

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JÉSSICA NAYARA DIAS

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA ALVENARIA DE
SOLO-CIMENTO**

ANÁPOLIS / GO

2015

JÉSSICA NAYARA DIAS

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA ALVENARIA DE
SOLO-CIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

ORIENTADOR: MARCUS VINÍCIUS SILVA CAVALCANTI

**CO-ORIENTADOR: AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA
TEODORO DA SILVA**

ANÁPOLIS / GO: 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

DIAS, JÉSSICA NAYARA.

Avaliação da resistência da alvenaria de Solo-Cimento

xi, 88 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Solo-cimento

2. Resistência à Compressão

3. Alvenaria

4. Construção

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DIAS, J. N. Avaliação da resistência da alvenaria de Solo-Cimento. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 88 p. 2015.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jéssica Nayara Dias

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Avaliação da resistência da alvenaria de Solo-Cimento.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2015

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Jéssica Nayara Dias

E-mail: jessicadias.engenharia@gmail.com

JÉSSICA NAYARA DIAS

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA ALVENARIA DE
SOLO-CIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**MARCUS VINÍCIUS SILVA CAVALCANTI, Doutor (PECC/UNB)
(ORIENTADOR)**

**AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA T. DA SILVA, Especialista
(CO-ORIENTADOR)**

**LEANDRO DANIEL PORFIRO, Mestre
(EXAMINADOR INTERNO)**

**JOÃO SILVEIRA BELÉM JÚNIOR, Mestre
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 27 de maio de 2015.

DEDICATÓRIA

À minha avó, Ivani de Almeida Dias e ao meu avô, Divino Barbosa Cardoso, (*in memoriam*) aqueles a quem a vida não deu a oportunidade de partilhar comigo essa vitória, mais que serão sempre grandes exemplos de luta e honestidade em minha vida.

A Deus.

Ao meu pequeno Arthur.

Aos meus pais, Adenilson e Gislene.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, pelas bênçãos, pelo amor infinito e que mesmo em meio as dificuldades nunca me desamparou ou deixou sem coragem para enfrentar os desafios.

Ao meu filho, Arthur, por me iluminar com sua simples presença, pelos momentos inesquecíveis, por toda alegria que traz a minha vida todos os dias.

Aos meus pais, Adenilson e Gislene, que sempre lutaram para que eu conquistasse boas oportunidades, por todo carinho, educação, preocupação e pela dedicação de uma vida inteira.

À minha irmã, Nayanne, por ser minha companheira, pelas orações e pela confiança, por ser a pessoa a quem eu sei que sempre posso recorrer.

Ao meu esposo, Cláudio, pela paciência, compreensão, companheirismo e pela vida que temos construído juntos.

À minha avó, Ivete, por todo cuidado, amor, dedicação e por toda ajuda nessa etapa.

Ao meu avô, Benedito, por ser um homem do qual eu sempre terei orgulho.

Aos meus demais familiares, entes queridos, que sempre contribuíram para que a nossa família fosse feliz e completa.

As minhas amigas, de uma vida toda, que nunca se esquecem de mim mesmo em minha total ausência.

Ao Colégio Delta e ao seu ilustre diretor, Adonai, pelo aprendizado, amizade, acolhimento e pela oportunidade que deram a mim de ser uma pessoa melhor ao estudar num ambiente de pessoas engrandecedoras.

A Universidade Federal de Ouro Preto, por ter me acolhido em maravilhosos dois anos de estudo de Engenharia Elétrica que me proporcionaram ter grande apreço e respeito pela profissão.

Ao curso de Engenharia Civil da UniEvangélica e a todos com quem convivi durante esses anos, compartilhar a formação acadêmica com aqueles que se tornaram verdadeiros amigos foi uma experiência realmente gratificante.

Ao meu orientador e professor, Dr. Marcus Vinícius Silva Cavalcanti, por sua dedicação, excelente orientação, paciência, compreensão e atenção, contribuindo para que eu descobrisse a minha paixão dentro da engenharia: as estruturas.

Ao meu orientador e professor, Esp. Agnaldo Antônio Moreira T. da Silva, por toda paciência, ajuda, dedicação como professor e como orientador, pela contribuição nos conhecimentos adquiridos na área estudada.

A professora Dra. Ana Lúcia Carrijo, pelo exemplo de profissionalismo, pelas maravilhosas aulas ministradas e por toda a ajuda para a concretização dessa etapa.

A professora Ma. Isa Lorena Silva Barbosa, pelo profissionalismo e amizade, pelos conselhos, pela força, encorajamento e pela credibilidade.

Ao professor e diretor do campus de ciências exatas da Universidade Federal de Ouro Preto, Dr. Glauco Ferreira Gazel Yared, por todo apoio e compreensão, por todas as oportunidades dadas e pela amizade.

A todos aqueles de quem um dia eu assisti a uma aula, meus mestres, que contribuíram de forma significativa para que eu chegasse até aqui, agradeço por terem escolhida uma profissão tão maravilhosa que muito mais oferta do que recebe.

Ao funcionário do laboratório da Universidade Estadual de Goiás, Agnaldo, pela sua contribuição e paciência nos ensaios experimentais.

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma estão ou estiveram próximos a mim, e dizer que pessoas boas sempre fazem a diferença e deixam suas marcas.

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”.

(Isaac Newton)

RESUMO

Materiais considerados alternativos destacam-se no mercado e tem impulsionado o estudo acadêmico, principalmente aqueles que possuem um apelo ecológico. A redução de impactos ambientais é um dos focos de pesquisas que buscam popularizá-los. Entretanto, estudar aspectos como a viabilidade econômica e técnica de execução desses materiais é de suma importância para que a escolha dos mesmos não cause prejuízos ou problemas maiores durante a execução da obra.

A alvenaria de solo-cimento é conhecida pelo seu perfil ecológico, trata-se de uma alternativa de construção utilizando terra como principal matéria-prima, assim como o adobe, porém o bloco apresenta ainda em sua composição o cimento, que o torna muito mais resistente. Apesar de o material ser utilizado desde 1915, existem poucos estudos na área sobre sua eficácia e praticamente nenhuma padronização da sua fabricação.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a resistência à compressão do bloco de solo-cimento comparada à do bloco de concreto. As principais variáveis de análise são o custo, a facilidade de execução e o melhor tipo de argamassa a ser empregado no processo de assentamento.

Palavras-chave: Bloco. Solo-cimento. Concreto. Alvenaria. Resistência à compressão.

ABSTRACT

Materials considered alternative stand out in the market and has driven the academic study, especially those that have an ecological appeal. The reduction of environmental impacts is one of the focuses of research that seek to popularize them. However, studying aspects such as economic and technical feasibility of implementing these materials is of paramount importance to the choice of the same will not cause major damage or problems during the execution of the work.

The soil-cement masonry is known by its ecological profile, it is an alternative to construction using land as the main raw material, as well as the adobe, but the block still has in its composition the cement, which makes it much more resistant. In spite of the material being used since 1915, there are few studies in the area on their effectiveness and virtually no standardization of its manufacture.

The present work aims to analyze the compression resistance of the block of soil-cement compared to the concrete block. The main variables of analysis are cost, ease of implementation and the best type of mortar to be employed in the process of settlement.

Keywords: Block. Soil-cement. Concrete. Masonry. Resistance to compression.

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1 – Pathernon, Grécia.....	24
Figura 2 – Muralha da China.....	25
Figura 3 – Conjunto habitacional “Central Parque da Lapa”.....	26
Figura 4 – Edifício Muriti.....	26
Figura 5 – Edifício Jardim Prudência.....	27
Figura 6 – Bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas.....	30
Figura 7 – Blocos cerâmicos estruturais com paredes maciças.....	30
Figura 8 – Bloco cerâmico estrutural perfurado.....	31
Figura 9 – Família de blocos estruturais.....	32
Figura 10 – Grauteamento de blocos.....	35
Figura 11 – Parede de alvenaria estrutural armada.....	35
Figura 12 – Almacenes, templo de Ramsés II, Gourná, Egito.....	37
Figura 13 – Sítio Arqueológico de Paquimé – México.....	37
Figura 14 – Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário – Pirenópolis GO.....	38
Figura 15 – Forno Hoffman.....	39
Figura 16 – Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal.....	40
Figura 17 – Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical.....	41
Figura 18 – Fabricação e construção em adobe.....	44
Figura 19 – Construção em taipa de pilão em processo e concluída.....	45
Figura 20 – Fabricação e construção em tijolos prensados.....	45
Figura 21 – Solo utilizado pelo fabricante.....	46
Figura 22 – Cimento utilizado para fabricação dos blocos ensaiados.....	48
Figura 23 – Prensa manual para fabricação de blocos de solo-cimento.....	50
Figura 24 – Misturador e Esteira da prensa hidráulica.....	50
Figura 25 – Início do processo de prensagem hidráulica.....	51
Figura 26 – Molde da prensa hidráulica que dá forma ao bloco.....	51
Figura 27 – Blocos utilizados na moldagem dos prismas.....	53
Figura 28 – Aferição das medidas dos blocos.....	53
Figura 29 – Preparação do gesso e início do capeamento.....	54
Figura 30 – Conferência do nivelamento do bloco.....	54
Figura 31 – Bloco com cortiça no plano do topo e base.....	55
Figura 32 – Pesagem dos materiais que compõem a argamassa.....	56
Figura 33 – Montagem dos corpos-de-prova.....	56
Figura 34 – Ensaio dos corpos-de-prova.....	57
Figura 35 – Argamassa polimérica (saco 15 kg).....	58

Figura 36 – Argamassa polimérica no corpo-de-prova.....	58
Figura 37 – Preparação e montagem dos prismas com argamassa comum.....	59
Figura 38 – Prismas com junta de argamassa comum montados.....	60
Figura 39 – Montagem dos prismas com argamassa polimérica.....	60
Figura 40 – Prismas com junta de argamassa polimérica montados.....	61
Figura 41 – Prisma com cortiça no plano do topo e base.....	61
Figura 42 – Conferência exata das medidas com paquímetro.....	63
Figura 43 – Ruptura do Bloco – fissura vertical.....	65
Figura 44 – Ruptura do prisma com junta de argamassa comum – Fissura vertical.....	67
Figura 45 – Ruptura do prisma com junta de argamassa comum – Fissura vertical.....	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Página
Gráfico 1 – Comparação da resistência características das argamassas comum e polimérica.....	70
Gráfico 2 – Resultado da comparação entre a resistência média à compressão dos blocos.....	72
Gráfico 3 – Resultado da comparação entre a resistência média à compressão dos prismas.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
Quadro1 - Classificação sintética das unidades de alvenaria segundo Barreto (2002).....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1 – Características do solo segundo a NBR 10832 (ABNT, 1989).....	46
Tabela 2 – Teores dos componentes do CPV – ARI.....	47
Tabela 3 – Produtividade das prensas para componentes de solo estabilizado.....	49
Tabela 4 – Características dimensionais dos blocos.....	62
Tabela 5 – Resistência à compressão das unidades.....	64
Tabela 6 – Obtenção da resistência característica (f_{bk}) das unidades.....	65
Tabela 7 – Requisitos para resistência à compressão.....	65
Tabela 8 – Características dimensionais dos prismas com junta de argamassa comum....	66
Tabela 9 – Resistência à compressão dos prismas com junta de argamassa comum.....	66
Tabela 10 – Obtenção da resistência característica (f_{bk}) dos prismas com junta de argamassa comum.....	67
Tabela 11 – Características dimensionais dos prismas com junta de argamassa polimérica.....	68
Tabela 12 – Resistência à compressão dos prismas com junta de argamassa polimérica..	68
Tabela 13 – Obtenção da resistência característica (f_{bk}) dos prismas com junta de argamassa polimérica.....	69
Tabela 14 – Comparação da resistência característica das argamassas comum e polimérica.....	70
Tabela 15 – Resistência à compressão da argamassa.....	70
Tabela 16 – Obtenção da resistência característica (f_{bk}) da argamassa.....	71
Tabela 17 – Valores encontrados para resistência à compressão de blocos de concreto...	71
Tabela 18 – Comparação dos resultados da resistência à compressão dos blocos.....	72
Tabela 19 – Resultados da resistência à compressão dos prismas com blocos de concreto.....	73
Tabela 20 – Comparação dos resultados da resistência à compressão dos prismas.....	73
Tabela 21 – Dados referentes às argamassas.....	75
Tabela 22 – Mão-de-obra para alvenaria de solo-cimento, consumo médio por m ²	76
Tabela 23 – Custo dos insumos para 1 m ² da alvenaria de solo-cimento com argamassa polimérica.....	76
Tabela 24 – Custo dos insumos para 1 m ² da alvenaria de solo-cimento com argamassa industrializada.....	76
Tabela 25 – Mão-de-obra para alvenaria de concreto, consumo médio por m ²	78
Tabela 26 – Custo dos insumos para 1 m ² da alvenaria de concreto (custo do bloco baseado no prisma).....	79

Tabela 27 – Custo dos insumos para 1 m² da alvenaria de concreto baseado em TCPO 79
(PINI, 2012).....

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BPR	Bureau of Public Roads
BT	Boletim Técnico
CEF	Caixa Econômica Federal
CH-II	Cal hidratada classe II
CP II-Z-32	Cimento Portland Composto com Pozolana
CP V-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CV	Coefficiente de Variação
EUA	Estados Unidos da América
GO	Goiás
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
NBR	Norma Brasileira
PCA	Portland Cement Association
RJ	Rio de Janeiro
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SP	São Paulo
TCPO	Tabela de Composição de Preços para Orçamentos
UEG	Universidade Estadual de Goiás
UNESCO	United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetro, unidade de medida linear
cm ²	Centímetro quadrado, unidade de medida de área
cm ³	Centímetro cúbico, unidade de medida de volume
f _{bk}	Resistência à compressão característica dos blocos
f _{bm}	Resistência média dos blocos
f _{pm}	Resistência Média dos Prismas
kg	Kilo, unidade de medida de peso
kg/m ²	Quilograma por metro quadrado, unidade de medida de área
m	Metro, unidade de medida linear
mm	Milímetro, unidade de medida linear
m ²	Metro quadrado, unidade de medida de área
mm ²	Milímetro quadrado, unidade de medida de área
Mpa	Megapascal, unidade de medida de tensão
N	Newton, unidade de medida de força
Sd	Desvio padrão
ν	Coefficiente de Poisson

SUMÁRIO

Capítulo	Página
1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 JUSTIFICATIVA.....	20
1.2 OBJETIVOS.....	20
1.2.1 Objetivo Geral.....	20
1.2.2 Objetivos Específicos.....	21
1.3 METODOLOGIA.....	21
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2 ALVENARIAS.....	23
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	23
2.2 ALVENARIA ESTRUTURAL.....	23
2.2.1 Contexto Histórico.....	24
2.2.2 Definições Importantes.....	27
2.2.3 Elementos Constituintes.....	28
2.2.3.1 Blocos Estruturais.....	29
2.2.3.1.1 <i>Blocos Estruturais Cerâmicos.....</i>	29
2.2.3.1.2 <i>Blocos Estruturais de Concreto.....</i>	31
2.2.3.2 Argamassa de Assentamento.....	33
2.2.3.3 Graute.....	34
2.2.3.4 Armaduras.....	35
2.3 ALVENARIA DE VEDAÇÃO.....	36
2.3.1 Contexto Histórico.....	36
2.3.2 Definições Importantes.....	39
2.3.3 Elementos Constituintes.....	40
2.3.3.1 Tijolos ou Blocos Cerâmicos.....	40
2.3.3.2 Argamassa de Assentamento e Revestimento.....	41
2.4 ALVENARIA DE SOLO CIMENTO.....	42
2.4.1 Contexto Histórico.....	43
2.4.2 Principais Métodos Construtivos com Solo.....	44
2.4.3 Materiais Componentes dos Blocos de Solo-cimento.....	45
2.4.3.1 Solo.....	46
2.4.3.2 Cimento.....	47
2.4.3.3 Água.....	48
2.4.4 Fabricação dos Blocos de Solo-cimento.....	48

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	52
3.1 INTRODUÇÃO.....	52
3.2 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS.....	52
3.2.1 Blocos de Solo Cimento.....	52
3.2.2 Argamassa Comum de Assentamento.....	55
3.2.3 Argamassa Polimérica de Assentamento.....	57
3.3 MONTAGEM DOS PRISMAS PARA ENSAIO À COMPRESSÃO.....	59
3.3.1 Prismas com Junta de Argamassa Comum.....	59
3.3.2 Prismas com Junta de Argamassa Polimérica.....	60
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
4.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS.....	62
4.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS PRISMAS.....	65
4.2.1 Prismas com Junta de Argamassa Comum.....	65
4.2.2 Prismas com Junta de Argamassa Polimérica.....	67
4.2.3 Comparação das Argamassas Utilizadas nos Primas.....	69
4.3 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA COMUM.....	70
4.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	71
4.4.1 Comparação com Blocos de Concreto Submetidos à Compressão.....	71
4.4.2 Comparação com Prismas de Blocos de Concreto Submetidos à Compressão.....	72
4.5 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	74
4.5.1 Alvenaria de Solo-cimento.....	74
4.5.1.1 Blocos de Solo-cimento.....	75
4.5.1.2 Argamassa de Assentamento.....	75
4.5.1.3 Mão-de-obra.....	75
4.5.1.4 Custo da Alvenaria para 1 m ²	76
4.5.2 Alvenaria de Concreto.....	77
4.5.2.1 Blocos de Concreto.....	77
4.5.2.2 Argamassa de Assentamento.....	77
4.5.2.3 Mão-de-obra.....	78
4.5.2.4 Custo da Alvenaria para 1 m ²	78
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
REFERÊNCIAS.....	83

1 INTRODUÇÃO

A construção civil avança na busca por melhorias do processo construtivo criando técnicas eficazes e buscando materiais alternativos que objetivam contribuir com a redução de custos e de impactos ambientais, além de tornar o canteiro de obra mais eficiente. Essas melhorias contribuem para impulsionar a pesquisa acadêmica.

A pesquisa tem por objetivo atender a demanda de empresas, que ao aderirem a novos métodos, abrem oportunidades de inserção do aluno no mercado e ainda atestam as vantagens econômicas. Há ainda, programas específicos que buscam essas melhorias, como o de moradias populares, prática comum atualmente no Brasil, que buscam acessibilidade, praticidade e baixos custos para suprir o déficit habitacional.

O solo é uma alternativa construtiva desde a Antiguidade. Segundo DETHIER (1993) a terra como material de construção é conhecida há aproximadamente dez mil anos. Isso se deve a abundância, facilidade de obtenção e acessibilidade de custos que o material oferece.

Uma das técnicas mais comuns da construção utilizando solo é o adobe. Trata-se de tijolos fabricados com barro (argila e areia) e secados ao sol. Além de reduzir o custo total da edificação, os tijolos de adobe são de fácil fabricação. O adobe foi utilizado por muitas culturas antigas que não tinham relações próximas para a troca de informações sobre o material.

Outra possibilidade de construção utilizando solo e que se enquadra num padrão economicamente viável e ecologicamente correto é o Solo-Cimento. Segundo Neves (2000 *apud* CABALA, 2007), o material é uma mistura de solo, cimento e água que quando compactada adquire a resistência mecânica e a durabilidade necessárias para a utilização na construção.

Segundo PITTA (1995), o solo-cimento foi usado pela primeira vez em Sarasota, Flórida nos Estados Unidos da América (EUA) onde um construtor em 1915 pavimentou uma rua da cidade com uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento, o que se tornou uma experiência inválida devido à falta de tecnologia na época.

Porém, foi somente em 1935 que a Portland Cement Association (PCA) desenvolveu ensaios laboratoriais com o material e, posteriormente, em uma parceria com o Bureau of Public Roads (BPR) e o Departamento de Estradas de Rodagem do Sul da Califórnia construíram uma pista experimental próximo a Johnsonville (Carolina do Sul) com 2,5 km de extensão, o que confirmou a validade dos ensaios. Após esses ensaios, o solo-cimento passou

a ser adotado em vários Estados como um material de construção de pavimentos rodoviários (LIMA, 2006).

Quanto à utilização do solo-cimento na construção de habitações, SILVA (1994) afirma que no Brasil em 1948 foram construídas as casas do Vale Florido na Fazenda Inglesa em Petrolina no Rio de Janeiro (RJ) com o material. A qualidade das habitações é atestada pelo seu bom estado de conservação

1.1 JUSTIFICATIVA

Motivada principalmente pela redução do custo total da obra, a ideia de se utilizar os tijolos maciços de solo-cimento vem se tornando uma alternativa para a construção de habitações populares.

Esses tijolos são de fácil fabricação, moldados através de prensas manuais ou hidráulicas, são ainda de encaixe, pois possuem furos verticais e reentrâncias que permitem sua alocação ideal uns sobre os outros.

Dentre suas principais vantagens há ainda o fato de tornar o revestimento um fator opcional (blocos aparentes), dispensar a argamassa de assentamento, além de não fazer parte de seu processo de fabricação a queima de madeira, óleo ou qualquer outro tipo de combustível (FIGUEROLA, 2004).

Apesar de suas vantagens, anteriormente apresentadas, o hábito em se construir somente utilizando tijolos tradicionais, motivado pela questão cultural, se agrava com a escassez de estudos incipientes dos blocos de solo-cimento e levam a sua pouca utilização. Neste sentido, este trabalho justifica-se pela discussão realizada em torno da utilização e eficiência da alvenaria de solo-cimento e pela divulgação deste material na construção civil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar ensaios de resistência à compressão da alvenaria de solo-cimento, tijolos e prismas, com o intuito de comparar os resultados obtidos com a alvenaria de concreto.

1.2.2 Objetivos Específicos

Utilizar a NBR 12118 (ABNT, 2013) norma referente a blocos de concreto a fim de se determinar se os blocos de solo-cimento estudados podem ser considerados estruturais, como informam a maioria dos fabricantes. Objetiva-se ainda comparar a utilização em larga escala do bloco de solo-cimento e o de concreto e estabelecer uma relação de viabilidade. Objetiva-se ainda, apresentar o processo de fabricação do mesmo e enumerar suas características gerais.

1.3 METODOLOGIA

Foram realizados ensaios, segundo a norma regulamentadora NBR 12118 (ABNT, 2013). O gráfico de distribuição normal – Curva de Gauss – será utilizado para a análise da resistência do bloco.

Os blocos foram regularizados com gesso a fim de se obter faces planas e paralelas. Os ensaios foram realizados tanto em tijolos isolados quanto em conjunto (prismas). No ensaio, foram rompidos trinta e quatro blocos isolados e vinte prismas contendo três blocos cada. Dentre os prismas rompidos, dez foram assentados com argamassa polimérica, própria para colar blocos, outros dez prismas foram assentados com argamassa comum, com cerca de 10 mm de espessura com traço 1: 2: 3 (cimento: cal: areia).

Os resultados para o bloco e o prisma de solo-cimento foram comparados aos resultados de ensaio de resistência à compressão para blocos e prismas de concreto, a relação estabelecida será dada em MPa, obtida dividindo-se a carga máxima, em N, pela média das áreas das duas faces de trabalho, em mm².

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1, há uma breve introdução sobre a alvenaria de estudo e seu histórico em um contexto geral, justificativa, objetivos da pesquisa e a metodologia adotada.

No capítulo 2, a revisão bibliográfica apresenta a alvenaria estrutural, de vedação e de solo-cimento dando ênfase a esta última. Ambas são abordadas em seu contexto histórico, em relação a importantes definições, aos elementos que as constituem e, a alvenaria de solo-cimento, apresenta ainda peculiaridades, como o processo de fabricação dos blocos.

No capítulo 3 é descrito o programa experimental, trata-se dos passos em relação aos materiais e aos procedimentos de ensaio realizados nesse trabalho.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios e a análise realizada em relação aos mesmos.

O capítulo 5 traz as considerações finais da pesquisa, conclusões e recomendações para possíveis trabalhos futuros.

2 ALVENARIAS

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo Sabbatini (2002), pode-se definir alvenaria como o conjunto formado pelas unidades de alvenaria (tijolos ou blocos) ligadas entre si por um material ligante (argamassa).

Bussab e Cury (1990) ressaltam funções da alvenaria como resistir às cargas de ventos e solicitações de intrusão às mesmas, resistir a impactos não manifestando sinais de ruína, garantir conforto térmico e isolamento acústico ao ambiente, não contribuir e resistir à ação do fogo e ainda não permitir a entrada de chuva e ar no interior do ambiente que isola.

Os tipos de alvenaria utilizados na atualidade se diversificam, há desde aquelas sem nenhuma função estrutural, apenas vedação, até as que substituem estruturas, são alvenarias reforçadas por meio de barras de aço ou não. Dentro da variedade dos tipos de alvenaria, há ainda as executadas com e sem argamassa de assentamento.

A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) define elemento de alvenaria não armado como aquele no qual não há armadura dimensionada para resistir aos esforços solicitantes e elemento de alvenaria armado aquele no qual são utilizadas armaduras passivas que são consideradas para resistir a esses esforços.

As alvenarias são feitas de material de natureza pétreo, o que lhes confere características como bom comportamento às solicitações de compressão e mal em relação à tração, cisalhamento e flexão. As tensões, tração e cisalhamento, são as principais responsáveis pelo surgimento de fissuras (THOMAZ, 1990).

Kazmierczak (1989) define as alvenarias seguindo critérios como sua finalidade: podem ser estrutural ou de vedação; materiais que as constituem: alvenaria de tijolos maciços, de blocos cerâmicos, entre outros; e ainda pelo seu processo de fabricação: alvenarias pré-fabricadas ou feitas em obra

2.2 ALVENARIA ESTRUTURAL

Segundo Coêlho (1998) a alvenaria estrutural é utilizada principalmente em prédios de apartamentos até quatro pisos. O objetivo é implantar a solução habitacional no país do tipo popular, devido aos custos não serem tão elevados. O método utiliza blocos cerâmicos ou blocos vazados de concreto e se constitui de paredes auto-portantes.

Entende-se por alvenaria estrutural o sistema que dispensa a construção dos elementos estruturais comumente utilizados, como pilares e vigas. Assim, as paredes construídas por esses elementos exercem tanto a função de vedação quanto de estrutura. Esses sistemas devem ser capazes de resistir a todos os esforços de solicitação: esforços de compressão, bem como aos esforços cortantes, afirma Nascimento Neto (1999).

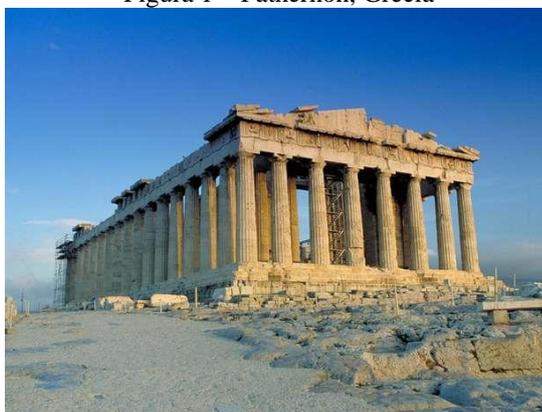
Ainda segundo Nascimento Neto (1999), as edificações de paredes constituídas de alvenaria estrutural são aquelas capazes de resistir a grandes cargas verticais havendo ou não reforços com barras de aço, de acordo com as tensões de tração que venham ou não a surgir. Estas também podem apresentar considerável resistência às ações horizontais. O uso da alvenaria não armada é preponderante em regiões geográficas mais estáveis, como o Brasil.

2.2.1 Contexto Histórico

Técnica tradicional, a alvenaria estrutural é usada a milhares de anos. O primeiro material utilizado como elemento de alvenaria era a rocha, posteriormente, a partir de cerca de 4.000 a.C. a argila passou a ser utilizada proporcionando assim a construção de tijolos. De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), nos últimos 50 anos há significativas pesquisas se desenvolvendo de modo que a alvenaria seja tratada como um material fundamentado cientificamente.

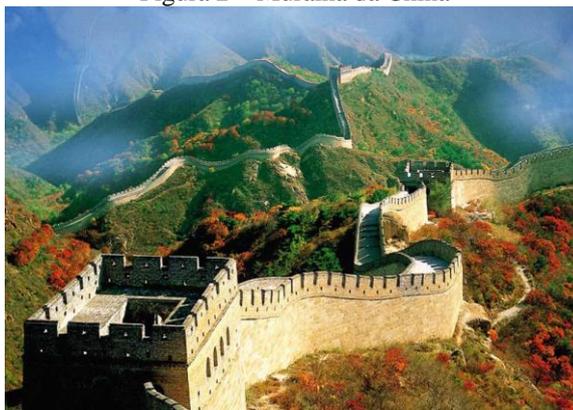
Com a evolução dos materiais que constituíam a alvenaria estrutural, importantes obras foram sendo executadas ao longo dos séculos. Yoshito (2005) cita como exemplos o Parthenon, na Grécia (Figura 1), construído entre 480 a.C. e 323 a.C. e a Muralha da China (Figura 2), entre 1368 e 1644.

Figura 1 – Pathernon, Grécia



Fonte: <<http://adriarq.blogspot.com.br/2014/05/monumento-obra-de-arquitetura-ou-de.html>>
Acesso em: 26 de agosto, 2014

Figura 2 – Muralha da China



Fonte: <<http://jp-lugaresfantasticos.blogspot.com.br/2013/03/muralha-da-china.html>> Acesso em: 26 de agosto, 2014

Kalil (2007) afirma que a alvenaria como material estrutural predominou até o final do século XIX, porém não se havia conhecimento de técnicas de racionalização devido a falta de estudos específicos e pesquisas na área. As estruturas eram superdimensionadas devido a falta de garantia de segurança das mesmas.

Diversas outras obras, pelo mundo, são consideradas por vários autores como marcos na história da alvenaria estrutural. Silva (2004) cita o Edifício “Monadnock”, construído em Chicago – EUA entre 1889 e 1891, trata-se de um prédio de 16 andares e 65 metros de altura com espessura na base de 1,80 metros, uma obra considerada ousada na época. Outro marco, segundo Ramalho e Corrêa (2003) é o edifício em alvenaria estrutural não armada construído na Suíça, cidade de Basileia em 1950, com 13 pavimentos e 42 metros de altura.

Segundo Silva (2004), no Brasil a técnica da utilização da taipa, difundida nos primórdios da colonização, foi largamente usada, a maior preocupação era a durabilidade do sistema. Uma vez com poucos espaços úteis da edificação, espessura exagerada requerida pela estrutura em taipa (terra apiloada), fez-se necessário a modernização das paredes.

Ainda segundo Silva (2004), as mudanças econômicas, culturais e políticas da sociedade, além do desenvolvimento urbano, começaram a exigir uma modernização dessas estruturas. Assim começaram a surgir os edifícios em concreto armado e as construções em aço. Têm-se então, em São Paulo, no ano de 1966 os primeiros edifícios em alvenaria estrutural armada: o conjunto habitacional “Central Parque da Lapa” (Figura 3). Trata-se de edifícios com quatro pavimentos feitos com blocos de concreto de 19 cm de espessura.

Figura 3 – Conjunto habitacional “Central Parque da Lapa”



Fonte:<<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/banco-obras/1/alvenaria-estrutural>> Acesso em 26 de agosto, 2014

Estima-se que foram construídos no Brasil no período de 1964 a 1966 mais de dois milhões de unidades habitacionais em alvenaria estrutural (KALIL, 2007).

Ramalho e Corrêa (2003) citam ainda como marcante a construção do edifício Muriti em São José dos Campos (Figura 4), em 1977, com 16 pavimentos. O edifício foi todo executado em alvenaria armada de blocos de concreto.

Figura 4 – Edifício Muriti



Fonte:<<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/banco-obras/1/alvenaria-estrutural>> Acesso em 26 de agosto, 2014

Já no caso de alvenaria não armada, no Brasil, Camacho (2001) cita como primeiro edifício de altura considerável o Edifício Jardim Prudência (Figura 5) construído no ano de 1977, em São Paulo, tendo este nove pavimentos e usando blocos de silício-calcário com 24 cm de espessura.

Figura 5 – Edifício Jardim Prudência



Fonte: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/banco-obras/1/alvenaria-estrutural>>
Acesso em 26 de agosto, 2014

2.2.2 Definições Importantes

“O principal conceito estrutural ligado à utilização da alvenaria estrutural é a transmissão de ações através de tensões de compressão” (RAMALHO; MARCIO, 2003).

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) que trata de alvenaria estrutural, blocos cerâmicos, trás as seguintes definições relativas às estruturas:

- a) elemento de alvenaria não armado: elemento de alvenaria no qual a armadura é desconsiderada para resistir aos esforços de sollicitação;
- b) elemento de alvenaria armado: elemento de alvenaria no qual são utilizadas armaduras passivas que são consideradas para resistir aos esforços sollicitantes;
- c) elemento de alvenaria protendido: elemento de alvenaria no qual são utilizadas armaduras ativas;

- d) parede estrutural: toda parede admitida como participante da estrutura;
- e) parede não estrutural: toda parede não admitida como participante da estrutura.
- f) prisma: corpo-de-prova obtido pela superposição de blocos unidos por junta de argamassa, grauteados ou não.

As mais recentes normas referentes à blocos com função estrutural são: NBR 15961-1 (ABNT, 2011) com título Alvenaria estrutural – Blocos de concreto Parte 1: Projeto e a NBR 15812-1 (ABNT, 2010) com título Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 1: Projetos.

A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) relativo à alvenaria estrutural, blocos de concreto, estabelece que para tijolos maciços ou perfurados com furos na vertical a resistência à compressão mínima é de 3 MPa.

A verificação da resistência de blocos estruturais é obtida através de ensaios de argamassas e prismas ou paredes. Garcia (2000), diz que as relações existentes entre as resistências bloco-prisma e bloco-alvenaria são denominadas eficiência.

Comumente se utiliza prismas para a determinação da resistência à compressão de paredes, uma vez que romper somente o bloco é insuficiente devido a presença de outros materiais envolvidos, como a argamassa, e devido a falta de viabilidade de se romper uma estrutura real, a parede, pelo elevado custo e equipamentos específicos e complexos. Ambas as normas citadas anteriormente, para blocos cerâmicos e de concreto adotam como padrão os ensaios de prismas, sendo que também para ambas a resistência característica à compressão simples da alvenaria é tomada como 70% da resistência característica de compressão simples do prisma.

A norma limita o número máximo de dez pavimentos para alvenaria não armada. Para obras com mais pavimentos, o uso da alvenaria deve ser, obrigatoriamente, armada, o que aumenta significativamente os custos com armação.

2.2.3 Elementos Constituintes

As unidades que compõem a execução da alvenaria estrutural são os blocos vazados de concreto ou cerâmicos com função estrutural, a argamassa de assentamento, o graute e as armaduras, necessárias conforme os cálculos. Há, no entanto, outros elementos secundários como juntas (verticais e horizontais), vergas e contra-vergas além de acessórios.

2.2.3.1 Blocos Estruturais

“Como componentes básicos da alvenaria estrutural, as unidades são as principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura” (RAMALHO & CORRÊA, 2003, p. 7).

Sendo também conhecidos como “unidade de alvenaria” ou “componente da alvenaria”, os blocos ou tijolos são os principais constituintes desse tipo de sistema estrutural. O desempenho dos componentes da alvenaria está relacionado às propriedades físicas e mecânicas dos materiais que os constituem, sendo que sua confecção pode variar de forma e composição (PRUDÊNCIO JR. et al., 2002).

Barreto (2002) faz uma classificação sintética das unidades de alvenaria conforme o Quadro 1.

Quadro1 - Classificação sintética das unidades de alvenaria segundo Barreto (2002):

Unidades de alvenaria	Blocos	Cerâmico	
		Concreto	
	Tijolos	Sílico-calcário	
Maciços		Cerâmico	Concreto
	Furados	Sílico-calcário	
		Cerâmicos	

Fonte: BARRETO, 2002

As principais propriedades dos blocos e tijolos (componentes da alvenaria) que determinam sua qualidade e resistência são: resistência à compressão, resistência à tração, taxa de absorção inicial, módulo de elasticidade, coeficiente de dilatação térmica e ainda características físicas como dimensões e massa específica aparente (JAWOROSKI, 1990).

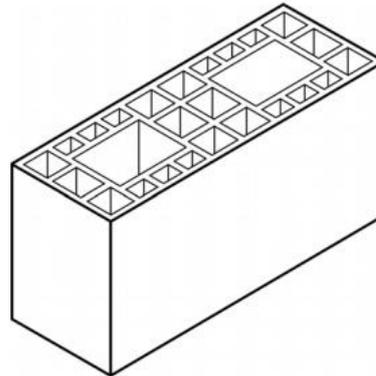
2.2.3.1.1 Blocos Estruturais Cerâmicos

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005) trata dos requisitos, físicos e mecânicos, exigíveis para blocos cerâmicos estruturais a serem utilizados em obras de alvenaria estrutural, com ou sem revestimento. Essa norma trás as seguintes definições para esses materiais:

- a) bloco cerâmico estrutural: Componente da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm.

- b) bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas: Componente da alvenaria estrutural com paredes vazadas, empregado na alvenaria estrutural não armada, armada e protendida. A Figura 6 representa esquematicamente esse bloco.

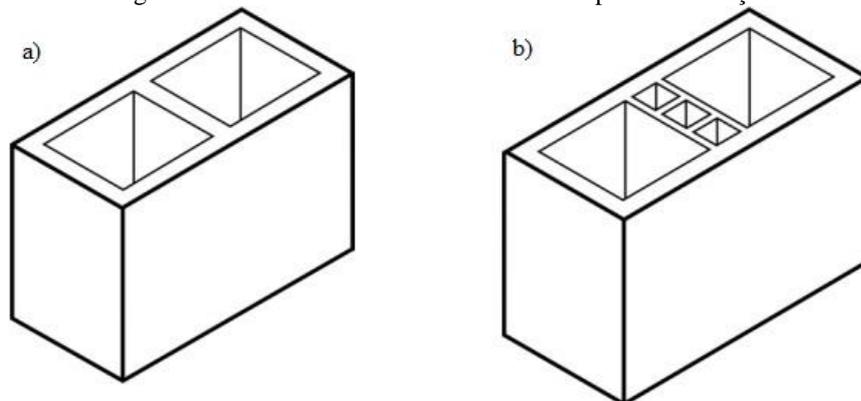
Figura 6 – Bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas



Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005)

- c) bloco cerâmico estrutural com paredes maciças: Componente da alvenaria estrutural cujas paredes externas são maciças e as internas podem ser paredes maciças ou vazadas, empregado na alvenaria estrutural não armada, armada e protendida. A Figura 7 a) e b) representam esquematicamente esse tipo de bloco, onde a) Representa o bloco com paredes internas maciças e b) Representa o bloco com paredes internas vazadas.

Figura 7 – Blocos cerâmicos estruturais com paredes maciças

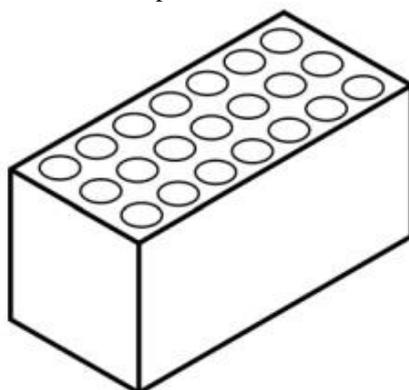


Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005)

- d) bloco cerâmico estrutural perfurado: Componente da alvenaria estrutural cujos vazados são distribuídos em toda a sua face de assentamento, empregado na

alvenaria estrutural não armada. A Figura 8 representa esquematicamente esse tipo de bloco.

Figura 8 – Bloco cerâmico estrutural perfurado



Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005)

Ainda segundo a NBR 15270-2 (ABNT, 2005), item 5.5.1, a resistência característica à compressão dos blocos cerâmicos estruturais mínima é de 3,0 MPa, referida à área bruta. E nos ensaios para determinação da resistência característica à compressão, item 7.4, as amostras são constituídas de 13 corpos-de-prova.

2.2.3.1.2 Blocos Estruturais de Concreto

A NBR 6136 (ABNT, 2008), especifica que o bloco de concreto é fabricado de cimento Portland, agregados e água. A mesma estabelece ainda em relação a resistência à compressão que esta deve ser maior que 4,5 MPa para blocos em paredes com revestimento, internas ou externas, e maior que 6 MPa para blocos em paredes externas sem revestimento.

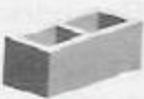
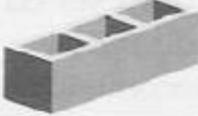
Ainda segundo a norma referenciada acima, outros requisitos importantes são: os blocos devem ser fabricados e curados de maneira que se obtenha um concreto suficientemente homogêneo e compacto; o transporte e manipulação dos blocos devem ser feitos de maneira a não prejudicar sua qualidade; devem ter arestas vivas e não devem apresentar trincas ou qualquer outro defeito que possam prejudicar seu assentamento, resistência ou durabilidade; dentre outros.

Com base na sua aplicação, os blocos de concreto são divididos em dois tipos: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural (ABNT NBR 7173), o conhecido “bloco de vedação” e Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural

(ABNT NBR 6136), chamado “bloco estrutural” (ABCP, 2004). Em relação à alvenaria estrutural somente se aplica a segunda norma.

Quanto as características dimensionais, os blocos de concreto podem ser classificados como modulares e não-modulares, a Figura 9 mostra algumas famílias. Segundo Manzione (2004) o bloco modular apresenta como vantagem sua coordenação modular, técnica que elimina o uso de blocos com medidas especiais, o que facilita o trabalho da mão-de-obra.

Figura 9 – Família de blocos estruturais

	Família 39 (modular)	Família 39 (não-modular)	Família 29 (modular)
Inteiro	19 x 19 x 39 	14 x 19 x 39 	14 x 19 x 29 (B29) 
Meio	19 x 19 x 19 	14 x 19 x 19 	14 x 19 x 14 
Canaleta	19 x 19 x 39 	14 x 19 x 39 	14 x 19 x 29 
Meia Canaleta	19 x 19 x 19 	14 x 19 x 19 	14 x 19 x 14 
Jota	— 	14 x 19 / 28 x 19 	— 
Especial	— 	14 x 19 x 34 (B34) 	14 x 19 x 44 (B44) 
Especial	— 	14 x 19 x 54 (B54) 	— 

Fonte: MANZIONE, 2002

2.2.3.2 Argamassa de Assentamento

A NBR 13281 (ABNT, 2005), trás para argamassa a definição de mistura homogênea composta por agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, podendo esta conter aditivos ou não. Esta possui ainda propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em central (industrializada).

Ainda segundo a norma referenciada, a argamassa para assentamento em alvenaria estrutural é aquela indicada para ligação de componentes de vedação – blocos e tijolos – no assentamento em alvenaria, com função estrutural.

“A qualidade da argamassa é fator preponderante para se conseguir uma boa resistência da estrutura, estanqueidade nas juntas dos blocos, manter a aderência dos elementos utilizados, etc” (COÊLHO, 1998, p.41).

Ramalho e Corrêa (2003) salientam a importância de que o projetista conheça a resistência média à compressão da argamassa, considerando a especificação da NBR 10837 de diferentes valores de tensão admissível à tração e ao cisalhamento para a alvenaria em função desse parâmetro. Especifica ainda que a plasticidade é um fator mais importante que a resistência à compressão, uma vez que é ela que permite que as tensões se transfiram de maneira uniforme de um bloco a outro.

Outra função da argamassa, além de ligação dos componentes, é a de distribuir as cargas atuantes na parede, de maneira uniforme, por toda a área resistente dos componentes, deve ainda garantir a estanqueidade da parede pelo selamento das juntas e absorver deformações naturais, como as de origem térmica e as de retração por secagem (CARASEK, 2010).

Segundo Jaworoski (1990) as argamassas devem atender ainda as seguintes funções: trabalhabilidade adequada em estado fresco, resistência adequada, capacidade de retenção de água, boa aderência aos componentes das alvenarias, durabilidade e flexibilidade.

Duarte (1999) afirma que, em relação à resistência à compressão da parede, a argamassa apresenta papel secundário, devido ao pequeno volume ocupado por esta no conjunto, cerca de 20% da parede. Segundo ele, qualquer aumento na sua resistência à compressão somente incide sobre esse percentual.

Contrariando a afirmação anterior, Gomes (1983) estudou a influência da resistência à compressão da argamassa de assentamento. Em seus ensaios verificou que de duas paredes que construiu utilizando o mesmo tipo de bloco, a que foi construída com uma argamassa

135% mais forte apresentou um aumento médio da resistência na parede de 11% em relação a outra.

O autor, referenciado anteriormente, concluiu ainda que a resistência da argamassa não precisa ultrapassar a resistência do bloco em paredes submetidas à compressão simples, uma vez que se teria uma argamassa muito rígida. Sua resistência mínima deve ser 70% da resistência do bloco e a máxima a própria resistência do bloco.

Sahlin (1971 *apud* Duarte, 1999) aponta a espessura da argamassa como um fator que influi diretamente na resistência à compressão da parede. Segundo o autor, para cada acréscimo de 3,2mm na espessura da argamassa de assentamento, tem-se uma diminuição de 15% na resistência à compressão da alvenaria e vice-versa.

2.2.3.3 Graute

Ramalho e Corrêa (2003) definem graute como sendo um concreto composto por agregados de pequena dimensão e relativamente fluído, uma vez utilizado para o preenchimento de vazios dos blocos. Atribui como função a de propiciar o aumento da área da seção transversal das unidades ou promover a solidarização dos blocos com eventuais armaduras posicionadas nos seus vazios.

Além de solidarizar as armaduras à alvenaria, garantindo a esta a função de estrutura armada, o graute é também utilizado a fim de aumentar a resistência à compressão das paredes.

“Segundo a NBR 10837, o graute deve ter sua resistência característica maior ou igual duas vezes a resistência característica do bloco” (RAMALHO & CORRÊA, 2003). Essa recomendação provém do fato do índice de vazio ser cerca de 50% da área bruta do bloco e da resistência característica do bloco ser feita com relação a essa área.

Segundo Cunha (2001), o graute e a unidade devem constituir uma estrutura homogênea. Destaca ainda a trabalhabilidade do mesmo como um fator importante, onde a fluidez e a coesão devem estar em equilíbrio a fim de se obter um graute eficiente.

Tauil e Nesse (2010) recomendam que, em relação ao lançamento, o graute seja vibrado em camadas, tomando os devidos cuidados para que a parede já erguida não seja abalada.

Ramalho e Corrêa (2003) ressaltam a importância do graute, o bloco e a armadura formarem um conjunto que trabalha monoliticamente na estrutura. O sistema deve ser único,

de maneira que o graute se integre completamente às armaduras e aos blocos, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Grauteamento de blocos



Fonte:<<http://prantomix.blogspot.com.br/2012/11/10-mandamentos-para-uma-alvenaria-de.html>>. Acesso em: 18 de novembro, 2014

2.2.3.4 Armaduras

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), as armaduras utilizadas na alvenaria estrutural são as mesmas utilizadas nas obras em concreto armado, porém, neste caso, sempre envolvidas por graute para garantir a integração com os demais componentes. A Figura 11 mostra uma parede de blocos já com as armaduras.

Figura 11 – Parede de alvenaria estrutural armada



Fonte:<<http://usimak.blogspot.com.br/2012/04/alvenaria-estrutural-lidera.html>>. Acesso em: 18 de novembro, 2014

O projeto irá estabelecer os pontos de colocação das armaduras verticais e as horizontais serão utilizadas nas canaletas, vergas e contra-vergas. Serão utilizadas ainda para reforçar a estrutura, juntamente com o graute, em pontos de amarração.

Segundo Manzione (2004) a utilização dessas amarrações, o chamado “grampo” é desaconselhável, uma vez que essa alternativa não redistribui às tensões.

Em relação a um comparativo dos aspectos técnicos e econômicos, Ramalho e Corrêa (2003) citam a necessidade de sistemas construtivos largamente utilizados de forma que possibilitem a discussão de itens consideráveis nos projetos e assim mostrar suas vantagens e desvantagens.

2.3 ALVENARIA DE VEDAÇÃO

Segundo Thomaz (2001) a alvenaria de vedação é o processo de fechamento de paredes utilizado na maioria das edificações. Este tipo de alvenaria é denominado “de vedação” por não ser dimensionada para suportar cargas e/ou ações estruturais além do seu próprio peso, é utilizada para proteger a edificação de agentes externos como chuvas e ventos, dividir ambientes, proporcionar conforto etc.

A função da alvenaria de vedação segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (1988) é:

“O preenchimento dos espaços entre componentes da estrutura, podendo ser empregadas na fachada da obra ou na criação de espaços internos, isolamento térmica e acústica dos ambientes e na segurança física dos usuários em caso de incêndio”.

2.3.1 Contexto Histórico

Não há consenso entre autores sobre quando a terra começou a ser utilizada como material de construção. Segundo Lima (2006) esse uso se faz desde a antiguidade, sendo em 3000 a. C que seu emprego se tornou mais intensivo. Um exemplo de construção que conseguiu chegar ao século XXI é o Templo de Ramsés II em Gourná, Egito (Figura 12), construído há 3.200 anos em adobe. (TORGAL; JALALI, 2009)

Destacam-se ainda obras do patrimônio mundial da UNESCO, classificadas como patrimônio Arquitetônico em Terra, como o Sítio Arqueológico de Paquimé (Figura 13), situado no México, no município de Casas Grandes, estado de Chihuahua. Trata-se de uma

obra em adobe que prova o desenvolvimento dessa arquitetura na América do Norte. (UNESCO, 1998).

Figura 12 – Almacenes, templo de Ramsés II, Gourná, Egito



Fonte: <<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=26>>. Acesso em: 10 de março, 2015

Figura 13 – Sítio Arqueológico de Paquimé – México



Fonte: <<http://whc.unesco.org/en/list/560>> Acesso em: 10 de março, 2015

Borges (2009) afirma que as construções com barro no Brasil tiveram início com a chegada dos portugueses. Ainda hoje existem muitas obras tendo o barro como matéria prima principalmente em cidades históricas, como em Ouro Preto e Tiradentes, ambas em Minas Gerais. Em Goiás, um importante exemplo encontra-se na cidade de Pirenópolis, a Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário (Figura 14), cujo alicerce é de pedra e as mais altas paredes são de adobe, as demais foram feitas de taipa de pilão.

O desenvolvimento do tijolo de barro deve-se a demanda por matérias de construção combinada com a abundância de argila, condições climáticas adequadas à fabricação (clima quente e seco) e escassez de madeira e pedra (GOMES, 2001).

Figura 14 – Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário – Pirenópolis GO



Fonte: BORGES; COLOMBO, 2009

Ainda de acordo com Gomes (2001), o tijolo de barro cozido ao sol foi o principal material de construção de casas utilizado no Egito, desde os tempos da pré-dinastia, cerca de 5000 a. C., até a ocupação romana, por volta de 50 d. C., o material era conhecido como adobe e confeccionado normalmente com o barro do rio Nilo.

Segundo Vargas (1994), os tijolos foram os primeiros materiais de construção industrializados, precariamente. O processo veio do fato de edifícios passarem a ser produzidos como mercadorias, essa produção industrial veio substituir o processo artesanal da taipa nas construções das paredes.

A Revolução Industrial foi um importante evento na história da alvenaria. A evolução da atividade industrial provocou uma rejeição pelos produtos manufaturados e assim técnicas rudimentares, como a construção utilizando terra crua, foram desprezadas. Até mesmo países pobres, pela forte influência sofrida por parte dos países ricos, absorvem aos costumes destes (SILVA, 2000). Porém, segundo Elliot (1992 *apud* Lourenço, 1999), a revolução industrial aumentou muito pouco a qualidade e padronização dos produtos.

A produção de tijolos começou a ser mecanizada em meados do século XIX, basicamente em relação a preparação da argila e do sistema de moldagem dos tijolos.

O Forno contínuo tipo Hoffmann é considerado o primeiro forno da indústria de cerâmica, projetado na Alemanha em 1858 (NERI, 2000). A queima no forno tipo Hoffmann acontece em cada uma das câmaras de forma separada, sendo estas interligadas entre si, porém quando uma está em processo de queima as outras estão em fase de aquecimento (FONSECA *et. al*, 2000).

A Figura 15 mostra um forno tipo Hoffmann com diversas câmaras ligadas a uma chaminé central.

Figura 15 – Forno Hoffman



Fonte: <<http://www.panoramio.com/photo/32826436>>
Acesso em: 10 de março, 2015

Segundo Assis (2001), o formato dos tijolos manteve-se constante até o século XIX, paralelepípedo e maciço. O primeiro processo mecânico para furar os tijolos foi patenteado por Robert Beart em 1843. Em 1848, o francês Henri Borie obteve patente de uma máquina semelhante à de Beart.

2.3.2 Definições Importantes

A NBR 15270-1 (ABNT, 2005) que trata dos componentes cerâmicos para alvenaria de vedação, trás como importantes definições as que seguem:

- a) amostra: Conjunto de blocos retirado aleatoriamente de um lote para determinação de suas propriedades geométricas, físicas ou mecânicas.
- b) área argamassada: Área da seção correspondente à área ocupada pela argamassa de assentamento.
- c) área bruta: Área da seção de assentamento delimitada pelas arestas do bloco, sem desconto das áreas dos furos, quando houver.
- d) área líquida: Área da seção de assentamento, delimitada pelas arestas do bloco, com desconto das áreas dos furos, quando houver.
- e) contraprova: Corpos-de-prova da mesma amostra original, reservados para eventuais confirmações de resultados de ensaios.
- f) corpo-de-prova: Exemplar do bloco principal, integrante da amostra, para ensaio.

- g) lote de fabricação: Conjunto de blocos do mesmo tipo, qualidade e marca, fabricados nas mesmas condições.
- h) lote de fornecimento: Conjunto de blocos constituintes de um pedido, podendo ser entregue em vários carregamentos.

Nas definições acima, extraídas da NBR 15270-1 (ABNT, 2005), também se aplicam as definições da NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

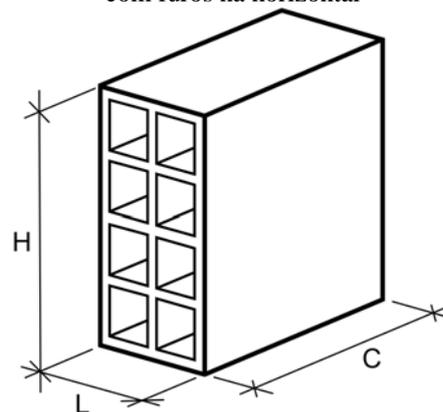
2.3.3 Elementos Constituintes

Os componentes básicos da alvenaria de vedação são: tijolos ou blocos cerâmicos de vedação, argamassa de assentamento ou rejunte e revestimento com argamassa.

2.3.3.1 Tijolos ou Blocos Cerâmicos

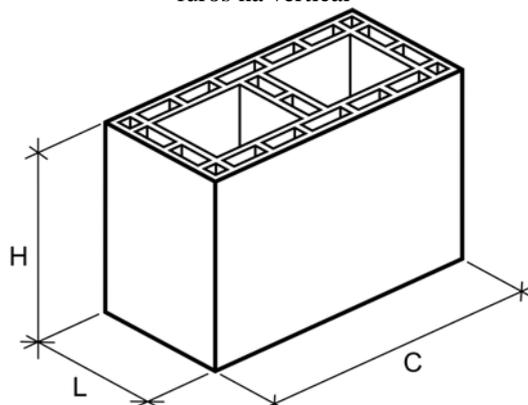
O bloco cerâmico é, segundo a NBR 15270-1 (ABNT, 2005), um componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm. Podendo este ser produzido tanto para ser usado com seus furos na horizontal (Figura 16) como na vertical (Figura 17).

Figura 16 – Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal



Fonte: NBR 15270-1 (ABNT, 2005)

Figura 17 – Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical



Fonte: NBR 15270-1 (ABNT 2005)

Ainda segundo a NBR 15270-1 (ABNT, 2005) a resistência à compressão dos blocos cerâmicos de vedação, calculada na área bruta, deve atender a valores mínimos relacionados a posição dos furos. Assim, para blocos usados com furos na horizontal a resistência à compressão deve ser $\geq 1,5$ MPa e para blocos usados com furos na vertical $\geq 3,0$ MPa.

2.3.3.2 Argamassa de Assentamento e Revestimento

A NBR 13281 (ABNT, 2005) trás as seguintes definições importantes sobre argamassa no contexto da alvenaria de vedação:

- a) argamassa: Mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).
- b) argamassa para assentamento em alvenaria de vedação: Argamassa indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação.
- c) argamassa para revestimento interno: Argamassa indicada para revestimento de ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
- d) argamassa para revestimento externo: Argamassa indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).

- e) argamassa para reboco: Argamassa indicada para cobrimento de emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento; também denominada massa fina.

Segundo Ramalho e Marcio (2003), as funções básicas da argamassa de assentamento são: solidarizar os blocos, uniformizar as tensões entre as unidades e transmiti-las, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e vento nas edificações.

A composição da argamassa de assentamento é de cimento, areia, cal e água. Podendo esta ser tanto dosada em obra, com traço pré-estabelecido, quanto em central, que em geral apresentam maior uniformidade e homogeneidade.

Para assentamento de alvenaria de vedação, geralmente essa argamassa é preparada no próprio canteiro da obra com o auxílio de uma betoneira ou argamassadeira, isso se deve principalmente ao seu menor custo, quando comparada a industrializada.

Um dos principais fatores observados na argamassa de assentamento e revestimento é a sua trabalhabilidade. A NBR 13276 (ABNT, 2002) estabelece o preparo da mistura e a determinação do índice de consistência da argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Sendo o índice de consistência determinado pelo ensaio do tronco de cone.

O revestimento com argamassa é dividido em três camadas: chapisco, emboço e reboco, essas etapas antecedem a pintura ou outros revestimentos. Sendo o chapisco, basicamente, a camada que fica logo sobre a parede com a função de garantir a ancoragem dos revestimentos. O emboço, também chamado de “massa grossa” é aplicado sobre o chapisco com o auxílio de uma desempenadeira de madeira, em geral, o emboço contém a adição de cal. O reboco é a última camada, também conhecido como “massa fina”, e trata-se de um acabamento mais detalhado.

2.4 ALVENARIA DE SOLO CIMENTO

Partindo de uma matéria-prima inicialmente frágil como a terra, sendo utilizada de forma diversificada misturada com água, é possível manufaturar materiais com resistências consideráveis e construir sistemas quase indestrutíveis (FERNANDES, 2006).

Apesar de ter sido substituída por novas técnicas construtivas, a construção utilizando terra crua volta reforçada com a prática da construção sustentável e trata-se de uma alternativa para a construção de alvenaria.

Segundo Faria (1990) a função que determina a qualidade do tijolo de solo-cimento prensado é o empacotamento dos grãos do solo depois de compactado. O material resultante

tem alta densidade e baixa porosidade. O equipamento utilizado para a moldagem do tijolo tem papel fundamental uma vez que condiciona a taxa de compactação do material e as características produtivas em si.

Segundo Carvalho e Poroca *apud* Carneiro (2001) os tijolos de solo-cimento podem ser utilizados em alvenaria de vedação ou estrutural, desde que atendam as resistências estabelecidas nos critérios de projeto, que devem ser aqueles aplicados aos materiais de alvenaria convencional e devem ainda seguir as orientações de cuidados e manutenção do material.

Grande (2003) afirma que uma vantagem do tijolo de solo-cimento é a possibilidade de incorporar outros materiais na sua fabricação como sílica ativa, escórias de alto forno, cinzas volante, cal hidratada, dentre outros materiais.

Outras vantagens do tijolo, segundo BT-111 (ABCP, 2000) são: as inesgotáveis possibilidades de aplicação do mesmo na área rural, o baixo custo e a elevada qualidade do material, sua fácil assimilação por qualquer pessoa, não necessita de qualquer energia para a sua produção (nem mesmo animal), utiliza materiais de fácil obtenção e não utiliza combustível na fabricação, por dispensar a queima.

Ainda segundo o boletim técnico referenciado acima, esses blocos podem dispensar o uso de revestimento, desde que protegido da ação direta da água, sendo, portanto, recomendável para paredes com tijolos à vista e ainda requerem espessura mínima e uniforme de argamassa de assentamento e revestimento devido a regularidade de suas formas, a planeza e a lisura de suas faces.

2.4.1 Contexto Histórico

O bloco de terra compactada é uma evolução do adobe que é o processo da construção de paredes com terra crua preparados em moldes secos ao sol.

Segundo Abiko (1983) o solo cimento foi empregado pela primeira vez em 1915, nos EUA, pelo Engenheiro Bert Reno, este pavimentou uma rua com uma mistura de conchas marinhas, cimento Portland e areia de praia. Em 1935 a PCA iniciou pesquisas sobre o material.

No Brasil, a utilização do solo-cimento surgiu quando a ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland, regulamentou seu uso, a partir de 1936, sendo que foi, inicialmente, utilizado em bases e sub-bases de pavimentação e, posteriormente, em

construções como: revestimento de canais, diques, reservatórios, estabilização de taludes, barragens de terra, blocos, tijolos, painéis e paredes monolíticas (GRANDE, 2003).

Thomaz (1979) afirma que se construiu em Manaus, no ano de 1948, o Hospital Adriano Jorge com paredes monolíticas de solo-cimento, com área de 10800 m², trata-se de uma obra marcante do sistema construtivo.

2.4.2 Principais Métodos Construtivos com Solo

Existem muitas técnicas de construção tendo como matéria prima o solo, porém, destacam-se o adobe, a taipa de pilão e o tijolo prensado que possuem as seguintes características, segundo Cunha (1978):

- Adobes: trata-se de tijolos fabricados por meio de moldagem de barro úmido, com alta plasticidade, em fôrmas e são secos ao sol. É um sistema construtivo simples que quando bem feito alcança como resultado paredes de boa resistência.
- Taipa de Pilão, Pisé, Terra Apiloada ou Paredes Monolíticas: o solo é comprimido dentro de fôrmas móveis em camadas sucessivas, construção de paredes “in situ”. O solo utilizado é arenoso na umidade ótima de compactação.
- Tijolos Prensados: utiliza-se de um dispositivo mecânico que submete o material a pressões bastante elevadas. São utilizados, preferencialmente, solos arenosos estabilizados com cimento. As dimensões dos blocos também são idênticas aos de concreto.

As figuras 18, 19 e 20 ilustram as técnicas de construção em terra mais comumente utilizadas, citadas anteriormente, em processo de fabricação e construções executadas com cada uma delas.

Figura 18 – Fabricação e construção em adobe



Fonte: <<http://ecoviladamontanha.com.br/tijolos-de-adobe/>>. Acesso em: 30 de março, 2015

Figura 19 – Construção em taipa de pilão em processo e concluída



Fonte: <<https://arquinatura.wordpress.com/category/paredes-de-taipa-de-pilao/>>. Acesso em: 30 de março, 2015

Figura 20 – Fabricação e construção em tijolos prensados



Fonte: <<http://ecoviladamontanha.com.br/tijolo-ecologico/>>. Acesso em: 30 de março, 2015

2.4.3 Materiais Componentes dos Blocos de Solo-cimento

A recomendação dos materiais utilizados na fabricação dos blocos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais é especificado pelo boletim técnico – BT-111 (ABCP, 2000). Os materiais apresentados nas imagens que seguem são do próprio fabricante dos blocos, utilizados nesse trabalho.

Barbosa (2003) afirma que a qualidade desses tijolos prensados irá depender de fatores como o tipo de solo, a umidade de moldagem, tipo de prensagem, tipo e percentagem de estabilizante e a cura.

Os blocos de solo-cimento são constituídos de uma mistura de solo, cimento e água sendo posteriormente prensados e mantidos em um período de cura que varia, sendo em média de sete dias.

Segundo Minke (2000) utiliza-se cal ou cimento na composição do bloco compactado, pois esse necessita ser estabilizado para que atinja adequada resistência para a construção.

2.4.3.1 Solo

Segundo BT-111 (ABCP, 2000) trata-se do componente que apresenta a maior proporção na mistura, devendo ser selecionado de maneira que possibilite o uso da menor quantidade possível de cimento.

A NBR 8491 (ABNT, 1984) afirma que o solo deve ser isento de matéria orgânica em teores prejudiciais às características exigidas pela norma. A Tabela 1 traz, segundo a NBR 10832 (ABNT, 1989), as seguintes características que o solo deve atender:

Características	Condições %
% passando na peneira ABNT 4,8 mm (n° 4)	100%
% passando na peneira ABNT 0,075 mm (n° 200)	10% a 50%
Limite de liquidez	≤ 45%
Índice de plasticidade	≤ 18%

Fonte: NBR 10832 (ABNT, 1989)

De acordo com BT-111 (ABCP, 2000), em geral, solos arenosos requerem menores quantidades de cimentos do que os argilosos ou siltosos. Entretanto, é necessário que haja argila na composição do solo para que, quando compactada, a mistura apresente coesão suficiente que permita sua desmoldagem e manuseio após a prensagem. É essencial que o solo usado na mistura contenha baixa umidade e para isso este deve ter adequada armazenagem.

Os teores presentes na composição do solo divergem de acordo com cada autor, segundo Barbosa (2003), um solo que apresente cerca de 11% de argila, 18% de silte e 70% de areia resulta em tijolos de ótima qualidade, sendo esta uma grande quantidade de areia fina (grãos de 0,05 a 0,25 mm). A Figura 21 mostra o solo utilizado pelo fabricante dos blocos.

Figura 21 – Solo utilizado pelo fabricante



Fonte: Próprio autor

2.4.3.2 Cimento

O teor de cimento capaz de garantir à mistura a permanência de suas características melhoradas é determinado por BT-111 (ABCP, 2000), o que pode ser feito por meio de ensaios de durabilidade ou ainda de resistência à compressão simples de amostras moldadas em laboratório. Prevê ainda que os cimentos a serem utilizados na mistura atendam as seguintes especificações:

- NBR 5732 – Cimento Portland Comum;
- NBR 11578 – Cimento Portland Composto;
- NBR 5735 – Cimento Portland de Alto-Forno;
- NBR 5736 – Cimento Portland Pozolânico;
- NBR 5733 – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

O cimento utilizado nos blocos ensaiados nesse trabalho foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, cuja denominação é CPV – ARI, regulamentado pela NBR 5733 (ABNT, 1991), esta que determina que a composição do cimento deve estar compreendida entre os limites fixados na Tabela 2.

Tabela 2 – Teores dos componentes do CPV – ARI

Componentes	% em massa
Clínquer + sulfatos de cálcio	100 - 95
Material carbonático	0 - 5

Fonte: NBR 5733 (ABNT, 1991)

A Figura 22 mostra o cimento utilizado na fabricação dos blocos ensaiados e, assim como é especificado pela NBR 5733 (ABNT, 1991), os sacos são armazenados em locais secos e bem protegidos garantindo a qualidade e permitindo fácil acesso à inspeção e à identificação de cada lote. As pilhas estão sobre estrados secos e com menos de dez sacos de altura, conforme pede a norma regulamentadora.

Figura 22 – Cimento utilizado para fabricação dos blocos ensaiados



Fonte: Próprio autor

2.4.3.3 Água

Segundo Pires (2004) a água deve ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento, como sulfatos e matérias orgânicas. As águas potáveis são as adequadas ao processo de mistura do solo com cimento para a fabricação do tijolo modular de solo-cimento. Essa mesma determinação é feita por outras fontes, como BT-117 (ABCP, 1996).

2.4.4 Fabricação dos Blocos de Solo-cimento

BT-111 (ABCP, 2000) recomenda que para a fabricação dos blocos se utilize um traço de 1:10 (cimento: solo) desde que o solo atenda aos requisitos estipulados pelo boletim. Caso a produção diária de tijolos seja superior a 10000 unidades, devem se realizar ensaios dos seguintes traços volumétricos: 1:10, 1:12 e 1:14 (cimento: solo).

A NBR 10832 (ABNT, 1989) determina que devam ser moldados seis tijolos de cada traço, no mínimo, dos quais três serão utilizados para realizar ensaio à compressão simples e três para ensaio do teor de absorção d'água, sendo um mínimo de três traços.

Ainda segundo a referência anterior, antes de se iniciar o processo de mistura para fabricação do bloco o solo deve ser peneirado, para que se trabalhe com o material passante na peneira de malha 4,8 mm (nº 4), e ter seus torrões eliminados. A norma prevê ainda que a fabricação do bloco pode ser realizada por processo manual ou mecânico.

Os tipos de prensas existentes no mercado, utilizadas para a fabricação dos blocos de solo-cimento, foram comparados por Ferraz Junior (1995), a Tabela 3 apresenta os valores encontrados:

Tabela 3 – Produtividade das prensas para componentes de solo estabilizado

Tipo de prensa		Energia de compactação (MPa)	Taxa de compactação do solo	Produção (tijolos/dia)
Manual	Mecânica	1,5 – 2,0	1,38	300 a 1200
	Hidráulica	2,0 – 10,0	1,65	2000 a 2800
Motorizada	Mecânica	4,0 – 24,0	> 1,65	1600 a 12000
	Hidráulica	> 20,0	> 2,00	-

Fonte: FERRAZ JUNIOR (1995)

Conforme especifica BT-111 (ABCP, 2000), no processo de fabricação manual o solo, já preparado, é espalhado sobre uma superfície lisa e limpa numa camada de aproximadamente 20 cm de espessura e em seguida o cimento distribuído sobre ele. A mistura dos materiais é processada com o auxílio de pás e enxadas até que a coloração esteja uniforme. Caso necessário, a água é colocada aos poucos, até que se atinja a umidade ideal. Recomenda-se ainda peneirar a mistura mais uma vez a fim de que haja uma melhor homogeneização da água no solo-cimento.

A NBR 10833 (ABNT, 1989), que determina os requisitos para fabricação por prensagem hidráulica, determina que a mistura dos materiais componentes do bloco seja feita de forma mecânica. A água deve ser também colocada aos poucos até atingir a umidade ideal de trabalho.

No processo manual, a NBR 10832 (ABNT, 1989) especifica que para a moldagem do tijolo a mistura seja colocada na matriz da prensa, e que se retirem os excessos para proceder a prensagem. Já no processo hidráulico, segundo a NBR 10833 (ABNT, 1989), a mistura é transferida, imediatamente, para o molde e a prensagem é então executada. Ambas as normas especificam que, após a prensagem, os tijolos devem ser retirados da prensa e empilhados, à sombra, sobre uma superfície plana a uma altura de até 1,5 m.

A Figura 23 mostra um exemplo de prensa manual da marca Sahara. A empresa indica sua utilização em obras de médio a grande porte e possui prensas manuais para a fabricação dos seguintes tamanhos de tijolos: (12,5 x 25 x 6,25 cm³), (15 x 30 x 7,5 cm³) e (10 x 20 x 5 cm³).

Figura 23 – Prensa manual para fabricação de blocos de solo-cimento



Fonte: <<http://www.engemaquinas.com.br/prensamanualspeed1/>>. Acesso em: 02 de abril, 2015

As figuras que seguem apresentam a prensa hidráulica da marca Eco Máquinas na qual foram fabricados os blocos ensaiados nesse trabalho, nas quais a Figura 24 mostra o misturador dos componentes do bloco de solo-cimento e a esteira que leva o material até o local de prensagem. A Figura 25 mostra onde o material entra para o início do processo de moldagem, a fôrma e por onde saem os resíduos não compactados e a Figura 26 mostra o molde que dá a forma ao bloco.

Após o processo de prensagem e estocagem dos blocos, as normas NBR 10832 (ABNT, 1989) e NBR 10833 (ABNT, 1989) determinam que os mesmos sejam mantidos úmidos após 6 horas da moldagem e durante os sete primeiros dias a fim de garantir a cura necessária. Estipulam ainda que os tijolos devem ser utilizados, no mínimo, 14 dias após a sua fabricação.

Figura 24 – Misturador e Esteira da prensa hidráulica



Fonte: Próprio autor

Figura 25 – Início do processo de prensagem hidráulica



Fonte: Próprio autor

Figura 26 – Molde da prensa hidráulica que dá forma ao bloco



Fonte: Próprio autor

Segundo Neves (1989) o tijolo de solo-cimento, tanto o fabricado por sistema manual quanto o automatizado, constitui um elemento comprovadamente viável em programas habitacionais realizados por mutirão ou por administração direta, fato que demonstra a mão-de-obra já familiarizada com o sistema construtivo de alvenaria assim como a transferência de tecnologia pela fácil assimilação dos operadores dos equipamentos.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUÇÃO

O programa experimental desse trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Mecânica dos Materiais na Universidade Estadual de Goiás, UEG-Anápolis, situada na Br. 153, sob a orientação dos professores Dr. Marcus Vinícius e Esp. Agnaldo Antônio. O objetivo foi, através de ensaios de resistência à compressão de blocos de solo cimento, contribuir com novas informações no estudo desse tipo de alvenaria e classificar essa amostra ensaiada, desse fabricante em específico, como bloco de vedação ou estrutural.

Segundo Oliveira (2006), pode-se dizer que de uma forma geral os trabalhos experimentais apresentam equações com variáveis de fácil determinação, mas que não podem ser utilizadas de forma generalizada por serem válidas somente para os materiais presentes naquele estudo em específico. As equações elaboradas analiticamente também são uma forma de determinação do comportamento da alvenaria, no entanto as mesmas abrangem componentes e propriedades dos materiais que são de difícil determinação. Assim, em geral, os projetistas adotam as proposições normativas e o resultado são estruturas superdimensionadas a favor da segurança, o que poderia ser evitado caso houvesse um melhor aproveitamento dos materiais.

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados e suas respectivas caracterizações, o traço da argamassa utilizada, a preparação dos blocos e dos prismas, os procedimentos de montagem dos prismas, os métodos de ensaios empregados para blocos, argamassas e prismas e os equipamentos utilizados nos ensaios de resistência à compressão.

3.2 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 Blocos de Solo Cimento

Foram utilizados blocos do solo cimento (Figura 27) com dimensões nominais (15 x 30 x 7 cm³), a Figura 28 mostra que a aferição das medidas dos blocos foi realizada com o auxílio de uma trena métrica.

Figura 27 – Blocos utilizados na moldagem dos prismas



Fonte: Próprio autor

Figura 28 – Aferição das medidas dos blocos



Fonte: Próprio autor

Para a realização do ensaio de resistência à compressão, os blocos foram previamente capeados com gesso comum. No procedimento, 7 kg de gesso foram utilizados para realizar o capeamento de 10 faces de blocos, após a secagem, a outra face dos blocos que seriam ensaiados individualmente também recebia capeamento.

A Figura 29 mostra na sequência: a preparação da pasta de gesso, o bloco sendo molhado, a colocação da massa sobre placas de vidro com o intuito de deixar a face do bloco capeado lisa e a colocação do bloco sobre a pasta na placa. Em seguida, a Figura 30 mostra a

conferência do nivelamento do bloco, com o auxílio de um aparelho de nível, e o acabamento feito retirando os excessos de gesso dos arredores do bloco.

Figura 29 – Preparação do gesso e início do capeamento



Fonte: Próprio autor

Figura 30 – Conferência do nivelamento do bloco



Fonte: Próprio autor

Para regularizar a área de contato do bloco capeado com a prensa, utilizou-se uma lâmina de cortiça, com 25 mm de espessura, conforme mostra a Figura 31. Isso se faz necessário devido o material minimizar as tensões de tração no plano do topo e da base do bloco, o que se deve ao baixo coeficiente de Poisson (ν) da cortiça.

Figura 31 – Bloco com cortiça no plano do topo e base



Fonte: Próprio autor

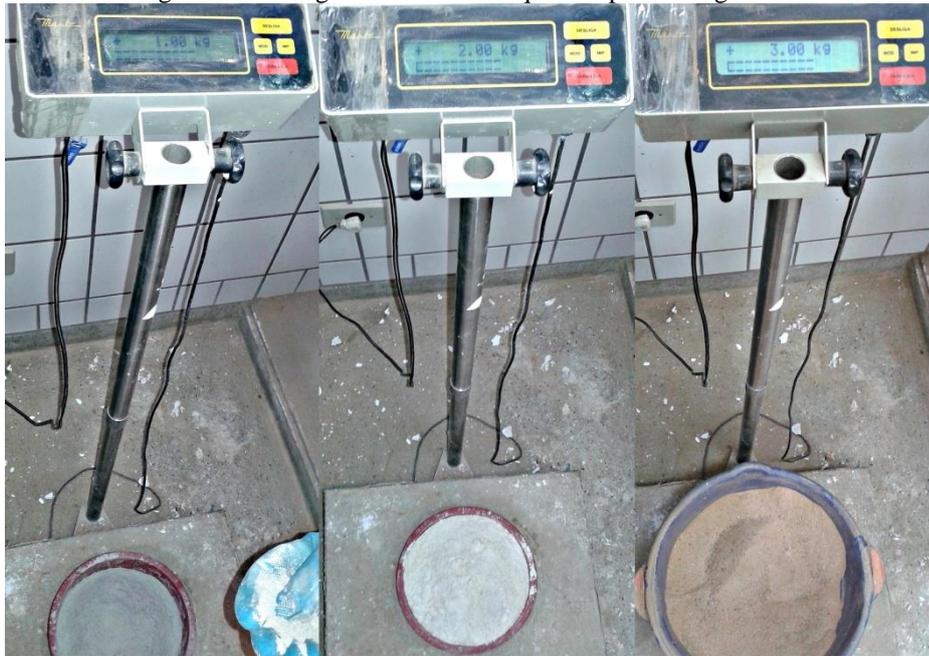
3.2.2 Argamassa Comum de Assentamento

A argamassa utilizada para montagem de 10 prismas foi dosada com traço 1: 2: 3 (cimento: cal: areia), o traço foi escolhido por ser comumente utilizado para assentamento de alvenaria na cidade de Anápolis – GO.

O cimento utilizado para a fabricação da argamassa foi o CPII-Z-32 da marca CIPLAN e a cal foi a hidratada Itaú CH – III. A areia utilizada foi disponibilizada pelo técnico responsável pelo laboratório da UEG e estava presente no local. Todo o material foi pesado com precisão, conforme mostra a Figura 32, antes da pesagem foi tirada a tara dos recipientes dos materiais.

Para confecção da argamassa, inicialmente misturou-se em um recipiente o cimento com a cal, em seguida adicionou-se a areia. Quando a mistura estava homogênea, a água passou a ser adicionada de maneira a se obter uma massa trabalhável, de boa consistência. A argamassa foi batida em um misturador, uma vez que a betoneira disponível no local era de 145 litros e a quantidade fabricada muito pequena para utilizá-la. Dois traços foram confeccionados para a montagem dos prismas e a moldagem de cinco corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 5 x 10 cm², três corpos-de-prova foram retirados do primeiro traço dosado e dois do segundo.

Figura 32 – Pesagem dos materiais que compõem a argamassa



Fonte: Próprio autor

Os corpos-de-prova foram primeiramente limpos com papel toalha e montados, em seguida, com o auxílio de um pincel, foram lubrificadas com óleo de motor a fim de facilitar a desmoldagem. A argamassa foi posta no recipiente em duas camadas adensadas com doze golpes cada, conforme estabelecido pela NBR 5738 (ABNT, 2003). Uma régua foi utilizada para rasar o topo após a retirada do funil, em seguida eles foram identificados. A Figura 33 mostra as etapas do processo de montagem dos corpos-de-prova.

Figura 33 – Montagem dos corpos-de-prova



Fonte: Próprio autor

Todos os ensaios á compressão dos corpos-de-prova (Figura 34) foram realizados no dia 11/02/2015, sete dias após sua moldagem na UEG-GO Campus Anápolis.

Figura 34 – Ensaio dos corpos-de-prova



Fonte: Próprio autor

3.2.3 Argamassa Polimérica de Assentamento

A argamassa polimérica utilizada no assentamento foi da marca DUNDUN, específica para assentamento de tijolos e blocos. Segundo informações do fabricante, com 15 kg do produto é possível assentar 10 m² de parede (tijolos ou blocos de 19 cm de altura). A massa DUNDUN é uma argamassa pronta para uso com resinas especiais, contendo nanocompósitos, cargas minerais não metálicas e aditivos especiais.

A secagem inicial da argamassa polimérica geralmente ocorre entre 6 e 12 horas e a resistência final é alcançada a partir de 72 horas. Ainda segundo informações do fabricante trata-se de um produto ecologicamente correto que evita passivos ambientais relacionados à produção e a utilização de argamassa tradicional (mistura de cimento, cal e areia), como a alta emissão de CO₂ na atmosfera, a retirada de areia dos leitos dos rios, o desperdício de água e a produção excessiva de entulho.

A argamassa polimérica utilizada no ensaio foi adquirida na loja de materiais para construção Leroy Merlin na cidade de Goiânia – GO, pacote de 15 kg, conforme a Figura 35,

a mesma não foi encontrada em Anápolis por ser pouco conhecida e utilizada. O custo do produto foi de R\$ 100,00.

Figura 35 – Argamassa polimérica (saco 15 kg)



Fonte: <http://www.leroymerlin.com.br/argamassa-polimerica-para-assentamento-de-alvenaria-cinza-15kg-dundun_88139065> Acesso em: 02 de março, 2015

É importante observar que não foi possível realizar ensaios de resistência à compressão com esse tipo de argamassa, uma vez que durante a desmoldagem dos corpos-de-prova observou-se que a argamassa endureceu somente no topo do molde, mantendo suas características no centro (Figura 36). Segundo o fornecedor do produto, isso se deve a grande quantidade de aditivos na sua composição.

Figura 36 – Argamassa polimérica no corpo-de-prova



Fonte: Próprio autor

3.3 MONTAGEM DOS PRISMAS PARA ENSAIO À COMPRESSÃO

Para a realização dos ensaios foram montados 20 prismas, sendo 10 com argamassa comum e 10 com argamassa polimérica, uma argamassa especial para assentamento de tijolos e blocos. Os prismas foram montados todos no mesmo dia e ensaiados no dia 11/02/2015 com idade de sete dias. O capeamento das faces superior e inferior dos prismas já havia sido realizado sete dias antes da montagem.

3.3.1 Prismas com Junta de Argamassa Comum

Primeiro, os blocos foram limpos com o auxílio de um pincel, em seguida, para assentamento dos prismas com argamassa, simulou-se as condições normais de uma obra, assim estes foram montados com o auxílio de uma colher de pedreiro (Figura 37).

Figura 37 – Preparação e montagem dos prismas com argamassa comum



Fonte: Próprio autor

O acabamento nos prismas assentados com argamassa comum também foi realizado com o auxílio de uma colher de pedreiro, a Figura 38 mostra esses prismas acabados. Os primeiros cinco prismas foram montados com o primeiro traço de argamassa, de maneira que a argamassa remanescente foi utilizada para moldagem de três corpos-de-prova, os demais prismas e corpos-de-prova foram montados com o segundo traço.

Figura 38 – Prismas com junta de argamassa comum montados



Fonte: Próprio autor

3.3.2 Prismas com Junta de Argamassa Polimérica

Os prismas com argamassa polimérica foram montados seguindo orientações do fabricante, onde primeiramente os blocos foram limpos com um pincel. Para montagem desses prismas, a argamassa foi aplicada sobre o bloco com o auxílio de uma bsnaga, de maneira que se obtivesse uma espessura da mesma de 1 cm, conforme a Figura 39. A Figura 40 apresenta os prismas com junta de argamassa polimérica montados.

Figura 39 – Montagem dos prismas com argamassa polimérica



Fonte: Próprio autor

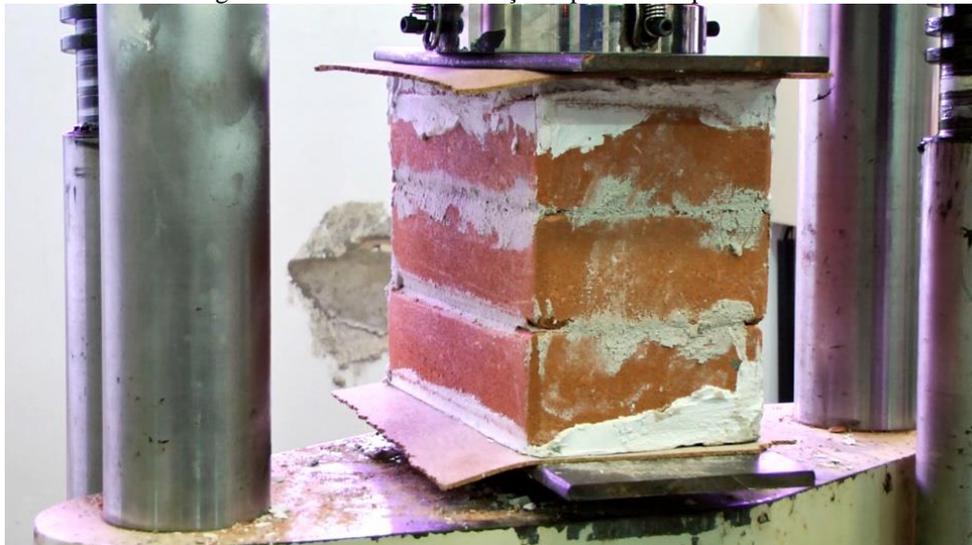
Figura 40 – Prismas com junta de argamassa polimérica montados



Fonte: Próprio autor

Os prismas foram submetidos à compressão, em seguida os blocos individuais e por fim os corpos-de-prova da argamassa comum. Para a regularização da área de contato com a prensa utilizou-se uma lâmina de cortiça no plano de topo e de base do prisma, tal como para os blocos individuais, assim como mostra a Figura 41.

Figura 41 – Prisma com cortiça no plano do topo e base



Fonte: Próprio autor

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS

Para a análise da resistência à compressão simples dos blocos de solo-cimento, foram seguidas as recomendações da NBR 12118 (ABNT, 2013), norma referente a blocos de concreto, a fim de se determinar se esses blocos podem ser considerados estruturais, como informam a maioria dos fabricantes. Tantos os blocos quanto os prismas foram colocados sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão, entre as chapas metálicas, de maneira a ficar centrado em relação a ele.

Foram ensaiados, individualmente, 34 blocos, os quais, um a um tiveram suas dimensões de cada face de trabalho determinadas pela média dos valores em três posições diferentes: um em cada extremidade e um no meio. A Tabela 4 mostra as medidas de 10 blocos com suas respectivas dimensões e a área líquida média para a obtenção da tensão de ruptura.

Tabela 4 – Características dimensionais dos blocos

Bloco (nº)	Dimensões (mm)			Área líquida média (mm ²)
	Larg.	Comp.	Alt.	
01	151	300	70	45172,77
02	151	300	70	
03	151	300	70	
04	151	300	70	
05	151	300	70	
06	151	300	70	
07	151	300	70	
08	151	300	70	
09	151	300	70	
10	151	300	70	

Fonte: Próprio autor

Segundo Pisani (2005) existem vários tipos de tijolos de solo-cimento comercializados no mercado brasileiro, dentre os quais os tijolos de encaixe com dois furos, com dimensões distintas das especificadas pela NBR 8491/1984. Um desses tipos citados pelo autor é o tijolo (30 x 15 x 7,5 cm³), que é o que mais se aproxima do usado no ensaio.

Dentre as características dimensionais do bloco, temos o seu furo com 9 cm de diâmetro, para o cálculo da área líquida as dimensões dos furos são subtraídas da área total.

As medidas apresentadas na tabela foram conferidas com o auxílio de um paquímetro, conforme mostra a Figura 42.

Figura 42 – Conferência exata das medidas com paquímetro



Fonte: Próprio autor

As cargas de ruptura foram aplicadas por uma máquina de compressão com registrador gráfico da marca Pavitest devidamente calibrada com uma carga máxima de 25 toneladas.

A Tabela 5 mostra as resistências à compressão, atingidas pelos blocos no ensaio realizado, em Mpa. Essa resistência é obtida dividindo-se a carga máxima, em Newton (N), pela área líquida, em mm². A transformação de tonelada para N é obtida multiplicando o valor em tonelada por 10000.

Para obter a resistência característica dois blocos foram desconsiderados. O bloco nº 01, devido ao fato de que no início do ensaio a prensa foi programada para 10 toneladas, não se esperava que os blocos suportassem tanta carga, sendo assim não se conseguiu um valor preciso para esse bloco. Também o bloco de nº 18, por ter alcançado a programação máxima da prensa de 25 toneladas.

A Tabela 6 mostra os valores da resistência média (f_{bm}) exigida por norma, que é dada pela média das tensões de ruptura, o desvio padrão (Sd), que mede a variabilidade dos valores à volta da média, e ainda a resistência característica (f_{bk}) que será considerado para classificar o bloco, que é dada pela diferença entre a resistência média e o desvio padrão.

Considerando o f_{bk} encontrado e seguindo o critério da NBR 6136 (ABNT, 2014), Tabela 7, para classificação, dentro de um sistema de blocos estruturais o bloco de solo-cimento estudado se enquadra na classe C.

Tabela 5 – Resistência à compressão das unidades

Bloco (n°)	Área Líquida (mm ²)	Carga Máxima (t)	Tensão (MPa)
01	45172,77	9,854	2,18
02	45172,77	19,87	4,40
03	45172,77	16,23	3,59
04	45172,77	15,91	3,52
05	45172,77	17,19	3,81
06	45172,77	17,47	3,87
07	45172,77	20,48	4,53
08	45172,77	20,30	4,49
09	45172,77	17,75	3,93
10	45172,77	14,93	3,31
11	45172,77	15,78	3,49
12	45172,77	18,50	4,10
13	45172,77	18,70	4,14
14	45172,77	14,57	3,23
15	45172,77	17,47	3,87
16	45172,77	16,60	3,67
17	45172,77	20,89	4,62
18	45172,77	25,00	5,53
19	45172,77	17,15	3,80
20	45172,77	20,23	4,48
21	45172,77	18,95	4,20
22	45172,77	14,12	3,13
23	45172,77	17,06	3,78
24	45172,77	20,13	4,46
25	45172,77	20,14	4,46
26	45172,77	18,33	4,06
27	45172,77	19,14	4,24
28	45172,77	18,00	3,98
29	45172,77	14,78	3,27
30	45172,77	19,03	4,21
31	45172,77	18,06	4,00
32	45172,77	20,96	4,64
33	45172,77	18,76	4,15
34	45172,77	22,91	5,07

Fonte: Próprio autor

Tabela 6 – Obtenção da resistência característica (f_{bk}) das unidades

Resistência Média (f_{bm}) (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	Resistência Característica (f_{bk}) (MPa)
4,02	0,47	3,55

Fonte: Próprio autor

Tabela 7 – Requisitos para resistência à compressão

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial *MPa
Com função Estrutural	A	$f_{bk} \gg 8,0$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$
Com ou sem função Estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2014)

No decorrer do ensaio as formas de ruptura dos blocos foram observadas. De forma geral, o tipo de ruptura encontrada foi por fissura vertical. A Figura 43 mostra esse tipo de fissura.

Figura 43 – Ruptura do Bloco – fissura vertical



Fonte: Próprio autor

4.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS PRISMAS

4.2.1 Prismas com Junta de Argamassa Comum

A Tabela 8 mostra as características dimensionais dos prismas, com junta de argamassa comum, ensaiados à compressão.

Tabela 8 – Características dimensionais dos prismas com junta de argamassa comum

Prisma (nº)	Dimensões (mm)			Área líquida média (mm ²)
	Larg.	Comp.	Alt.	
01	151	300	235	45172,77
02	151	300	236	
03	151	300	233	
04	151	300	235	
05	151	300	235	
06	151	300	236	
07	151	300	233	
08	151	300	236	
09	151	300	232	
10	151	300	233	

Fonte: Próprio autor

Os valores das alturas fazem referência à soma das alturas dos três blocos que formam o prisma, a junta de argamassa de aproximadamente 10 mm de espessura e a altura de capeamento das faces superior e inferior dos prismas.

Os prismas, assim como os blocos, foram submetidos a ensaio de compressão simples. Para determinação da tensão de ruptura dos prismas foi utilizada a área líquida média do bloco. A Tabela 9 mostra os resultados da resistência à compressão obtida no ensaio dos prismas compostos com junta de argamassa comum.

Tabela 9 – Resistência à compressão dos prismas com junta de argamassa comum

Prismas (nº)	Área Líquida (mm ²)	Carga Máxima (t)	Tensão (MPa)
01	45172,77	14,54	3,22
02	45172,77	12,56	2,78
03	45172,77	10,04	2,22
04	45172,77	11,50	2,55
05	45172,77	11,63	2,57
06	45172,77	12,25	2,71
07	45172,77	12,63	2,80
08	45172,77	9,79	2,17
09	45172,77	10,36	2,29
10	45172,77	11,67	2,58

Fonte: Próprio autor

Para o cálculo da resistência característica dos prismas foram desconsiderados o menor e o maior valor encontrados no ensaio. A Tabela 10 mostra os resultados da resistência à compressão dos prismas com argamassa comum.

Tabela 10 – Obtenção da resistência característica (f_{bk}) dos prismas com junta de argamassa comum

Resistência Média (f_{bm}) (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	Resistência Característica (f_{bk}) (MPa)
2,56	0,21	2,35

Fonte: Próprio autor

Durante o ensaio, pode-se perceber um padrão no tipo de ruptura dos prismas com junta de argamassa comum, que assim como os blocos, tiveram fissuras verticais, conforme mostra a Figura 44.

Figura 44 – Ruptura do prisma com junta de argamassa comum – Fissura vertical



Fonte: Próprio autor

4.2.2 Prismas com Junta de Argamassa Polimérica

A Tabela 11 mostra as características dimensionais dos prismas, com junta de argamassa polimérica, ensaiados à compressão.

Tabela 11 – Características dimensionais dos prismas com junta de argamassa polimérica

Prisma (n°)	Dimensões (mm)			Área líquida média (mm ²)
	Larg.	Comp.	Alt.	
01	151	300	229	45172,77
02	151	300	227	
03	151	300	230	
04	151	300	226	
05	151	300	227	
06	151	300	226	
07	151	300	225	
08	151	300	228	
09	151	300	230	
10	151	300	226	

Fonte: Próprio autor

É importante observar que os valores referentes às alturas totais dos prismas com junta de argamassa polimérica foram menores que os encontrados nos prismas com junta de argamassa comum. Isso se deve ao fato do modo de aplicação da argamassa polimérica ser, como indicada pelo fabricante, com o auxílio de uma bisnaga, e assim conseguir uma espessura mais grossa se torna mais difícil.

A Tabela 12 mostra os resultados da resistência à compressão obtida no ensaio dos prismas compostos com junta de argamassa polimérica.

Tabela 12 – Resistência à compressão dos prismas com junta de argamassa polimérica

Prismas (n°)	Área Líquida (mm ²)	Carga Máxima (t)	Tensão (MPa)
01	45172,77	13,57	3,00
02	45172,77	15,50	3,43
03	45172,77	12,72	2,82
04	45172,77	12,49	2,76
05	45172,77	10,28	2,28
06	45172,77	9,14	2,02
07	45172,77	12,19	2,70
08	45172,77	11,12	2,46
09	45172,77	7,38	1,63
10	45172,77	9,95	2,20

Fonte: Próprio autor

Assim como para os prismas com junta de argamassa comum, para o cálculo da resistência característica dos prismas com junta de argamassa polimérica foram desconsiderados o menor e o maior valor encontrados no ensaio. Os resultados da resistência à compressão dos prismas com argamassa polimérica estão na Tabela 13.

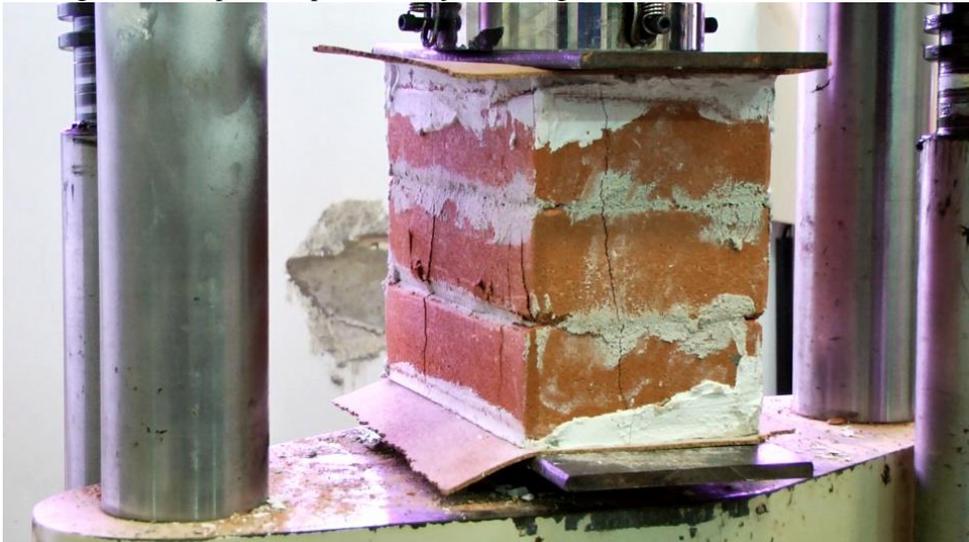
Tabela 13 – Obtenção da resistência característica (f_{bk}) dos prismas com junta de argamassa polimérica

Resistência Média (f_{bm}) (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	Resistência Característica (f_{bk}) (MPa)
2,53	0,34	2,19

Fonte: Próprio autor

Ao observar o modo de ruptura desses prismas, observou-se que os mesmos mantiveram o padrão encontrado nos prismas com junta de argamassa comum, tendo assim fissuras verticais, assim como mostra a Figura 45.

Figura 45 – Ruptura do prisma com junta de argamassa comum – Fissura vertical



Fonte: Próprio autor

4.2.3 Comparação das Argamassas Utilizadas nos Prismas

Em relação aos valores encontrados para os tipos de argamassa utilizados no ensaio, comum e polimérica, segue a Tabela 14 com a comparação percentual entre suas resistências.

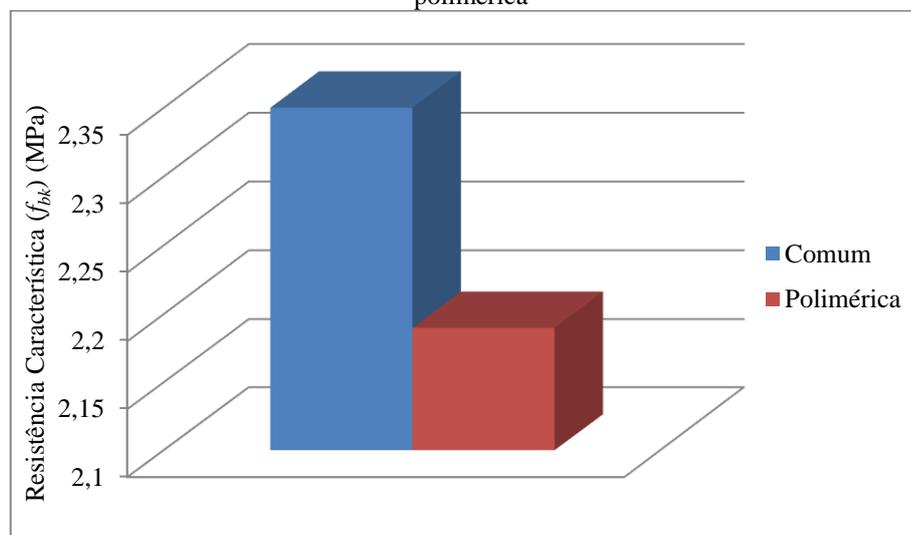
Tabela 14 – Comparação da resistência característica das argamassas comum e polimérica

Tipo de Argamassa	Resistência Característica (f_{bk}) (MPa)	Comparação da eficiência
Comum	2,35	Polimérica < Comum em 6,81%
Polimérica	2,19	

Fonte: Próprio autor

O Gráfico 1 mostra a relação entre as resistências características das argamassas.

Gráfico 1 – Comparação da resistência características das argamassas comum e polimérica



Fonte: Próprio autor

4.3 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA COMUM

A argamassa comum utilizada na junta dos prismas também teve sua resistência à compressão determinada por ensaio. Na Tabela 15 são apresentados os resultados da resistência à compressão da argamassa.

Tabela 15 – Resistência à compressão da argamassa

Corpo-de-prova (nº)	Área (mm ²)	Carga Máxima (t)	Tensão Individual (MPa)	Tensão Média (MPa)
01	1963,49	0,73	3,71	3,73
02	1963,49	0,77	3,90	
03	1963,49	0,70	3,58	3,24
04	1963,49	0,65	3,32	
05	1963,49	0,62	3,16	

Fonte: Próprio autor

A área utilizada no cálculo da resistência à compressão da argamassa é referente ao corpo-de-prova de dimensões 5 x 10 cm². É importante lembrar que dois traços foram usados para a montagem dos corpos-de-prova. Os três primeiros foram retirados do primeiro traço e os dois últimos do segundo.

Observando os resultados do ensaio foi possível observar que houve pouca diferença entre as resistências obtidas nos dois traços de argamassa preparados, o que é importante para o resultado final do ensaio.

A Tabela 16 mostra os resultados obtidos para resistência média (f_{bm}), desvio padrão (S_d) e resistência característica (f_{bk}) dos corpos-de-prova de argamassa ensaiados.

Tabela 16 – Obtenção da resistência característica (f_{bk}) da argamassa

Resistência Média (f_{bm}) (MPa)	Desvio Padrão (S_d) (MPa)	Resistência Característica (f_{bk}) (MPa)
3,53	0,30	3,24

Fonte: Próprio autor

4.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Como parâmetro de comparação, foi utilizado um procedimento de resistência à compressão de alvenaria de blocos de concreto realizado em uma dissertação de mestrado por uma aluna da Universidade de São Paulo (Escola de Engenharia de São Carlos).

4.4.1 Comparação com Blocos de Concreto Submetidos à Compressão

Izquierdo (2011) realizou em seu trabalho o ensaio de resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto (14 x 19 x 39 cm³) de dois lotes, onde de cada lote foram ensaiados seis blocos. Os valores obtidos mostram como a resistência à compressão no ensaio de blocos de concreto foi relativamente maior que a encontrada em blocos de solo-cimento e são mostrados na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores encontrados para resistência à compressão de blocos de concreto

Lote	Resistência Média (f_{bm}) (MPa)	Desvio Padrão (S_d) (MPa)	Coefficiente de Variação (CV) (%)	Resistência característica (f_{bk}) (MPa)
01	11,16	0,34	3,05	10,25
02	7,48	0,16	2,16	7,10

Fonte: Izquierdo (2011)

Ainda segundo Izquierdo (2011), o resultado superou a resistência característica expressa pelo fornecedor: 4,5 MPa. Sendo a resistência média do primeiro lote superior, em relação ao segundo, na ordem de 33%. É importante observar a diferença encontrada entre os ensaios de resistência à compressão obtida em diferentes lotes de blocos do mesmo fabricante.

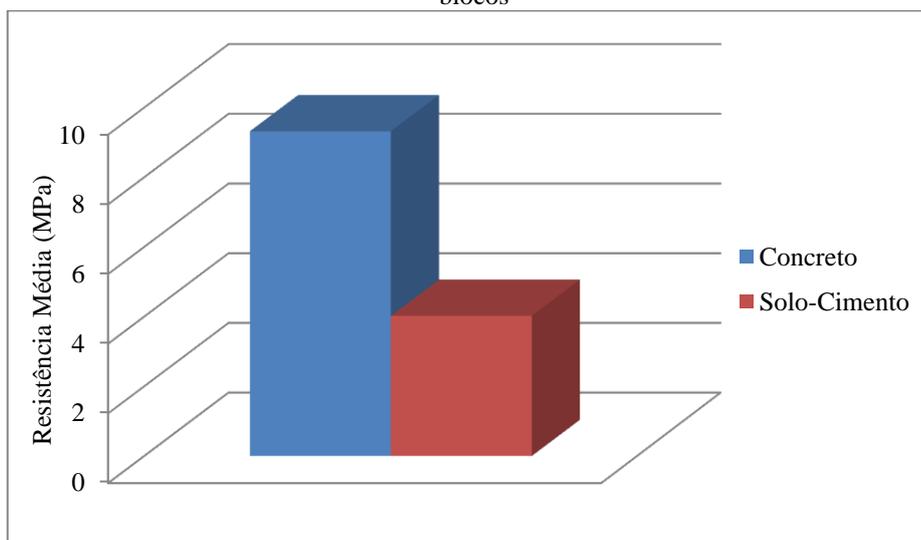
A Tabela 18 mostra a comparação dos resultados da resistência média à compressão nos dois tipos de blocos, de concreto e de solo-cimento. Os resultados da comparação entre a resistência média das alvenarias, em MPa, são expressos no Gráfico 2.

Tabela 18 – Comparação dos resultados da resistência à compressão dos blocos

Tipo de Alvenaria	Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)	Comparação da resistência à compressão
Blocos de Concreto lote 01	11,16	9,32	Solo-cimento < Concreto em 57%
Blocos de Concreto lote 02	7,48		
Blocos de Solo-cimento	4,02	4.02	

Fonte: Próprio autor

Gráfico 2 – Resultado da comparação entre a resistência média à compressão dos blocos



Fonte: Próprio autor

4.4.2 Comparação com Prismas de Blocos de Concreto Submetidos à Compressão

O trabalho analisado foi realizado em quatro séries, sendo duas com argamassamento total dos prismas e duas com argamassamento lateral. Serão analisados somente os resultados com argamassamento total, uma vez que os blocos de solo cimento analisados nesse trabalho foram assim montados. Na Tabela 19 têm-se os valores encontrados das resistências para os prismas com blocos de concreto.

Tabela 19 – Resultados da resistência à compressão dos prismas com blocos de concreto

Lote	Resistência Média dos Prismas (f_{pm}) (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	Coefficiente de Variação (CV) %
01	7,82	0,81	10,34
02	5,83	0,25	4,23

Fonte: Izquierdo (2011)

As séries ensaiadas com argamassamento total foram montadas com blocos dos dois lotes. Foram ensaiados 12 prismas de cada série, ou seja, 12 prismas com blocos do lote 01 e 12 com blocos do lote 02. A argamassa utilizada para assentamento obteve resistência média em torno de 6,5 MPa.

É importante ressaltar que os prismas de blocos de concreto ensaiados à compressão analisados foram montados com somente dois blocos, enquanto os prismas com blocos de solo-cimento, estudados nesse trabalho, com três.

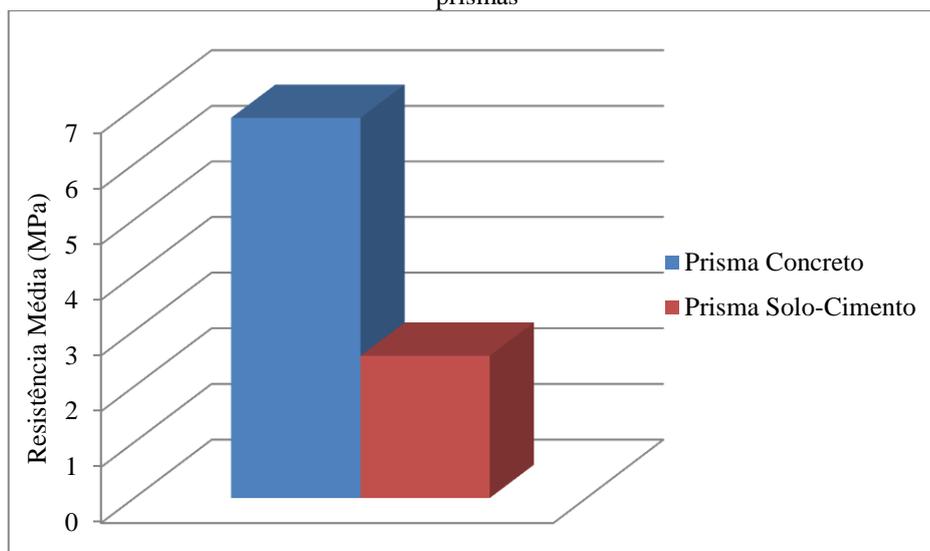
Comparando os resultados dos prismas dos blocos de solo-cimento ensaiados, tanto os com junta de argamassa comum quanto os com junta de argamassa polimérica, podemos observar que os blocos de concreto ainda se mostram muito mais resistentes e confiáveis para serem utilizados como auto-portantes. Na Tabela 20 pode-se observar essa comparação em porcentagem e no Gráfico 3 em relação a resistência média, em MPa, das alvenarias.

Tabela 20 – Comparação dos resultados da resistência à compressão dos prismas

Tipo de Alvenaria	Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)	Comparação da resistência à compressão
Prismas de Concreto lote 01	7,82	6,83	Solo-cimento < Concreto em 63%
Prismas de Concreto lote 02	5,83		
Prismas de Solo-cimento com argamassa comum	2,56	2,55	
Prismas de Solo-cimento com argamassa polimérica	2,53		

Fonte: Próprio autor

Gráfico 3 – Resultado da comparação entre a resistência média à compressão dos prismas



Fonte: Próprio autor

4.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

A fim de estabelecer a viabilidade econômica da alvenaria de solo-cimento calculou-se o custo do m² da mesma comparada a de concreto. Para isso, como base de dados, foi utilizado o livro TCPO, tabela de composição de preços para orçamentos da Pini (2012) e o SINAPI, sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil da Caixa Econômica Federal – CEF (2015) referente à Goiânia - GO atualizada em fevereiro de 2015.

4.5.1 Alvenaria de Solo-cimento

A alvenaria foi analisada como prisma para estabelecer o preço da sua área e posteriormente achar o valor do m², ou seja, o custo foi calculado com três unidades de bloco e duas juntas de argamassa de 1 mm de espessura. Como o bloco analisado tem dimensões (7 x 15 x 30cm³), a área total do seu prisma com as juntas de argamassa será de 0,069 m².

A análise foi feita considerando os valores referentes aos blocos, a argamassa de assentamento e a mão de obra. Dois tipos de argamassas foram calculados, a argamassa polimérica, utilizada nesse trabalho, e a argamassa industrializada multiuso para revestimento interno e externo e assentamento de blocos diversos, cujo custo é fornecido por SINAPI (CEF, 2015).

4.5.1.1 Blocos de Solo-cimento

O custo do milheiro do bloco do solo-cimento é, em média, de R\$ 920,00, assim a unidade custa R\$ 0,92. Como a análise é realizada em um prisma, com três unidades, o valor para cada prisma de área 0,069 m² é de R\$ 2,76, sendo o custo para 1 m² da alvenaria de R\$ 40,00.

4.5.1.2 Argamassa de Assentamento

Dois tipos de argamassa foram calculados no intuito de se estabelecer viabilidade. A argamassa polimérica, segundo informações do fabricante, rende 15 kg a cada 10 m². Já a argamassa industrializada teve seu rendimento baseado em um bloco de vedação de dimensões aproximadas, o valor de consumo foi estabelecido segundo TCPO (PINI, 2012) para um bloco cerâmico de dimensões (9 x 19 x 39 cm³), uma vez que o material não traz valores para a alvenaria de solo-cimento.

Os dados referentes às argamassas estão apresentados na Tabela 21, assim como o custo final de ambas por m².

Tabela 21 – Dados referentes às argamassas

Argamassas	Rendimento	Custo por kg	Custo por m ²
Polimérica	1,5 kg/m ²	R\$ 6,67/kg	R\$ 10,00
Industrializada	14,7 kg/m ²	R\$ 0,41/kg	R\$ 6,03

Fonte: adaptado de TCPO (PINI, 2012)

4.5.1.3 Mão-de-obra

Para o cálculo da mão-de-obra, SINAPI (CEF, 2015) traz o valor de R\$ 10,38 por hora para pedreiro e R\$ 6,88 por hora para servente.

A Tabela 22 mostra, com uma produtividade variável, o consumo médio por m² para a alvenaria de vedação usada como parâmetro nos cálculos, uma vez que o material não apresenta valores para a alvenaria de estudo.

Tabela 22 – Mão-de-obra para alvenaria de solo-cimento, consumo médio por m²

Componentes	Unidade	Produtividade variável – Consumo Médio
Pedreiro	h	0,71
Servente	h	0,43

Fonte: adaptado de TCPO (PINI, 2012)

Assim, tem-se que o custo por m² para a mão-de-obra de assentamento dos blocos de solo-cimento será:

- Pedreiro:

$$10,38 * 0,71 = R\$ 7,37$$

- Servente:

$$6,88 * 0,43 = R\$ 2,96$$

4.5.1.4 Custo da Alvenaria para 1 m²

As Tabelas abaixo apresentam os custos para 1 m² da alvenaria de solo-cimento com a soma total, sendo a Tabela 23 com a argamassa polimérica e a Tabela 24 com a argamassa industrializada.

Tabela 23 – Custo dos insumos para 1 m² da alvenaria de solo-cimento com argamassa polimérica

Insumo	Custo
Bloco	R\$ 40,00
Argamassa polimérica	R\$ 10,00
Pedreiro	R\$ 7,37
Servente	R\$ 2,96
Total	R\$ 60,35

Fonte: Próprio autor

Tabela 24 – Custo dos insumos para 1 m² da alvenaria de solo-cimento com argamassa industrializada

Insumo	Custo
Bloco	R\$ 40,00
Argamassa industrializada	R\$ 6,03
Pedreiro	R\$ 7,37
Servente	R\$ 2,96
Total	R\$ 56,40

Fonte: Próprio autor

Utilizando-se argamassa polimérica para assentamento dos blocos de solo-cimento, o custo do m² de alvenaria será de R\$ 60,35. O custo ao se optar pela argamassa industrializada comum para assentamento de blocos será de R\$ 56,40.

4.5.2 Alvenaria de Concreto

A alvenaria de concreto, por sua vez, foi analisada por dois métodos, seguindo apenas os critérios do material didático TCPO, uma vez que o mesmo traz todos os parâmetros para o bloco analisado, e ainda como um prisma levando em consideração suas dimensões, assim como foi feito para o bloco de solo-cimento. Os parâmetros a serem analisados para obtenção do custo continuam sendo o bloco, a argamassa, somente a industrializada nesse caso, e a mão-de-obra.

O bloco de concreto em análise apresenta dimensões (14 x 19 x 39 cm³), assim a área de um prisma dessa alvenaria, contendo também três blocos e duas juntas de argamassa de 1 mm de espessura, será de 0,2301 m².

4.5.2.1 Blocos de Concreto

SINAPI (CEF, 2015) informa o preço unitário de R\$ 2,76 para o bloco de concreto com dimensões (14 x 19 x 39 cm³) e com $f_{bk} = 4,5$ MPa. Assim, com base nos critérios analisados para compor o custo da alvenaria de concreto, tem-se que:

- Prisma com área 0,2301 m²: Utiliza três unidades de bloco com custo total de R\$ 8,28. Assim, utilizando como parâmetro somente a área, o custo para 1 m² será de R\$ 35,98.
- Segundo TCPO (PINI, 2012): com uma produtividade variável média, o consumo de blocos de concreto estrutural será de 13,5 unidades por m². Assim, segundo o preço da unidade de R\$ 2,76 informado por SINAPI (CEF, 2015), o custo para 1 m² será de R\$ 37,26.

4.5.2.2 Argamassa de Assentamento

A argamassa analisada para compor o custo da alvenaria de concreto foi a industrializada multiuso para revestimento interno e externo e assentamento de blocos diversos. Segundo SINAPI (CEF, 2015) seu custo é R\$ 0,41 por kg.

Para compor o custo da argamassa, TCPO (PINI, 2012) informa que com uma produtividade variável média, haverá um consumo de 23,6 kg/m² para assentamento da alvenaria. Sendo assim, tem-se que para 1 m² o custo será de R\$ 9,68.

4.5.2.3 Mão-de-obra

Para o cálculo da mão-de-obra, assim como para o bloco de solo-cimento, SINAPI (CEF, 2015) traz o valor de R\$ 10,38 por hora para pedreiro e R\$ 6,88 por hora para servente.

A Tabela 25 mostra, com uma produtividade variável, o consumo médio por m² para a alvenaria de concreto.

Tabela 25 – Mão-de-obra para alvenaria de concreto, consumo médio por m²

Componentes	Unidade	Produtividade variável – Consumo Médio
Pedreiro	h	0,85
Servente	h	0,57

Fonte: adaptado de TCPO (PINI, 2012)

Assim, tem-se que o custo por m² para a mão-de-obra de assentamento dos blocos de concreto será:

- Pedreiro:

$$10,38 * 0,85 = R\$ 8,82$$

- Servente:

$$6,88 * 0,57 = R\$ 3,92$$

4.5.2.4 Custo da Alvenaria para 1 m²

As Tabelas abaixo apresentam os custos para 1 m² da alvenaria de concreto com a soma total, sendo a Tabela 26 com o custo do bloco calculado pela área do prisma e a Tabela 27 com o custo do bloco calculado segundo os critérios de TCPO (PINI, 2012).

Tabela 26 – Custo dos insumos para 1 m² da alvenaria de concreto (custo do bloco baseado no prisma)

Insumo	Custo
Bloco	R\$ 35,98
Argamassa Industrializada	R\$ 9,68
Pedreiro	R\$ 8,82
Servente	R\$ 3,92
Total	R\$ 58,40

Fonte: Próprio autor

Tabela 27 – Custo dos insumos para 1 m² da alvenaria de concreto baseado em TCPO (PINI, 2012)

Insumo	Custo
Bloco	R\$ 37,26
Argamassa Industrializada	R\$ 9,68
Pedreiro	R\$ 8,82
Servente	R\$ 3,92
Total	R\$ 59,70

Fonte: Próprio autor

Assim, o cálculo realizado tendo como parâmetro o custo do prisma, referente às unidades, apresentou um custo de R\$58,40, valor esse menor em relação ao custo feito baseado apenas no material para compor orçamentos TCPO (PINI, 2012), R\$ 59,70. Deve-se considerar o valor referente à área do prisma, uma vez que considera exatamente a quantidade de blocos existentes no conjunto e não um valor aproximado, como é o caso do outro método.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando a resistência à compressão do bloco de solo cimento, pôde-se observar que o mesmo não obteve resistência característica de bloco estrutural ($f_{bk} > 4 \text{ MPa}$), porém o mesmo obteve resultados muito acima da média dos encontrados para esse tipo de bloco e se manteve na classe C de classificação da NBR 6136 (ABNT, 2014), sendo assim considerado com ou sem função estrutural.

A classificação a qual o bloco estudado se enquadra, dentro de um contexto de comparação com blocos estruturais, mostra como o fabricante se preocupa com a qualidade dos seus blocos e o interesse que tem em elevá-los a uma categoria de material de construção confiável dentro do mercado.

Existe uma grande deficiência de estudos em torno desse tipo de alvenaria, ainda que a mesma tenha mostrado ganhar gradativamente espaço no mercado e se enquadre dentro de um contexto de alternativa sustentável que a valoriza ainda mais.

Em relação à utilização da argamassa comum ou da argamassa polimérica como junta de assentamento, estabelecer a de maior eficácia é um parâmetro importante e difícil a ser analisado.

A argamassa polimérica é prática, de fácil emprego, não há desperdícios em sua aplicação, dispensa mão de obra para seu preparo e mantém o local onde esta sendo realizado o assentamento limpo. Outra característica importante, é que a mesma não tem tempo de pega curto, por conter aditivos, assim não se faz necessária agilidade na sua utilização.

A argamassa comum, por sua vez, requer tempo de preparo e cuidados com as dosagens de seus componentes, é de mais difícil utilização, uma vez que tradicionalmente seu uso se faz com o auxílio de colher de pedreiro e seu desperdício é inevitável. Outra característica da argamassa comum é o tempo de pega curto, que reduz o prazo para assentamento com a mesma.

Analisando as características econômicas de utilização dos dois tipos analisados de argamassa, pôde-se observar, no entanto, que a argamassa polimérica é pouco ou nada viável comparada a argamassa comum industrializada. Essa última apresenta um custo estabelecido por SINAPI (CEF, 2015) de R\$ 0,41 por kg, valor significativamente menor que o apresentado pela primeira de R\$ 6,67 por kg.

Em relação aos parâmetros analisados de viabilidade econômica, não se viabilizou a utilização da alvenaria de solo-cimento em detrimento da alvenaria de concreto, uma vez que esta se mostrou com um custo menor por m^2 em relação à segunda somente de R\$ 2,00.

Assim, ao se orçar uma obra com área padrão de financiamento, 70 m², o custo para alvenaria de solo cimento seria de R\$ 3948,00 enquanto que para alvenaria de concreto seria de R\$ 4088,00, considerando que a alvenaria é somente uma das etapas que compõe o custo de execução.

Pode-se presumir, no entanto, que a alvenaria de solo-cimento é viável quando aplicada em locais de difícil acesso, onde a fabricação da alvenaria ocorrerá no mesmo local da sua aplicação, pois os materiais constituintes dos blocos são de fácil obtenção e não haverá gasto com transporte a longas distâncias.

Quanto a viabilidade técnica, a alvenaria de solo-cimento apresenta blocos encaixáveis, o que facilita e acelera o processo construtivo. O bloco possui ainda bom acabamento e aparência, sendo comumente utilizado como alvenaria aparente, outro fator de vantagem produtiva e que contribui ainda com a diminuição de custos por dispensar as fases de chapisco, emboço, reboco e demais acabamentos.

Existem especificações para determinados tipos de obra que variam o orçamento da mesma, como por exemplo, a mão-de-obra específica para trabalhar com determinado material que facilita o andamento do processo construtivo, porém o encarece. Vale ressaltar que esses fatores não foram considerados ao se calcular a viabilidade econômica das alvenarias nesse trabalho.

É importante que esse tipo de alvenaria passe a ter mais visibilidade no mercado, é necessário realizar mais estudos e ensaios com o bloco de solo-cimento a fim de se determinar seu comportamento e padroniza-lo, garantindo a esse tipo de alvenaria maior confiabilidade. Neste sentido, seguem algumas recomendações de ensaios e estudos:

- Ensaiar blocos modulares, sem furos, a fim de comparar a resistência à compressão e o modo de ruptura.
- Estabelecer uma relação de viabilidade econômica, técnica e enumerar as principais características da alvenaria de solo-cimento comparada à alvenaria de vedação comum.
- Realizar ensaios de paredes com esses blocos, procurando melhor classifica-lo dentro de um contexto estrutural.
- Realizar os ensaios com prismas utilizando como junta de argamassa cola branca PVA, o que, segundo muitos fabricantes, é comum em construções com esses blocos.

- Determinar o peso específico e o teor de umidade, a fim de se obter um número maior de informações da alvenaria e poder melhor classificá-la.
- Determinar uma relação de água/cimento (a/c) fixa para a fabricação do bloco e, através de ensaios de resistência à compressão, comparar se o estabelecimento desse fator contribui com o ganho de resistência dessa alvenaria.

REFERÊNCIAS

ABCP. Prática Recomendada **Alvenaria com Blocos de Concreto PR1 – Como escolher e controlar a qualidade dos blocos**. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **BT-117: O solo-cimento e suas aplicações rurais**. 2.ed. São Paulo, ABCP, 1996. 28p.

_____. **BT-111: Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento**. 1984. 04 p.

_____. **NBR 10832: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual**. Rio de Janeiro, 1989. 03 p.

_____. **NBR 10833: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica**. 1989. 03 p.

_____. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991. 05 p.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2002. 03 p.

_____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003. 06 p.

_____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005. 07 p.

_____. **NBR 15270-1: Componentes cerâmicos – Parte 1 - Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

_____. **NBR 15270-2: Componentes cerâmicos – Parte 2 - Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

_____. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2008. 09 p.

_____. **NBR 15812-1: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Parte 1 – Projetos**. Rio de Janeiro, 2010. 41 p.

_____. **NBR 15961-1: Alvenaria estrutural - Blocos de concreto – Parte 1 – Projeto**. Rio de Janeiro, 2011. 42 p.

_____. **NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013. 14 p.

_____. NBR 6136: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural – Especificação**. Rio de Janeiro, 2014. 09 p.

ABIKO, A. K. (1983). Solo-cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas. In: *Construção*. São Paulo n.1863. Pini – SP.

ASSIS, João Batista Santos de. **Avaliação experimental do comportamento estrutural de paredes não armadas, submetidas à compressão axial, construídas com tijolito**. Orientador: Eduardo Chahud. 2001. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

BARBOSA, N. P. Transferência e Aperfeiçoamento da tecnologia Construtiva com Tijolos Prensados de Terra Crua em Comunidades Carentes. **In: Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento da Construção Habitacional**. [S.I.] Coletânea Habitare/Inovação, 2003.

BARRETO, Adriano Siebra Paes. Dissertação de Mestrado UFPE: **Análise numérica de painéis de alvenaria estrutural utilizando técnica de homogeneização**. Recife. 2002. 132 páginas.

BORGES, Luiara Vidal dos Santos; COLOMBO, Ciliana Regina. **Construções com Terra: Alternativa voltada à sustentabilidade**, 2009. Disponível em <http://www.blogdoalon.com/ftp/ART_150709.pdf> Acesso em: 02 fev. 2015.

BUSSAB, S; CURY, F. J. Arquitetura. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo, 1990. p. 17-42.

CABALA, G. V. E. **Estudo do comportamento mecânico de estruturas de solo-cimento reforçado com fibras de coco e hastes de bambu**. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio grande do Norte. Natal – RN. Janeiro, 2007. 113p.

CAMACHO, Jefferson Sidney. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural – Notas de aulas**, Ilha Solteira SP, 2001, 52 páginas.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 893-944.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. & CASSA, J. C. S. (2001). **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. EDUFBA; Caixa Econômica Federal, Salvador.

CARVALHO, A. R. O. ; POROCA, J. S. (1995). **Como fazer e usar tijolos prensados de solo estabilizado**. Brasília. IBICT. 38p.

COÊLHO, Ronaldo Sérgio de Araújo. **Alvenaria Estrutural**. 1 ed. São Luís: UEMA, 1998. 146p.

CUNHA, E. H. **Análise experimental do comportamento de prismas grauteados em alvenaria estrutural**. Goiânia, 2001. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás.

CUNHA, U. V. L. (1978). **Terra-cimento: contribuição para o estudo da casa de baixo custo**. São Carlos. EESC-USP (Dissertação de Mestrado).

DETHIER, J. **Arquiteturas de terra, ou o futuro de uma tradição milenar**. Europa Terceiro Mundo – Estados Unidos. 10 ed. Lisboa: Litografia Tejo, 1993.

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

ELLIOT, C.D. **Technics and architecture: The development of materials and systems of buildings**. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA. 1992.

FARIA, J. R. G. (1990). **Unidade de produção de tijolos de solo estabilizado**. Dissertação de Mestrado, EESC-USP, São Carlos.

FERNANDES, Maria. **Técnicas de construção em terra**. 10ª Mesa Redonda de Primavera. TERRA: forma de construir. Universidade de Coimbra. Coimbra. 2006.

FERRAZ JUNIOR, F. de A. C. **Equipamentos Modernos para a Produção de Tijolos de Terra Prensada**. In: Workshop Arquitetura da Terra. Anais. São Paulo - SP: NUTAU-FAUUSP, 1995.

FIGUEIRÓ, W. O. **Racionalização do processo produtivo de edifícios em alvenaria estrutural**. Minas Gerais, 2009. Monografia – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia de materiais e Construção. Curso de Especialização em Construção Civil.

FIGUEROLA, V., **Alvenaria de solo-cimento**. *Téchne*, São Paulo: PINI, 2004, n.85, p.30-35, Abril;

FONSECA, Romualdo C. da et al. **Estudo da distribuição de temperatura na seção transversal de um forno tipo hoffman para queima de cerâmica vermelha**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44., 2000, São Pedro. Anais... São Pedro. 2000. p. 174001– 17411.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos**. São Carlos, 2000. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria**. São Paulo, 1983. 190 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GOMES, I.R. **Simulação numérica do ensaio de compressão de prismas de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface**. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

GRANDE, F. M., **Fabricação de tijolos Modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica**. Dissertação de Mestrado, Escola de engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP, 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A.. **Parede de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT, 1988. 53p.

IZQUIERDO, Orieta Soto. **Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto**. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

JAWOROSKI, H. C. **Estudo experimental em alvenaria estrutural: resistência à compressão e resistência de aderência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

KALIL, Sílvia. **Alvenaria Estrutural**. Porto Alegre, 2007. 86p. Apostila de estruturas mistas – PUCRS.

KAZMIERCZAK, C. S. **Desempenho de alvenarias de materiais cerâmicos à penetração de água da chuva: uma análise de fatores condicionantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

LIMA, T. V., **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da Cidade de Campos dos Goytacazes – RJ**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ, 2006.

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

MANZIONE, L. **Projeto e Execução de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2004.

MINKE, G. **Earth Construction Handbook: The Building material earth in modern Architecture**. [S.I.] WIT Press, 2000.

NASCIMENTO NETO, Joel. **Investigação das solicitações de cisalhamento em edifícios de alvenaria estrutural submetidos a ações horizontais**. São Carlos, 1999. 127p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

NERI, J. T. da C. F. et al. **Conversão de fornos cerâmicos para gás natural – a experiência do CTGÁS no Rio Grande do Norte, para uso em cerâmica branca**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

NEVES, C. M. M. **Tijolos de Solo-Cimento**. In: Dez Alternativas Ecológicas para Habitação. Anais, p.141-166. Brasília - DF: MHU/PNUD, 1989.

OLIVEIRA, M. H. **Análise da resistência de prismas de blocos de concreto com variação da espessura das juntas de argamassa em alvenaria estrutural.** (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2006.

PIRES, I. B. A. **A Utilização do Tijolo Ecológico como Solução para Construção de Habitações Populares.** Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Salvador – UNIFACS, 2004.

PISANI, M. A. J. P. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: O Tijolo de Solo-Cimento.** São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.aedificandi.com.br/aedificandi/N%C3%BAmero%201/1_artigo_tijolos_solo_cimento.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2015.

PITTA, M. R. **Estabilização com solo-cimento.** Revista Techne, São Paulo: Pini, n. 17, jul./ago. 1995.

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

RAMALHO, Marcio Antonio; CORRÊA, Márcio Roberto Silva. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** São Paulo: PINI, 2003.

RAMALHO, Marcio A.. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. São Paulo: PINI, 2003.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Alvenaria Estrutural: materiais, execução da estrutura e controle tecnológico.** Caixa econômica federal, Superintendência Nacional de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano, 2002.

SAHLIN, S. **Structural Masonry.** Englewood Cliffs – New Jersey: Prentice-Hall, 1971. 289 p.

SILVA, Cláudia Gonçalves Thaumaturgo da. **Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua.** Rio de Janeiro, 2000. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.

SILVA, M. R. **O solo-cimento.** In: BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção, Livros Técnicos e Científicos.** 5. ed. Rio de Janeiro: Editora S.A., 1994.

SILVA, Sousa. **A evolução dos edifícios em alvenaria autoportante.** São Paulo, 2004. Escola Politécnica Da Universidade de São Paulo.

SINAPI. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.** Caixa Econômica Federal, 12 fev. 2015. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2014-go/SINAPI_CustosReferencia_Insumos_GO_012015_Desonerado.PDF> Acesso em: 04 mar. 2015.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria Estrutural.** São Paulo: PINI, 2010.

TCPO. **Tabelas de Composição de preços para Orçamentos**. Engenharia Civil, Construção e Arquitetura – 14^a edição. São Paulo: Pini, 2012.

THOMAZ, E. Patologia. In: TAUIL, C. A. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo: ABCI – Associação Brasileira da Construção Industrializada, 1990. p. 97-117.

_____. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: PINI, 2001.

THOMAZ, C. A. (1979). **Paredes monolíticas de solo-cimento**: Hospital Adriano Jorge. São Paulo, Publicações ABCP.

TORGAL, F. Pacheco; JALALI, Said. Construção em Terra: o passado, o presente e o futuro. **Arte & Construção**, Portugal, n., p.51-56, set. 2009.

VARGAS, M. **Para uma filosofia da tecnologia**. São Paulo, Alfa-Ômega. 1994. p.171-28.

UNESCO. **Archaeological Zone of Paquimé**, Casas Grandes. World Heritage Convention, 1998. Disponível em: <<http://whc.unesco.org/en/list/560>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

YOSHITO, É. **Sistemas Construtivos em Alvenaria Estrutural de blocos de Concreto**. 2005.