.fp	12.000
	Transversal	300.fp	4.500

Fonte: RAMALHO e CORRÊA (2003, p. 94, adaptada).

## 2.8 Trabalhos realizados

### 2.8.1 Desempenho Estrutural de blocos, Prismas, Mini Paredes e Paredes de Alvenaria

Estrutural Confeccionados com Blocos Cerâmicos Produzidos a partir da Mistura de Lama Vermelha com Argila.

A pesquisa de Costa (2014), intitulada Desempenho Estrutural de Blocos, Prismas, Mini Paredes e Paredes de Alvenaria Estrutural Confeccionadas com Blocos Cerâmicos Produzidos a partir da Mistura de Lama Vermelha com Argila cujo objetivo é, analisar comparativamente o comportamento estrutural da alvenaria de blocos cerâmicos produzidos a partir a mistura de lama vermelha, no que diz respeito aos aspectos relacionados à resistência dos seus elementos constituintes e do conjunto bloco-argamassa, quando submetidos à esforços de compressão, apresenta os resultados a baixo.

Tabela 2 – Resultados da resistência à compressão das unidades seção reticulada e circular com adição de lama vermelha.

Média	BR-LV	BC-LV
	Resistencia (MPa)	Resistencia (MPa)
	12,7	11,4

Fonte: Adaptado de COSTA (2014).

Tabela 3 – Resistencia à compressão dos prismas com blocos, BC – LV e BR-LV.

Média	BC-LV		BR-LV	
	Ruptura (KN)	Resistencia (MPa)	Ruptura (KN)	Resistencia (MPa)
	163,2	4,02	154	3,80

Fonte: Adaptado de COSTA (2014).

Tabela 4 – Resultado da resistência a compressão das mini-paredes.

Média	Mini-paredes BC-LV		Mini-paredes BR-LV	
	Ruptura (KN)	Resistencia (MPa)	Ruptura (KN)	Resistencia (MPa)
	179,2	2,13	111,5	1,33

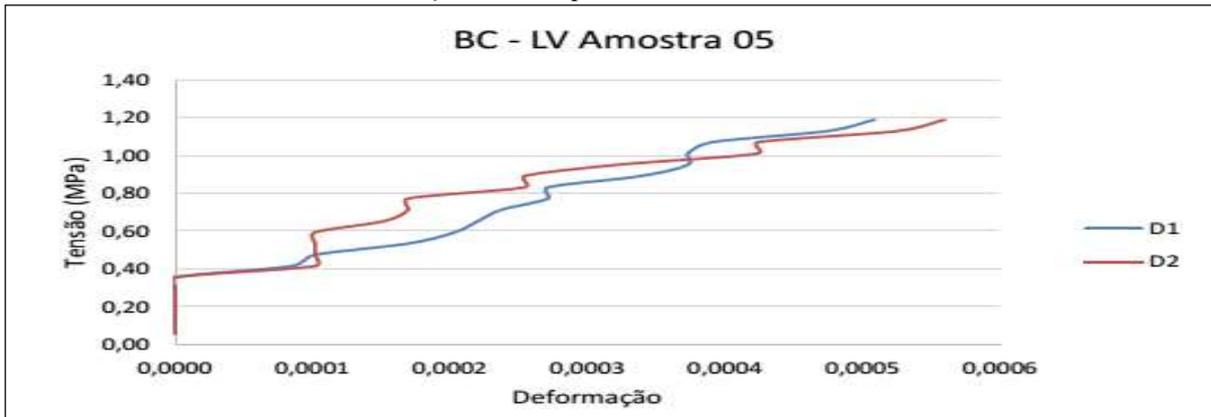
Fonte: Adaptado de COSTA (2014).

Tabela 5 – Resultados da resistência a compressão das paredes.

Média	Mini-paredes BC-LV		Mini-paredes BR-LV	
	Ruptura (KN)	Resistencia (MPa)	Ruptura (KN)	Resistencia (MPa)
	420	2,50	270	1,60

Fonte: Adaptado de COSTA (2014).

Gráfico 1 – Tensão x deformação das mini paredes com blocos circulares de Lama Vermelha.



Fonte: COSTA, 2014.

Costa (2014) conclui que os resultados da resistência da argamassa foram aproximados do que sugere a norma, portanto esta foi produzida de forma correta. No ensaio dos blocos houve um incremento significativo nas amostras produzidas a partir da lama vermelha, podendo-se classificar as amostras como estruturais. Em relação aos prismas, mini paredes e paredes notou-se um considerável incremento na resistência a compressão e no fator de eficiência. Portanto a lama vermelha foi uma fator determinante para o ganho de resistência a compressão das estruturas.

### 2.8.2 Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão.

A pesquisa de Juste (2001) que tem por objetivo, caracterizar o comportamento da alvenaria de blocos de concreto não-grauteada, no que diz respeito aos aspectos relacionados à resistência e à deformabilidade dos seis elementos constituintes e do bloco-argamassa, quando submetida a esforços de compressão, utilizando um programa experimental em que se procurou estudar as características de deformação e de resistência de blocos, argamassas, prismas e paredezinhas, em seus resultados mostra os dados seguintes.

Tabela 6 – Valores de resistência à compressão dos blocos.

Tipo de bloco	Resistência (MPa)
1	5,42
2	12,07

Fonte: Adaptado de JUSTE (2001).

Tabela 7 – Resistência à compressão das argamassas.

<b>Tipo de argamassa</b>	<b>F<sub>rup, am do ensaio</sub> (KN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
A1	116	6,9
A2	74	4,1

Fonte: Adaptado de JUSTE (2001).

Tabela 8 – Resistência à compressão das paredinhas.

<b>Média</b>	<b>F<sub>rup, ensaio</sub> (KN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
	509	4,54

Fonte: Adaptado de JUSTE (2001).

O trabalho em questão objetivou o estudo da alvenaria não armada de blocos de concreto no que tange as características mecânicas, com intuito de se aprofundar no conhecimento dos materiais e componentes utilizados no Brasil. Para tanto fez-se experimentos a fim de se analisar como algumas variáveis afetam a deformabilidade e a resistência a compressão da alvenaria.

O trabalho foi dividido em duas partes. A primeira tratou do ensaio dos prismas e seus componentes como bloco e argamassa, para daí definir as variáveis que seriam avaliadas nos ensaios em paredinhas.

A segunda parte do trabalho tratou do ensaio de oito series de paredinhas, variando-se duas resistências à compressão de blocos de concreto, duas resistências a compressão de argamassa e duas direções ortogonais de aplicação de carregamento.

Com tudo isso Juste (2001) ao lançar mão da utilização de ensaios pilotos, onde chega a variáveis a serem consideradas no ensaio final da pesquisa. Deste modo chegou ao resultado de que a resistência média foi maior cerca de 10% do que a resistência característica. E ainda a resistência média chegou a exceder em mais de 100% a resistência nominal dos mesmos.

### 2.8.3 Avaliação experimental da interação de paredes de blocos de concreto de alta resistência sob ações verticais

O objetivo geral da pesquisa de Castro (2015) é avaliar o comportamento, sob o ponto de vista estrutural, de blocos, de prismas e de paredes em formato H, em escala real, executadas com blocos de concreto de alta resistência, submetidas à ações verticais, por meio de ensaios experimentais. Ensaio de caracterização física e mecânica dos blocos, dos prismas de dois blocos e da argamassa.

Tabela 9 – Resultados de resistência à compressão bloco padrão e meio bloco.

Tipo de bloco	$f_b$ (MPa)	$f_{bk}$ (MPa)	D.P (MPa)	C.V (%)
Bloco padrão	20,3	16,9	2,03	10,04
Meio bloco	15,4	13,1	2,33	15,15

Fonte: Adaptado de CASTRO (2015).

Tabela 10 – Resultados de resistência à tração e à compressão da argamassa.

Traço (Res. $f_{bk}$ )	Idade (dias)	$f_i$ (MPa)	D. P. (MPa)	C. V. (%)	$f_c$ (MPa)	D. P. (MPa)	C.V. (%)	Relação $f_i/f_c$ (%)
D1 (0,4)		1,70	0,05	2,84	5,10	0,60	3,29	33,33
D2 (0,7)	14	3,20	0,18	5,55	13,80	1,09	7,91	23,18
D3 (1,0)		4,00	0,08	2,11	15,90	0,60	3,78	25,15

Fonte: Adaptado de CASTRO (2015).

Tabela 11 – Resultado em prismas.

	$f_p$ (MPa)	$f_{pk}$ (MPa)	$f_a$ (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	Eficiência $f_p$ (%)	Eficiência $f_{pk}$ (%)
Média	12,68	10,78	11,76	1,72	13,15	53,104	63,79

Fonte: Adaptado de CASTRO (2015).

Tabela 12 – Resultados das três séries de prismas.

Séries	Resistência característica (MPa)	Resistência média (MPa)	Resistência argamassa (MPa)
1	8,6	10,2	6,7
2	11,1	13,1	11,7
3	13,5	15,8	16,7

Fonte: Adaptado de CASTRO (2015).

Tabela 13 – Tensões de ruptura (com apoio central).

Tipo	Ensaio	Carga de ruptura (KN)	Tensão parede isolada (MPa)	Tensão grupo isolado (MPa)
Parede com apoio central	1	879	5,19	2,32
	2	1294	7,64	3,41
	3	952	5,62	2,51
	Média (MPa)		6,15	2,75
	D.P. (MPa)		1,31	0,58
	C. V.(%)			21,26

Fonte: Adaptado de CASTRO (2015).

Tabela 14 – Tensões de ruptura (sem apoio central).

<b>Tipo</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Carga de ruptura (KN)</b>	<b>Tensão parede isolada (MPa)</b>
Parede sem apoio central	4	704	3,40
	5	593	2,86
	6	673	3,25
	Média (MPa)		3,17
	D.P. (MPa)		0,27
	C. V.(%)		8,72

Fonte: Adaptado de CASTRO (2015).

O trabalho de Castro (2015), consistiu em um estudo experimental dividido em três partes. A primeira tratou da caracterização física dos elementos utilizados, bloco e argamassa. A segunda parte consistiu no estudo dos prismas com diferentes resistências de argamassa e estudo da interação desta com a resistência do prisma. A terceira parte tratou do ensaio de painéis em formato “H”, sobe ações verticais para verificação da transferência de carga para as abas e avaliar a interação entre paredes.

Na primeira etapa, constatou-se que as dimensões das unidades, como largura, comprimento, altura, espessura mínima das paredes e dimensão dos furos, estavam de acordo com o determinado na norma ABNT NBR 6136:2014. Na caracterização física, o que diz respeito da área líquida e a absorção de água atendeu o especificado pela norma, validando assim a utilização destes.

No ensaio à compressão dos blocos, o bloco padrão e o meio bloco apresentaram resistência característica de 16,9 MPa e 13,1 MPa, respectivamente. Quanto a ruptura, no geral apresentaram do tipo tronco cônica, típica de um corpo de prova confinado nas extremidades. Algumas variações apresentaram trincas nas verticais, indicando separação dos septos longitudinais dos septos transversais.

Para a obtenção do módulo de elasticidade laçou-se mão de dois métodos. Para o bloco padrão foi utilizado extensômetro, e o valor médio foi de 20350 MPa. Para o coeficiente de Poisson, o valor médio obtido foi de 0,22, valor superior ao que recomenda a NBR 15961:2011. Para o meio bloco foi utilizado um clip-gauge, obtendo-se o valor de módulo de elasticidade de 27502 MPa. O autor atribui o aumento do módulo de elasticidade no meio bloco ao fato de seus septos serem mais espessos, com furos menores e simetria na geometria, causando uma maior compacidade do bloco.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Considerações iniciais

Este trabalho utiliza os agregados do baixo amazonas como matéria para produção de elementos para alvenaria estrutural, neste caso os blocos, que deram origem a prismas, mini paredes e paredes. Os blocos constituídos de agregados da região do baixo amazonas foram produzidos em Santarém, por uma empresa especializada, e levados via fluvial até Belém, onde foram produzidos os prismas, mini paredes e paredes, ensaiados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará – UFPA.

Foram realizados ensaios quanto a geometria com 12 blocos, também se produziu 6 prismas com três fiadas, 4 minis paredes e duas paredes. Estes ensaiados quanto a sua resistência e deformação.

#### 3.2 Caracterização dos materiais

##### 3.2.1 Cimento

Na composição do traço do concreto seco para a produção dos blocos de concreto utiliza-se cimento Portland composto adicionado de pozolana, resistência de 32 MPa aos 28 dias (CP II Z-32), caracterizado no quadro 6, esse tipo de cimento foi utilizado em todos os traços devido ser o único disponível no mercado na cidade. Os agregados miúdos e graúdos, pó de pedra e pedrisco extraídos na região de Santarém.

Quadro 6 – Características do aglomerante.

Tipo de ensaios	Cimento <i>Portland</i> (CP II –Z – 32)
Finura – peneira 75 µm	3,3%
Finura – peneira 150 µm	13,3%
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	3,04 g/cm <sup>3</sup>
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,29
Área específica	371 m <sup>2</sup> /kg
Água na pasta de consistência normal	29,9%
Tempo de início de pega	190 mim
Tempo de fim de pega	255 mim
Expansibilidade de Lê Chatelier a quente	0,5 mm
Resistência à compressão (1 dia)	15,9 MPa

Fonte: NASSAU, 2014.

De acordo com a norma ABNT NBR 6136, somente cimentos que obedecem às especificações brasileiras para cimento (ABNT NBR 5732, ABNT NBR 5733, ABNT NBR 5735, ABNT NBR 5736, ABNT NBR 5737 e ABNT NBR 11578) destinados à preparação de concretos e argamassas, são considerados.

No Brasil os tipos de cimento são:

Cimento Portland Comum:

CP I – cimento portland comum;

CP I-S – cimento portland comum com adição. Cimento Portland Composto:

CP II-E – cimento portland composto com escória;

CP II-Z – cimento portland composto com pozolana;

CP II-F – cimento portland composto com filler;

CP III – cimento portland e alto forno;

CP IV – cimento portland pozolânico;

CP V-ARI – cimento portland de alta resistência inicial (CIMENTO.ORG, 2016).

Para fins de ensaio foi utilizado o cimento Portland, que é descrito por Mehta e Monteiro (2001) como um aglomerado hidráulico oriundo da moedura do clínquer<sup>1</sup>, formado quase que unicamente de silicatos de cálcio hidráulicos, normalmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio utilizado como produto de adição.

### 3.2.1.1 Propriedades físicas

No conceito de Cohen, apud Padilha (1997) e Andrade (2010), os materiais são substâncias com propriedades que os transformam em matéria-prima para a engenharia, sendo aplicada na construção de máquinas, estruturas, dispositivos e produtos.

Massa específica – A massa específica tem uma grande relevância nas várias aplicações dentro da engenharia. De acordo com Van Vlack (1970) citado por Andrade (2010), essa propriedade tem uma influência significativa do núcleo do átomo, da sua estrutura química, da organização molecular e da eficiência do empacotamento.

A massa específica de um material é representada pela equação abaixo, expressa em  $\text{kg/m}^3$ , contudo podendo ser expressa também em  $\text{g/cm}^3$  ou  $\text{kg/dm}^3$ .

---

<sup>1</sup> Os clínqueres são gânglios de 20 a 25 mm de diâmetro de composição sinterizada, originado do aquecimento a elevadas temperaturas de matérias-primas de composição pré-determinadas (MEHTA; MONTEIRO, 2001).

$$\mu = m/v$$

onde:

$\mu$  = massa específica;

m = massa;

v = volume.

Para a verificação da massa específica dos agregados foram aplicados os procedimentos constantes na NBR-NM 52. O resultado adotado foi a média de três determinações.

Massa Unitária – Determinou-se a massa unitária através do procedimento descrito na NBR-NM 53. O resultado adotado foi a média de três determinações.

Para a determinação da composição granulométrica do agregado miúdo – areia fina – foi utilizada a NBR 7211/2009, onde se utilizou da série normal de peneiras com amostra seca em estufa à temperatura de  $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5$ , depois de retirada da estufa esfriada até o equilíbrio com a temperatura ambiente. O próximo passo foi determinar o módulo de finura, dimensão máxima característica e volume de vazios da areia.

### 3.2.1.2 Aplicações do Cimento

O quadro 7 a seguir relaciona as aplicações do cimento e os tipos, para indicar quanto a sua eficiência.

Quadro 7 –Indicações quanto à aplicação do cimento.

Aplicações	CP I-S-32	CP II-E-32 CP II-Z-32 CP II-F-32	CP II-E-40	CP II-Z-32RS	CP III-32 CP III-32-RS CP III-40-RS	CP III-40	CP IV-32	CP IV-32-RS	CP V-ARI	CP V-ARI-RS
Argamassa armada (placas de concreto)	Green	Blue	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Blue
Argamassa de assentamento de azulejos e ladrilhos	Green	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Yellow
Argamassa de revestimento e assentamento de tijolos e blocos	Green	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Yellow
Argamassa e concretos para meios agressivos (água do mar e esgotos)	Orange	Green	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Orange	Blue
Concreto armado para desforma rápida, curado a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Blue	Blue
Concreto armado com função estrutural	Green	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Green	Blue
Concreto de alto desempenho (com aditivos redutores de água e com ou sem adição de sílica ativa)	Green	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Green	Blue
Concreto magro (passeios e enchimentos)	Green	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Green	Orange	Yellow

Cont.. Quadro 7 – Indicações quanto à aplicação do cimento.

Aplicações	CP I-S-32	CP II-E-32 CP II-Z-32 CP II-F-32	CP II-E-40	CP II-Z-32RS	CP III-32 CP III-32-RS CP III-40-RS	CP III-40	CP IV-32	CP IV-32-RS	CP V-ARI	CP V-ARI-RS
Concreto protendido com protensão das barras antes do lançamento do concreto										
Concreto massa (concreto a rolo & outros)										
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento curados para aspersão de água										
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados vapor ou outro tipo de cura térmica										
Pavimento de concreto simples ou armado										
Pisos industriais de concreto										
Solo cimento										

Fonte: PUGLIESI, 2015 (adaptado).

Legenda:

Mais adequado      Mediante adequações      Menos adequado no imperativo custo      Menos adequado na aplicação

### 3.2.2 Agregados

A definição de agregados são os materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades específicas para uso em empreendimentos, sendo eles, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, além de outros (LA SERNA & REZENDE, 2009). Eles são encontrados de forma abundantes no Brasil e no mundo.

Os agregados podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os que se encontram de forma particulada na natureza (areia, cascalho ou pedregulho) e os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno e argilas expandidas, entre outros.

A mineração de agregados para a construção civil gera grandes volumes de produção, apresenta beneficiamento simples e, para melhor economicidade, necessita ser produzido no entorno do local de consumo, geralmente áreas urbanas, devido ao baixo valor unitário. Este setor é o segmento da indústria mineral que comporta o maior número de empresas e trabalhadores e o único a existir em todos os estados brasileiros.

A norma NBR 7211 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e grãos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Define-se areia ou

agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm.

Agregados graúdos são pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

Os pedriscos são um material provenientes do britamento de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 4,8 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm. De acordo com Cuchierato (2000), é o material suscetível de ser obtido em pedreiras a partir dos equipamentos de beneficiamento a úmido, exibindo uma granulometria entre 4,8 mm e 0,075 mm.

### 3.2.2.1 Agregados do Baixo Amazonas

Os agregados que foram utilizados na produção de blocos vêm da caracterização realizada por Neves (2014) no trabalho “CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS DA REGIÃO DO BAIXO AMAZONAS: ELABORAÇÃO DE TRAÇOS PARA A PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL”. A caracterização dos materiais agrupados encontra-se abaixo. As figuras 10 a 17 abaixo são de autoria de Neves (2014).

Seixo rolado extraídos de barrancos na zona rural, comunidade de Pariçó, localização UTM: Zona 21M, Longitude 829896.84 mE; Longitude 9780490.76 mS, distante de Santarém ~95 km (Figura 11).

Figura 10 – Seixo rolado.



Fonte: NEVES, 2014.

Rocha Britada e pó de brita mulata extraídas na mina da Comunidade de Mulata, zona rural da cidade de Monte Alegre, localização UTM: Zona 21M, Longitude 831430.71 mE; Longitude 9809584.55 mS, distante de Santarém ~120 km (Figura 11).

Figura 11 – Rocha britada e brita mulata.



Fonte: NEVES, 2014.

Areia extraída de leito de igarapé na zona rural, comunidade de Santana do Tapará, localização UTM: Zona 21M, Longitude 779715.46 mE; Longitude 9756420.79 m S, distante de Santarém ~40 km

Areia extraída no município de Oriximiná, localização UTM: Zona 21M, Latitude 631912.08 mE; Longitude 9811971.71 mS, distante de Santarém ~147 km (Figura 12).

Figura 12 – Areia.



Fonte: NEVES, 2014.

Areia extraída de Barrancos-Áreas de exploração do Juvenal, na zona periférica da cidade de Santarém, localização UTM: Zona 21M, Longitude 749798.27 mE; Longitude 9727176.05 mS (Figura 13).

Figura 13 – Areia extraída de barrancos.



Fonte: NEVES, 2014.

Areia extraída de Barrancos, areia vermelha – Áreas de exploração da Matinha, na zona periférica da cidade de Santarém, localização UTM: Zona 21M, Longitude 750674.26 mE; Longitude 9726405.15 mS (Figura 14).

Figura 14 – Areia extraída de barrancos (vermelha).



Fonte: NEVES, 2014.

Areia extraída do leito do rio Amazonas, em bancos de areia conhecidos como “terra crescida” às proximidades da comunidade rural de Barreiras do Taparú município de Santarém, localização UTM: Zona 21M, Longitude 771900.65 mE; Longitude 9753716.48 mS, distante de Santarém ~ 30 km (Figura 15).

Figura 15 – Areia extraída do leito do rio Amazonas (terra crescida).



Fonte: NEVES, 2014.

Areia extraída de barranco – Áreas de exploração do Freitas, na zona periférica da cidade de Santarém localização UTM: Zona 21M, Longitude 750625.71 mE; Longitude 9727502.72 mS.

Areias e areias grossa (quebradinho) extraídas de barranco – Áreas de exploração da Ponte Alta, na zona Metropolitana da cidade de Santarém localização UTM: Zona 21M, Longitude 750663.00 mE; Longitude 9726380.68 mS. Distância do centro urbano ~10 km (Figura 16).

Figura 16 – Areias e areias grossa (quebradinho).



Fonte: NEVES, 2014.

Agregados, Graúdo (brita) e areia lavada de Rurópolis. Agregados miúdo, areias extraídas de Leitões de igarapés – Áreas de exploração no município de Rurópolis, localização UTM: Zona 21M, Longitude 732046.65 mE; Longitude 9546451.62 mS. Distância do centro urbano de Santarém ~211 km (Figura 17).

Figura 17 – Agregados, graúdo (brita) e areia de Rurópolis.



Fonte: NEVES, 2014.

### 3.2.3 Argamassa

A argamassa é extremamente usada na elevação de paredes e muros de tijolos cerâmicos ou blocos de concreto, com finalidade de uni-los e formar um objeto monolítico, colaborando para o crescimento da resistência aos esforços laterais, como também na distribuição uniforme das cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos; serve para selar as juntas, garantindo a estanqueidade da parede à penetração de água das chuvas; absorver as deformações naturais, como as de origem térmica e as de retração por secagem a que a alvenaria poderá estar sujeita (CARASEK, 2007).

É um composto de agregado miúdo (areia) com ligante gerando uma textura pastosa que enrijece em exposição a água, ao ar ou utiliza-se a secagem natural, incorporando à superfície assentada e adquirindo certa resistência mecânica. As argamassas, como também o concreto, são moles nos primeiros momentos, e enrijecem com o tempo, conseguindo grande resistência e durabilidade.

A ABNT define argamassas na NBR 13281 (2005) como uma mistura de cimento, areia, água e, em outros casos, utilizando diversos materiais (cal, saibro, barro, caulim, etc.). As argamassas, assim como o concreto, também são moles nas primeiras horas, e endurecem com o tempo, auferindo elevada resistência e durabilidade.

A argamassa pode ser utilizada no assentamento de tijolos e blocos, azulejos, ladrilhos, cerâmicas e tacos; na impermeabilização de superfícies; como também na regularização de paredes, pisos e tetos; e no acabamento das superfícies (liso, áspero, rugoso, etc.) (CARASEK, 2007). As funções das argamassas estão ligadas intimamente as suas finalidades ou aplicações. As argamassas mais empregadas no assentamento de alvenarias ou para revestimento de paredes.

De acordo com a NBR 13529 (1995), os revestimentos de argamassa são definidos como cobrimentos de superfícies que podem ser executados com uma ou várias camadas superpostas e receber acabamento decorativo ou podem ser o próprio acabamento final, como camada única. As argamassas de revestimento fornecem acabamento às paredes de alvenaria, paredes de concreto e tetos de edificações, de acordo com os requisitos arquitetônicos do projeto.

### 3.2.3.1 Classificação das argamassas:

As argamassas podem ser classificadas, de acordo com o seu uso, ou seja, pode ser para assentamento ou para revestimento:

**Argamassas para assentamento**, são utilizadas para juntar blocos ou tijolos das alvenarias. Podendo ser usadas no emprego de azulejos, tacos, ladrilhos e cerâmica para piso ou acabamento;

**Argamassas para revestimento**, serve para a finalização da parede, permitindo o acabamento almejado às superfícies. Pode ser usada também para impermeabilizar superfícies, regularizar, tapar buracos, acabar com as ondulações, nivelar e aprumar paredes, pisos e tetos;

As três primeiras fileiras de uma parede de blocos ou tijolos tem que ser cobertas inicialmente com uma camada de argamassa de impermeabilização, que assegura a parede contra a entrada da umidade.

Mas antes de receber a argamassa de revestimento, nas paredes e tetos devem ser passadas uma mão de chapisco, independente do acabamento que será aplicado. A não utilização do chapisco, que é o alicerce do revestimento, implica no descolamento ou queda das outras camadas, e no caso dos muros, o chapisco é o único revestimento utilizado.

De acordo com a NBR 13281 da ABNT, a classificação da argamassa é:

Em relação ao tipo de aglomerante: **aéreas** (de cal aérea e gesso), **hidráulicas** (de cimento) ou **mistas** (de cal aérea e cimento).

Em relação ao número de elementos ativos: **simples** ou **composta**.

Em relação a dosagem: podem ser **pobres** ou **magras**; **cheias**; e ainda podem ser **ricas** ou **gordas**.

Em relação a consistência: **secas**, **plásticas** ou **fluidas** (ABNT, 1993).

Quadro 8 – Argamassas e aplicações.

As argamassas mais utilizadas na construção civil e suas aplicações												
SERVIÇO	UNID	CIMENTO	CAL HIDRATADA	AREIA	SAIBRO	CONSUMO (m³) DE ARGAMASSA POR m² DE SERVIÇO	CONSUMO POR M² DE ARGAMASSA					
							CIMENTO	CAL		AREIA (m³)		SAIBRO
							Kg	kg	CATEGORIA	SECA	3% UMIDADE	m³
CHAPISCO	m²	1	-	4	-	0,005	342,1	-	G.L.	1,052	1,294	-
EMBOÇO INT	m²	-	1	4	-	0,015	-	167	M.L.	1,096	1,348	-
EMBOÇO EXT	m²	1	2	9	-	0,020	181,3	181,3	M.L.	1,216	1,496	-
REBOCO INT	m²	-	1	4	-	0,005	-	167	F.L.	1,096	1,346	-
REBOCO EXT	m²	-	1	3	-	0,005	-	240,5	F.L.	1,112	1,358	-
EMBOÇO EXT/INT	m²	1	-	-	8	0,020	225,0	-	-	-	-	1,25
EMBOÇO EXT/INT	m²	1	-	-	6	0,020	230,0	-	-	-	-	1,14

Fonte: CARASEK, 2007.

Para fins do ensaio, utilizou-se a argamassa “Massa Pronta – Alvenaria. SUPERMASSA”, cujo o fabricante indica seguir a NBR 13281.

### 3.2.4 Água

A água é um componente indispensável para argamassa e tem duas funções fundamentais: possibilitar a manipulação da mistura e combinar quimicamente os aglomerantes, proporcionando endurecimento e resistência (CARASEK, 1996).

O excesso deste componente pode provocar separação, exsudação e fissuras ocasionados pela retração por secagem. A qualidade da água tem função primordial nas propriedades das argamassas, pois, as impurezas presentes na água podem intervir negativamente a resistência de concretos e argamassas, como também acarretar manchas nas superfícies, e no caso de concretos, ocasionar a corrosão das armaduras (NEVILLE, 1997).

A água que for usada tem que ser limpa, não devendo ter nenhum material orgânico ou inorgânico, além de sua composição natural, potável e com pH entre 5,8 e 8,0 segundo a NBR 8798 (1958).

#### 3.2.4.1 Retenção de água

A retenção de água é uma característica essencial para que a argamassa proporcione bom desempenho após o endurecimento, e deverá ter uma capacidade mínima obrigatoriamente (CARASEK, 1996). Alves & Do Ó (2005) ensinam que a retenção de água está relacionada à propriedade da argamassa de não alterar sua aplicação na obra, mantendo-se trabalhável ao

longo do tempo, mesmo estando sujeita a evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação.

Essa característica é influenciada pela finura do aglomerante e está diretamente relacionada com a superfície específica. Quanto mais finas são as partículas, maior a área específica dessas e maior a retenção de água (DUJAB, 2000). Este aumento de retenção de água pode ser conseguido de várias formas, seja aumentando os materiais constituintes com maior área específica, mediante a utilização de saibro ou cal nas argamassas, assim como, utilizando aditivos que impeçam a perda de água, isto é, aditivos retentores de água (ALVES e DO Ó, 2005).

### 3.2.5 Areia

As areias também têm características desejáveis na constituição de uma argamassa. Devem ter granulometria variada com grãos arredondados cujo diâmetro não deve exceder a metade da espessura da junta. O excesso de minerais argilosos contidos pode comprometer sua resistência à compressão e sua aderência.

A areia também deve ser isenta de materiais orgânicos.

### 3.2.6 Ligantes

Os principais tipos de ligantes são:

- Barro
- Betume
- Gesso
- Cal
- Pozolanas
- Cal
- Saibro
- Colas ou adesivos

O cimento e a cal associados são atualmente os mais usados, pois unem as propriedades e as vantagens da cal e do cimento.

Podemos citar como vantagens do cimento a boa resistência mecânica conferida e maior valor da aderência entre tijolo e argamassa.

A cal, virgem ou hidratada confere maior extensão de aderência, retentividade da água, trabalhabilidade, maior estanqueidade e endurecimento mais lento, permitindo pequenas acomodações da argamassa durante o assentamento.

A cal hidratada ainda tem a vantagem de ter a sua obtenção e o seu uso são regidos pelas Normas Técnicas Brasileiras; ter o seu desempenho comprovado por institutos de pesquisa oficiais; a existência, no mercado, de marcas com selo de qualidade da ABPC – Associação Brasileira dos Produtores de Cal.

O saibro, o barro, o caulim e outros materiais locais podem ser usados de acordos com os procedimentos consagrados na região.

As colas e adesivos são empregados em reforços apenas em locais indicados.

### 3.2.7 Propriedades

As propriedades que devem estar presentes em uma argamassa de assentamento de alvenaria são:

- Trabalhabilidade;
- Retenção de água;
- Aderência;
- Resistência mecânica;
- Resiliência;
- Durabilidade;

**Trabalhabilidade.** É uma propriedade difícil de ser medida pois se considera consistência, plasticidade e coesão. A trabalhabilidade resulta no rolamento dos grãos de agregados, lubrificados pelo ligante.

Influem na trabalhabilidade a quantidade de água, a granulometria da areia e o aglomerante;

**Retenção de água.** É a capacidade de reter água que a argamassa tem quando em contato com os tijolos ou blocos. É relacionada com a tensão superficial da pasta aglomerante.

À fim de aumentar a retenção de água de uma argamassa, podem ser misturados aditivos aeradores, que impedem a percolação da água, ou cal, que devido à sua elevada superfície específica, apresenta grande capacidade adsortiva.

Quando não é garantida está retenção de água, surgem problemas como: a retração excessiva do bloco pela adsorção da água da argamassa; diminuição da resistência da argamassa; menor capacidade de absorver deformações; prejuízo na hidratação do cimento ou

carbonatação da cal; prejuízo à durabilidade e estanqueidade da parede devido ao aparecimento de fissuras;

**Aderência.** É a capacidade que a área de contato entre o bloco ou tijolo e a argamassa apresenta de absorver tensões tangenciais e de tração sem se romper.

A aderência é um fenômeno mecânico que se dá pela introdução da argamassa na superfície porosa ou rugosa de blocos ou tijolos;

**Resistência à compressão.** Deve-se trabalhar sempre com argamassas que apresentem resistência à compressão inferiores às dos blocos ou tijolos. Argamassas muito resistentes, com alto teor de cimento, apresentam grande fissuração, gerada por retração ou variação de temperatura. Isto acarreta prejuízo na estanqueidade de paredes. Por outro lado, a argamassa deve funcionar como um aviso de um possível problema;

**Resiliência.** Resiliência ou elasticidade é a habilidade da argamassa de deformar-se sem mostrar rachaduras quando colocadas em situações adversas ou as situações normais de uma construção, sendo que ela retornar à dimensão original quando acabam estas solicitações.

A resiliência está na contramão quando correlacionada com a resistência à compressão e ao seu módulo de elasticidade (DALCIN, 2007);

**Durabilidade.** A durabilidade está relacionada à capacidade da argamassa em permanecer íntegra durante a sua vida útil. Essa durabilidade pode sofrer interferência pela retração na secagem, absorção da água da chuva, temperaturas de congelamento e agentes atmosféricos agressivos.

Um dos grandes problemas para a durabilidade é a evaporação da água de amassamento, causando grande retração, ocasionando fissuras na argamassa. A evaporação proporciona um aumento na granulometria da areia, e uma concentração maior de cimento na composição da argamassa e o calor de hidratação estará ligada ao teor de cimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL, 2007).

### 3.3 Dimensões dos blocos e modulação

Em relação aos blocos de concreto, a modulação é o cálculo das medidas no projeto e da altura da parede juntamente com a laje da construção, em relação as medidas dos blocos, com o intuito de se fazer cortes ou ajustes na construção da obra (MONTEIRO; SANTOS, 2010).

Para iniciar o processo de modulação, deve-se partir da escolha das dimensões do bloco, levando sempre em consideração de blocos cujo comprimento é múltiplo da largura evita o uso

de blocos especiais, que encarecem o custo da obra, aumentando a diversidade de componentes utilizados (MAMEDE, 2001).

Existem no mercado vários modelos de blocos nas mais diversas modulações como descrito na tabela.

Quadro 9 – Tipos de modulação.

<b>Modulação</b>	<b>Descrição</b>
Modulação Americana M = 20	O bloco padrão mais utilizados é o vazado com dois furos cujas Dimensões reais são 19 x 39 cm e disponíveis em diversas larguras, tais como; 7, 9, 11,5, 14 e 19 cm, sendo todas para alvenaria não estrutural e somente as duas últimas para alvenaria estrutural; Este bloco também é encontrado em ½ peça de 19 x 19 cm e nas mesmas larguras. Este foi concebido para receber armadura vertical facilmente acomodável.
Modulação Europeia M + 12,5	Foi concebido basicamente para ser utilizado em alvenaria não armada, não facilitando por esse motivo a colocação de armaduras verticais. Para a colocação de armaduras horizontas, existem peças chamadas canaletas de fundo fechado e também canaletas “J”.

Fonte: SALVADOR FILHO, 2007.

A geometria das unidades de alvenaria é um aspecto importante para a eficácia dos sistemas, o tamanho dos blocos deve ser compatível com os vãos da estrutura, de portas, janelas, etc.

As dimensões dos blocos de concreto no Brasil são reguladas de acordo com a NBR 5712:1982 que especifica as medidas de projeto dos blocos modulares de concreto, como apresentado no Quadro:

Quadro 10 – Dimensões dos blocos de concreto.

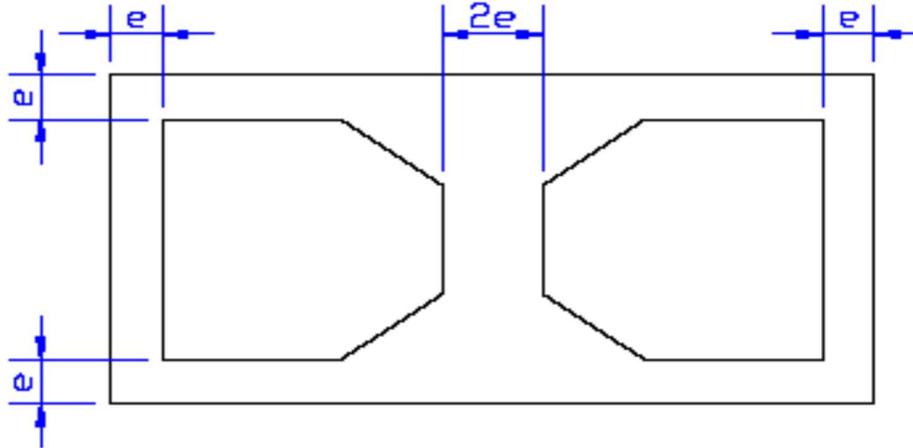
<b>Blocos de altura comum</b>			<b>Blocos de meia altura</b>		
<b>Largura (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Largura (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>
190	190	90	190	190	90
140	190	90	140	90	90
90	190	90	90	90	90
190	190	190	190	90	190
140	190	190	140	90	190
90	190	190	90	90	190
190	190	390	190	90	390
140	190	390	140	90	390
90	190	390	90	90	390

Fonte: ABNT, NBR 5712, 1982.

Além disso, a Norma também prescreve que os orifícios dos blocos não devem ser inferiores a 8cm para o bloco de 14cm e de 12cm para os blocos de 19cm de largura e seu raio

nas mísulas de acomodação de 2cm, as espessuras mínimas das paredes dos blocos de acordo com a Figura 18 e Quadro 11 seguintes.

Figura 18 – Espessura das paredes dos blocos.



Fonte: ABNT, NBR 5712, 1982.

Quadro 11 – Espessura mínima das paredes dos blocos.

Designação	Paredes longitudinais (mm)	Paredes Transversais	
		Paredes (mm)	Espessura (mm/m)
M – 15	25	25	188
M – 20	32	32	188

Fonte: ABNT, NBR 712, 1982.

Notas:

A – Média das medidas das três paredes tomadas no ponto mais estreito

B – Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em mm), divididos pelo comprimento nominal do bloco (em lineares).

Nos encontros entre paredes (“L”, “T”, ou “X”) é sempre desejável as juntas em amarração. Para tanto, recomenda-se o emprego de blocos especiais, com comprimentos ou formas adaptadas para essas ligações. Quando se optar por encontros entre paredes com juntas aprumadas, uma série de cuidados deverá ser prevista; maior rigidez dos apoios, disposição de ferros ou telas metálicas nas juntas de assentamento embutimento de tela no revestimento, cuidados redobrados na compactação da argamassa nas juntas horizontais e verticais (SALVADOR FILHO, 2007).

### 3.3.1 Especificação prévia do bloco

Os blocos são obrigados a cumprir na totalidade as especificações da NBR 6136, além das resistências e outras especificações do projeto estrutural. Os blocos precisam ser ensaiados de acordo com as especificações da NBR 12118.

### 3.3.2 Blocos estruturais

Os blocos de concreto possuem tipos e formas diversificadas. O tipo de agregado é um dos elementos de distinção, classificados em convencional ou leve. Os blocos têm contornos modulares variáveis que, de forma geral, precisam atender os requisitos de manuseio e aplicabilidade, ou seja, a massa desse ser tal que o bloco seja manuseável.

A ABNT conceitua praticamente dois tipos de blocos de concreto, levando em conta sua aplicação: para vedação, o bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural (NBR 7173/82), e com função estrutural, o bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural (NBR 6136/2014). Independente da sua aplicação, o bloco deve ser vazado, isto é, sem fundo. Esta determinação leva em conta somente blocos com função estrutural (ANTUNES, 2005).

O bloco vazado, isto é, sem fundo admite o aproveitamento dos furos para a passagem das instalações e para a aplicação do graute (concreto de alta plasticidade). A ABNT faz uma qualificação dos blocos utilizando como base a largura. O quadro abaixo mostra a classificação para blocos estruturais. M-12, M-15 e M-20, se referem às larguras 11,5; 14 e 19 cm, consecutivamente (ANTUNES, 2005).

Figura 19 – Tipos de Blocos de Concreto.

**FAMÍLIA 29**

<b>INTEIRO</b> BE 14.2900 16,67 <small>pc/m³</small> 14 X 19 X 29cm	<b>MEIO BLOCO</b> BE 14.1400 14 X 19 X 14cm	<b>BLOCO E MEIO</b> BE 14.4400 14 X 19 X 44cm	<b>CANALETA</b> BC 14.2900 14 X 19 X 29cm

**FAMÍLIA 39**

<b>INTEIRO</b> BE 14.3900 12,50 <small>pc/m³</small> 14 X 19 X 39cm	<b>MEIO BLOCO</b> BE 14.1900 14 X 19 X 19cm	<b>BLOCO E MEIO</b> BE 14.5400 14 X 19 X 54cm	<b>ESPECIAL</b> BE 14.3400 14 X 19 X 34cm
<b>CANALETA</b> BC 14.3900 14 X 19 X 39cm	<b>MEIA CANALETA</b> BC 14.1900 14 X 19 X 19cm	<b>CANALETA</b> BF 14.3900 14 X 19 X 39cm	<b>SECCIONÁVEL</b> BE 14.0900 14 X 19 X 9cm

**Bloco Estrutural ≥ 3 MPa (classe C)**

**LARGURA 9cm**

<b>INTEIRO</b> BV 09.3900 12,50 <small>pc/m³</small> 9 X 19 X 39cm	<b>MEIO BLOCO</b> BV 09.1900 9 X 19 X 19cm	<b>MEIA CANALETA</b> BC 09.1900 9 X 19 X 19cm	<b>SECCIONÁVEL</b> BV 09.0900 9 X 19 X 9cm

**LARGURA 14cm**

<b>INTEIRO</b> BV 14.3900 12,50 <small>pc/m³</small> 14 X 19 X 39cm	<b>MEIO BLOCO</b> BV 14.1900 14 X 19 X 19cm	<b>CANALETA</b> BC 14.3900 14 X 19 X 39cm	<b>MEIA CANALETA</b> BC 14.1900 14 X 19 X 19cm	<b>SECCIONÁVEL</b> BV 14.0900 14 X 19 X 9cm

Fonte: T&A PRÉ – FABRICADOS, 2015.

Quadro 12 – Designação dos blocos estruturais.

Designação	Largura	Altura	Comprimento	Parede transversal	Parede longitudinal
M-20	190	190	390	25	32
	190	190	190	-	-
M-15	140	190	390	25	25
	140	190	190	-	-

Fonte: ABNT, NBR 6136, 2014.

A família 29 possui dois tipos de blocos básicos: o bloco B29 (14x19x29 cm), o bloco B14 (14x19x19). Eles sempre têm 14 cm de largura. Isto é, a extensão dos blocos é sempre múltipla da largura, evitando-se o uso dos elementos compensadores, com exceção dos ajuste de vãos de esquadrias (MANZIONE, 2004).

Figura 20 – Família 29 de blocos.



Fonte: SAINT'S, 2012.

Já a família 39, denominada por M15, possui tamanhos modulares do comprimento (20cm) diferentes da largura (15cm). A família 39 possui de três blocos básicos: o bloco B39 (39x19 cm) e largura variante; o bloco B19 (19x19 cm) e largura variante e o bloco B54 (54x19 cm) e largura variante. Tal diferença exige a utilização de blocos complementares objetivando restabelecer a modulação nos encontros das paredes: o 14x19x34, para amarração nos cantos, e o 14x19x54, para amarrações em "T" (MANZIONE, 2004).

Figura 21 – Família 39 de blocos



Fonte: SAINT'S, 2012.

Os blocos de 14x19x39 cm são especialmente utilizados em paredes longas, onde não existe cruzamento de paredes e também não necessitem dos elementos compensadores, pois a sua extensão não é múltipla da largura. Os elementos compensadores são utilizados não só para

ajuste de vãos de esquadrias, mas também para compensação da modulação em planta baixa. Quando se utiliza os de 14X19X39 cm, precisamos de um bloco especial, que é o bloco B34 (34x19x14 cm), para ajuste da unidade modular nos encontros em "L" e em "T" (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; BEDIN, 2003).

### 3.3.3 Resistência a compressão dos blocos

Os blocos, por conceituação, têm a função de levantar paredes, devendo assumir a serventia de transmitir as cargas. Assim sendo, uma de suas propriedades mais importante é a resistência à compressão. As classes de resistência dos blocos representam a resistência de ruptura dos blocos, calculada na seção bruta do bloco. Dentro de uma classe 80% dos blocos devem apresentar uma resistência à compressão igual ou superior a este valor e nenhum resultado deve ser inferior a 90% do valor da classe (JUSTE; CORRÊA, 2005).

Para a resistência à compressão e a absorção a ABNT fixa os determinados limites: Bloco estrutural –  $f_{bk}$  superior a 4,5 MPa, dividido absorção individual menor ou igual a 10%. Para saber a resistência característica do bloco, utiliza-se a forma abaixo (JUSTE; CORRÊA, 2005):

Equação 9

$$f_{bk}(Norma\ 15.812 - \frac{2}{2010})$$

Tem-se:

$$f_{bk,est}$$

Por ser a resistência característica estimada da amostra, categoriza em MPa. Deste modo que:

$$fb_1, fb_2, \dots, fb_i$$

Esses serão os números dos resultados individuais das medições de resistência à compressão das amostras utilizadas nos ensaios, colocadas em ordem crescente:

$$fb_1 < fb_2 < \dots < fb_i$$

Utilizando  $n$  como a quantidade de blocos ensaiados, chega-se:

$$i = n/2 \text{ para } n \text{ par}$$

$$i = (n - 1)/2 \text{ para } n \text{ ímpar}$$

Assim:

Equação 10

$$f_{bk1} = 2 \left[ \frac{fb_1 + fb_2 + \dots + fb_{i-1}}{i-1} \right] - fb_i$$

$$f_{bk} = f_{bm} \left[ \frac{fb_1 + \dots + fb_n}{n} \right] - \text{valor média}$$

$$f_{bk3} = \phi fb_1$$

$$f_{bk4} = \max(f_{bk1}; f_{bk3})$$

Dessa forma  $\phi$  tem o lugar do número  $n$  das amostras do ensaio:

<b>N</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>18</b>
<b><math>\Phi</math></b>	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.04

Equação 11

$$f_{bk,est} = \min(f_{bk2}; f_{bk4})$$

A resistência à compressão é uma característica essencial para os blocos estruturais, precisamente por sua função, como também porque a durabilidade, a absorção de água e a impermeabilidade da parede estão intensamente conectadas a esta propriedade (SANSÃO, 2009).

### 3.4 Produção dos blocos

Os blocos de concreto são constituídos a partir de uma composição básica de cimento, areia, pedrisco, pó de pedra e água. O equipamento indispensável é uma prensa, disponibilizada facilmente no mercado. A partir da dosagem racional dos componentes e da disponibilidade do equipamento é possível se obter peças de grande regularidade dimensional e com faces e arestas com ótimo acabamento.

Hoje em dia, em decorrência da enorme procura por blocos, a produção é industrial e o processo emprega inúmeros equipamentos:

Silos alimentadores de materiais;

Dosadores;

Esteiras para alimentação dos misturadores;

Misturados;

Máquinas para a produção dos blocos, Esteira de transporte dos blocos; área para cura; Sistema de embalagem e paletização.

De forma generalizada, em virtude da automatização, os processos de pesagem e de mistura são precisos.

Desses processos, a dosagem é fundamental. A fabricação dos blocos, utilizando a mão-de-obra manual ou o uso de maquinário, necessita de um processo de dosagem que é o processo de definição do traço do concreto, com o quantitativo de cimento, agregados, água, adições e eventualmente aditivos. Por mais que seja um concreto, a fórmula para blocos tem especificações diferentes dos concretos tradicionais. A consistência, deve ser de terra úmida e não plástica como ocorre para os concretos tradicionais. Além do mais, o concreto para bloco tem um teor necessário de ar por volume. Existe hoje no mercado métodos racionais de dosagem de concreto para os blocos.

A cura, assim como a dosagem, necessita de muita atenção, devendo acontecer preferivelmente em ambiente coberto. Os blocos não devem perder a água por evaporação pois afetará diretamente a qualidade final do bloco a ser utilizado no empreendimento.

#### 3.4.1 Geometria e características dos blocos

A qualidade e o tipo do bloco de concreto são essenciais para o bom performance do sistema estrutural. Assim, é necessário descobrir se a região do empreendimento dispõe de fabricantes de blocos que comercializem o produto adequado e de acordo com as normas técnicas. O método de fabricação (mistura homogênea, prensagem, secagem e cura controlada), atribui aos produtos muita simetria de formas e dimensões permitindo a definição da obra desde do projeto, prevendo os imprevistos e os clássicos desperdícios deles oriundos.

É necessário verificar as dimensões exigidas em norma, como também os limites de tolerância. Se forem vazados, levar em consideração ainda a espessura das paredes que fazem parte dos blocos para não danificar sua resistência. As dimensões padronizadas dos blocos aceitam as tolerâncias especificadas no quadro abaixo.

Quadro 13 – Dimensões e tolerâncias para blocos estruturais.

Requisitos	Bloco de Concreto Estrutural tipo A Estrutural tipo B
Absorção D'Água (% massa)	10 (individual)
Tolerâncias Dimensionais (mm)	~ 2 (largura) ~ 3 (altura e comprimento)
Resistência à compressão	6 MPa 4,5 MPa
Dimensões (mm)	140 x 190 x 190 140 x 190 x 390 140 x 190 x 190 140 x 190 x 390

Fonte: ABNT, NBR 6136, 2014.

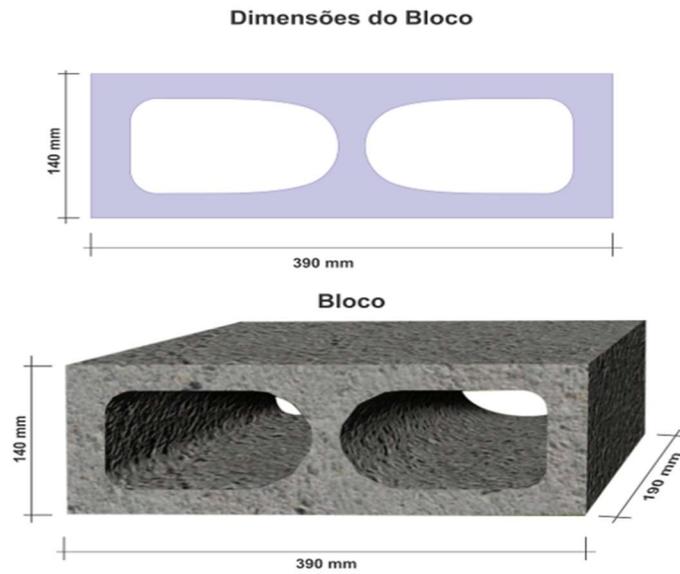
Se forem encontradas desconformidades nas dimensões dos blocos (altura, largura e comprimento), isso mostra, de maneira geral, problema no processo de produção, ou seja: na fabricação ou na fiscalização de cada lote. As falhas com precisão dimensional prejudicam de forma direta a coordenação modular e influencia no aumento dos desperdícios de blocos.

Foram produzidos de 1000 blocos em concreto, utilizando os agregados da região do Baixo Amazonas, com uma única geometria, modelo de família de blocos Nominal 15, Módulo M-15, Amarração  $\frac{1}{2}$ , Linha 15 x 30, medindo 140 x 190 x 390 mm, padrão de mercado e utilizados por Neves (2014) no trabalho de dissertação com tema “Caracterização dos agregados da região do baixo amazonas: elaboração de traços para a produção de blocos de concreto estrutural” foram realizados ensaios de caracterização e desenvolvimento de traço para os blocos analisados neste trabalho.

Os blocos em concreto foram confeccionados no município de Santarém, Região Oeste Paraense no Baixo Amazonas, na empresa “CONCRETAP”, obedecendo as dimensões normativas com geometria 14 x 19 x 39 cm, conforme a figura 22. Posteriormente foram transportados via transporte fluvial até Belém, onde foram ensaiados no laboratório de engenharia civil da UFPA.

Na composição do traço do concreto seco para a produção dos blocos de concreto utilizou-se cimento Portland composto adicionado de pozolana, resistência de 32 MPa aos 28 dias (CP II Z-32), agregados miúdos e pedrisco extraídos na região de Santarém, pó de pedra e agregados graúdos provenientes da cidade de Monte Alegre na região do Baixo-Amazonas.

Figura 22 – Geometria do bloco.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

A produção dos blocos foi feita por profissionais qualificados, seguindo rigorosamente as indicações da NBR 6136, conforme as figuras 23 a 28.

Figura 23 – Agregado miúdo.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Figura 24 – Agregado graúdo.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Figura 25 – Cimento.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Figura 26 – Mistura.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Figura 27 – Produção dos blocos.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Figura 28 – Blocos produzidos.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

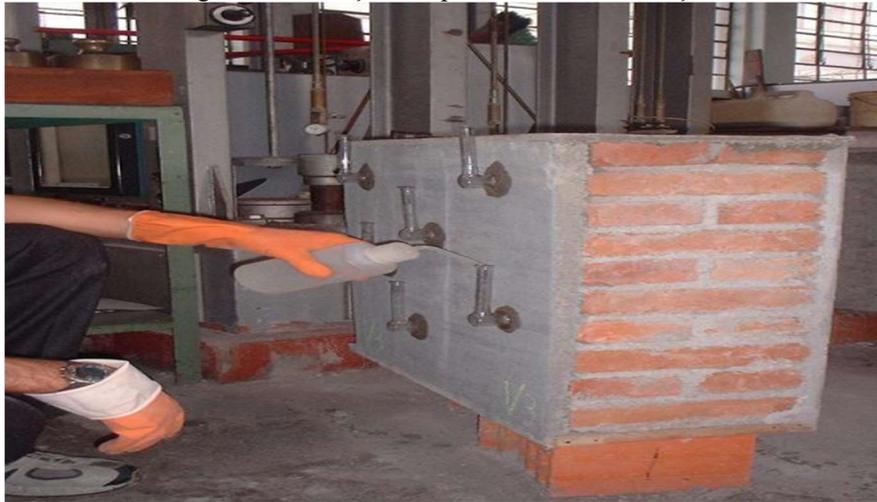
### 3.5 Prismas

Os prismas são elementos constituídos por três blocos conectados por juntas de argamassa acomodadas sobre as divisões transversais e paredes longitudinais. As juntas têm largura de  $10 \pm 3$  mm de acordo com as especificações da NBR 8215 (1983), assim, a altura total dos prismas é de 590 mm. Não existe a obrigação do acabamento do topo e base do bloco, das extremidades dos prismas e as que estão em comunicação com as placas de ensaio, pois estes já têm superfícies planas que estão em contato com o fundo da fôrma metálica. Portanto, os blocos extremos do prisma possuem superfícies em comunicação com as placas de ensaio e as superfícies irregulares em comunicação com a junta de argamassa.

Depois da produção dos blocos e a efetivação de sua cura, feita em câmara úmida pelo período de sete dias, se faz a fixação dos pontos de instrumentação nos blocos para a colocação

de extensômetros mecânicos, transdutores de deslocamento e relógios para comparação. Essa estratégia de instrumentação tem por objetivo conseguir os deslocamentos longitudinais e transversais pela extensão das paredes tanto do bloco central como da altura total do prisma (ARAÚJO, 2009).

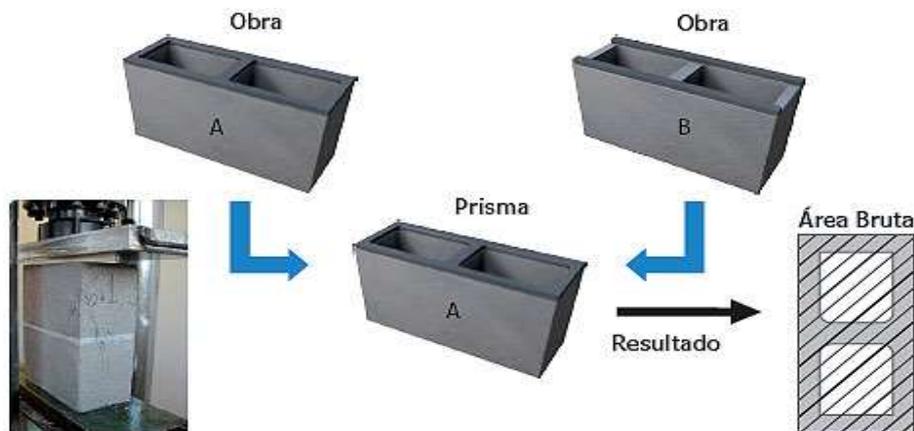
Figura 29 – Fixação dos pontos de instrumentação



Fonte: TECNOCON, 2012.

Assim, procura-se analisar o comportamento global do prisma utilizando-se instrumentos com maior base de medição e o comportamento do bloco central com instrumentação específica para este. Para aferir o deslocamento da placa de ensaio, utiliza-se um relógio comparador de cada lado, próximo à região central do elemento. Também são dispostos instrumentos para aferir a deformação da junta de argamassa, unicamente na interface com os blocos de concreto.

Figura 30 – Esquema de ensaio de compressão axial.  
Ensaio de prisma: padronizado com assentamento total



Fonte: PARSEKIAN & FRANCO, 2002.

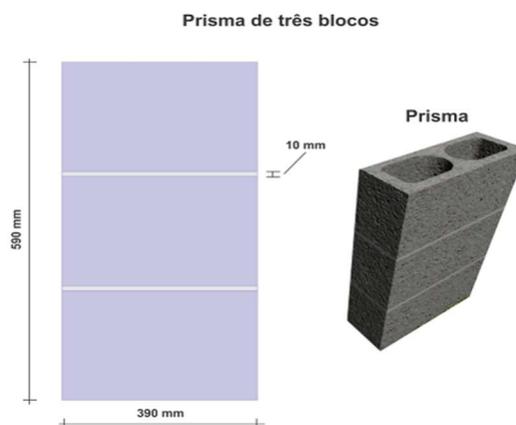
Os prismas são submetidos à compressão axial, com velocidade de carregamento constante de 0,001 mm/s. Obtém-se a resistência à compressão axial e deformações do prisma, de seu bloco central e da junta de argamassa. A fissuração nos prismas é observada a 60% da força máxima do ensaio, localizada comumente em ambos os lados bloco intermediário, próximas à região do septo transversal central.

Estas fissuras tendem, primeiramente, a se prolongar em direção a um dos blocos da extremidade; em alguns casos observam-se fissuras na região central do septo transversal do bloco central. Com o aumento da força e iminência da ruína, as fissuras do bloco central aumentam sua abertura, e as localizadas no septo transversal expandem-se para os blocos das extremidades. Após o patamar da força máxima, a fissuração é generalizada, intensificando-se na fase de descarregamento do ensaio.

Ocorre destacamento das paredes longitudinais dos blocos e, ao fim do ensaio, é nítida a tendência de separação nos septos transversais, instante em que também é identificado o esmagamento da argamassa da junta. Quando a argamassa apresenta baixa resistência à compressão, comprando-se com a resistência dos blocos, o modo de ruína dos prismas é alterado, com o esmagamento da argamassa sendo identificado anteriormente à fissuração dos prismas, que surgirá no prenúncio da ruína.

Para este trabalho, confeccionou-se prismas com três fiadas, não contra fiadas, sendo as dimensões dos blocos 140 mm x 190 mm x 390 mm, de acordo com o especificado em norma ASTM E 447 (1997), a partir da geometria dos blocos em concreto produzidos com agregados da região Oeste do Pará, produziu-se 06 prismas que foram ensaiados e obtiveram-se os resultados para comparativos com outros blocos produzidos. A figura 31 abaixo ilustra tal qual a utilização dos ensaios.

Figura 31 – Modelo de Prisma.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Para a produção dos prismas, estes foram devidamente confeccionados seguindo os preceitos normativos e valeu-se da experiência de profissional habilitado para a produção de Alvenaria Estrutural, durante a confecção e moldagem dos prismas, observou-se a espessura da argamassa de assentamento, para que não excedesse o valor normativo de  $10 \pm 3$  mm, conforme demonstrado na figura acima.

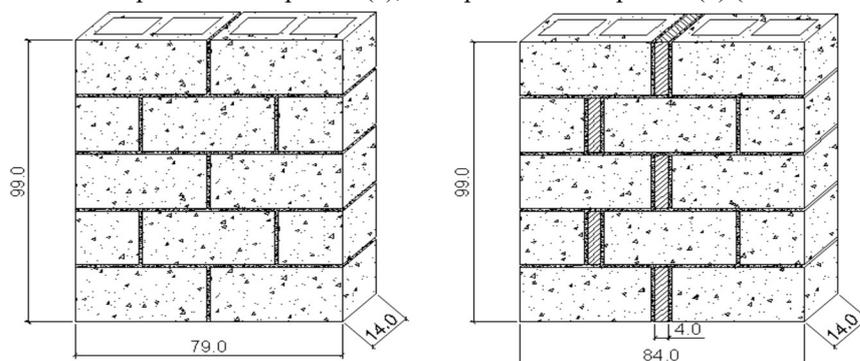
### 3.6 Mini paredes

As conjunturas sócio-econômicas de países em desenvolvimento fizeram com que as obras fossem conduzidas com velocidades cada vez maiores, com poucos rigores nos controles dos materiais e dos serviços. O que ocasionou, nos últimos dez anos, mudanças na maneira de construir: o concreto evoluiu, as estruturas e tipologias são mais arrojadas e as alvenarias mais precisas; o processo construtivo também não é o mesmo, nem o cálculo, nem as técnicas gerenciais (TÉCHNE, 2005).

De modo geral, segundo Mendes (2002), as alterações mais importantes foram representadas pelo aumento significativo dos vãos de vigas e lajes, pelo aumento das aberturas nas alvenarias, pela substituição das alvenarias maciças por outros materiais, inclusive materiais leves, pela colocação de alvenarias diretamente sobre lajes sem estarem suportadas diretamente por vigas. As estruturas de concreto tornaram-se mais flexíveis, o que exige uma análise cuidadosa das suas deformações e respectivas consequências (HELENE, 2000)

Contudo, ao lado desta evolução das técnicas de projeto e de execução de obras, surgiram problemas de falhas nas construções. As alvenarias ficaram mais rígidas com o advento de blocos vazados mais resistentes e de dimensões maiores, o que reduziu a capacidade das paredes não estruturais de absorver deformações (TÉCHNE, 2005).

Figura 32 – Mini parede sem rapadura (a); mini parede com rapadura (b) (medidas em cm).



Fonte: TÉCHNE, 2005.

Um estudo realizado pelo curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, com o objetivo de conhecer a capacidade resistente da alvenaria, foram executadas mini paredes de tijolos maciços, objetivava conhecer a capacidade resistente das mesmas. Foram executadas mini-paredes com tijolos de 3 (três) categorias com 3 (três) tipos de argamassas, conforme tabelas abaixo:

Quadro 14 – Argamassas.

Argamassa	Resistência média (mpa)
A1	1,36
A2	2,62
A3	15,13

Fonte: KALIL, 2007.

Quadro 15 – Tijolos.

Tijolo	Resistência à compressão (mpa)
I	3,64
II	6,77
III	17,26

Fonte: KALIL, 2007.

Tabela 15 – Alvenaria.

Argamassa	Tijolo I	Tijolo II	Tijolo III	Média (MPa)
A1	1,28	1,68	2,31	1,76
A2	1,43	1,93	2,73	2,03
A3	1,41	2,46	4,08	2,65
MÉDIA	1,373	2,023	3,04	2,14

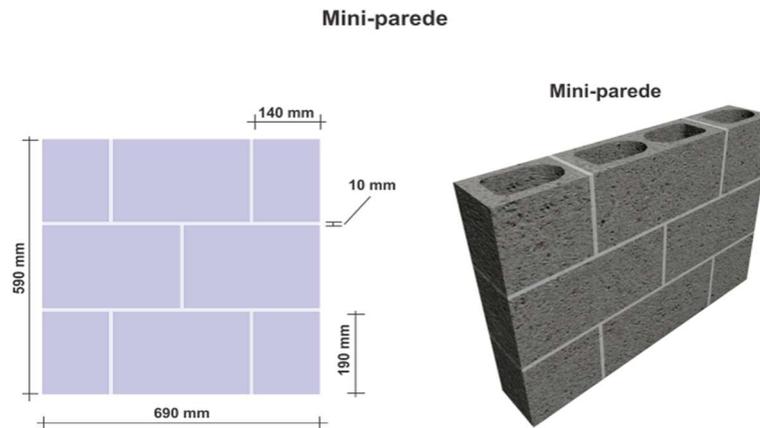
Fonte: KALIL, 2007.

A análise dos resultados mostra que a resistência das mini-paredes aumenta com o aumento da resistência das argamassas, mas o maior aumento, se obtém, quando a resistência do tijolo aumenta.

Para os ensaios com as Mini Paredes, observou-se a geometria dos blocos em concreto produzidos com agregados da região do baixo Amazonas, ou seja, os blocos da família M- 15 (140 mm x 190 mm x 390 mm), sendo que os modelos produzidos são constituídos de 03 fiadas de blocos, sendo que a primeira e a última contra fiadas.

Para o ensaio produziu-se 04 Mini paredes, com blocos em concreto, a figura 33 abaixo, representa a metodologia para o ensaio.

Figura 33 – Modelo de mini parede.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

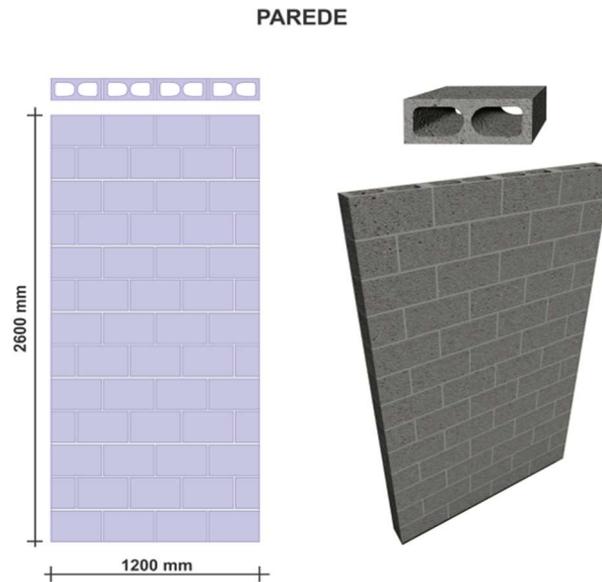
Para a produção das mini paredes, estas foram devidamente confeccionadas seguindo os preceitos normativos e valeu-se da experiência de profissional habilitado para a produção de Alvenaria Estrutural, durante a confecção e moldagem dos prismas, observou-se a espessura da argamassa de assentamento, para que não excedesse o valor normativo de  $10 \pm 3$  mm, conforme demonstrado na figura 33.

### 3.7 Paredes

Para os ensaios com as Paredes, observou-se a geometria dos blocos em concreto produzidos com agregados da região do baixo Amazonas, ou seja, os blocos da família M- 39 (140 mm x 190 mm x 390 mm), sendo que os modelos produzidos tem as seguintes dimensões, conforme norma NBR 8949/2005 (1.200 mm x 2.600 mm), construídos sob pórtico metálico, para que pudesse comportar os ensaios. Foram produzidas 02 Paredes.

Para a produção das paredes, estas foram devidamente confeccionadas seguindo os preceitos normativos e valeu-se da experiência de profissional habilitado para a produção de Alvenaria Estrutural, durante a confecção e moldagem dos prismas, observou-se a espessura da argamassa de assentamento, para que não excedesse o valor normativo de  $10 \pm 3$  mm, conforme demonstrado Figura 34 abaixo.

Figura 34 – Modelo de parede.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

### 3.8 Ensaios realizados

#### 3.8.1 Blocos estruturais

A análise do desempenho de Blocos em concreto utilizados na alvenaria estrutural, a partir dos agregados encontrados no município de Santarém e região do Baixo Amazonas, foi realizada a partir dos resultados obtidos no trabalho de Dissertação de mestrado com tema “Caracterização dos agregados da região do baixo amazonas: elaboração de traços para a produção de blocos de concreto estrutural”, onde houve a caracterização dos agregados, para elaboração de um traço otimizado atingindo os requisitos de desempenho de economicidade, durabilidade e resistência.

Figura 35 – Ensaio de compressão dos blocos.



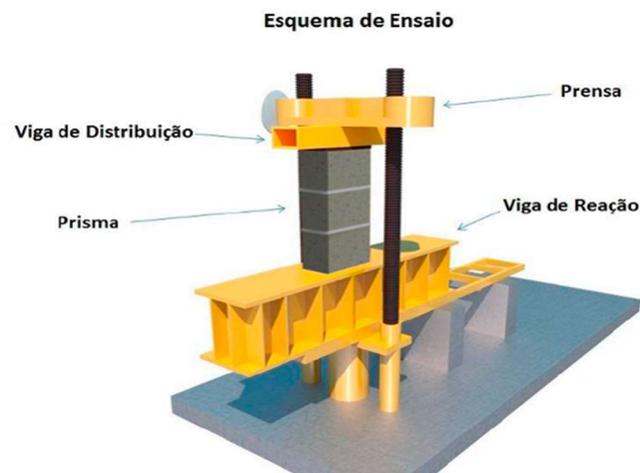
Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

### 3.8.2 Prismas

#### 3.8.2.1 Resistência a Compressão

Para a verificação da resistência a compressão dos 06 prismas, estes ficaram submetidos aos 28 dias, o ensaio ocorreu no laboratório da UFPA – Universidade Federal do Pará, utilizando a prensa de marca AMSLER, que tem capacidade de 2.000 KN, durante o ensaio foram aplicadas cargas aos prismas em intervalos de carga a cada 10 KN, com a finalidade de fazer com que a pressão fosse elevada de forma progressiva, objetivando identificar o início da ruptura dos mesmos, não obstante a NBR 8125/1983, referir-se a ensaios com prismas de 02 blocos, o signatário optou em seguir a Norma Americana que tem norteado as dissertações e teses acerca da Alvenaria Estrutural.

Figura 36 – Esquema de ensaio de resistência dos prismas.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Figura 37 – Ensaio de resistência dos prismas.



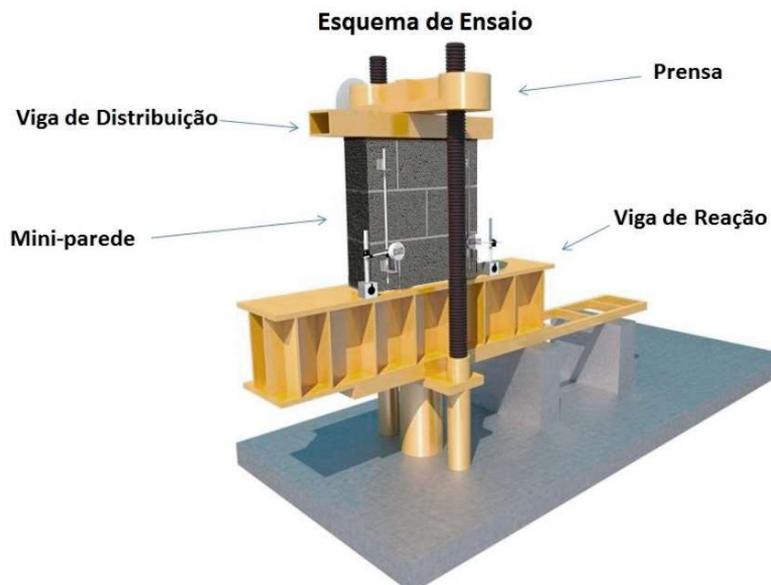
Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

### 3.8.3 Mini paredes

#### 3.8.3.1 Resistência a compressão

Para a verificação da resistência a compressão das 04 Mini Paredes, estas ficaram submetidos aos 28 dias, o ensaio ocorreu no laboratório da UFPA – Universidade Federal do Pará, utilizando a prensa de marca AMSLER, que tem capacidade de 2.000 KN, durante o ensaio foram aplicadas cargas aos prismas em intervalos de carga a cada 10 KN, objetivando fazer com que a pressão fosse elevada de forma progressiva, com a finalidade de identificar o início da ruptura dos mesmos.

Figura 38 – Ensaio de resistência das mini paredes.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Figura 39 – Ensaio de resistência das mini paredes.

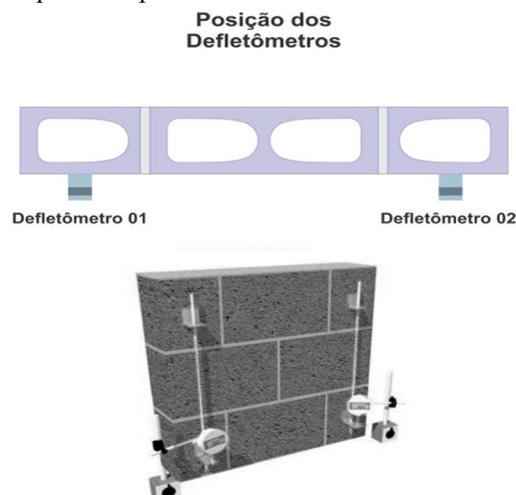


Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

### 3.8.3.2 Módulo de elasticidade

Para os ensaios das mini paredes, obteve-se também o módulo de elasticidade, obtidos longitudinalmente a verificação da deformação. Para tal utilizou-se defletômetros digitais, com resolução de 0,001 mm, que foram posicionados nas Mini Paredes, conforme Figura 40 abaixo.

Figura 40 – Esquema de posicionamento de defletômetros na mini parede.



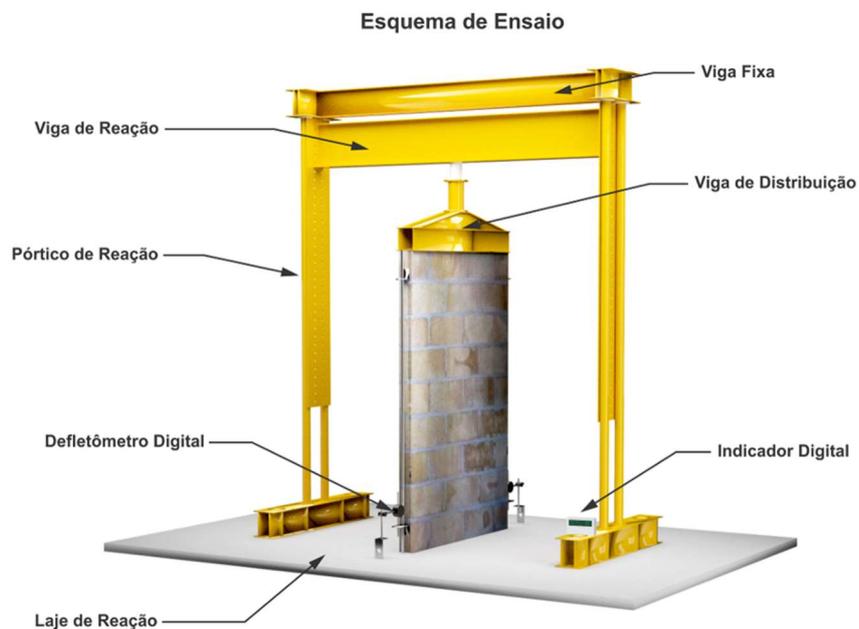
Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

### 3.8.4 Paredes

#### 3.8.4.1 Resistência a compressão

De acordo com a NBR 8949/2005, para se obter a resistência a compressão de paredes, há a necessidade de respeitar os 28 dias de cura, fato observado nos ensaios, que para a sua realização, foi necessário realizar conforme esquema abaixo, Figura 41, ou seja, com pórtico metálico sobre uma laje de reação, onde um profissional habilitado em Alvenaria Estrutural, confeccionou e modelou as paredes para o ensaio, no conjunto também inclui-se a viga de distribuição, o cilindro hidráulico com capacidade de 1.000 KN, a bomba hidráulica manual para o acionamento do cilindro de força com capacidade de 2.000 KN e precisão de 0,5 KN, mais indicador digital rastreado utilizado para acompanhamento e controle dos carregamentos.

Figura 41 – Esquema de ensaio de resistência da parede.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Figura 42 – Ensaio de resistência das paredes.

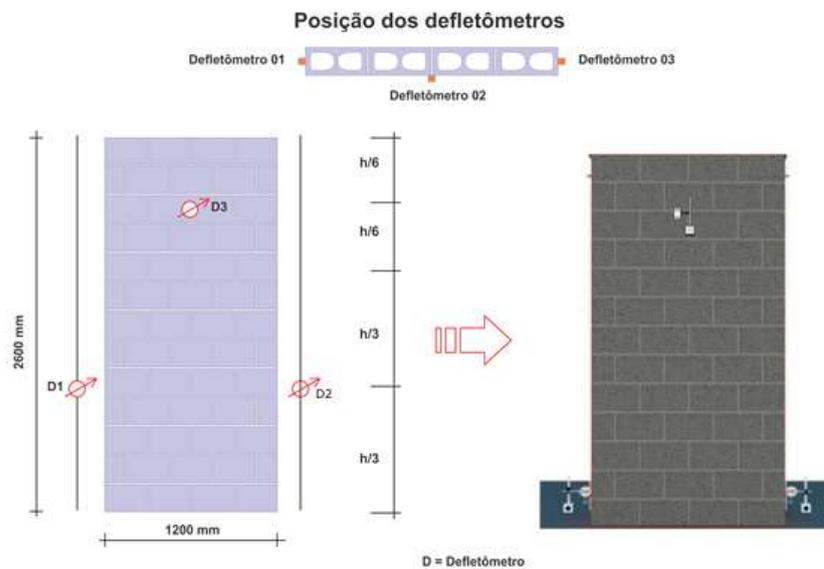


Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

#### 3.8.4.2 Módulo de elasticidade

Para os ensaios das paredes, obteve-se também o módulo de elasticidade, obtidos longitudinalmente a verificação da deformação. Para tal utilizou-se 03 defletômetros digitais, com resolução de 0,001 mm, os equipamentos foram fixados em hastes, sendo um em cada extremidade lateral da parede, posições D1 e D3 para aferir as deformações longitudinais, e um terceiro D2 posicionado no centro da parede, para aferir os deslocamentos horizontais, conforme Figura 43 abaixo.

Figura 43 – Esquema de posicionamento dos defletômetros na parede.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

## 4 RESULTADOS E ANALISES

### 4.1 Introdução

Este capítulo apresenta os resultados dos ensaios experimentais e suas análises, a fim de demonstrar a elegibilidade dos agregados da região do baixo amazonas como matéria prima para produção de blocos de alvenaria estrutural, com base nas normas técnicas e resultados de trabalhos prévios.

Para isto faz-se uso de tabelas e gráficos ilustrativos, com os resultados e análises dos ensaios, para que haja uma boa compreensão destes dados.

### 4.2 Geometria do bloco

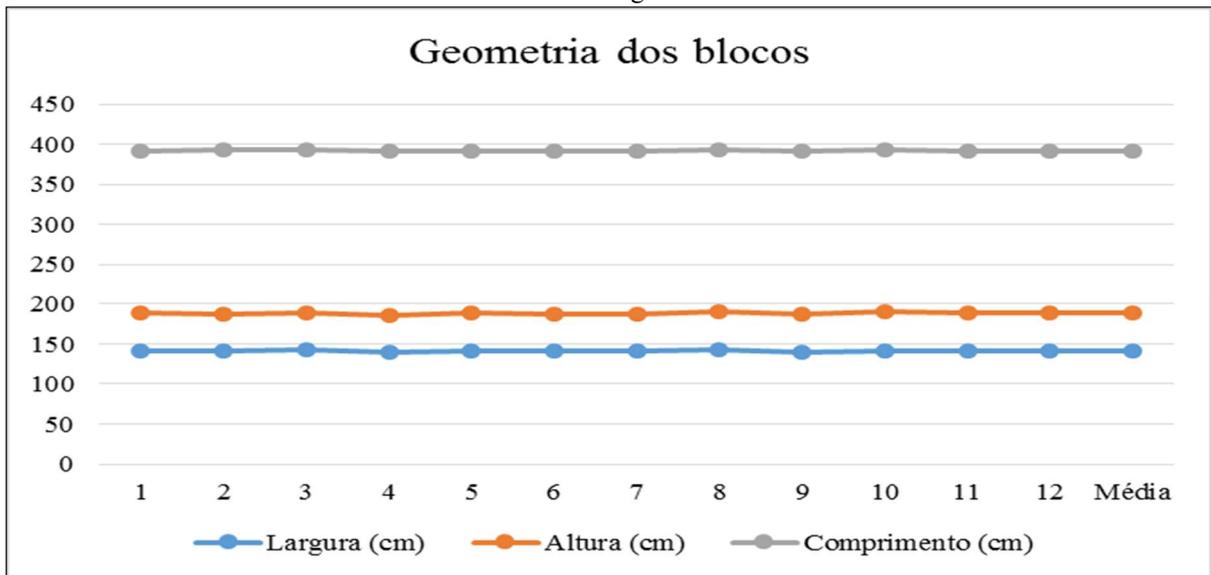
Os blocos utilizados para este ensaio foram ensaiados quanto suas dimensões, largura, altura e comprimento. A Tabela 16 apresenta o resultado da geometria dos 12 blocos ensaiados.

Tabela 16 – Geometria dos blocos.

Item	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
1	140,57	188,59	391,61
2	140,9	187,26	392,73
3	142,18	188,41	392,73
4	140,16	185,51	391,83
5	140,93	188,23	391,23
6	140,93	187,23	391,55
7	140,7	186,8	391,2
8	142,26	190,83	392,57
9	140,28	187,81	391,41
10	141,85	190	393,66
11	140,62	189	391,5
12	140,61	189,01	392,01
Média	141,00	188,22	392,00

Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Gráfico 2 – Resultado da geometria dos blocos.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Ao observar a Tabela 16 e o Gráfico 2 constata-se que os valores não se distanciaram da média, cumprindo com as exigências da NBR 15270 (2005), consubstanciando e validando os resultados dos ensaios de compressão do bloco, prismas, mini paredes e paredes, observando os critérios normativos em relação a utilização de argamassas.

### 4.3 Argamassa

Conforme estudos anteriores, verifica-se que o valor da resistência da argamassa interfere diretamente no resultado dos ensaios de compressão dos prismas, mini paredes e paredes, independente da geometria dos blocos, sendo que esta interferência é mais notada em blocos com maior resistência, apesar que aumentar a resistência da argamassa venha a aumentar a resistência do prisma, mini paredes e paredes, em dado momento este aumento de resistência passa-se a ser imperceptível. Portanto, daí o cuidado na confecção dos blocos utilizados nos ensaios deste trabalho, e o nível de resistência mínima de argamassa, necessário para a realização dos ensaios, sendo que o recomendável da resistência da argamassa esteja entre 70% e 150% da resistência do bloco.

Figura 44 – Corpos de prova de argamassa.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

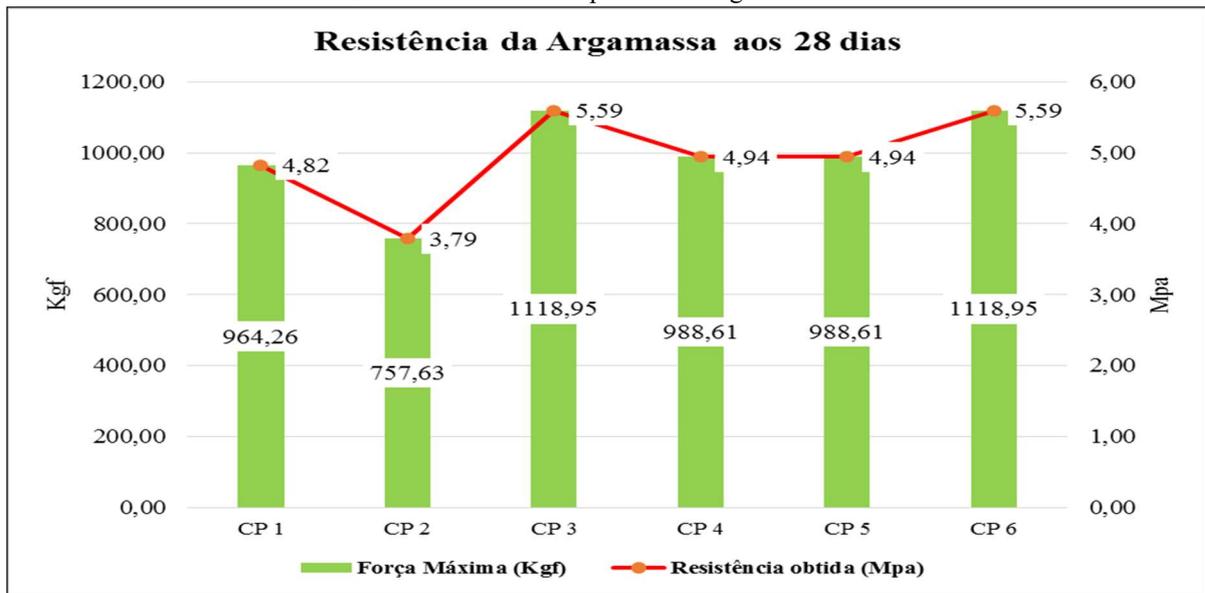
Figura 45 – Ensaio de compressão da argamassa.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

O Gráfico 3 apresenta os resultados da resistência de 6 corpos de prova, aos 28 dias da argamassa de assentamento utilizada na confecção dos prismas, mini paredes e paredes.

Gráfico 3 – Resistência a Compressão da argamassa aos 28 dias.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

A média obtida foi de 4,94 Mpa, valor não tão expressivo porém não tão distante do ideal para este fim. Os resultados da resistência da argamassa não se distanciam consideravelmente do que sugere a NBR 13279.

#### 4.4 Bloco

##### 4.4.1 Resistência a Compressão Blocos

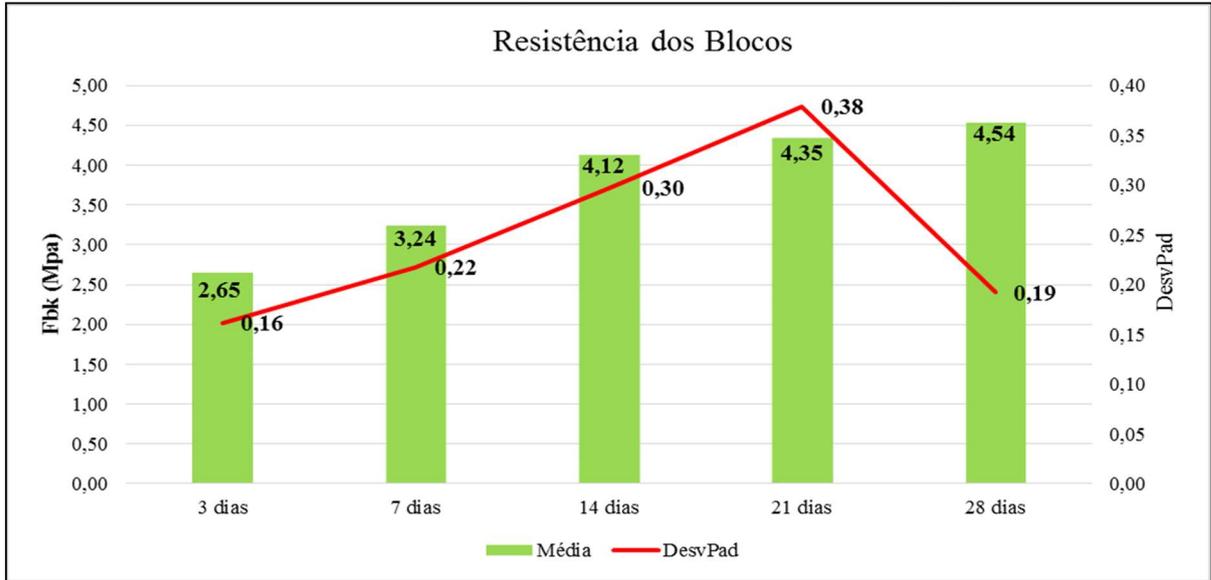
O ensaio de resistência a compressão dos blocos é utilizado com frequência, para aferir a qualidade do bloco, observando que quanto maior a resistência do bloco maior será a sua durabilidade e posteriormente identificando as características das alvenarias, uma vez que a resistência do bloco aliada a qualidade da argamassa e graute é de fundamental importância para o desempenho da resistência a compressão do elemento estrutural.

Para uma melhor performance dos resultados, faz-se necessário o capeamento dos blocos, retificando com isto a ausência de planificação das faces dos blocos, devendo este capeamento ser do tipo rígido ou macio, desde que não venha a interferir nos resultados.

Os blocos em concreto da família de blocos 14 x 19 x 39 mm, produzidos com os agregados da região do baixo Amazonas, obtiveram resultados similares ao trabalho realizado por Neves (2014) “Caracterização dos agregados da região do baixo Amazonas: elaboração de traços para a produção de blocos de concreto estrutural”.

No referido trabalho para o ensaio de resistência a compressão do bloco, foram utilizados 6 blocos. O Gráfico 4 apresenta a resistência da média das 6 amostras de blocos de concreto família 14 x 19 x 39 mm, aos 3, 7, 14, 21 e 28 dias.

Gráfico 4 – Resistência a Compressão dos Blocos Ensaiaados x Desvio padrão.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

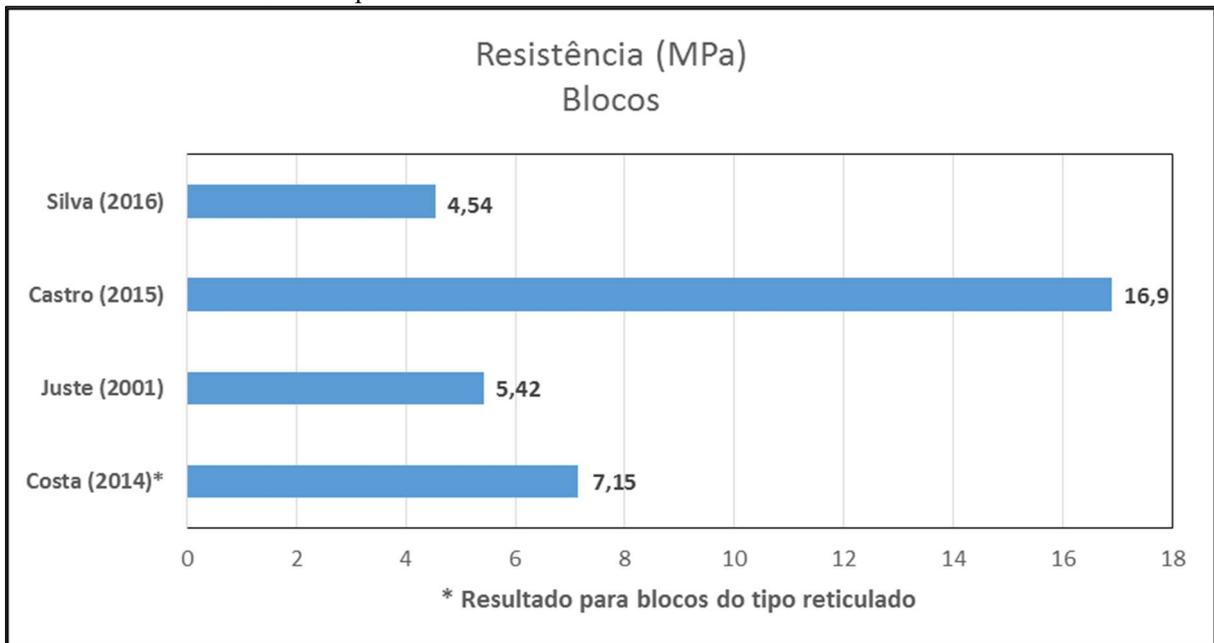
Ao observar o Gráfico 4 constata-se que os valores de resistência se adequam a exigência da classe B, da NBR 6136, que o classifica como estrutural para obras acima do nível do solo. A Figura 4.3 ilustra a média da resistência aos 28 dias e o desvio padrão

#### 4.4.2 Análise Comparativa da resistência dos blocos entre os trabalhos

Ao observar o quadro comparativo, verifica-se que a resistência do bloco referente ao trabalho de Castro (2015), alcançou resistência bem acima da média dos demais trabalhos, devido ao estudo ser com blocos de alta resistência, estando estes sob a ação de cargas verticais. Conforme demonstrado por, Juste (2001), este apresentou resistência dos blocos dentro dos limites recomendável de norma, assim como Costa (2014) mesmo sendo blocos do tipo reticulado os mesmos estiveram dentro de um campo de arbítrio aceitável.

O Gráfico 5 apresenta quadro comparativo entre a resistência média de blocos de trabalhos, para alvenaria estrutural.

Gráfico 5 – Comparativo da Resistência dos Blocos entre os trabalhos realizados.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

## 4.5 Prismas

### 4.5.1 Resultado da resistência

Conforme visto anteriormente, quando o Prisma composto de blocos com elevado módulo de elasticidade e argamassa com módulo inferior ao do bloco, a expansão lateral da argamassa será restrita pelo bloco, que confina a argamassa, ocasionando um estado tri axial de compressão, elevando a resistência da argamassa a níveis superiores aos resultados da resistência a compressão, obtidos em ensaios realizados de caracterização simples.

Quanto ao início das fissuras nos blocos, existem divergências quanto aos modelos matemáticos apresentados, o que se observa é que os defeitos provenientes da confecção dos blocos, podem causar o início da fissuração. Não obstante esta possibilidade de início de fissuras, independente do modelo de ruptura, observa-se que o aparecimento das fissuras quando a aplicação de cargas é inferior a resistência características do prisma é devido à resistência de cada parte separada de coluna vertical resultante de fissuração, que somados a uma combinação crítica de fissuras leva a ruptura final do prisma.

A fissuração nos prismas é observada a 60% da força máxima do ensaio, localizada comumente em ambos os lados bloco intermediário, próximas à região do septo transversal central.

Figura 46 – Detalhe das fissuras dos prismas.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Estas fissuras tendem, primeiramente, a se prolongar em direção a um dos blocos da extremidade; em alguns casos observam-se fissuras na região central do septo transversal do bloco central.

Com o aumento da força e iminência da ruína, as fissuras do bloco central aumentam sua abertura, e as localizadas no septo transversal expandem-se para os blocos das extremidades. Após o patamar da força máxima, a fissuração é generalizada, intensificando-se na fase de descarregamento do ensaio.

Ocorre destacamento das paredes longitudinais dos blocos e, ao fim do ensaio, é nítida a tendência de separação nos septos transversais, instante em que também é identificado o esmagamento da argamassa da junta.

Figura 47 – Detalhe do prisma após ruptura com início no bloco superior ao inferior.

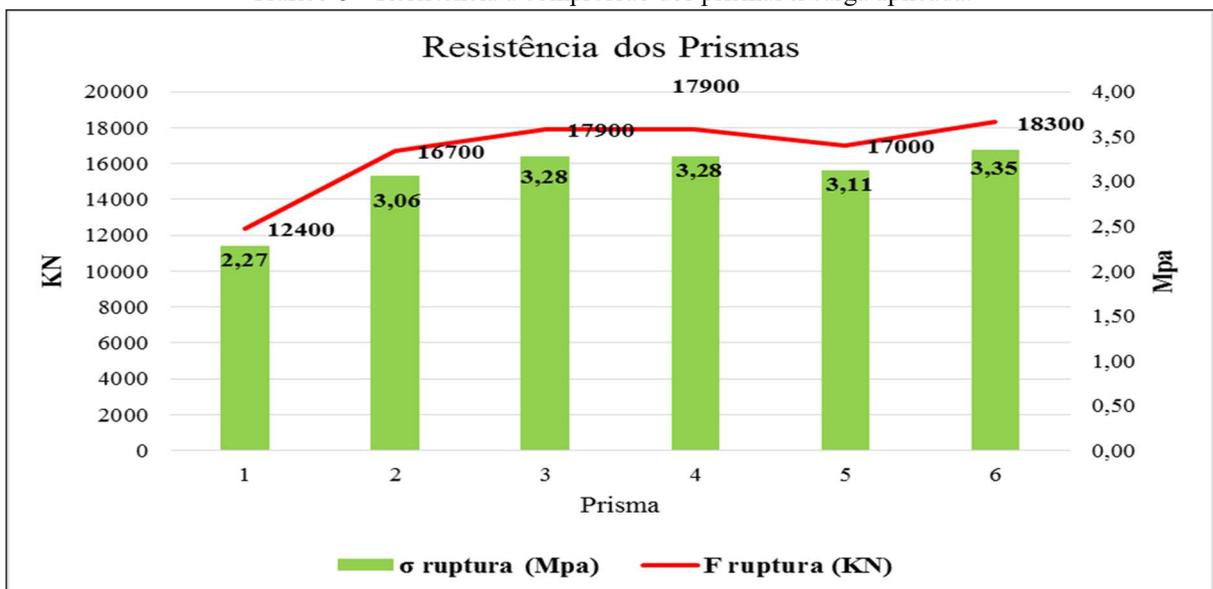


Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

A ruptura dos prismas se caracterizaram com fissuras a partir da fiada superior para inferior, com determinada inclinação entre 30 e 45 graus, não havendo ruptura na argamassa. Tão pouco esmagamento dos blocos

Foram ensaiados 6 prismas, para se obter a resistência a compressão. O Gráfico 6 apresentam o resultado da resistência de 6 amostras de primas relacionando com a carga aplicada.

Gráfico 6 – Resistência a compressão dos prismas x carga aplicada.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

A ilustração acima mostra que a resistência dos prismas está dentro do esperado com uma média 3,06 Mpa. Assim o fator de eficiência do prisma em relação ao bloco foi de aproximadamente 0,7, na média do que é indicado por Ramalho e Corrêa (2003).

#### 4.5.2 Análise Comparativa da resistência dos prismas entre os trabalhos

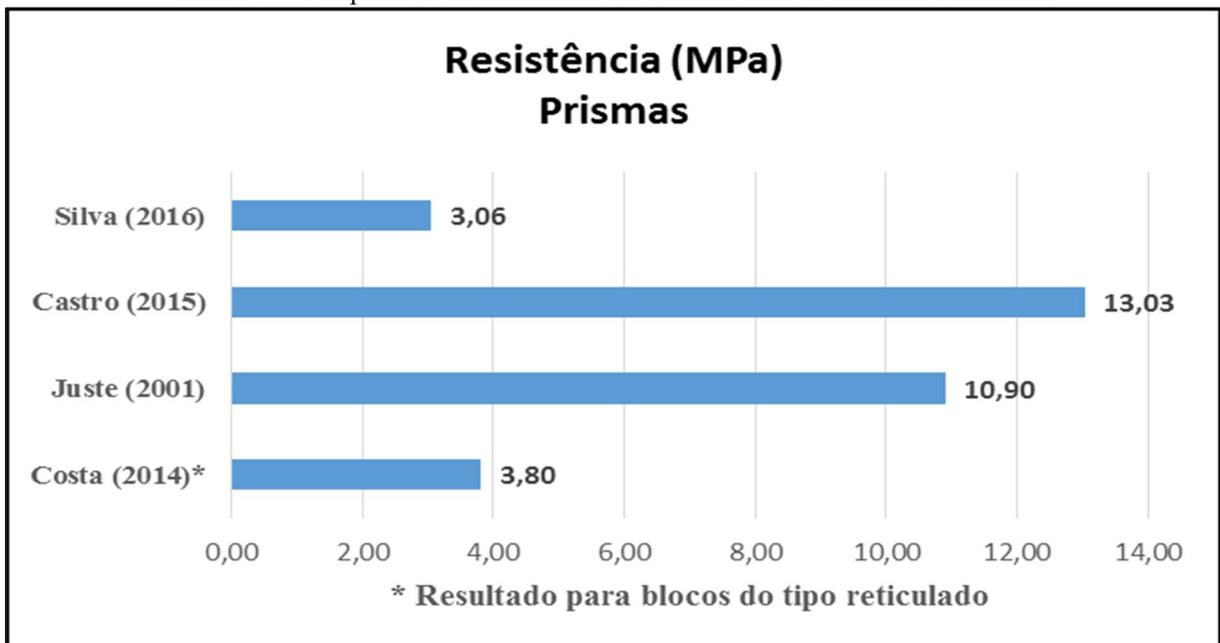
Ao observar o quadro comparativo, verifica-se que os valores obtidos para os ensaios de prisma referente ao trabalho de Castro (2015), alcançou resistência bem acima da média dos demais trabalhos, devido os blocos serem de alta resistência, alcançando valores acima da média.

Conforme demonstrado por, Juste (2001), no trabalho de estudo de deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão, este apresentou também a resistência dos prismas, bem acima dos demais.

Enquanto Costa (2014) mesmo sendo os prismas confeccionados com blocos do tipo reticulado os mesmos estiveram dentro de um campo de arbítrio aceitável.

O Gráfico 7 apresenta quadro comparativo entre a resistência média de prismas, entre os trabalhos realizados, para utilização de blocos para alvenaria estrutural.

Gráfico 7 – Comparativo da Resistência dos Prismas entre os trabalhos realizados.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

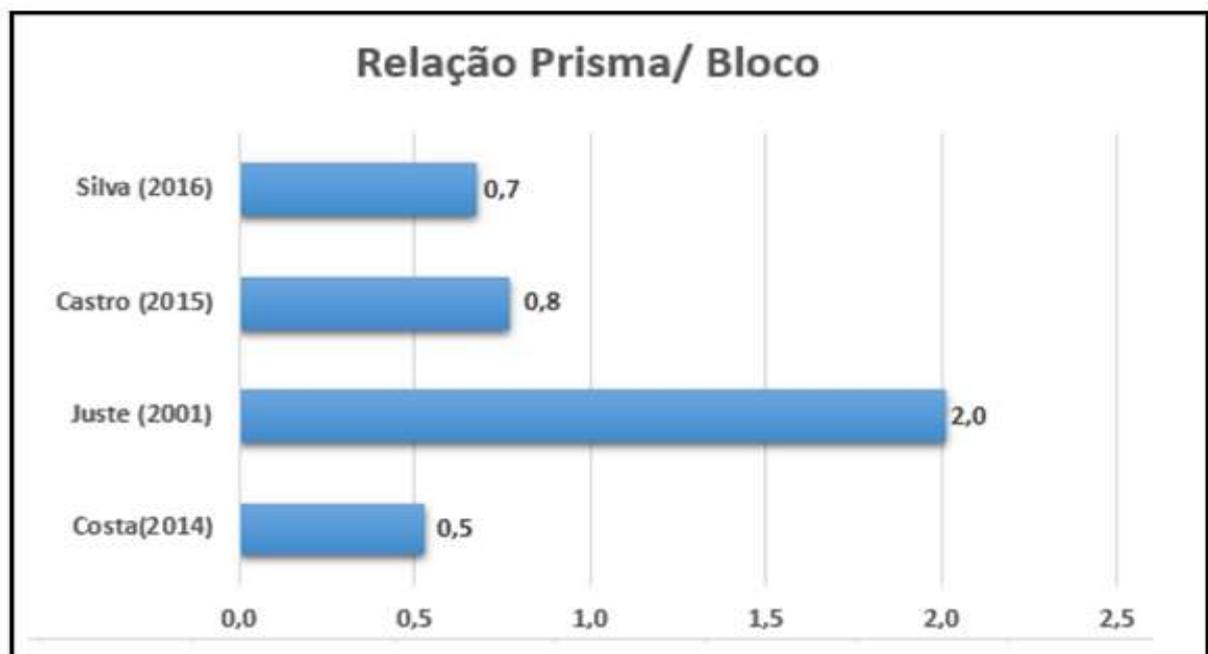
Para análise da relação entre prisma/ bloco não existe registro em norma, o que se recomenda é que sejam realizados ensaios de caracterização em ambos, antes da construção da alvenaria.

Observa-se que existem relações prisma/ blocos baseados em estimativas, como objetivo de direcionar a confecção e utilização de blocos em concreto para alvenaria estrutural, devendo o fabricante realizar ensaios periódicos em prismas e blocos.

De acordo com (PARSEKIAN, 2013), as relações prisma/ bloco de até 0,30 são relatadas para blocos cerâmicos de qualidade ruim, ou de até 0,60 para blocos cerâmicos de bom fabricante e resistência de 6,0 Mpa.

O Gráfico 8 apresenta a relação prisma/ bloco entre os trabalhos, onde verifica-se que ambos apresentam relação acima de 0,30.

Gráfico 8 – Comparativo da Relação Prisma/ Bloco entre os trabalhos realizados.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

#### 4.6 Mini parede

Os ensaios de mini paredes são importantes para o estudo da viabilidade estrutural dos blocos em concreto, utilizados para alvenaria estrutural uma vez que estes reproduzem resultados melhores, mais representativos apresentando dados consubstanciados para a análise, que os ensaios isolados de blocos e argamassas, devido sua praticidade e utilização de menos materiais que os demais ensaios.

Não obstante a vantagem devido a diversificação de materiais, o ensaio das mini paredes restringe-se ao comportamento de piabeis simples, sendo de fundamental importância o conhecimento das correlações com as paredes reais em alvenaria.

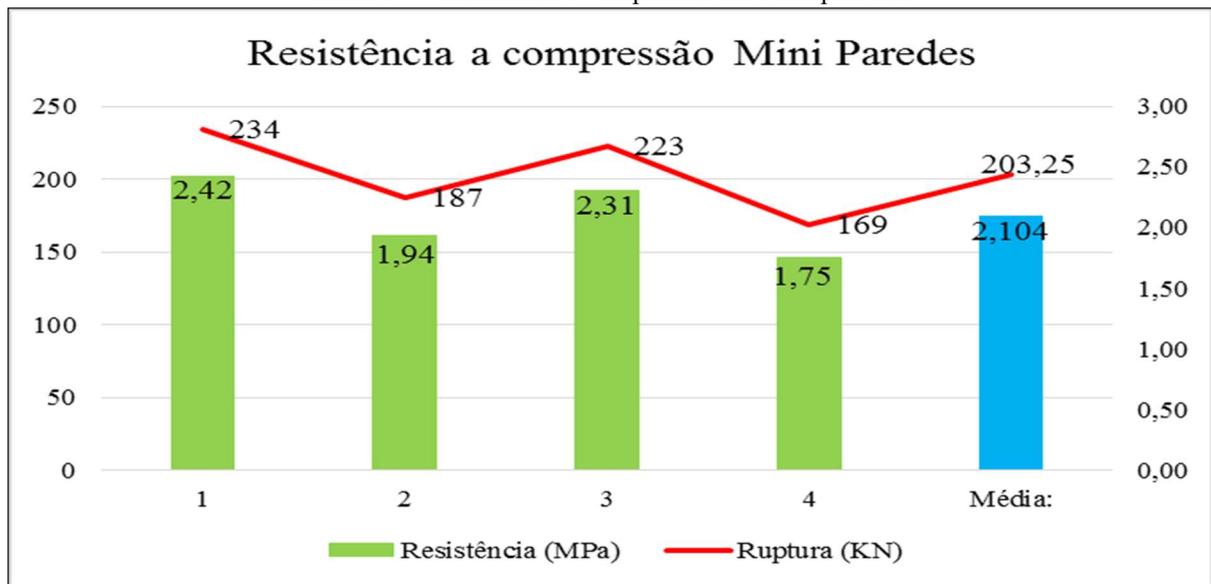
Para obtenção da resistência das mini paredes foram utilizadas 4 amostras. A Tabela 17 e o Gráfico 9 apresentam os resultados de resistência e tensão sobre estas.

Tabela 17 – Resistência a compressão das Mini paredes.

Amostra	Ruptura (KN)	Resistência (MPa)
1	234	2,42
2	187	1,94
3	223	2,31
4	169	1,75
<b>Média:</b>	203,25	2,104
<b>Desvio Padrão:</b>	30,40	0,31

Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Gráfico 9 – Resistência a compressão das Mini paredes.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

A resistência a compressão da alvenaria dar-se-á pela combinação da resistência da argamassa presente nas juntas e dos blocos.

Verifica-se que a ruptura se deu pelo surgimento de fissuras no sentido vertical do conjunto, sendo propagada através de juntas verticais na região central das minis paredes, em algumas minis paredes desviadas pelas faces dos blocos. Durante os ensaios das quatro minis paredes que houveram fissuras verticais ao longo dos septos laterais, sendo que esta ruptura

ocorreu por tração transversal dos blocos, precedida de indícios de ruptura conjunta de argamassa.

Figura 48 – Início de ruptura das minis paredes sentido vertical superior para inferior.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Figura 49 – Detalhe da fiada de base das minis paredes com fissuras nos septos.



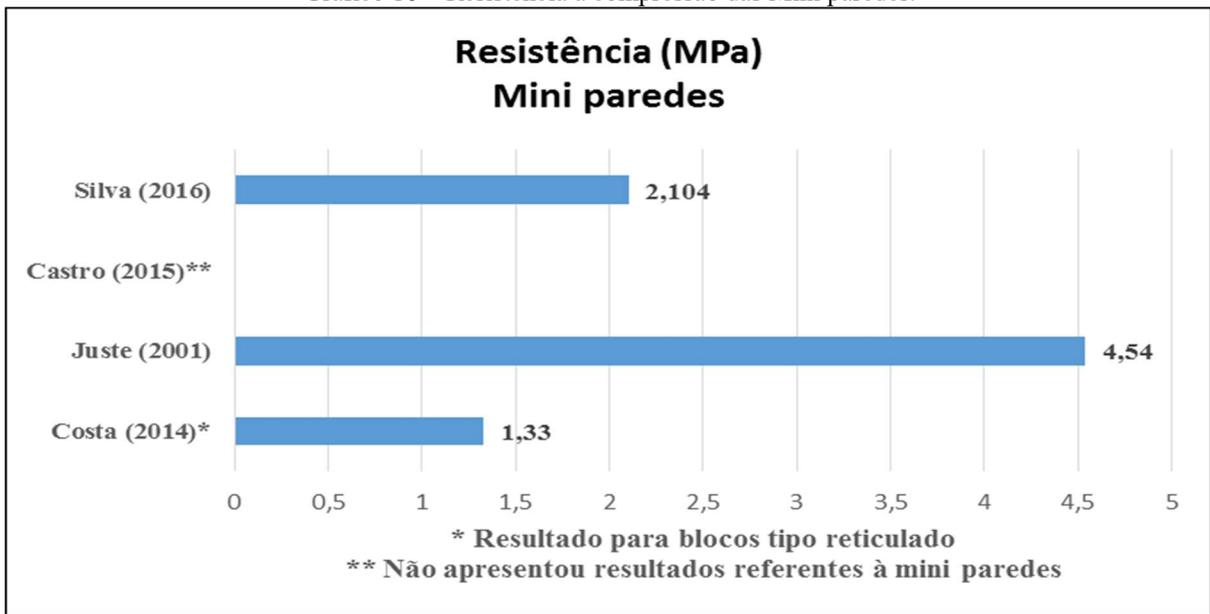
Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

#### 4.6.1 Análise Comparativa da resistência das minis paredes entre os trabalhos

Ao observar o quadro comparativo, verifica-se que os valores obtidos para os ensaios de mini paredes utilizando blocos em concreto, com agregados da região do Baixo Amazonas, foram superiores a resistência dos blocos produzidos a partir da lama vermelha (COSTA, 2014) e abaixo da resistência dos blocos em concreto (JUSTE, 2001), estando os resultados dentro de um campo de arbítrio aceitável.

O Gráfico 10 apresenta quadro comparativo entre a resistência média das minis paredes, entre os trabalhos realizados, para utilização de blocos para alvenaria estrutural.

Gráfico 10 – Resistência a compressão das Mini paredes.

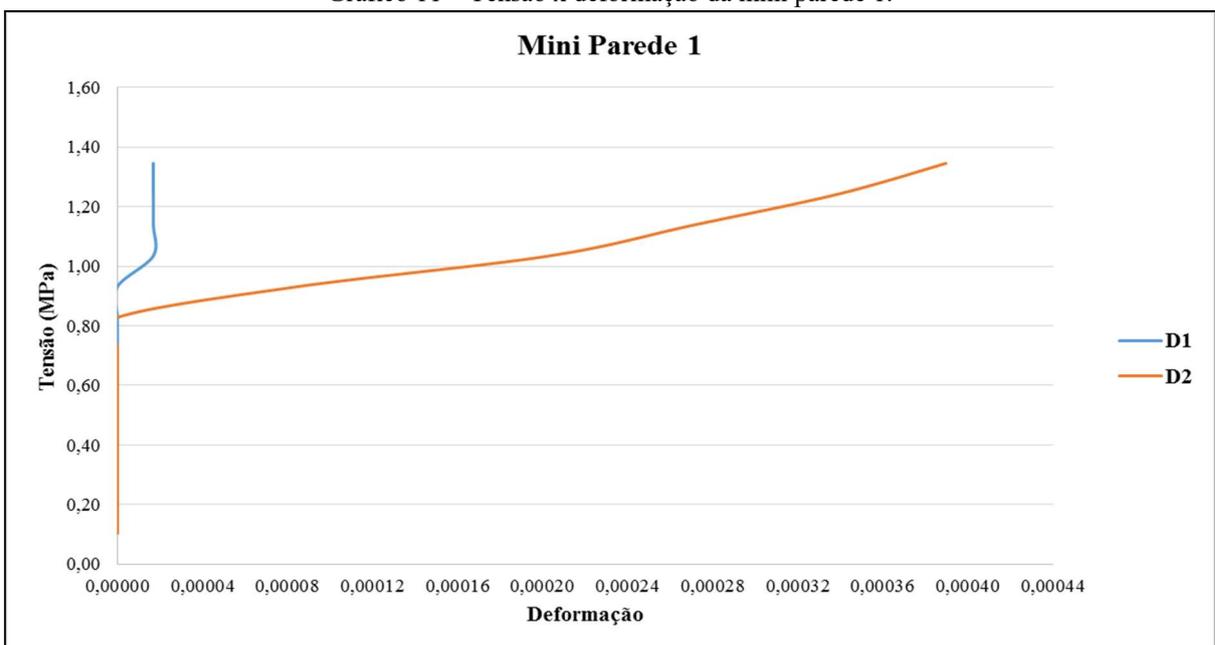


Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

O Gráfico 10 apresenta o resultado da resistência das 4 mini paredes relacionando a carga aplicada com a resistência das amostras. No que tange a eficiência da mini parede com o bloco o valor obtido foi de 0,5. Valor este dentro do indicado por Ramalho e Corrêa (2003).

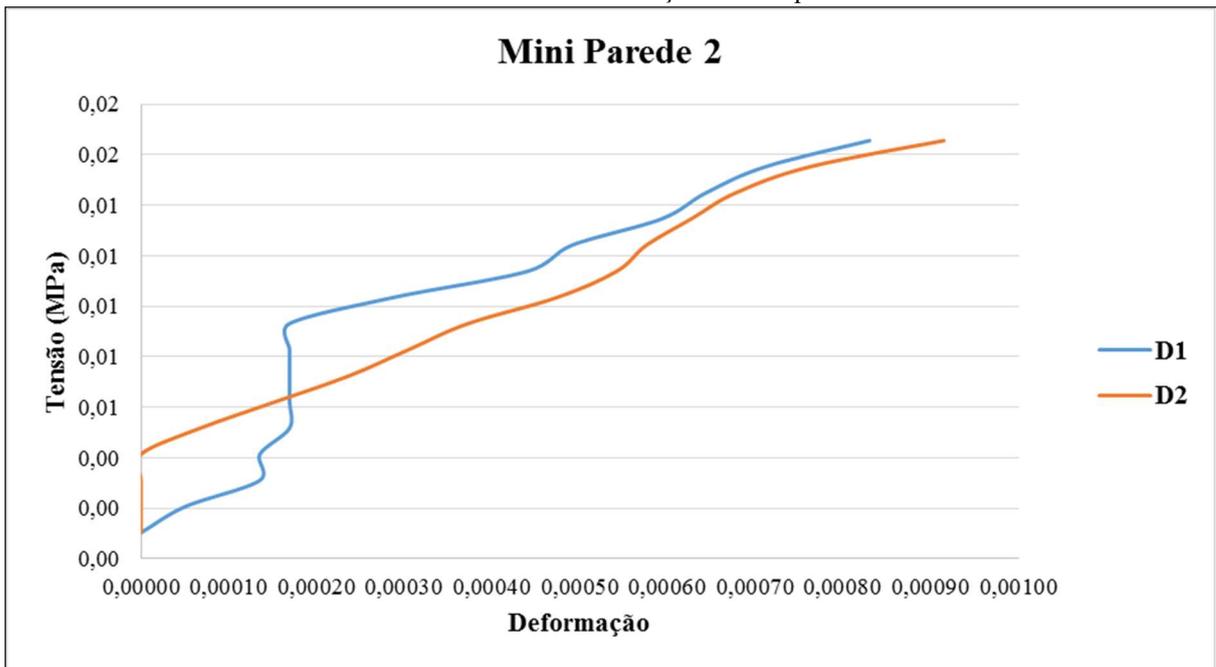
Os gráficos apresentando as curvas de tensão x deformação dos Gráficos 11 a 14, foram elaborados a partir da deformação específica e a tensão na área bruta, dividindo-se a média dos deslocamentos dos defletômetros D1 e D2, pelo comprimento das hastes, considerando positiva a carga de compressão.

Gráfico 11 – Tensão x deformação da mini parede 1.



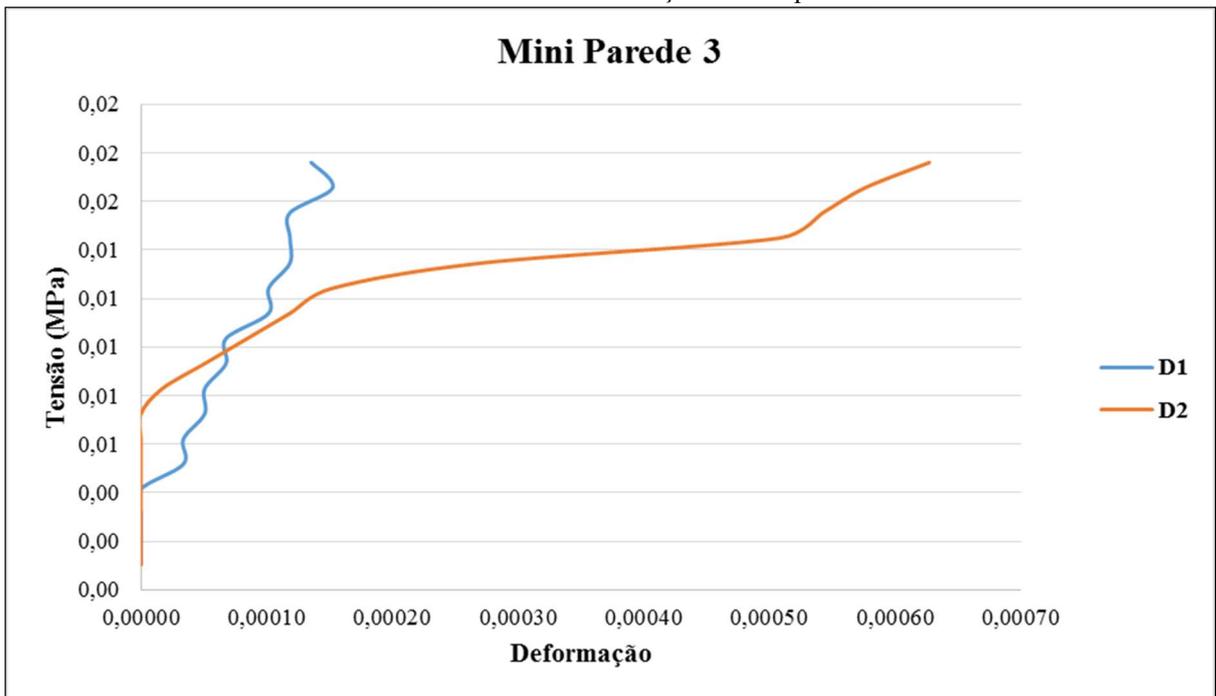
Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Gráfico 12 – Tensão x deformação da mini parede 2.



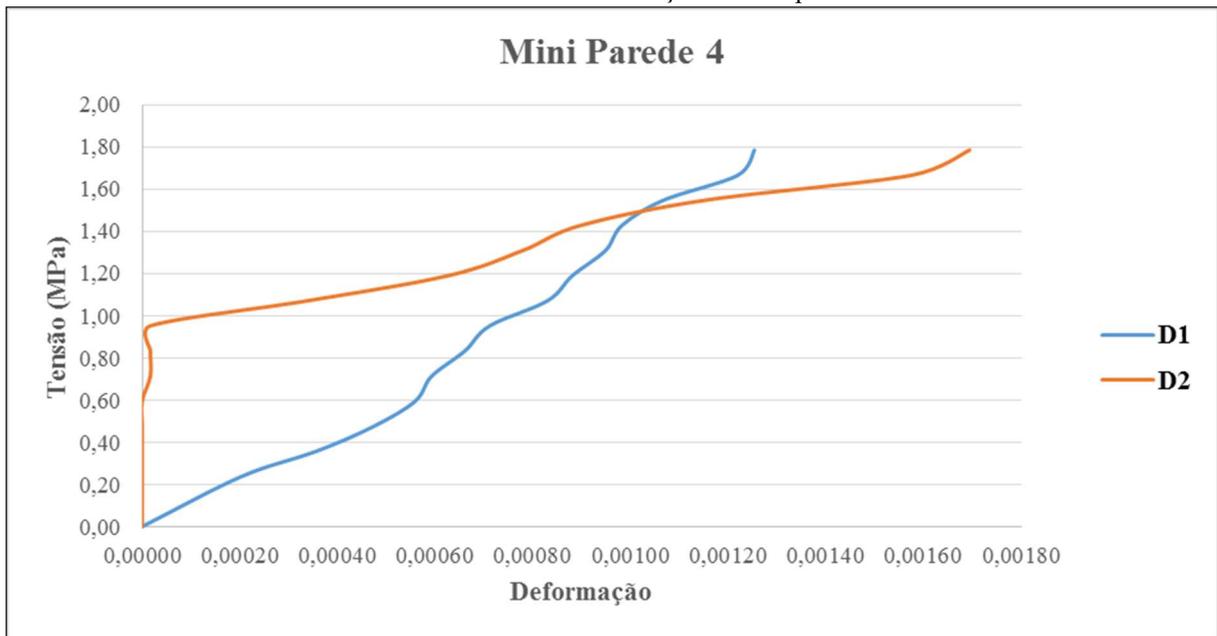
Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Gráfico 13 – Tensão x deformação da mini parede 3.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Gráfico 14 – Tensão x deformação da mini parede 4.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Ao analisar os gráficos acima, observa-se que o a deformação está dentro do que se esperava para os ensaios com as minis paredes construídas a partir dos blocos com agregados do baixo amazonas

#### 4.7 Parede

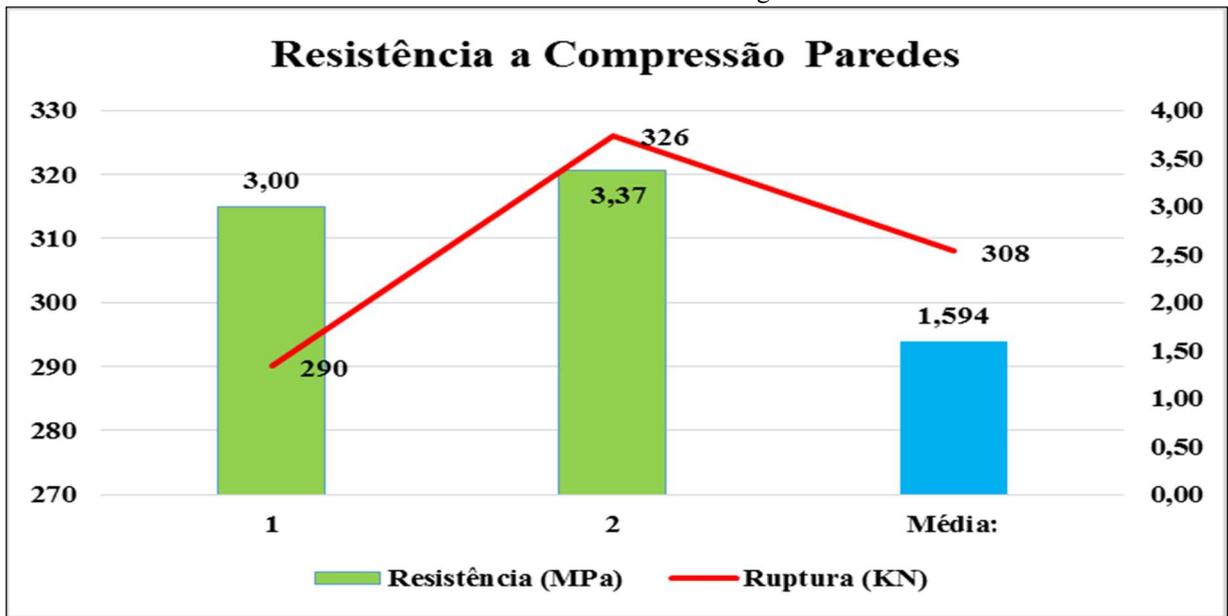
Foram ensaiadas 2 paredes construídas de blocos de concreto nas dimensões 140x190x390mm, feitos a partir dos agregados do baixo amazonas. A Tabela 18 e o Gráfico 15 ilustram os resultados.

Tabela 18 – Resistência a compressão das paredes.

Amostra	Ruptura (KN)	Resistência (MPa)
1	290	3,00
2	326	3,37
<b>Média:</b>	308	1,594
<b>Desvio Padrão:</b>	25,46	0,26

Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Gráfico 15 – Resistência x carga.



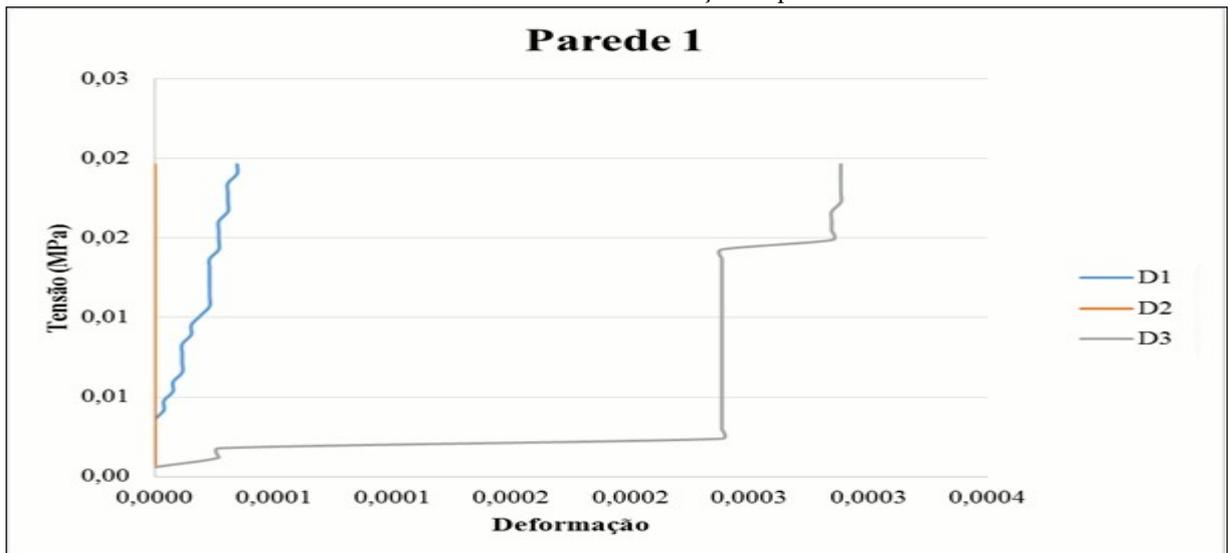
Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

A ruptura das paredes se deu primeiramente nas faces superiores devido ao carregamento distribuído nestas. Fissurando a primeira fiada da parede no sentido diagonal em seguida havendo a fissura total dos blocos e ao se dar a ruptura total, verificou-se que houve o rompimento ao longo da parede pela face interna no sentido superior a inferior.

Ao verificar-se os resultados os valores médios da eficiência encontra-se dentro do estabelecido por Ramalho e Corrêa (2003).

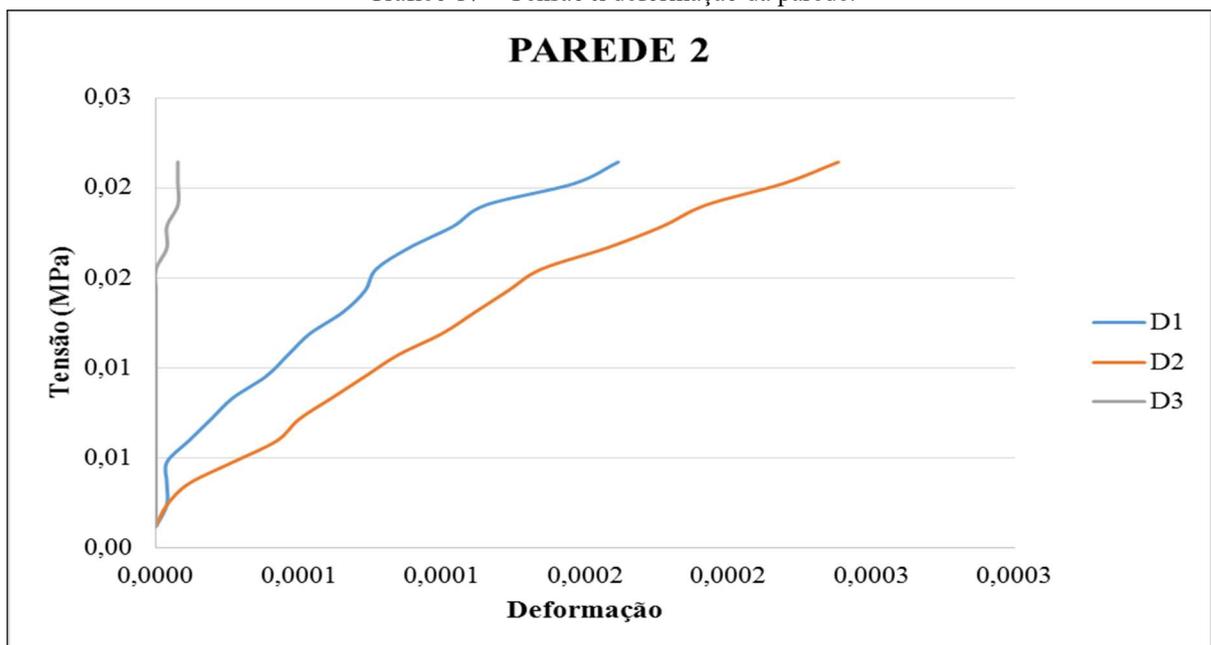
Os gráficos apresentando as curvas de tensão x deformação nos Gráficos 16 e 17, foram traçados a partir da tensão na área bruta e a deformação específica, dividindo a média do deslocamento dos defletômetros D1, D2 e D3, pelo comprimento das hastes, considerando positiva a carga de compressão.

Gráfico 16 – Tensão x deformação da parede.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Gráfico 17 – Tensão x deformação da parede.



Fonte: SILVA, 2016 (arquivo pessoal).

Os gráficos ilustrativos mostram que as tensões sobre a parede geraram deslocamentos aceitáveis a partir da NBR 8949, para as paredes construídas a partir dos blocos com agregados do baixo amazonas.

## 5 CONCLUSÃO

A região do Baixo Amazonas tem potencial de suprimento de materiais que podem ter um melhor desempenho em Blocos, Prismas e Mini Paredes de Alvenaria Estrutural. A partir disso o referido trabalho experimental, objetivou a utilização de agregados da região Oeste Paraense, ou seja, o Baixo Amazonas para a confecção de blocos em concreto para confecção de alvenaria estrutural. Não obstante já existir trabalho acerca da eficiência do referido material para a produção de blocos em concreto NEVES (2014), os ensaios realizados de compressão de blocos, prismas, mini paredes e paredes deram continuidade ao trabalho anterior e ratificaram a qualidade dos blocos produzidos a partir de agregados da região do baixo Amazonas ao compara-los com outros trabalhos inseridos na mesma linha de pesquisa.

A caracterização dos materiais utilizados para a confecção dos blocos de concreto utilizados na alvenaria estrutural, foi desenvolvida de acordo com NEVES (2014) e a modelagem da resistência a compressão dos blocos através dos ensaios com blocos, prismas, mini paredes e paredes foram comparadas com COSTA (2014), CASTRO(2015) e JUSTES (2001), ao final da pesquisa constatou-se que os agregados da região do baixo amazonas tem um alto potencial a ser empregado na produção de blocos para emprego na construção civil, sendo os resultados apresentados a seguir.

A geometria do bloco utilizado apresentou resultados em conformidade com a NBR 15270:2005, as dimensões de largura (L); altura (H), comprimento (C) as espessuras mínimas de paredes e diâmetros de furos, apresentaram valores em conformidade que possibilitaram a validação dos ensaios que sucederam para análise final, conforme apresentado os valores não excederam a 1% do valor de referência.

Os ensaios foram realizados no âmbito do laboratório da UFPA, onde técnicos experientes possibilitaram a utilização de equipamentos para extração de resultados a compressão dos blocos, prismas, mini paredes e paredes e estas últimas foram moldadas conforme padrão normativo de execução por profissional da área.

Os resultados de compressão dos blocos demonstram que as resistências aferidas (MPa) a partir da utilização de agregados da região do Baixo Amazonas atingiram os valores normativos, O valor da resistência característica à compressão ( $f_{bk}$ ) dos blocos de concreto, referida a área bruta (NBR: 6136 – item 6.5.2)

$$f_{bk} = f_{bm} - 1,65.s, \text{ sendo:}$$

- $f_{bm}$  = resistência média da amostra expressa, em megapascal;

-s = desvio padrão do fabricante (com pelo menos 30 corpos de prova) O não atendimento à resistência especificada em projeto pode resultar em desabamentos, trincas e comprometimento da estrutura.

A NBR 6136 ainda especifica que a resistência característica do bloco à compressão deve obedecer aos seguintes limites:

$-f_{bk} \geq 6$  MPa: blocos em paredes externas sem revestimento;

$-f_{bk} \geq 4,5$  MPa: blocos em paredes internas ou externas com revestimento, ou seja, a resistência de 4,54 MPa é superior ao valor de referência o que possibilitou a validação do trabalho.

Atualmente uma parcela significativa de obras em alvenaria estrutural com blocos de concreto, utilizam com argamassa de assentamento a industrializada, portanto, no referido trabalho, aplicou-se também a argamassa industrializada na confecção dos prismas, mini paredes e paredes e que os resultados obtidos demonstraram valores próximos ao da resistência dos blocos em concreto, a média obtida foi de 4,94 MPa sendo que o recomendável da resistência da argamassa esteja entre 70% e 150% da resistência do bloco.

Ressalta-se também que os valores obtidos na relação prisma/ blocos para blocos cerâmicos de bom fabricante e resistência deve ser de até 0,60, no referido trabalho obteve-se o valor de 0,70 superior a 0,30 que é referência não desejada.

Existe na literatura uma regra empírica, porém bastante utilizada por projetistas em Alvenaria Estrutural utilizando Blocos Vazado de Concreto, onde como sugestão a resistência à compressão dos blocos nos primeiros pavimentos de um edifício pode ser dada pela quantidade de pavimentos do mesmo.

Para a utilização desta regra, a resistência deve ser referida à área bruta do bloco e deve ser expressa em MPa.

Portanto os blocos analisados neste trabalho, não tiveram nenhum aditivo para ganho de resistência, onde se obteve a resistência média de 4,54 Mpa, demonstrando que com os agregados da região do baixo Amazonas, proporciona a viabilidade de edificações em alvenaria estrutural de 04 a 05 pavimentos, o que viabiliza o programa do governo federal MCMV que são edificações com 04 pavimentos.

Os gráficos de Tensão x Deformação das minis paredes e paredes ao comparar com os trabalhos já realizados em alvenaria estrutural, demonstram que podem atingir as resistências normativas sem a presença de aditivos que contribuam para o ganho de resistência, desta forma demonstramos a viabilidade estrutural dos blocos em concreto para alvenaria estrutural, produzidos com agregados da região do Baixo Amazonas.

## **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se um estudo mais aprofundado acerca da influência dos agregados do baixo amazonas na resistência da alvenaria.

Uma análise econômica sobre a viabilidade dos blocos produzidos a partir dos agregados da região do baixo amazonas.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, N. J. D.; DO Ó, S. W. Aditivos incorporadores de ar e retentores de água. In: **Revestimento de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM-UnB, Sinduscon, 2005.
- ANTUNES, M. L. **Modelação do comportamento de pavimentos rodoviários flexíveis, LNEC**. Programa de Investigação e Programa de Pós-Graduação, Lisboa. 2005.
- ARAÚJO, Cynthia Meilli Silva. **Estudo da transferência de forças de cisalhamento na ligação entre pilares mistos preenchidos e vigas**. 2009. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estrutura) – Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Estruturas, São Carlos, 2009.
- ASSIS, João Batista Santos de. **Avaliação experimental do comportamento estrutural de paredes não armadas, submetidas à compressão axial, construídas com tijolito**. 2001. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.
- ASSIS, João Batista Santos de. **Determinação experimental da resistência à tração na flexão em paredes construídas com blocos encaixáveis de solo-cimento**. 2008. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. **Manual do concreto dosado em central**. Abr., 2007. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/pdf/manual.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10837: Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto: Procedimento**. Rio de Janeiro. 1989.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12118: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2011.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2014.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13281: Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos: Requisitos**. Rio de Janeiro. 2005. p. 9.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia**. Rio de Janeiro, 1995.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15270: Componentes Cerâmicos – Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação: Terminologia e Requisitos**. Rio de Janeiro. 2005d. p. 11.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270**: Componentes Cerâmicos – Parte 2: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural: Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro. 2005e. p. 11.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: Componentes Cerâmicos – Parte 3: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação: Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro. 2005f. p. 27.

\_\_\_\_\_. **NBR 15961**: Alvenaria estrutural — Blocos de concreto. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 5712**: Bloco Vazado Modular de Concreto. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 6136**: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural. 4. ed. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7173**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregado para Concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 8215**: Prismas de Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural: Preparação e Ensaio à Compressão – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

ASTM E447: Test Methods for Compressive Strength of Laboratory Constructed Masonry Prisms. Philadelphia, 1997.

ATKINSON, R. H.; NOLAND, J. L. Investigation into the failure theory for brick masonry in compression. **Canadian Masonry Symposium**, 3., 1985, Edmonton, Canada. Proceedings. 1985. p. 5.1-5.17.

BARBOSA, C. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte**. 2004. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BARRETO, Adriano Siebra Paes. **Análise numérica de painéis de alvenaria estrutural utilizando técnica de homogeneização**. 2002. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2002.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos**: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

\_\_\_\_\_. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. cap.26, p.863-903.

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

CESAR, Cristina Guimarães. **Desempenho estrutural de painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos**. 2007. 240f. Tese de Doutorado (Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CIMENTO.ORG. **O mundo do cimento**: tipos de cimento. Disponível em: <http://cimento.org/tipos-de-cimento-2/>. Acesso em: 10 jan. 2016.

COSTA, Diogo Henrique Pereira. **Desempenho estrutural de blocos, prismas, mini-paredes e paredes de alvenaria estrutural confeccionadas com blocos cerâmicos produzidos a partir da mistura de lama vermelha com argila**. 2014. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2014.

CUCHIERATO, G. **Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico**. São Paulo, 2000. 201 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo, 2000.

DALCIN, Gabrieli Bortoli. **Ensaio dos materiais**. 41f. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Industrial Mecânica) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Fundação Regional Integrada, Santo Ângelo, Rio Grande do Sul, 2007.

DETHIER, J. **Down to earth**: mud architecture, an old idea, a new future. London, UK: Thames and Hudson, 1982. 192 p.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Porto Alegre, p.79, 1999.

DUJAB, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre**. Porto Alegre, 2000. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

FK Comércio. **Blocos de concreto**. Disponível em: <[www.fkcomercio.com.br](http://www.fkcomercio.com.br)>. Acesso em: 30 abr. 2011.

GOMES, N. S. A Resistência à Compressão Simples e a Estabilidade de Paredes não Armadas Construídas com Tijolos ou Blocos Cerâmicos. **Revista Cerâmica**. São Paulo. SP. 1986.

HELENE, P. **Quality in desing and execution of masonry and structural walls in buildings**. São Paulo / Brazil, EPUSP. (Technical Bulletin of the School of USP. Department of Civil Engineering, BT/ PCC/ 252), 2000.

HENDRY, A.W. Engineered design of masonry buildings: fifty years development in Europe. **Prog. Struct. Eng. Mater.** 2002; 4:291–300. University of Edinburgh, Scotland.

HILSDORF, H. K. A method to estimate the water content of concrete shields. **Nuclear Engineering and Design**, 6, 1967. pp. 251-263.

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

JUSTE, Andrea Elizabeth; CORRÊA, Márcio Roberto Silva. Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetidas a esforços de compressão. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 7, n. 29, p. 1-30, 2005.

KALIL, Silvia. **Alvenaria estrutural**. Porto Alegre, 2007.86p. Apostila de estruturas mistas – PUCrs.

LA SERNA, H. A.; REZENDE, M. M. **Agregados para a construção civil**. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/07/DNPM2009.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2013.

LOBO NEVES, P. H. **Caracterização dos agregados da região do baixo Amazonas: elaboração de traços para a produção de blocos de concreto estrutural**. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil, 2015.

LOURENÇO, P. B. **Dimensionamento de alvenarias estruturais**. Guimarães, Portugal: Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 1999. 77 p. (Relatório 99-DEC/E-7).

MAMEDE, Fabiana; CORREA, Márcio. Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v.8, n.33, p.1-27, 2006.

MANZIONE, Leonardo. **Projeto e execução de alvenaria estrutural**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2004.

MC NARY, W. S.; ABRAMS, D. P. On the modulus of elasticity for masonry. **Structural Engineering Journal**, 1985, n. 4, v. 111, p. 857-870.

MENDES, Ricardo José Kuerten. **Resistência a compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais**. 1998, 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MENDES, S. H. **Alvenarias não estruturais: patologias e estratégias de reabilitação**, p.187-206. Universidade do Porto, Portugal, 2002.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. M. **Concrete: microstructure, properties and materials**. Berkeley: Editora University of Califórnia, 2001.

MONK, C. B. Jr. **A historical survey and analysis of the compressive strength of brick masonry**. Structural Clay Products Research Foundation, 1967.

MONTEIRO, Adriana da Silva; SANTOS, Rita de Cássia Alves dos. **Planejamento e controle na construção civil, utilizando alvenaria estrutural**. 2010. 109f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

NEVILLE, Adam. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo, Pini, 1997.

PARSEKIAN, G. A. **Tecnologia de produção de alvenaria estrutural protendida**. 2002. 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

\_\_\_\_\_; FRANCO, L. S. **Recomendações para projeto e execução de alvenaria estrutural protendida**. São Paulo: EPUSP, 2002. Boletim Técnico PCC, n. 312.

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

PERELLO, E. R.; PORT, J. R. **História universal**. [S.l.]: Alfa, 1973. v.1.

PRUDENCIO JUNIOR, Luiz R; OLIVEIRA A. L; BEDIN C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: ABCP, 2003.

PUGLIESI, Nataly. Cimento: diferentes tipos e aplicações. **AECweb: Revista Digital**. 2016. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes\\_11959\\_0\\_1](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes_11959_0_1)>. Acesso em: 10 mar. 2016.

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

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

SABATINI, F. H. **O Processo Construtivo de Edifícios de Alvenaria Estrutural Silício Calcaria**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1984.

SAINT'S, Jesuel. **Aprenda a construir e reformar**. 31 maio 2012. Disponível em: <http://aprendaaconstruirereformar.blogspot.com.br/2012/05/alvenaria-estrutural-com-blocos-de.html>. Acesso em: 29 out. 2015.

SALVADOR FILHO, José Américo Alves. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 2007. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SANSÃO, Júlia Hallack. **Gerenciamento de resíduos de construção civil e demolição na cidade de Juiz de Fora – MG** (Dicas para construtores e projetistas). 2009. 153f. Monografia (Engenharia Civil) – Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SANTOS, Ruan Faria Carvalhosa dos. **Sistema monolítico e alvenaria de blocos cerâmicos estudo comparativo como elementos de vedações internas para edificações**. 2014. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2014.

SILVA, Ana Flávia. **Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural**. 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2007.

STEIL, R. O. **Efeito da geometria do bloco de concreto e do tipo de argamassa no desempenho à compressão de prismas de alvenaria não grauteados**. 2003. 178p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

T&A PRÉ-FABRICADOS. **Blocos e pisos**. Disponível em: [http://www.tea.com.br/?page\\_id=35](http://www.tea.com.br/?page_id=35). Acesso em: 30 out. 2015.

TÉCHNE. **Deformações estruturais: revestimentos e alvenaria estouram e mostram a incompatibilidade dos sistemas**”, São Paulo: PINI, ed. 97, 13 abr. 2005.

TECNOCON ENGENHARIA. **Ensaio em blocos de alvenaria cerâmicos ou concreto**. 2012. Disponível em: <http://www.tecnoconservicostecnicos.com.br/ser6.php>. Acesso em: 03 jan. 2016.

TOMÁS, Marcos Rogério. **Dossiê técnico**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT. 2007. Disponível em: <http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTgz>. Acesso em: 03 jan. 2016.

USUDA, F. **Alvenaria Estrutural**. Técnicas Construtivas Especiais, Faculdade de Engenharia de Sorocaba, São Paulo, 2004.

WISSEMBACH, Associação Brasileira da Construção Industrializada, ABCI, **Manual técnico de alvenaria**, São Paulo, 1990.