

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA ‘‘JULIO DE MESQUITA FILHO’’  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

GUSTAVO FANTINI FERNANDES

UTILIZAÇÃO DO SOLO-CIMENTO AUTO-ADENSÁVEL NA FABRICAÇÃO DE  
BLOCOS DE ALVENARIA

Ilha Solteira  
2017

GUSTAVO FANTINI FERNANDES

UTILIZAÇÃO DO SOLO-CIMENTO AUTO-ADENSÁVEL NA FABRICAÇÃO DE  
BLOCOS DE ALVENARIA

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia  
do Campus de Ilha Solteira – UNESP, como parte  
dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em  
Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Estruturas

Prof. Dr.: JOSÉ LUIZ PINHEIRO MELGES

Orientador

Prof. Dr. MARCO ANTONIO DE MORAIS  
ALCÂNTARA

Co-orientador

Ilha Solteira  
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F363u      Fernandes, Gustavo Fantini.  
Utilização do solo-cimento auto-adensável na fabricação de blocos de alvenaria / Gustavo Fantini Fernandes. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017  
104 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia . Área de conhecimento: Estrutura, 2017

Orientador: José Luiz Pinheiro Melges  
Co-orientador: Marco Antonio de Moraes Alcântara  
Inclui bibliografia

1. Solo cimento. 2. Blocos. 3. Alvenaria.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: A UTILIZAÇÃO DO SOLO-CIMENTO AUTO-ADENSÁVEL NA  
FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE ALVENARIA

AUTOR: GUSTAVO FANTINI FERNANDES

ORIENTADOR: JOSE LUIZ PINHEIRO MELGES

COORIENTADOR: MARCO ANTONIO DE MORAIS ALCANTARA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL,  
área: ESTRUTURAS pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARCO ANTONIO DE MORAIS ALCANTARA  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ANTONIO ANDERSON S. SEGANTINI  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. JEFFERSON LINS DA SILVA  
Geotecnia / Escola de Engenharia de São Carlos - EESC - USP

Ilha Solteira, 27 de janeiro de 2017

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que possibilitou o início e o término deste trabalho, me fazendo companhia nos momentos mais difíceis. O trajeto muitas vezes pareceu solitário, silencioso, trazendo cansaço e desânimo, mas a providência de Deus esteve sempre presente.

A minha esposa pelo carinho, ajuda e compreensão nos dias de trabalho e estudo. A caminhada não foi fácil, mas seria muito mais difícil sem você ao meu lado.

A toda minha família, que sempre me forneceu segurança de continuar caminhando, força para que eu continue melhorando como pessoa e como profissional, e amor incondicional acima de qualquer barreira que possa surgir.

A todos os meus amigos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A toda família UNESP, pelo conhecimento técnico e humano adquirido. Essa escola me formou cidadão de bem comprometido com os valores morais e éticos, mostrando a preocupação com o bem estar comum.

## RESUMO

Este trabalho estuda a viabilidade de aplicação do Solo-Cimento Auto-Adensável (SCAA) para fabricação de blocos de alvenaria para três traços diferentes. Para isso realizou-se o estudo do SCAA em estado fresco, verificando sua trabalhabilidade, viscosidade, auto-adensabilidade e presença de exsudação e segregação a partir de ensaios de slump flow e ensaio do funil. Também se verificou o comportamento do material em estado endurecido, a partir de ensaios de compressão axial e diametral, absorção de água, massa específica em Corpos de Prova (CPs) cilíndricos 5 x 10 cm, além de ensaio de módulo de deformação em CPs cilíndricos 10 x 20 cm, e também ensaios de compressão em blocos e prismas formados por dois blocos. Os resultados encontrados na pesquisa mostraram que as propostas de SCAA se comportaram de forma interessante em seu estado fresco, possibilitando a fabricação de blocos através de formas de madeira, mostrando que a aplicação do SCAA para fabricação de blocos de alvenaria é possível, inclusive trás resultados de compressão de blocos que ultrapassam os 8,50 MPa aos 28 dias de cura, o que possibilita classificar a alvenaria como portante. O trabalho ainda mostra resultados de compressão de prisma que ultrapassaram 4,0 MPa, e mostram a eficiência da alvenaria que variou de 0,44 a 0,67.

**Palavras chave:** Solo cimento. Auto adensabilidade. Alvenaria. Blocos.

## ABSTRACT

This project studies the viability of the application of the self compacting cement soil (SCCS) in order to manufacture masonry blocks to three different traits. For such a thing, a project of SCCS was made in fresh condition, verifying its workability, consistency, self density and the presence of exudation and segregation starting from slump flow and filler experiments. It also has been verified that the material action in hardened condition, starting from diametral and axial compression experiments, water absorbing, specific mass in cylindrical proof corps (PCs) 5 per 10 centimeters, besides deformation modulus experiments 10 per 20 centimeters and also compression experiments in blocks and prisms made by two blocks. The results found in the research revealed that the SCCS proposals behaved in an interesting way their fresh condition allowing the blocks manufacture through wood forms, revealing that the SCCS application in order to manufacture of masonry blocks is possible, by the way it brings results that overcome 8,5 MPA on the 28 seasoning day, which allows to classify the masonry as portland. The project also reveals prism compression results that overcame 4,0 MPA, and shows the efficiency of the masonry that varied from 0,44 to 0,67.

**Key Words:** Cement soil. Self density. Masonry. Blocks.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Construções em solo pelo mundo .....	17
Figura 2 - (a) Taipa de pilão manual, (b) Taipa de pilão mecanizada .....	17
Figura 3 - (a) Construção dos blocos de adobe, (b) Alvenaria construída com adobe .....	18
Figura 4 - Variação da tensão cisalhante x taxa de cisalhamento .....	20
Figura 5 - Composição do experimento .....	23
Figura 6 - Relação entre diâmetro de espalhamento e vazão mássica em escoamento confinado .....	25
Figura 7 - (a) Dimensões do tronco de cone, (b) Dimensões do funil .....	28
Figura 8 - Relação entre resistência à flexão e a relação a/c .....	30
Figura 9 - Relação entre resistência à compressão simples e a relação a/c .....	31
Figura 10 - Relação entre resistência à compressão simples e a massa específica aparente .....	31
Figura 11 - (a) Relação entre Massa específica aparente e porosidade, (b) Relação entre resistência à compressão simples e porosidade .....	32
Figura 12 - (a) Relação vazão mássica “V-funil” por porcentagem de CCA, (b) Relação diâmetro médio de espalhamento por porcentagem de CCA .....	34
Figura 13 - (a) Relação resistência à compressão simples pelo teor de CCA, (b) Relação resistência à compressão diametral pelo teor de CCA .....	35
Figura 14 - Variação da absorção .....	40
Figura 15 - (a) Resistência axial 28 dias x relação a/c, (b) Resistência axial x relação CCA/cimento .....	40
Figura 16 - Influência da relação a/c, da adição de cinza e cal em relação à resistência à compressão axial (MPa), aos 28 dias de cura .....	41
Figura 17 - (a) Resistência diametral (MPa) aos 28 dias x relação CCA/cimento, (b) Influência da relação a/c, da adição de cinza e cal em relação à resistência axial (MPa) aos 28 dias .....	41
Figura 18 - Prisma composto por dois blocos .....	51
Figura 19 - (a) Material em betoneira antes de iniciar a mistura, (b) Resultado do ensaio de espalhamento, (c) Corpos de prova para ensaios no estado endurecido. ....	57
Figura 20 - Blocos moldados em formas de madeira e furos em PVC .....	59
Figura 21 - Dimensão dos blocos .....	60
Figura 22 - Blocos produzidos .....	60
Figura 23 - Processo de homogeneização .....	61
Figura 24 - Ensaio espalhamento .....	62
Figura 25 - Funil de Marsh .....	63
Figura 26 - Ensaio do funil .....	63
Figura 27 - Corpos de prova cilíndricos 5x10 e 10x20 .....	64



Figura 28 - (a) Compressão axial; (b) Compressão diametral; (c) Módulo de deformação .....	65
Figura 29 - (a) Secagem dos corpos de prova em estufa, (b) Pesagem do corpo de prova, (c) Corpos de prova imersos em água .....	66
Figura 30 - Coleta das medidas do corpo de prova.....	67
Figura 31 - (a) Bloco com superfície regular, (b) Face do bloco lixada, (c) Ensaio de compressão do bloco. ....	68
Figura 32 - Prismas de blocos .....	68
Figura 33 - (a) Confeção dos prismas, (b) Cura dos prismas em câmara úmida .....	69
Figura 34 - Ensaio de determinação de resistência do prisma .....	70
Figura 35 - Ensaio de espalhamento preliminar do traço 1 .....	72
Figura 36 - Espalhamento x Relação (Cimento/Solo+Areia) .....	72
Figura 37 - Vazão mássica x Relação (Cimento/Solo+Areia) .....	73
Figura 38 - Diâmetro de espalhamento x Vazão Mássica (ensaio preliminar) .....	73
Figura 39 - Resistência à compressão axial x Tempo de cura .....	74
Figura 40 - Material sendo batido em betoneira .....	75
Figura 41 - Ensaio de espalhamento: (a) Primeiro traço; (b) Segundo traço; (c) Terceiro traço.....	76
Figura 42 - Espalhamento x Relação (Cimento/Solo+Areia) .....	76
Figura 43 - Ensaio do funil .....	77
Figura 44 - Diâmetro de espalhamento x Vazão Mássica (ensaio principal) .....	77
Figura 45 - Resistência à compressão axial – Corpos de prova cilíndricos 5x10.....	78
Figura 46 - Resistência à compressão diametral – Corpos de prova cilíndricos 5x10 .....	79
Figura 47 - Gráfico Tensão x Deformação do solo cimento.....	80
Figura 48 - Ensaio de absorção.....	81
Figura 49 - Áreas para cálculo de resistência: (a) Área bruta; (b) Área líquida .....	83
Figura 50 - Resistência à compressão dos blocos – área bruta .....	83
Figura 51 - Resistência à compressão dos blocos – área líquida .....	84
Figura 52 - Estado triaxial de tensões .....	85
Figura 53 - Plano de tensões .....	86
Figura 54 - Representação e fissuras características nos blocos.....	87
Figura 55 - Concentração de tensão.....	87
Figura 56 - Fissuras verticais características dos prismas – traço 1 .....	89
Figura 57 - Fissuras horizontais características dos prismas – traço 1 .....	90
Figura 58 - Fissuras características dos prismas – traço 2 .....	91
Figura 59 - Fissuras características dos prismas – traço 3 .....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do solo	16
Tabela 2 - Resultados dos ensaios no estado fresco	24
Tabela 3 - Resultado dos ensaios no estado endurecido	26
Tabela 4 - Misturas adotadas em peso	27
Tabela 5 - Parâmetros das misturas estudadas.	28
Tabela 6 - Resultados dos ensaios em estado fresco	28
Tabela 7 - Resultados dos ensaios no estado endurecido	30
Tabela 8 - Composição adotada para o estudo	33
Tabela 9 - Parâmetros para composições adotadas no estudo	33
Tabela 10 - Resultados dos ensaios no estado fresco	34
Tabela 11 - Resultados dos ensaios no estado endurecido	35
Tabela 12 - Composições da mistura para estudo	37
Tabela 13 - Fatores de água, cimento e aditivo nas misturas	37
Tabela 14 - Resultados dos ensaios no estado fresco	38
Tabela 15 - Resultados dos ensaios no estado endurecido	39
Tabela 16 - Composição do traço de SCAA	42
Tabela 17 - Resultados dos ensaios	43
Tabela 18 - Valores de eficiência para alvenaria	47
Tabela 19 - Valores de eficiência para diferentes blocos	48
Tabela 20 - Granulometria do solo	54
Tabela 21 - Exigências químicas para cal hidratada	54
Tabela 22 - Exigências físicas para cal hidratada	55
Tabela 23 - Granulometria da areia	55
Tabela 24 - Composição da cinza da casaca de arroz	56
Tabela 25 - Composições das misturas utilizadas	57
Tabela 26 - Família de blocos de concreto estrutural	58
Tabela 27 - Espessura dos blocos em relação a classe	59
Tabela 28 - Argamassa de assentamento	70
Tabela 29 - Ensaio preliminar de espalhamento	72
Tabela 30 - Ensaio preliminar do funil	72
Tabela 31 - Resistência a compressão axial (MPa) x Tempo de cura (dias)	74
Tabela 32 - Ensaio de espalhamento	75
Tabela 33 - Ensaio do funil	77
Tabela 34 - Resistência à compressão axial – corpos de prova cilíndricos 5x10	78
Tabela 35 - Resistência à compressão diametral – corpos de prova cilíndricos 5x10	79
Tabela 36 - Módulo de deformação do solo cimento	80
Tabela 37 - Ensaio de absorção	81
Tabela 38 - Massa específica aparente	82
Tabela 39 - Resistência à compressão dos blocos – área bruta	83
Tabela 40 - Resistência à compressão dos blocos – área líquida	84
Tabela 41 - Relação entre a resistência a compressão dos blocos (área líquida) x resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos 5 x10 cm	85
Tabela 42 - Resistência de prisma e coeficiente de eficiência	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c	Relação água cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AE	Alvenaria Estrutural
CCA	Cinza de Casca de Arroz
CP	Corpo de Prova
CPs	Corpos de Prova
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
$f_{alv.}$	Resistência da alvenaria
$f_{bloco}$	Resistência do bloco
$f_{Alv,k}$	Resistência característica da alvenaria.
$f_{pp,k}$	Resistência característica de pequena parede.
$f_{p,k}$	Resistência característica de prisma.
FEIS	Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
$\eta$	Eficiência
NR	Norma Regulamentadora
$R^2$	Coefficiente de Correlação de Pearson
SCAA	Solo Cimento Auto Adensável
SCC	Solo Cimento Compactado
UNESP	Universidade Estadual Paulista

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVO.....	13
1.2.1	Objetivo geral .....	13
1.2.2	Objetivos específicos .....	13
<b>2</b>	<b>BREVE HISTÓRICO DO SOLO CIMENTO E SUAS APLICAÇÕES</b> .....	<b>14</b>
2.1	SOLO CIMENTO .....	14
2.1.1	Natureza da estabilização .....	14
2.1.2	Aplicações do solo cimento .....	15
2.1.3	Solo cimento auto adensável.....	18
2.2	INTRODUÇÃO À REOLOGIA .....	20
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
3.1	SOLO CIMENTO: UMA REVISÃO.....	22
3.1.1	Berté e Alcantara.....	22
3.1.2	Alcântara, Nunes e Rio .....	27
3.1.3	Alcantara, Custódio e Vizhalil .....	32
3.1.4	Claverie .....	36
3.1.5	Alcântara e Matsuura .....	42
3.2	BLOCOS DE SOLO CIMENTO PESQUISADOS NO MUNDO.....	44
3.3	ALVENARIA .....	46
3.3.1	Introdução à alvenaria.....	46
3.3.2	Unidades de alvenaria.....	49
3.3.3	Argamassa de assentamento.....	50
3.3.4	Prisma .....	51
3.4	COMENTÁRIO SOBRE A REVISÃO .....	52
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>53</b>
4.1	MATERIAIS .....	53
4.1.1	Cimento .....	53
4.1.2	Solo 53	
4.1.3	Cal e cal hidratada .....	54

4.1.4	Areia .....	55
4.1.5	Cinza de casca de arroz .....	55
4.1.6	Água.....	56
4.1.7	Aditivo .....	56
4.2	DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS PARA ESTUDO .....	56
4.3	GEOMETRIA DA ALVENARIA .....	58
4.4	ENSAIOS REALIZADOS .....	60
4.4.1	Ensaio do SCAA no estado fresco .....	60
4.4.2	Ensaio no estado endurecido em corpos de prova cilíndricos .....	63
4.4.3	Ensaio no estado endurecido em blocos e prismas .....	67
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>71</b>
5.1	PESQUISA PRELIMINAR .....	71
5.1.1	Estado fresco.....	71
5.1.2	Estado endurecido .....	73
5.2	PESQUISA PRINCIPAL .....	74
5.2.1	Estado fresco.....	75
5.2.2	Estado endurecido em corpos de prova cilíndricos .....	77
5.2.3	Ensaio no estado endurecido em blocos e prismas .....	82
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>93</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>96</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>101</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a construção civil, com o avanço da tecnologia, vem desenvolvendo novas técnicas de construção e utilizando-se de uma diversidade cada vez maior de materiais em suas aplicações.

Diante das necessidades da construção civil, o cenário mundial mostra que atualmente o consumo de recursos naturais é desproporcional em relação à oferta dos mesmos. Assim, se faz necessário o desenvolvimento de novas técnicas como alternativas mais sustentáveis.

Segundo Mendes (2015) a construção civil é um dos setores tecnológicos que mais consomem matérias-primas naturais, e, inevitavelmente, se alternativas não forem criadas, tais recursos se esgotarão.

Ao encontro dessa necessidade, o solo cimento se destaca por ser uma alternativa econômica e pode ser classificado como sendo um material sustentável, pois, em sua fabricação, não se utiliza nenhum tipo de queima de combustível. Segundo Foppa (2005), quando utilizado solo do local da obra, a técnica se torna sustentável e econômica.

O solo cimento possui inúmeras aplicações, várias pesquisas foram desenvolvidas para sua utilização como reforço de fundações de estruturas, construção de base e sub-base em pavimentos, paredes monolíticas armadas e não armadas, e como alvenaria.

Porém o material tem muito a ser estudado ainda, pois, segundo Berte (2012), o solo é um material muito diverso e sua correção deve ser feita de forma particular para cada tipo de solo, diferentemente de outras técnicas como o concreto ou o aço, que possuem um controle tecnológico mais avançado, uniformizando o material para seu uso.

Se tratando da aplicação do solo cimento na construção civil, podemos destacar as construções em taipa, que são paredes monolíticas construídas a partir de Solo Cimento Compactado – SCC, ou a utilização de alvenaria produzida a partir do SCC em fôrmas.

Outra opção para o uso do solo cimento é com adição de plastificantes, o que torna a mistura auto adensável, não sendo necessário o processo de compactação. Trabalhos recentes apresentam resultados acerca do comportamento do Solo Cimento Auto Adensável – SCAA, mostrando suas características no estado fresco, seu desempenho no estado endurecido, e seu grande potencial para aplicação em áreas diversas da construção.

A durabilidade do material também vem sendo estudada e está apresentando bons resultados quando expostos a ambientes comuns de uma edificação. Segundo Martins (2011) o uso do material está bastante difundido pelo mundo, principalmente no continente Africano, onde é aplicado em larga escala.

Diante deste contexto, este trabalho aborda o comportamento de blocos produzidos a partir do SCAA, estudando sua viabilidade de produção e aplicação em obras, avaliando o comportamento do material em estado fresco e endurecido.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Como cita Martins (2011), o solo cimento já é utilizado de forma estrutural na construção civil por algumas construtoras pelo mundo. A técnica da construção em solo cimento é utilizada em mais de 50 países, sendo aplicada largamente na África.

O uso adequado da técnica produz excelentes resultados estéticos e estruturais, praticando uma construção sustentável e gerando economia ao final da obra; porém, a normatização brasileira sobre o assunto é insuficiente, sendo necessária uma explanação maior sobre o tema.

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é o de estudar a viabilidade técnica de aplicação do SCAA para produção e aplicação de unidades de alvenaria, estudar suas características no estado fresco e endurecido, e buscar uma correlação entre resistência de blocos, prismas e alvenaria, procurando uma maior eficiência para o sistema.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a trabalhabilidade do SCAA em seu estado fresco, assim como observar a presença de segregação e exsudação na mistura;
- Estudar o comportamento do material quando solicitado a tensões de tração e compressão em corpos de prova cilíndricos;
- Quantificar o módulo de deformação do material;
- Estudar a absorção e massa específica do SSAA em corpos de prova cilíndricos.
- Estudar o comportamento das rupturas em blocos e prismas, avaliando suas tensões máximas, e estudar a possibilidade da utilização em alvenaria estrutural.

## **2 BREVE HISTÓRICO DO SOLO CIMENTO E SUAS APLICAÇÕES**

### **2.1 SOLO CIMENTO**

O Solo Cimento, segundo a NBR 12253 (ABNT, 2012), é definido como sendo o resultado endurecido da cura compactada da mistura entre solo, cimento e água, em proporções definidas por dosagem específica para cada caso. Nessa mistura, o cimento tem a função de estabilizar o solo, e a água a de hidratar o cimento e facilitar a compactação.

#### **2.1.1 Natureza da estabilização**

Todo material, quando utilizado para fins de construção civil, deve ser estudado para que sua implantação seja realizada da forma mais apropriada possível. Já é sabido que o solo vem sendo utilizado há muito tempo na construção civil, porém, ainda há muito a ser estudado e aprendido sobre o material. Uma das questões a serem respondidas é a definição da relação entre a resistência no estado endurecido e a composição da mistura no estado fresco.

É importante notar que o solo é um material heterogêneo, com características diferentes para cada região, por esse motivo, é necessária sua estabilização de formas particularizadas.

São três os principais métodos de estabilização de solo: a estabilização física, a química e a mecânica. Segundo Alcântara, Nunes e Rio (2014) existem diversas maneiras de estabilizar o solo, como, por exemplo, exploração de ações mecânicas e térmicas, incorporação de aditivos químicos para produção de materiais cimentantes, ou inclusões ao solo para criar o efeito de estrutura.

A razão da estabilização é conferir estabilidade dimensional ao elemento de solo cimento, o que proporciona uma redução de fissuras, devido à retração e à expansão decorrente da variação da umidade e temperatura, além de proporcionar ganho de resistência mecânica, redução da permeabilidade e aumento da durabilidade do material.

A estabilização mecânica pode ser, por exemplo, a compactação de uma porção de solo em uma prensa manual, o que vai conferir à mistura ganho em densidade, em resistência mecânica e reduções em sua permeabilidade e porosidade.

A estabilização física é a adição de porções de solo com granulometrias diferentes, melhorando as relações entre areia, silte e argila, para proporcionar ao solo melhor empacotamento dos grãos.



A estabilização química é dada pelo processo de produção de material cimentante, modificando as propriedades entre os grãos e o material, ou criando uma estrutura que confira maior coesão entre as partículas. Tal fato pode ser observado com a adição de cimento ao solo.

### **2.1.2 Aplicações do solo cimento**

Diversas são as aplicações do solo cimento na construção civil, entre elas podem ser citadas: a aplicação na pavimentação, servindo como camada resistente de pavimento, a aplicação em fundações de edificações em estado plástico e auto adensável, a aplicação para vedação em edificações, podendo ser através de estruturas monolíticas ou de paredes formadas por tijolos pré-fabricados.

#### ***a) Solo cimento para pavimentação***

Em obras de pavimentação, um dos custos considerados para elaboração de orçamento é o custo com transporte de solo utilizado como base e sub-base do pavimento, segundo Kendi (2013), quando ocorre a escassez do material pétreo na região da obra. Em alguns casos, os custos com transporte de solo podem inviabilizar a obra.

Na situação apresentada, uma das alternativas é a estabilização do solo da região próxima à obra, para gerar uma redução de custos com transporte. Essa alternativa se torna viável desde que os critérios de resistência, durabilidade e estabilidade sejam atendidos após a estabilização do solo.

O procedimento de dosagem para o emprego do solo cimento como camada de pavimento é descrito pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT (2012), visando à produção de misturas em solo cimento que apresentem resistência média a compressão maior ou igual a 2,1 MPa aos Sete dias.

A mesma norma sugere a utilização de teores de cimento variando entre 4% a 7% em massa; essa variação do teor de cimento ocorre em decorrência da não homogeneidade do solo. A falta de homogeneidade do solo é um dos grandes desafios na dosagem. Cada solo deve ser ensaiado para definir qual a dosagem mais apropriada para cada caso.

Para que a estabilização do solo com cimento seja economicamente viável, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT (2010) recomenda que o solo a ser estabilizado apresente as características mostradas na Tabela 1:

**Tabela 1** - Características do solo

Peneiras	Porcentagem	Tolerância
2½"	100 %	-
Nº 4	50 a 100 %	± 5%
Nº 40	15 a 100 %	± 2%
Nº 200	5 a 35 %	± 2%
Limite de liquidez	máximo 40%	
Índice de plasticidade	máximo 18%	

Fonte: DNIT (2010).

A utilização de solos que se enquadrem na Tabela 1 justifica-se pelo fato de que, se o solo tiver uma composição somente de finos, a quantidade de cimento necessário para gerar a estabilização seria muito grande, tornando o processo inviável. Por esse motivo, Kenti (2013) diz que, para uma estabilização com cimento, o solo deve possuir porções de areia, e, caso não possua, pode ser corrigido por meio de sua adição.

#### ***b) Solo cimento para construção civil***

As construções em solo mais antigas da humanidade segundo Santiago (2001) datam de até 5000 anos a.C., exemplos dessas construções são as antigas mastabas, que são uma forma de túmulo egípcio. Posteriormente a essa data, podem ser citadas outras construções utilizando solo, tendo-se, como exemplos, as pirâmides de Amon, em Luxor (1450 a.C.), e em Karnak (1550 a.C.), e do templo de Abu-Simbel (1330 a.C.). Essas construções, segundo Santiago (2001), foram construídas em pedra ou sobre a pedra.

Segundo Santiago (2001), na década de 80, na região sudeste da África, foi executado um grande programa de construções utilizando terra crua, tendo sido construídas 5.000 casas utilizando somente produtos locais.

Segundo Martins (2011), um terço da humanidade vive em edificações de terra, tais moradias abrangem todos os níveis sociais, podendo ser modestas casas, ou grandes palácios, a Figura 1 mostra a distribuição de construções em solo pelo mundo.

**Figura 1** - Construções em solo pelo mundo

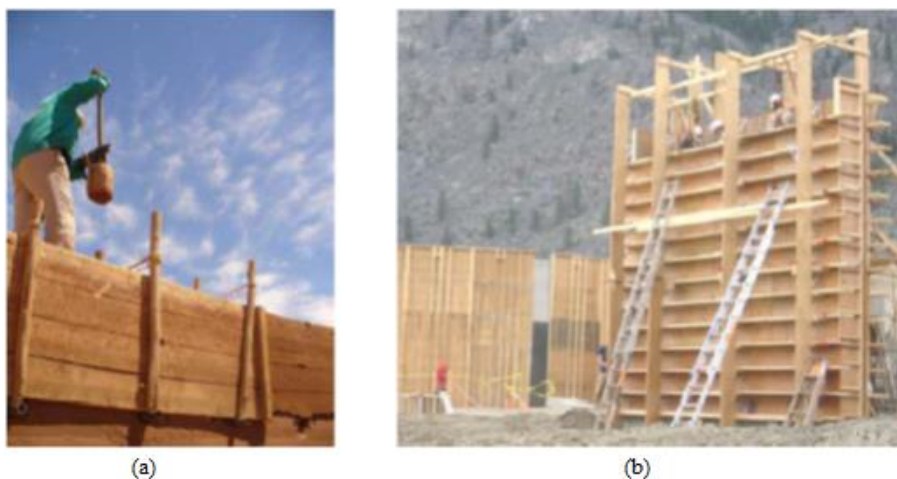


Fonte: Martins (2011).

Somente no continente africano, mais de 50 países fazem uso do solo como material de construção para edificações (MARTINS, 2011).

Várias são as técnicas utilizadas pelo mundo para a utilização do solo como material de construção, dentre as mais antigas podem-se destacar a taipa e o adobe. A técnica com taipa se baseia na construção de paredes monolíticas utilizando solo com pouca umidade, compactado de forma manual ou mecanizada, através de fôrmas, como se observa na Figura 2.

**Figura 2-** (a) Taipa de pilão manual, (b) Taipa de pilão mecanizada



Fonte: Martins (2011).

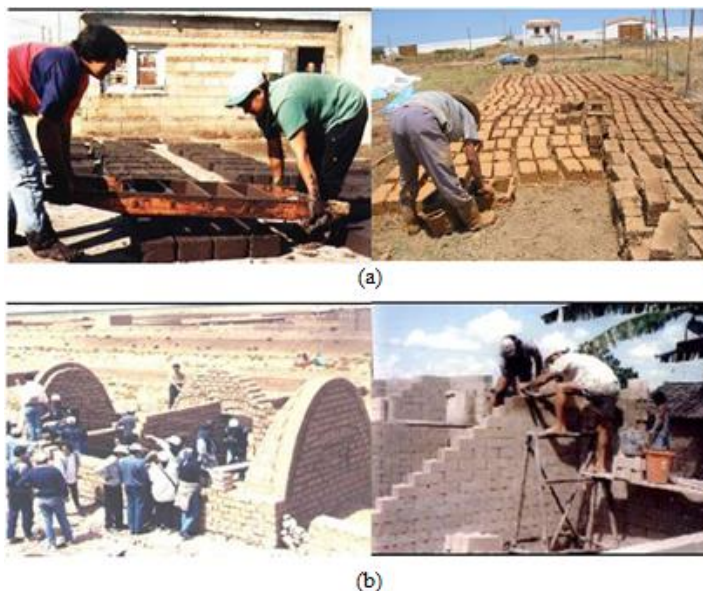
A técnica com adobe utiliza o solo mais úmido, em relação à umidade utilizada para taipa, compactado em pequenas fôrmas, geralmente de madeira, formando blocos. Esses blocos são desformados ainda com o material em estado fresco, sendo secos à temperatura ambiente.

A técnica da construção em adobe segundo Neves (2004) é uma das mais primitivas, tal técnica vem sendo melhorada empiricamente há muitos anos, para eliminar problemas de umidades em paredes ou de retração dos elementos, gerando trincas por toda a estrutura. Sua

execução é semelhante à da alvenaria convencional, utilizando argamassa vertical e horizontal para assentar os blocos, sendo as juntas verticais alternadas em cada fiada horizontal.

Para melhor entendimento, a Figura 3 mostra as fases de confecção dos blocos e da alvenaria em construção com adobe.

**Figura 3-** (a) Construção dos blocos de adobe, (b) Alvenaria construída com adobe



Fonte: Neves (2004).

Segundo Neves e Faria (2011), considerando-se as construções em terra, a técnica do adobe é uma das mais difundidas até os dias atuais para construir vedações verticais e coberturas de edificações.

A utilização da terra crua, sem estabilização, gera o problema de variação volumétrica quando o solo entra em contato com a umidade. Nessas condições, o solo retorna ao estado plástico, aumentando de volume em ambientes muito úmidos ou sofrendo retração em ambientes sem umidade, acarretando trincas por toda a edificação.

Nesse sentido, a técnica da utilização do solo como material de construção sofreram melhorias segundo Grande (2003), ao se adicionar o cimento ao solo. Nesse caso, a mistura não sofre grandes variações volumétricas com a variação da umidade, e além disso, causa uma melhora na resistência, durabilidade e impermeabilidade da mistura.

### 2.1.3 Solo cimento auto adensável

O solo cimento pode ser produzido com diferentes características, Segantini e Alcântara (2010) classificam os diferentes tipos de solo cimento da seguinte forma:

- compactado: é o mais convencional e necessita de compactação para estabilizar e atingir as características desejadas;
- vibrado: também chamado de solo cimento plástico, é semelhante ao concreto convencional e seu adensamento ocorre a partir de vibrações;
- auto adensável: requer menos energia para sua aplicação, pois seu adensamento é realizado por ação de seu próprio peso, trazendo economia em sua utilização.

O Solo Cimento Auto Adensável (SCAA) é produzido com os mesmos materiais que são utilizados na elaboração do solo cimento convencional, porém, recebe adição de plastificantes para aumentar sua fluidez, possui maior teor de cimento em relação ao solo cimento convencional, e pode receber a adição de finos que melhoram suas características em estado fresco e endurecido.

Existem vários tipos de superplastificantes no mercado, que atuam de forma diferente na mistura. Os superplastificantes podem atuar por desfloculação ou dispersão das partículas, por meio da ação eletrostática e estérica, diminuindo a coesão da mistura, ou como incorporadores de ar.

Quanto maior for a porção de superplastificante adicionado à mistura, maior será a fluidez do traço, melhorando sua trabalhabilidade, porém, seu uso em excesso pode inviabilizar a mistura, gerando segregação e exsudação, impedindo sua homogeneidade.

Outra maneira utilizada para conferir fluidez à mistura seria com a adição de água, segundo Gomes e Barros (2009) a relação a/c varia de acordo com o tipo de concreto desejado, para o concreto de alto desempenho a relação a/c gira em torno de 0,35, para concreto convencional essa relação sobe para faixa de 0,50, enquanto que para o concreto auto adensável essa relação pode chegar até 1,20.

De acordo com a lei de Abrams a resistência do concreto é função da relação a/c, e quanto maior essa relação, menor será a resistência do concreto (GOMES; BARROS, 2009).

O uso de água ou superplastificante em excesso podem gerar segregação ou exsudação na mistura, e para conter esse processo e manter a mistura homogênea, podem ser adicionados finos a mistura, que são fundamentais para fabricação do SCAA, pois são agentes formadores de pasta, que conferem coesão interna e homogeneidade à mistura, impedindo que ocorra segregação e exsudação.

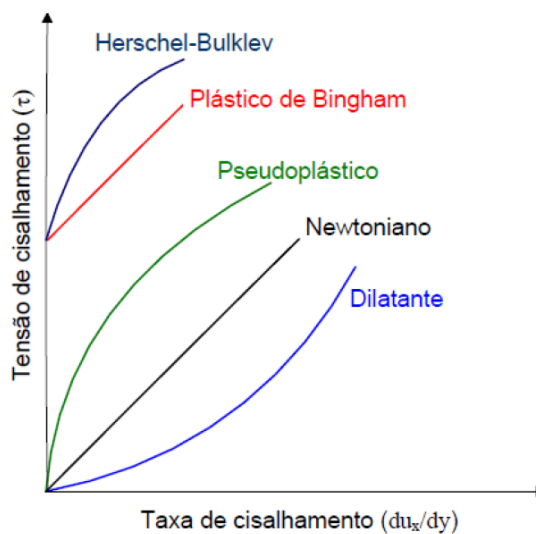
Todo traço deve ser misturado até atingir a homogeneidade, ou seja, a distribuição de todos os elementos deve ser uniforme, permitindo que a mistura ganhe propriedades isotrópicas. Isso vai garantir, no estado endurecido, um espalhamento de tensão mais uniforme, eliminando pontos de fraqueza, conferindo ao traço maior resistência.

Um dos principais requisitos de desempenho do SCAA é manter um valor crítico de tensão interna que garanta a homogeneidade da mistura, impedindo que ocorra segregação e exsudação, e, ao mesmo tempo, que ela apresente baixa viscosidade, aumentando a trabalhabilidade do material. Por fim, que apresente boas características no estado endurecido, como alta resistência mecânica e durabilidade.

## 2.2 INTRODUÇÃO À REOLOGIA

O estudo da reologia ajuda a entender o comportamento do material em estado fresco, uma vez que descreve como ocorre a deformação de um corpo sob a influência de uma tensão cisalhante. As propriedades reológicas podem ser medidas a partir da relação entre a tensão aplicada na amostra e a sua deformação correspondente. Na Figura 4, podem ser observadas cinco classificações, que mostram comportamentos diferentes para os materiais.

**Figura 4-** Variação da tensão cisalhante x taxa de cisalhamento



Fonte: Segantini e Alcântara (2010).

Segundo Segantini e Alcântara (2010), a variação de tensão cisalhante modifica a taxa de cisalhamento de formas diferentes dependendo do material estudado. Tal variação pode ocorrer inicialmente sem que o material apresente deformação (materiais Binghamiano e Hershel-Bulcley), e a partir de um determinado valor de tensão cisalhante aplicado, o material apresenta deformações maiores com o aumento da tensão cisalhante. Outras formas de variação de tensão cisalhante com deformação são a Newtoniana, Pseudo-plásticos e Dilatantes, onde os materiais apresentam valores de deformação ao sofrer a menor aplicação

de tensão cisalhante, e posteriormente, aumentam a taxa de cisalhamento, à medida que a tensão cisalhante é aumentada.

Para os materiais classificados como Binghamiano e Hershel-Bulcley, eles apresentam coesão e atrito interno, que impedem que o material se deforme até que uma determinada tensão cisalhante seja aplicada, mas quando a tensão cisalhante passa a ser maior que a coesão e o atrito interno, o material começa a se deformar, ultrapassando o valor crítico de tensão. De acordo com a pesquisa apresentada por Claverie (2015), o comportamento do SSAA é classificado com Binghamiano.

Após a mistura, as reações físico-químicas começam a ocorrer no material, gerando uma coesão estruturada que diminui a fluidez do material, aumentando sua viscosidade.

Para a aplicação da mistura, a mesma deve apresentar uma viscosidade suficiente para que fique homogênea e para que não ocorra segregação ou exsudação, mas por outro lado, deve apresentar a menor viscosidade possível, para que a mistura seja mais trabalhável, facilitando o seu manuseio.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 SOLO CIMENTO: UMA REVISÃO

Neste item, são apresentadas, de forma resumida, pesquisas que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, visando à continuidade de uma linha de pesquisa.

Serão mostradas ideias fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa, tais como:

- Otimização do material solo cimento;
- Natureza da estabilização atestando o papel do cimento como estabilizante;
- Importância das adições aditivas para incrementar as propriedades de estabilização;
- Durabilidade do material.

Neste capítulo e na análise dos resultados, utilizou-se o conceito do Coeficiente de Correlação de Pearson ( $R^2$ ), que indica se existe relação entre variáveis X e Y plotadas em um gráfico de dispersão. De acordo com Júnior (2009) independente se a relação é positiva ou negativa, quando mais ela se aproxima de um, mais forte é essa relação, e quanto mais se aproxima de zero, mais fraca essa relação se torna.

Existem algumas classificações distintas quanto ao Coeficiente de Correlação de Pearson, para a pesquisa será adotado o que diz Júnior (2009) que traz o seguinte:

- $0,9 < R^2 \leq 1,0$  – correlação muito forte;
- $0,5 < R^2 \leq 0,9$  – correlação moderada ou mediana;
- $0,3 < R^2 \leq 0,5$  – correlação fraca;
- $0,0 < R^2 \leq 0,3$  – correlação desprezível.

##### 3.1.1 Berté e Alcantara

Berté e Alcântara (2013) desenvolveram um estudo experimental sobre o SCAA em seu estado fresco e endurecido, tendo estudado suas características para diferentes misturas.

A pesquisa apresenta resultados para 27 misturas, que foram definidas de forma empírica, e, para tal, fixou-se o valor de solo em massa variando-se os teores de cimento, água e aditivos superplastificantes, para verificar a influência desses componentes na mistura.

A Figura 5 demonstra a composição de cada mistura em porcentagem.



**Figura 5-** Composição do experimento



Fonte: Berté e Alcântara (2013).

A primeira parte da pesquisa foi realizada com as misturas no estado fresco, tendo sido realizados os seguintes ensaios:

- Ensaio de espalhamento “Slump-Flow”: consiste em preencher um tronco de cone com a mistura; posteriormente esse tronco de cone foi erguido, permitindo que a mistura entrasse em regime de escoamento livre sobre uma placa metálica. A medida do diâmetro de espalhamento foi coletada para ser associada à trabalhabilidade da mistura; também foi observada a possibilidade da presença dos fenômenos de exsudação e segregação.

- Ensaio do funil: com o objetivo de analisar a fluidez das misturas em escoamento confinado, foi avaliado o tempo necessário para que uma quantidade em massa constante da mistura escoasse através de um funil. Possibilitou-se, deste modo, encontrar, para cada mistura, um valor de massa/tempo que, posteriormente, foi confrontado com o diâmetro de espalhamento.

- Ensaio de moldagem por ação da gravidade e adensamento: o ensaio consistiu no preenchimento de corpos de prova com geometrias variáveis, a partir da auto-adensabilidade. Posteriormente à cura, observou-se o aspecto dos corpos de prova e, de forma qualitativa, as misturas com melhor moldagem puderam ser identificadas a partir da auto-adensabilidade.

A segunda parte da pesquisa consistiu no estudo das misturas no estado endurecido, tendo sido realizados os seguintes ensaios:

- Resistência à compressão axial: seguiram-se as orientações das NBRs 12025 (ABNT, 2012), NBR 8491 (ABNT, 1984) e NBR 8492 (ABNT, 1984).

- Absorção de água: seguiram-se as orientações das NBRs 13555 (ABNT, 1996), da NBR 8491 (ABNT, 1984) e da NBR 8492 (ABNT, 1984).

- Densidade: após a cura dos corpos de prova utilizados para os ensaios de moldagem por ação da gravidade e adensamento, pode-se verificar a densidade de cada mistura no estado endurecido.

RESULTADOS NO ESTADO FRESCO: Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos ensaios no estado fresco e, em seguida, estão às discussões e conclusões encontradas na pesquisa de (BERTÉ; ALCÂNTARA, 2013).

**Tabela 2-** Resultados dos ensaios no estado fresco

Cimento (%)	Água (%)	Aditivo (%)	Diâmetro de Esp. (cm)	Vel. Passagem Funil (g/s)
20	36	0,4	39	516,4
		0,6	42	568,8
		0,8	41	655
	39	0,4	43	666,2
		0,6	59	348,9
		0,8	51	594
	42	0,4	50	173
		0,6	58	148
		0,8	86	1695
25	36	0,4	36	412,2
		0,6	41	554
		0,8	36	323,7
	39	0,4	46	507,2
		0,6	45	396
		0,8	63	603,2
	42	0,4	82	710,66
		0,6	80	840
		0,8	77	750
30	36	0,4	29	226,7
		0,6	40	536,1
		0,8	36	444,5
	39	0,4	45	479,6
		0,6	40	642,2
		0,8	37	692,0
	42	0,4	68	727,7
		0,6	60	680,3
		0,8	57	797

Fonte : adaptado Berté e Alcântara (2013).

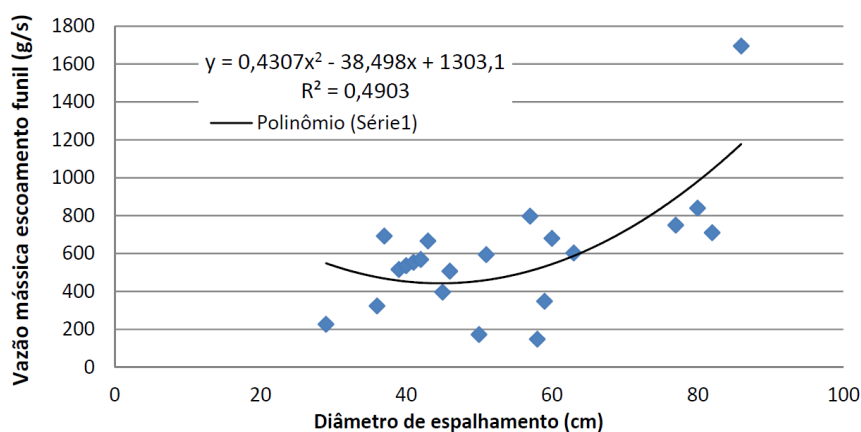
- Escoamento livre - diâmetro de espalhamento: a mistura que apresentou menor diâmetro de espalhamento, igual a 26 cm, possuía a maior porcentagem de cimento e as

menores porcentagem de água e aditivo superplastificante. Também pode ser observado na Tabela 2 que a mistura que apresentou maior diâmetro de espalhamento, igual a 86 cm, possuía a menor porcentagem de cimento e as maiores porcentagens de água e superplastificante. Observando os resultados das demais misturas, pode-se perceber que a adição de cimento provoca uma diminuição do diâmetro de espalhamento assim como a adição de água provoca um aumento desse diâmetro.

- Escoamento confinado – “V-funil”: novamente observa-se papel importante na adição do cimento, que está relacionada a uma tendência em aumentar a viscosidade da mistura, diminuindo a vazão no funil. Porém, em algumas misturas observou-se o contrário, o que pode ser explicado por um possível comportamento estérico-eletrostático. A água mostra novamente papel de fluidificante, sendo a vazão aumentada com a adição de água.

- Observa-se uma tendência de aumento de vazão com o aumento do diâmetro de espalhamento, com uma correlação de fraca a mediana, como mostra a Figura 6.

**.Figura 6-** Relação entre diâmetro de espalhamento e vazão mássica em escoamento confinado



Fonte: Berté e Alcântara (2013).

### RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO:

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos ensaios no estado endurecido, e a seguir, são apresentadas as discussões e conclusões encontrados na pesquisa de (BERTÉ; ALCÂNTARA, 2013).

**Tabela 3-** Resultado dos ensaios no estado endurecido

Cimento (%)	Água (%)	Valor médio Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Valor médio Resistência a Compressão axial (MPa)	Absorção média (%)
20	36	1,8	3,5	13,3
	39	1,7	3,0	12,7
	42	2,0	2,4	12,3
25	36	2,1	4,7	12,0
	39	2,1	3,8	9,8
	42	2,1	3,6	2,6
30	36	2,1	6,1	4,5
	39	2,1	5,7	5,7
	42	2,0	3,7	5,2

Fonte : adaptado Berté e Alcântara (2013).

- Resistência à compressão axial: percebe-se relação direta, e inversamente proporcional, da resistência com a relação a/c, ou seja, quanto maior a relação a/c, menores são as resistências encontradas para cada mistura, de acordo com a Lei de Abrams. As resistências encontradas para todos os casos são maiores que 2,0 MPa, o que atende o prescrito na NBR 8491 (ABNT, 1984). Ressalta-se que valores maiores que 6,0 MPa, para misturas específicas, indicam resultados muito promissores.

- Absorção de água: observa-se uma tendência na diminuição da absorção de água com o aumento do consumo de cimento, porém, o comportamento não é bem definido quando se variam as quantidades de água e aditivo utilizadas. As absorções encontradas para todos os casos ficaram abaixo do que prescreve a NBR 8491 (ABNT, 1984), que diz que a média da absorção entre os três corpos de prova não deve ser maior que 20%, assim atendendo o requisito de desempenho para absorção.

- Densidade: identifica-se um aumento na densidade com a inserção de cimento, mas o comportamento fica indefinido quando se varia a quantidade de água da mistura.

Berté e Alcântara (2013) ainda citam que o adensamento ocorreu de forma perfeita, com os moldes sendo todos preenchidos somente com ação da gravidade, fornecendo os valores de densidades aparentes desejados.

Diante do exposto, os autores concluem que os objetivos da pesquisa foram alcançados e que os resultados apresentados sugerem que se possam produzir componentes de alvenaria em SCAA similares aos componentes tradicionais, atendendo às prescrições normativas vigentes.

### 3.1.2 Alcântara, Nunes e Rio

Alcântara, Nunes e Rio (2014) desenvolveram um estudo do SCAA associando parâmetros de dosagem com o desempenho de diferentes misturas, em seus estados fresco e endurecido.

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram testadas misturas utilizando solo residual da região do Porto-Portugal, cimento Portland, água, e aditivo de atuação estérica e eletrostática. As proporções adotadas a partir do peso seco do solo foram as seguintes: 20, 25 e 30% para o cimento, 41, 44 e 47% para a água, 0,66, 0,80 e 0,93% para o superplastificante.

O estudo de Alcântara, Nunes e Rio (2014), a exemplo da pesquisa de Berté e Alcântara (2013), abrangeu a análise do material nos seus estados fresco e endurecido.

Na Tabela 4, são apresentadas as sete misturas propostas na pesquisa, com suas porções dadas em peso.

**Tabela 4-** Misturas adotadas em peso

	Caso do superplastificante/solo mantido fixo					Caso do superplastificante/solo variável		
	Mistura 1 Referência	Mistura 2	Mistura 3	Mistura 4	Mistura 5	Mistura 6	Mistura 7	
Solo (g)	1508,33	1508,33	1508,33	1508,33	1508,33	1508,33	1508,33	
Cimento CEM I 42.5 R-Secil-Maceira (g)	301,67	301,67	301,67	377,08	452,50	301,67	301,67	
Água	663,67	708,92	618,42	663,67	663,67	663,67	663,67	
Supeplastificante (V3008) (g)	12,07	12,07	12,07	12,07	12,07	10	14	
Água 1 (g)	530,93	567,13	494,73	530,93	530,93	567,13	494,73	
Água 2 (g)	132,73	141,78	123,68	132,73	132,73	141,78	123,68	
Relações entre os constituintes das misturas	cimento/solo	20%			25%	30%	20%	
	agua/solo	44%	47%	41%	---	---	44%	
	sup/solo	0,80%	0,80%	0,84%	0,80%	0,80%	0,66%	0,93%

Fonte: adaptado Alcântara, Nunes e Rio (2014).

Na Tabela 5 são apresentados os parâmetros estudados na pesquisa, para as sete misturas.

**Tabela 5-** Parâmetros das misturas estudadas.

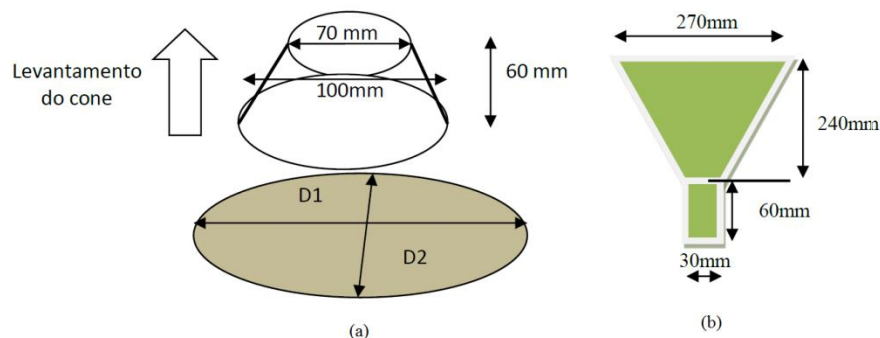
Parâmetro	Mistura						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
a/c	2,2000	2,3500	2,0500	1,7567	1,4667	2,2000	2,2000
a/(cim+solo)	0,3667	0,3917	0,3417	0,3519	0,3385	0,3667	0,3667
a/solo	0,4400	0,4700	0,4100	0,4400	0,4400	0,4400	0,4400
Sup/cim	0,0400	0,0400	0,0400	0,0319	0,0267	0,0331	0,0464
Sup/solo	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0066	0,0093
Cim/solo	0,2000	0,2000	0,2000	0,2505	0,3000	0,2000	0,2000

Legenda:  
a/c: Relação água/cimento em peso;      Sup/cim: Relação superplastificante/cimento em peso;  
a/(cim+solo): Relação água/(cimento +solo) em peso;      Sup/solo: Relação superplastificante/solo em peso;  
a/solo: Relação água/solo em peso;      Cim/solo: Relação Cimento/solo em peso.

Fonte: Alcântara, Nunes e Rio (2014).

A primeira parte da pesquisa estudou o comportamento do material no seu estado fresco: para tal, foram realizados os ensaios de espalhamento, com a utilização do mini cone, e de fluidez, através do funil. Os procedimentos adotados nos ensaios foram os mesmos descritos na pesquisa de Berté e Alcântara (2013), possuindo também os mesmos objetivos.

As dimensões dos aparatos utilizados para o experimento são mostradas na Figura 7.

**Figura 7-** (a) Dimensões do tronco de cone, (b) Dimensões do funil

Fonte: Alcântara, Nunes e Rio (2014).

**RESULTADOS NO ESTADO FRESCO:** na Tabela 6, são apresentados os resultados dos ensaios no estado fresco e, a seguir, as discussões dessa primeira parte da pesquisa.

**Tabela 6-** Resultados dos ensaios em estado fresco

Misturas	Ensaio de espalhamento "slump-flow"						
	M1-ref.	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Diâmetro de espalhamento médio (mm)	278,5	333	207	242	217	260	319
Misturas	Ensaios de avaliação do tempo de escoamento em "V-funil".						
	M1-ref.	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Tempo de escoamento V funil (g/s)	2,07	1,53	3,43	2,44	2,09	2,07	1,5

Fonte: adaptado Alcântara, Nunes e Rio (2014).

- Ensaio de espalhamento “slump flow”: Alcântara, Nunes e Rio (2014), analisando os resultados apresentados nas tabelas 4, 5 e 6, concordam com os resultados apresentados na pesquisa de Berté e Alcântara (2013), e relatam que, apesar das sensíveis variações das quantidades de água, cimento e superplastificante nas misturas, a água e o superplastificante conferiram a mistura características fluidificantes, enquanto o solo e o cimento atuam como agentes de coesão.

- Ensaio de escoamento confinado “V-funil”: os valores de tempo de escoamento e diâmetro de espalhamento apresentam-se de forma inversamente proporcionais em um contexto geral. Porém, em alguns casos, isso não ocorre, mas pode ser explicado pelo fato de que os escoamentos confinados e livres comportam-se sob diferentes regimes, e o escoamento confinado pode sofrer influência da competitividade de flocos no acesso ao funil, o que pode influenciar no resultado do ensaio.

A segunda parte da pesquisa, procura estudar as características do material no estado endurecido, apresenta ensaios de resistência à compressão simples, resistência à flexão, massa específica aparente e porosimetria, a descrição dos ensaios é apresentada a seguir:

- Ensaio de resistência à flexão: foram realizados utilizando-se CPs prismáticos de 4 x 4 x 16 cm, simulando uma viga, que sofreu carregamento concentrado no meio do vão, com velocidade de carregamento controlada;

- Ensaio de compressão simples: foram realizados com cubos de 4 cm de aresta, controlando-se a velocidade de carregamento e o deslocamento. Adotou-se como critério para o ensaio, as recomendações da NP EM 196-1;

- Ensaio de porosidade e massa específica: para determinação da porosidade e massa específica, foram utilizados CPs em forma de discos de 46 mm de diâmetro e 31 mm de espessura. O procedimento dos ensaios é detalhado em Alcântara, Nunes e Rio, (2014).

RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO: na Tabela 7 são apresentados os resultados dos ensaios no estado endurecido, e a seguir, as discussões dessa segunda parte da pesquisa.

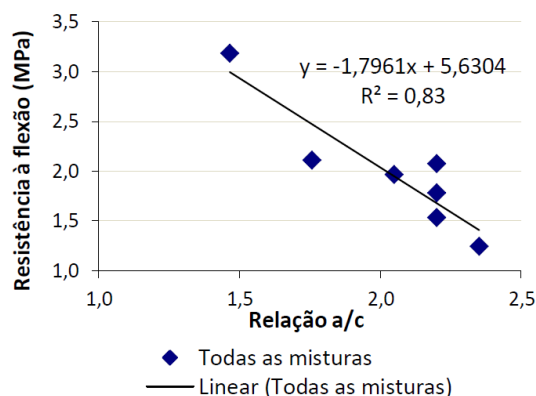
**Tabela 7-** Resultados dos ensaios no estado endurecido

Misturas	M1-ref.	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Resistência à compressão simples - Valor médio (MPa)	3,2	2,7	3,7	4,9	6,5	2,9	3,2
Ensaio a flexão - Valor médio (MPa)	2,1	1,2	2	2,1	3,2	1,5	1,8
Massa específica - Valor médio (g/cm <sup>3</sup> )	1,93	1,8	1,95	2,02	1,99	1,82	1,93
Porosidade - Valor médio (%)	47,4	48,41	41,55	41,71	43,16	44,5	45,2

Fonte: adaptado Alcântara, Nunes e Rio (2014).

- Resistência à flexão: fazendo-se uma analogia com as características do concreto, a Tabela 7 mostra excelentes resultados de resistência à flexão, quando comparado aos resultados de resistência à compressão.

Analisando a Figura 8, percebe-se a forte relação entre a resistência à flexão e a relação a/c.

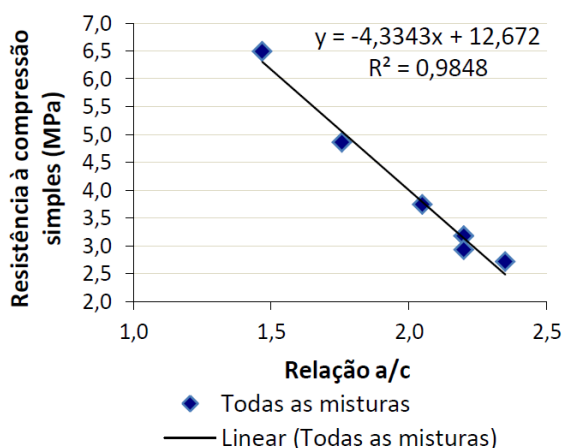
**Figura 8-** Relação entre resistência à flexão e a relação a/c

Fonte: Alcântara, Nunes e Rio (2014).

Resistência à compressão simples: analisando-se a Figura 9, percebe-se a relação inversa entre resistência à compressão simples e a relação a/c, obedecendo a uma correlação coerente com a Lei de Abrams.



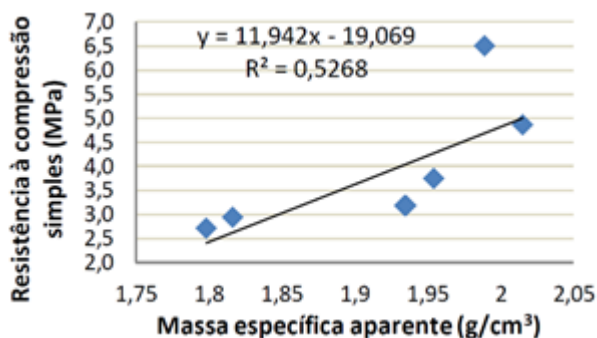
**Figura 9-** Relação entre resistência à compressão simples e a relação a/c



Fonte: Alcântara, Nunes e Rio (2014).

Massa específica aparente: observa-se, na Figura 10, uma correlação mediana entre a resistência à compressão simples e a massa específica aparente, porém percebe-se que somente um dos resultados está bastante fora da linha de tendência, caso esse valor não fosse considerado, a correlação ficaria bem melhor, se tornando uma correlação forte.

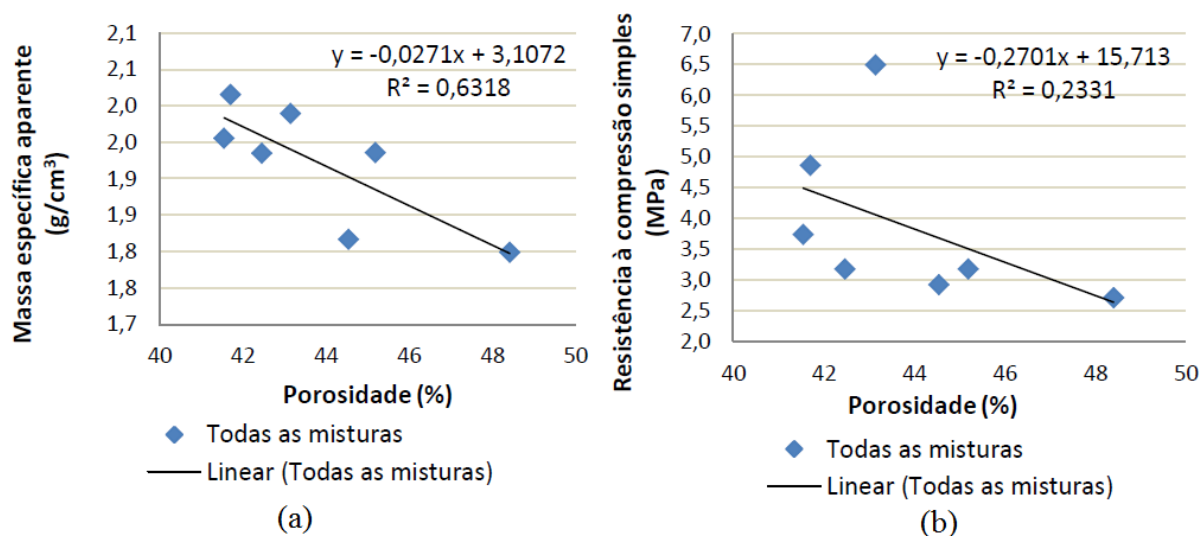
**Figura 10-** Relação entre resistência à compressão simples e a massa específica aparente



Fonte: Alcântara, Nunes e Rio (2014).

Porosidade: observando a Figura 11 (a), percebe-se uma relação mediana, e inversamente proporcional, entre a massa específica aparente com a porosidade, e uma relação praticamente desprezível entre a resistência à compressão simples com a porosidade, porém a exemplo da Figura 10, somente um valor ficou bastante fora da linha de tendência, assim se tal valor fosse desconsiderado, a relação ficaria melhor.

**Figura 11-** (a) Relação entre Massa específica aparente e porosidade, (b) Relação entre resistência à compressão simples e porosidade



Fonte: Alcântara, Nunes e Rio (2014).

Diante dos resultados apresentados, os autores concluíram que a relação a/c e a densidade são indicativos das resistências à compressão simples e à flexão, possuindo a relação a/c uma maior influência.

O ganho de resistência mecânica está mais associado ao processo de hidratação do cimento, em comparação ao processo de adensamento, já que a resistência mecânica se relacionou muito mais fortemente à relação a/c do que com a densidade.

Com relação ao estado fresco, os ensaios utilizados mostraram-se eficazes, tendo em vista que foram adotados procedimentos comuns para concretos auto adensáveis e argamassas.

Assim, o estudo atesta o papel do cimento como estabilizante do solo e mostra o grande potencial que o solo-cimento apresenta para diversas aplicações na construção civil.

### 3.1.3 Alcântara, Custódio e Vizhalil

Alcântara, Custódio e Vizhalil (2015) desenvolveram uma pesquisa sobre solo-cimento auto adensável com uso de cinzas de casca de arroz (CCA) como aditivo auxiliar, para identificar qual seria a influência da cinza na mistura, em estado fresco e endurecido.

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi proposto um traço de referência, tomando-se como base o peso do solo seco; fixado este parâmetro, adotou-se a seguintes proporção para composição do traço: 30% para o cimento, 20% para a areia, a quantidade em água em torno de 30% dos materiais secos, e o teor do superplastificante em torno de 0,4% dos materiais

secos. A partir desse traço de referência foram acrescentadas porções de cinzas em 0 %, 5,0 %, 7,5 % e 10 % em relação ao peso do cimento.

Assim como nos trabalhos de Berté e Alcântara (2013) e de Alcântara, Nunes e Rio (2014), este trabalho teve o papel de estudar o comportamento do solo cimento em estado fresco e endurecido, mas agora dando foco à influência da CCA na mistura. Para tal, realizaram-se ensaios no estado fresco, como o ensaio de espalhamento (“slump-flow”) e o ensaio de escoamento confinado “V-funil”; no estado endurecido, foram realizados os ensaios de resistência à compressão simples, de resistência à compressão diametral, e de absorção.

A metodologia dos ensaios foi semelhante ao descrito nos trabalhos de (BERTÉ; ALCÂNTARA, 2013; ALCÂNTARA; NUNES; RIO, 2014).

As composições adotadas no estudo podem ser observadas na Tabela 8 e na Tabela 9.

**Tabela 8-** Composição adotada para o estudo

Componentes	Composição conforme o teor de cinzas com relação ao cimento			
	0%	5%	7,5%	10%
Solo	7,5	7,5	7,5	7,5
Cimento	2,25	2,25	2,25	2,25
Cinzas C.C.A	0	0,125	0,169	0,225
Areia	1,46	1,46	1,46	1,46
Água	3,4	3,4	3,4	3,4
Superplastificante	0,045	0,045	0,045	0,045

Fonte: Alcântara, Custódio e Vizhalil (2015).

**Tabela 9-** Parâmetros para composições adotadas no estudo

Parâmetros de composição	Composição conforme o teor de cinzas			
	0%	5%	7,5%	10%
Água/cimento	1,51	1,51	1,51	1,51
Água/solo	0,3	0,3	0,3	0,3
Cinzas/cimento	0	0,05	0,075	0,1
Sup/materiais secos	0,0040	0,0040	0,0040	0,0039
Água/materiais secos	0,303	0,300	0,299	0,297

Fonte: Alcântara, Custódio e Vizhalil (2015).

Os resultados da pesquisa são divididos para o estado fresco e endurecido da mistura.

**RESULTADOS NO ESTADO FRESCO:** na Tabela 10 são apresentados os resultados dos ensaios no estado fresco e a seguir as discussões dessa primeira parte da pesquisa.

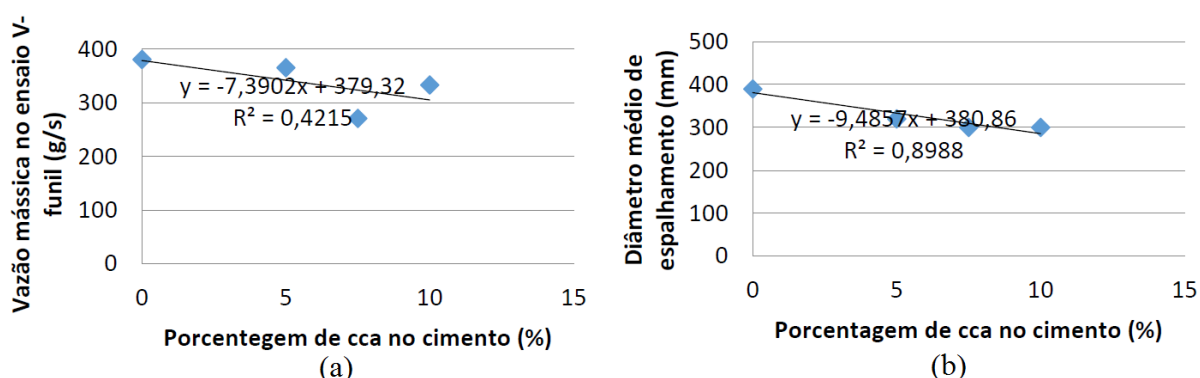
**Tabela 10-** Resultados dos ensaios no estado fresco

	Ensaio de espalhamento "slump-flow"			
Misturas	0 % (ref.)	5%	7,50%	10%
Diâmetro de espalhamento médio (mm)	390	320	300	300
	Ensaio de avaliação da vazão em "V-funil".			
Misturas	0 % (ref.)	5%	7,50%	10%
Vazão mássica "V funil" (g/s)	380,88	365,59	271,18	333,33

Fonte: adaptado Alcântara, Custódio e Vizhalil (2015).

Os valores expressos na Tabela 10, podem ser melhores compreendidos analisando-se a Figura 12:

**Figura 12-** (a) Relação vazão mássica "V-funil" por porcentagem de CCA, (b) Relação diâmetro médio de espalhamento por porcentagem de CCA.



Fonte: adaptado Alcântara, Custódio e Vizhalil (2015).

Avaliando os resultados expressos na Figura 12, percebe-se que o diâmetro de espalhamento é diretamente proporcional a vazão mássica, ou seja, quanto maior o diâmetro de espalhamento no ensaio do escoamento livre "slump flow", maior o valor observado de vazão mássica, proporcionado pelo ensaio "V-funil", que fornece as condições de escoamento confinado.

Também é observado que quanto maior a porcentagem de CCA utilizada na mistura, menores são os valores de vazão mássica e diâmetro de espalhamento, aumentando a viscosidade da mistura, porém não inviabilizando o processo de auto-adensabilidade.

A CCA se mostrou um agente formador de pasta, reduzindo a segregação e exsudação, e fornecendo maior coesão interna para mistura.

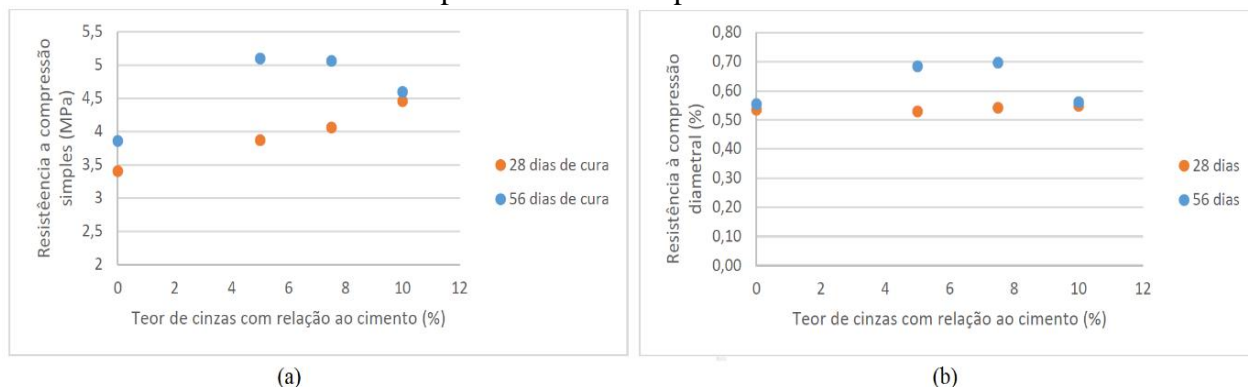
**RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO:** na Tabela 11 são apresentados os resultados dos ensaios no estado endurecido, seguido pelas discussões dos resultados.

**Tabela 11-** Resultados dos ensaios no estado endurecido

Misturas	0 % (ref.)	5%	7,50%	10%
Resistência à compressão axial (28 dias) - Valor médio (MPa)	3,41	3,87	4,06	4,46
Resistência à compressão axial (56 dias) - Valor médio (MPa)	3,86	5,1	5,06	4,6
Resistência à compressão diametral (28 dias) - Valor médio (MPa)	0,54	0,53	0,54	0,55
Resistência à compressão diametral (28 dias) - Valor médio (MPa)	0,56	0,68	0,7	0,56
Absorção - 28 dias (%)	25,17	25,27	22,76	23,64
Absorção - 56 dias (%)	23,25	23,69	22,96	23,41

Fonte: adaptado Alcântara, Custódio e Vizhalil (2015).

Para facilitar a análise dos resultados de resistências axial e diametral, é apresentada a Figura 13.

**Figura 13-** (a) Relação resistência à compressão simples pelo teor de CCA, (b) Relação resistência à compressão diametral pelo teor de CCA

Fonte: adaptado Alcântara, Custódio e Vizhalil (2015).

Como pode ser observado na Figura 13, os ensaios demonstraram que, aos 28 dias de cura, a adição de CCA oferece um ganho de resistência mecânica em relação à mistura de referência, de forma proporcional à quantidade adicionada de cinza. Acredita-se que tal ganho de resistência mecânica se deva por reações pozolânicas da cinza, que se somam à resistência fornecida pela hidratação do cimento.

Também pode ser observado que, aos 56 dias, houve um ganho de resistência para todas as amostras, em relação aos 28 dias, com destaque principalmente para as adições de 5% de CCA, que proporcionaram um ganho de resistência de mais de 30%.

Os autores relatam que as composições com 7,5 e 10% de adição de cinza podem ter gerado uma matriz com condições não favoráveis para o processo de difusão iônica, assim oferecendo um ganho de resistência menos significativo após os 28 dias. Em contrapartida,

quando essas amostras são comparadas à amostra de referência, observam-se ganhos de resistência que variam de 20 a 30% para a resistência à compressão axial.

Analisando os dados de absorção na Tabela 11, percebe-se que a adição de cinza não trouxe influência para os resultados, nota-se também, que os valores de absorção estão acima do prescrito em instrução normativa para tijolos de solo cimento, que limita a absorção em 20% para valores médios e 22% para valores individuais.

Contudo o estudo mostra que a incorporação de CCA não inviabiliza o uso do SCAA, trazendo benefícios em termos de resistência mecânica, variando de acordo com a quantidade de cinza incorporada e com o tempo de cura, incrementando as propriedades de estabilização do SCAA. O estudo ressalta que os valores encontrados para resistência estão acima de 2 MPa, resistência média exigida pela NBR 8492 (ABNT, 1984) para alvenaria de vedação, viabilizando o material para servir de matéria prima para alvenaria.

#### **3.1.4 Claverie**

Claverie (2015) desenvolveu dissertação sobre a influência da CCA e da cal no comportamento do SCAA no estado fresco e endurecido. Para tal, foram desenvolvidas 18 misturas de SCAA utilizando-se os seguintes materiais para composição: água, cimento, CCA, cal e superplastificante, sendo esses materiais variados em cada mistura.

A exemplo das pesquisas apresentadas no item 3.1, para o estudo do material em seu estado fresco, Claverie (2015) realizou ensaios de espalhamento “slump flow” e ensaios do Funil; já no estado endurecido, foram realizados ensaios de resistência à compressão e de absorção de água.

Como a relação água/materiais secos tem uma influência muito grande na característica da mistura do SCAA, Claverie (2015) manteve essa relação constante, assim como a relação de aditivo/(solo+cimento). Variou-se a composição do traço, tendo sido elaboradas 18 misturas para estudo da influência do cimento, CCA e cal nas características do SCAA.

As composições das 18 misturas podem ser observadas na Tabela 12 e Tabela 13.

**Tabela 12-** Composições da mistura para estudo

Mistura	Água/Mat. Secos*	Aditivo/Solo+Cimento	Cimento/Solo+Areia	CCA/Cimento	Cal/Cimento
1	30,0%	0,4%	26,7%	0%	0%
2				5,0%	0%
3				7,5%	0%
4				10,0%	0%
5				0%	5,0%
6				5,0%	5,0%
7			30,0%	0%	0%
8				5,0%	0%
9				7,5%	0%
10				10,0%	0%
11				0%	5,0%
12				5,0%	5,0%
13			33,3%	0%	0%
14				5,0%	0%
15				7,5%	0%
16				10,0%	0%
17				0%	5,0%
18				5,0%	5,0%

\*Solo, areia, cimento, CCA, cal

Fonte: Claverie (2015).

**Tabela 13-** Fatores de água, cimento e aditivo nas misturas

Mistura	Água (g)	Aditivo (g)	Cimento (g)	Água /Cimento	Água /Cimento médio	Aditivo/Cimento (%)
1	5700	70	4000	1,42	1,44	1,75
2	5760	70	4000	1,44		1,75
3	5790	70	4000	1,45		1,75
4	5820	70	4000	1,45		1,75
5	5760	70	4000	1,44		1,75
6	5820	70	4000	1,45		1,75
7	5850	72	4500	1,30	1,32	1,6
8	5918	72	4500	1,32		1,6
9	5951	72	4500	1,32		1,6
10	5985	72	4500	1,33		1,6
11	5918	72	4500	1,33		1,6
12	5985	72	4500	1,32		1,6
13	6000	74	5000	1,20	1,22	1,48
14	6075	74	5000	1,21		1,48
15	6112	74	5000	1,22		1,48
16	6150	74	5000	1,23		1,48
17	6075	74	5000	1,21		1,48
18	6150	74	5000	1,23		1,48

Fonte: Claverie (2015).

A metodologia dos ensaios foi semelhante à descrita nos trabalhos de Berté e Alcântara (2013) e Alcântara, Nunes e Rio (2014); os resultados foram divididos para os estados fresco e endurecido da mistura.

**RESULTADOS NO ESTADO FRESCO:** A seguir, são apresentados os resultados dos ensaios e suas respectivas discussões.

Na Tabela 14, são apresentados os resultados dos ensaios de escoamento livre e confinado.

**Tabela 14-** Resultados dos ensaios no estado fresco

Ensaio de escoamento livre "slump flow"									
Mistura	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Diâmetro médio (cm)	34,5	37	37,5	35,5	43	53,5	40	34	59,5
Desvio padrão	0,5	1	1,5	0,5	3	0	4	0	2,5
Mistura	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Diâmetro médio (cm)	47	40	40,5	40	41	39,5	30,5	40,5	38
Desvio padrão	1	0	0,5	0	1	0	0,5	0,5	1
Ensaio de escoamento confinado "V funil"									
Mistura	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vazão mássica (g/s)	474	355	424	388	537	426	488	402	465
Mistura	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vazão mássica (g/s)	491	439	432	557	429	375	325	483	449

Fonte: adaptado Claverie (2015).

Claverie (2015) observa grande influência do cimento como agente estabilizante, uma vez que as misturas entre 13 a 18, que possuíram menor relação a/c, apresentaram os menores desvios padrões de diâmetros no ensaio de espalhamento.

Assim como nas pesquisas apresentadas no anteriormente, Claverie (2015) relaciona diretamente o diâmetro de espalhamento com a vazão mássica encontrada com o ensaio "V funil", conforme pode ser observado na Tabela 14.

**RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO:** na Tabela 15, são apresentados os resultados dos ensaios no estado endurecido e suas respectivas discussões.

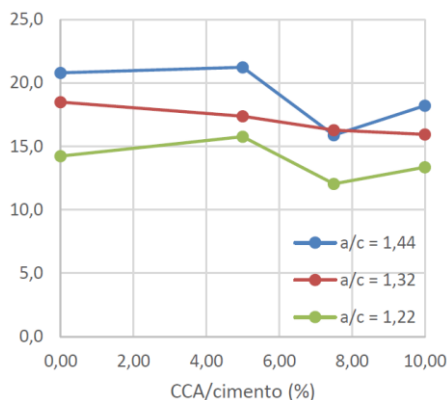


**Tabela 15-** Resultados dos ensaios no estado endurecido

Mistura	Massa específica aparente aos 28 dias (g/cm <sup>3</sup> )	Absorção 28 dias (%)	Resistência à compressão axial 28 dias (MPa)	Resistência à compressão diametral 28 dias (MPa)
1	1,81	20,8	4,42	0,84
2	1,81	21,25	5,17	0,91
3	1,82	15,9	5,62	1,02
4	1,83	18,21	6,68	1,19
5	1,84	21,86	5,37	0,87
6	1,84	19,47	5,62	0,97
7	1,84	18,49	7,01	1,12
8	1,84	17,39	7,63	1,13
9	1,85	16,29	7,69	1,29
10	1,84	15,95	7,77	1,18
11	1,87	16,72	8,58	1,17
12	1,87	14,24	8,69	1,36
13	1,83	14,25	7,99	1,02
14	1,83	15,76	9,51	1,39
15	1,82	16,69	11,28	1,49
16	1,85	18,52	11,45	1,48
17	1,82	21,59	9,26	1,33
18	1,83	20,13	10,35	1,42

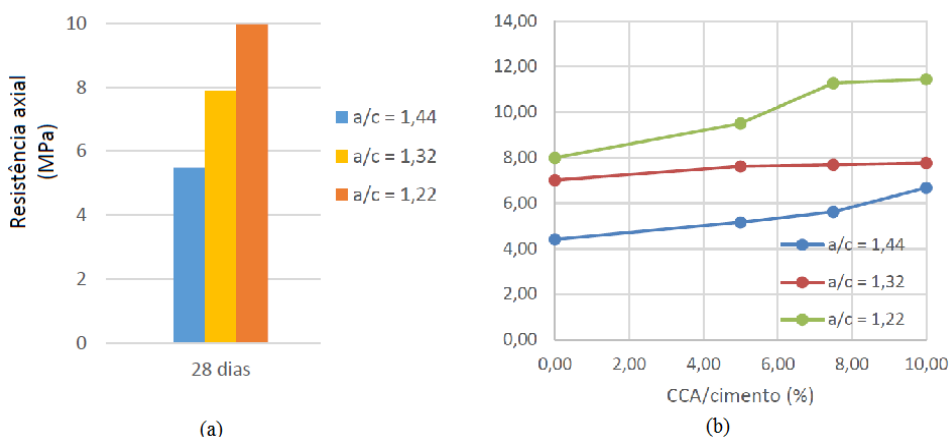
Fonte: adaptado Claverie (2015).

- **Absorção:** a absorção se mostra menor para as misturas com menor relação a/c, como pode ser observado na Tabela 15, o que já é esperado, pois um alto valor da relação a/c aumenta a porosidade, facilitando a absorção. Também é possível notar com a Tabela 15, a importância do cimento como agente estabilizante, reduzindo a variação dos resultados nas misturas com maiores adições de cimento. Observando a Figura 14, percebe-se que, em geral, houve uma diminuição da absorção com a adição de CCA, principalmente a partir de 5%. Percebe-se também o comportamento não-linear dos resultados, o que sugere que, entre a relação a/c e a adição de CCA, não existe um material que predomina sobre o comportamento da mistura. Sendo assim, ora o concreto atua como agente preponderante, ora as reações pozolônicas exercem maior influência, dependendo das condições oferecidas para que ocorram as reações.

**Figura 14-** Variação da absorção

Fonte: Claverie (2015).

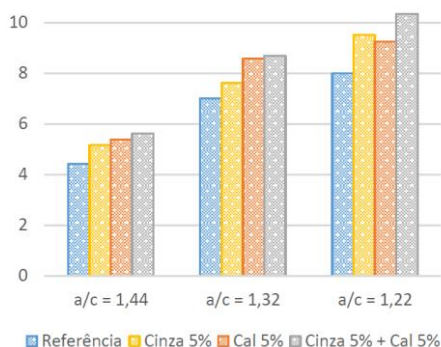
- **Resistência à compressão axial:** nota-se, na Figura 15 (a), a grande influência da relação a/c na resistência axial, apresentando um ganho de resistência com a redução da relação a/c. Percebe-se também que a inserção de CCA proporcionou à mistura um ganho bastante considerável de resistência à compressão axial, principalmente para a adição de 10% de cinza com a relação a/c de 1,22 (mistura 16 apresentada na Tabela 13), que, em relação à mistura de referência, apresentou um ganho de mais de 43%.

**Figura 15-** (a) Resistência axial 28 dias x relação a/c, (b) Resistência axial x relação CCA/cimento

Fonte: adaptado Claverie (2015).

Observando-se a Figura 16, pode-se perceber que a adição de cinza e cal, separadamente ou em conjunto, confere à mistura um ganho de resistência à compressão axial, se comparada à mistura de referência.

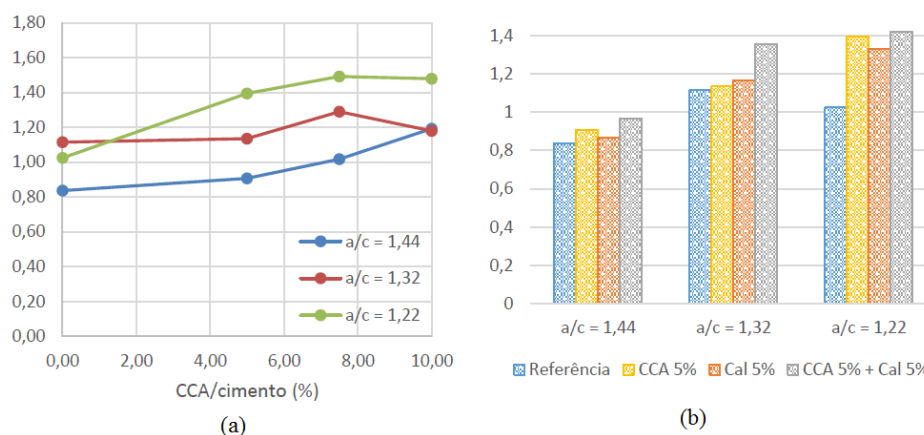
**Figura 16-** Influência da relação  $a/c$ , da adição de cinza e cal em relação à resistência à compressão axial (MPa), aos 28 dias de cura



Fonte: adaptado Claverie (2015).

- Resistência à tração por compressão diametral: a exemplo da influência na resistência axial, a adição de CCA, conferiu à mistura uma melhora na resistência à tração por compressão diametral, como pode ser observado na Figura 17 (a), o fator  $a/c$  novamente se mostra importante, de forma geral, conferindo um ganho de resistência com a diminuição do fator  $a/c$ . Os resultados apresentados na Figura 17 e na Tabela 13 mostram que a adição de cal oferece, à mistura, um ganho de resistência bastante considerável se comparada à mistura de referência. Quando a adição de cinza também é feita, observam-se melhoras ainda maiores com relação às características mecânicas do material.

**Figura 17-** (a) Resistência diametral (MPa) aos 28 dias x relação CCA/cimento, (b) Influência da relação  $a/c$ , da adição de cinza e cal em relação à resistência axial (MPa) aos 28 dias



Fonte: adaptado Claverie (2015).

Diante do discorrido, Claverie (2015) conclui que a trabalhabilidade é influenciada principalmente pela relação  $a/c$ , observando que são parâmetros inversamente proporcionais.

A adição de cimento confere homogeneidade à mistura, possuindo também um papel importante como estabilizante.

A adição de CCA e cal não apresentaram influências significativas na trabalhabilidade, permitindo assim o seu uso para o SCAA, suas adições conferiram melhoras na resistência mecânica do material, porém não influenciando na absorção. Assim, a CCA mostrou que possui boas características pozolânicas, e, quando combinada com a adição de cal, apresentou os melhores resultados da pesquisa.

### 3.1.5 Alcântara e Matsuura

Alcântara e Matsuura (2015) desenvolveram um trabalho sobre o SCAA visando avaliar a sua durabilidade. Para isso, foram analisadas as características do SCAA em seu estado endurecido para cinco situações diferentes de exposição, além de um traço de referência, que foi ensaiado após 28 dias de cura em câmara úmida. As diferentes formas de exposição para os corpos de prova (CPs) elaborados foram:

- selados em câmara úmida;
- imersos em água;
- expostos totalmente ao ar livre;
- expostos protegidos a sombra;
- semi-imersos em lugar protegido.

Todos os CPs passaram pelo processo de cura em câmara úmida até os 28 dias, e, após esse processo, foram expostos por um período de 180 dias em diferentes situações.

O mesmo traço foi utilizado para confecção de todos os CPs, cuja composição é apresentada na Tabela 16.

**Tabela 16-** Composição do traço de SCAA

Componentes	Massa (kg)
Solo	10,0
Cimento	3,0
Areia	1,95
Água	4,04
Superplastificante	0,06

Fonte: Alcântara e Matsuura (2015).

Os ensaios realizados no estado endurecido foram: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e absorção de água.

A Tabela 17 mostra os resultados encontrados nos ensaios mencionados. Destaca-se que os CPs de referência passaram somente pelo processo de cura de 28 dias em câmara úmida, enquanto que os outros CPs após processo de cura de 28 dias passaram por exposição em diferentes situações.

**Tabela 17-** Resultados dos ensaios

	Referência	Exposição de 180 dias				
		28 dias de cura	Selados em câmara úmida	Imersos em água	Semi-imersos em lugar protegido	Expostos protegidos à sombra
Resistência média à compressão axial (MPa)	5,07	6,47	4,48	7,3	5,1	4,37
Resistência média à compressão diametral (MPa)	0,67	0,45	0,88	0,67	0,74	0,54
Absorção d'água média (%)	20,61	18,5	5,63	20,01	18,41	18,59

Fonte: Alcântara e Matsuura (2015).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 17, pode-se dizer que o processo de cimentação interna ocorreu de forma satisfatória, proporcionando a estabilização do solo para o período de 28 dias.

Observa-se que as condições de exposição influenciaram as propriedades mecânicas dos CPs. Os CPs que ficaram “selados em câmara úmida” e os que ficaram “semi-imersos” apresentaram um ganho de resistência mecânica, os CPs “expostos protegidos à sombra” mantiveram os valores de resistência, e os CPs “imersos” e “expostos totalmente” sofreram um decréscimo de resistência.

Os autores relatam que possivelmente os CPs que ganharam resistência estavam em condições que favoreceram a hidratação do cimento que ainda não havia sido hidratado até os 28 dias, somando-se ainda, o efeito de reações pozolânicas que podem ter ocorrido entre os argilominerais do solo e a cal liberada na hidratação do cimento.

Com relação aos CPs “expostos totalmente ao ar livre”, que perderam resistência mecânica, os autores relatam que supostamente o material sofreu com variações climáticas, com ciclos de dilatação e contração, gerando microfissuração interna, o que pode ter acarretado a queda na resistência mecânica.

Em se tratando dos CPs “imersos em água”, dúvidas foram geradas acerca dos resultados, já que o cimento é um aglomerante hidráulico e a imersão deveria melhorar as condições do

material. Uma suspeita é que os CPs estavam úmidos quando ensaiados, o que pode ter gerado uma queda na resistência mecânica do material.

Os ensaios de absorção d' água se mostraram satisfatórios e dentro do limite aceitável pela normatização vigente para tijolos em solo-cimento. As diferentes exposições não influenciaram na absorção, com exceção dos CPs que ficaram imersos, que apresentaram absorção bastante inferior aos demais, o que aumenta a suspeita de que não estavam totalmente secos para os ensaios.

Considerando os valores apresentados na Tabela 17, pode-se perceber que, para todos os casos, a resistência à compressão axial se manteve acima do mínimo de 2,0 MPa, que é o exigido pela NBR 8492 (ABNT, 2012) para utilização como alvenaria de vedação.

Também pode ser observado que a perda de resistência mecânica comparada com a mistura de referência não chegou a 15%, o que os autores relatam ser uma porcentagem pequena de perda.

Observou-se, portanto, que o SCAA teve o seu desempenho melhorado nas situações de exposição com umidade elevada, e apresentou desempenho satisfatório diante de situações adversas, mostrando que pode suportar situações rotineiras de uma edificação, servindo como matéria prima para alvenaria.

### 3.2 BLOCOS DE SOLO CIMENTO PESQUISADOS NO MUNDO

As preocupações quanto ao estudo de blocos de solo cimento se mostram bastante ricas quando observamos o cenário mundial atual, isso mostra o quanto o material ainda precisa ser estudado.

O estudo da granulometria como afirma Reddy e Gupta (2007), é de fundamental importância para o bom desempenho do traço tanto no estado fresco quanto em seu estado endurecido, Reddy e Gupta (2007) afirmam que quanto menor a granulometria do solo utilizado para fabricação de blocos de solo cimento, maior o consumo de cimento para realizar a estabilização do solo.

Portanto para reduzir o custo da estabilização, deve ser realizada a correção do solo, que pode ser feita adicionando solo com granulometria maior que a granulometria do solo que se deseja estabilizar, ou mesmo com adição de areia.

Isso mostra que para se obter sucesso na utilização do solo cimento, o solo deve ser classificado e, de acordo com sua classificação, deve ser corrigido observando suas características específicas.

Ainda mostrando a importância da estabilização com a granulometria da mistura, Reddy, Lal e Rao (2007), relatam sobre a influência da incorporação de argila para fabricação de blocos em solo cimento, e afirmam que as características dos blocos melhoram com o aumento da incorporação de argila, até um pico, e a partir desse limite a incorporação de argila começa a diminuir a qualidade dos blocos. O estudo trata de resistência à compressão, cisalhamento, absorção e perda de peso após ensaio regulamentado pela ASTM, e mostra a importância da composição do traço.

Portanto percebe-se que para elaboração de um traço ideal, deve-se ter a preocupação de utilizar granulometria maior para reduzir o consumo de cimento, entretanto, a utilização de argila fornece ao traço boas qualidades para o bloco, mostrando que o equilíbrio entre parcelas mais finas e granulometrias maiores é fundamental para elaboração de um traço a ser utilizado para fabricação de blocos de solo cimento.

Grande parcela dos trabalhos que estudam os blocos de solo cimento trata da relação das características do bloco (como resistência mecânica e absorção) com a composição do traço, deixando claro a importância da granulometria para uma boa qualidade dos blocos.

Observa-se também, muitos trabalhos acerca da influência da argamassa na alvenaria, e mais recentemente trabalhos estão sendo publicados mostrando resultados de alvenaria em solo cimento sendo submetidas à flexão, Tennant, Foster e Reddy (2013) mostram que a alvenaria de solo cimento submetidas a esforços axiais ou axiais e laterais combinados, possuem comportamento similar da alvenaria tradicional, mas possuem algumas particularidades que devem ainda ser estudadas.

Outra preocupação em relação ao uso do material é com relação aos esforços cisalhantes, Reddy, Lal e Rao (2007) verificaram que a resistência da alvenaria de solo cimento ao cisalhamento pode ser modificada sem alterar o traço do bloco ou da argamassa de assentamento, sendo realizando apenas uma manipulação nas características da superfície de assentamento. Quando o assente é realizado em superfícies mais ásperas a resistência ao cisalhamento é maior, do que quando comparado à resistência ao cisalhamento com o assente realizado em superfícies mais lisas (REDDY; LAL; RAO, 2007).

Reddy, Lal e Rao (2007) ainda afirmam que não existe uma variação significativa da resistência ao cisalhamento quando as unidades de blocos possuem resistência muito superior à resistência da argamassa de assentamento, percebe-se uma variação bastante grande na resistência ao cisalhamento quando modificada a argamassa de assentamento, ou a superfície de assente do bloco.

Tão importante quanto o estudo do material em seu estado fresco e endurecido, é conhecer suas características ao longo prazo, verificando sua durabilidade quando exposto a condições não favoráveis. Shihata e Baghdadi (2001) estudam sobre a exposição do solo cimento em ambientes desfavoráveis e relatam que a perda das características mecânicas são variáveis de acordo com o tipo do solo utilizado e o tipo de exposição, mas que independente do tipo do solo e da exposição a que é submetida à amostra, a resistência à compressão residual tende a admitir o mesmo valor após longo tempo de exposição.

Pode-se perceber que a linha de pesquisa sobre blocos de solo cimento é muito vasta, sua aplicação pode ser vista em vários países e em obras de padrões variados, mostrando sua importância para a construção civil mundial, sendo uma alternativa construtiva, mas que ainda merece atenção especial dos pesquisadores atuais e futuros, pois o material, assim como diferentes técnicas utilizando o material, ainda merece ser mais estudadas e desenvolvidas.

### 3.3 ALVENARIA

Diante do contexto apresentado até aqui, percebe-se que entre outras aplicações para o SCAA, uma delas é sua utilização para a construção de componentes para a alvenaria, tendo em vista as características fundamentais de boa resistência mecânica e durabilidade.

#### 3.3.1 Introdução à alvenaria

Tauil e Nese (2010) definem a alvenaria como sendo o conjunto de peças justapostas coladas em sua interface, por argamassa formando elemento vertical coeso, tendo como principais finalidades: vedar espaços, resistir esforços, promover segurança, resistir a impactos, promover isolamento acústico, térmico e ao fogo, além de proteger o interior da edificação de vento e chuva.

Duas definições acerca da alvenaria são citadas pela ABNT 15961-1, que serão importantes para o entendimento do trabalho:

- a) **Elemento**: “parte da estrutura suficientemente elaborada, constituída da reunião de dois ou mais componentes”, como, por exemplo, paredes, pilares, cintas e verga;
- b) **Componentes**: “menor parte constituinte dos elementos da estrutura. Os principais são: bloco, junta de argamassa, graute e armadura.”



Sabe-se que o componente causa influência nas características do elemento assim como o elemento modifica as características da alvenaria.

Um parâmetro comumente utilizado é a relação entre a resistência do bloco e a da alvenaria, chamada eficiência, que pode ser encontrada pela seguinte relação:

$$\eta = \frac{f_{alv.}}{f_{bloco}}$$

Onde:  $\eta$ : eficiência

$f_{alv.}$ = resistência da alvenaria

$f_{bloco}$ = resistência do bloco

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), a eficiência pode variar bastante, mudando de acordo com a forma, material e resistência dos blocos. Os autores ainda afirmam que quanto maior for a resistência do bloco menor será a eficiência da alvenaria.

Considerando blocos em concreto ou cerâmico, com resistência entre 4,5 e 20 MPa, não grauteados e com argamassas usuais, Ramalho e Corrêa (2003) apresentam valores para a eficiência que são mostrados na Tabela 18.

**Tabela 18-** Valores de eficiência para alvenaria

Bloco	Valor mínimo	Valor máximo
Concreto	0,4	0,6
Cerâmico	0,2	0,5

Fonte: Ramalho e Corrêa (2003).

Vilató e Franco (2000) mostram exemplos de eficiência para vários ensaios realizados de acordo com as características apontadas por Ramalho e Corrêa (2003), cujos resultados são apresentados na Tabela 19.

**Tabela 19-** Valores de eficiência para diferentes blocos

Tipo de bloco	Dimensões (mm) (comprimento x largura x altura)	Resistência à compressão do bloco (MPa)	Coefficiente de eficiência (%)
Cerâmico	390 x 190 x 190	7,6	36
		9,6	32
		15,3	16
	240 x 115 x 113	10,6	36
	290 x 140 x 140	22,5	12
Concreto	390 x 140 x 190	7,9	64
		10,6	60
		13,3	62
	295 x 145 x 190	8,4	53
		10,8	46
		11,1	50
		14,9	38

Fonte: Vilató e Franco (2000).

Algumas das possibilidades da utilização da alvenaria são:

**a) Alvenaria de vedação:** possui somente a função de vedar ambientes;

**b) Alvenaria estrutural:** além de vedar ambientes, possui também a função de resistir aos esforços solicitantes da edificação, sendo a própria estrutura da edificação, eliminando a necessidade de pilares e de vigas;

**c) Alvenaria não armada:** possui reforços em aço somente por razões construtivas, como, por exemplo, para execução de vergas, contravergas, janelas ou quaisquer outras aberturas que necessitem de reforço;

**d) Alvenaria armada ou parcialmente armada:** recebe reforço de aço em algumas regiões que possuem a função de resistir aos esforços de tração existentes na alvenaria. Em geral, a armadura e os blocos são ligados por microconcreto denominado graute, que também pode estar presente no preenchimento de possíveis furos verticais dos blocos visando reforçar a alvenaria.

As propriedades da alvenaria são influenciadas pelos componentes correspondentes à argamassa, à armadura, ao graute, mas a maior influência recai sobre os blocos utilizados, uma vez que a maior parte do volume da alvenaria é composta por eles.

### 3.3.2 Unidades de alvenaria

Como cita Souza (2008), várias são as alternativas para a utilização da alvenaria no cenário nacional em função dos diversos materiais disponíveis, com características variáveis, Souza (2008) cita como exemplo os blocos de concreto, cerâmico, sílico-calcário, de concreto celular, o tijolo cerâmico, o bloco e o tijolo de solo cimento, o bloco de gesso e o bloco de vidro.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), para edificações em alvenaria estrutural, as unidades em concreto são as mais utilizadas, seguidas pelas unidades em cerâmica e, por último, as unidades em sílico-calcário.

Em se tratando do formato, a unidade pode ser considerada como sendo um tijolo, quando a unidade possuir índice de vazios máximo de 25% da área total, ou como sendo um bloco, quando a unidade possuir índice de vazios acima de 25% da área total.

Tratando-se da resistência da unidade, pode-se trabalhar com tensão em relação à área bruta, onde não se descontam os vazios da unidade, ou com tensão em relação à área líquida, onde são descontados os vazios da unidade.

A NBR 6136 (ABNT, 2007) limita valores mínimos de resistência à compressão, em relação à área bruta, para blocos estruturais de concreto, em 6,0 MPa, para blocos em paredes externas sem revestimento, e 4,5 MPa para blocos em paredes internas ou externas com revestimento, a mesma NBR limita a absorção de água em 10%.

Os requisitos dos blocos cerâmicos são indicados pela NBR 15270 (ABNT, 2005), que exigem resistência mínima de 4,0 MPa e absorção máxima de 22%.

De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012), os tijolos de solo cimento sem função estrutural exigem os seguintes requisitos de desempenho: resistências à compressão média e individual mínimas de, respectivamente, 2,0 MPa e 1,7 MPa aos sete dias de cura, e teores de absorção de água média e individual máximas de, respectivamente, 20 % e 22 % aos sete dias de cura.

A resistência característica à compressão simples da alvenaria, segundo NBR 15961-1 (ABNT, 2011), pode ser definida a partir de ensaios de parede, ou estimada a partir da resistência característica de compressão simples de prismas ou de pequenas paredes, como segue:

$$f_{Alv,k} \leq \left\{ \begin{array}{ll} f_{par,k} & \text{(ensaio de parede)} \\ 0,85 \cdot f_{pp,k} & \text{(ensaio de pequena parede)} \\ 0,7 \cdot f_{p,k} & \text{(ensaio de prisma)} \end{array} \right.$$

Onde:  $f_{par,k} = f_{Alv,k}$  = resistência característica da alvenaria.

$f_{pp,k}$  = resistência característica de pequena parede.

$f_{p,k}$  = resistência característica de prisma.

### 3.3.3 Argamassa de assentamento

A definição da argamassa a ser utilizada para a alvenaria vai depender do bloco, mas como cita Juste (2001), a resistência da alvenaria não é muito afetada pela variação da resistência da argamassa de assentamento, pois a mesma se encontra em um estado uniaxial de tensões, diferentemente do estado triaxial a que fica submetida à alvenaria. Portanto, um grande acréscimo na resistência da argamassa resultaria em um pequeno acréscimo de resistência da alvenaria.

Mas, para que a argamassa se situe dentro de um estado uniaxial de tensões, ela deve estar dentro de limites muito estreitos em relação à espessura (RAMALHO; CORRÊA, 2003), a junta deve ser grande o suficiente para impedir que os blocos se toquem, evitando uma concentração de tensão, que fatalmente reduziria a resistência do conjunto, mas não deve ser muito espessa, pois, com o aumento da espessura, a argamassa sairia do estado uniaxial de tensão, o que também provocaria uma redução na resistência da parede, como mostra o trabalho de Camacho (1995). A NBR 15961-2 (ANBT, 2011) recomenda a utilização de argamassa de assentamento com espessura de 10 ( $\pm$  3) mm.

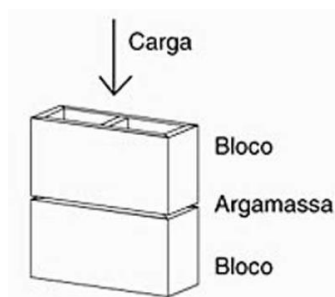
Gomes (1983), citato por Juste (2001), conclui que, para alvenarias submetidas à compressão simples, a resistência da argamassa não deve ser superior à resistência dos blocos. Gomes (1983), citado por Ramalho e Corrêa (2003), afirma que a argamassa de assentamento deve ter valor de resistência entre 70 e 100% da resistência do bloco.

A função principal da argamassa é a de garantir durabilidade e impermeabilidade da parede, possuindo boa plasticidade para que permita uma perfeita distribuição de esforços entre os blocos.

### 3.3.4 Prisma

O prisma é um elemento estrutural formado por dois ou mais blocos, unidos por junta de argamassa, destinados ao ensaio de compressão axial, como pode ser observado na Figura 18.

**Figura 18-** Prisma composto por dois blocos



Fonte: Ramalho e Corrêa (2003).

Como já mencionado, a resistência do prisma é usada para estimar a resistência da alvenaria. A NBR 15961-2 (ABNT, 2011), em seu "Anexo A", traz as recomendações para determinação da resistência à compressão de prismas, no entanto, como cita Ramalho e Corrêa (2003), não há nenhuma incoerência conceitual em aplicar o procedimento para unidades de outros materiais.

Para execução do ensaio segundo a NBR 15961-2 (ABNT, 2011), os seguintes procedimentos devem ser seguidos:

- Assentamento: para o assentamento, devem ser usados níveis e prumo para perfeito assente; a junta em argamassa deve apresentar espessura de 10 ( $\pm$  3) mm, evitando movimentos horizontais, com argamassa disposta sobre toda a face do bloco, incluindo todos os septos laterais e transversais;
- Capeamento: para o capeamento, recomenda-se o uso de pasta de cimento ou argamassa com resistência superior à resistência dos blocos, com espessura média não excedendo 3 mm;
- Cura: os prismas devem ser mantidos imóveis durante pelo menos 7 dias, em abrigo do sol e do vento, e posteriormente ensaiados em data estipulada;
- Transporte: o transporte deve garantir a integridade do conjunto, sendo recomendado que os prismas sejam solidarizados por meio de chapas de madeira.

### 3.4 COMENTÁRIO SOBRE A REVISÃO

Com base no que foi explanado até aqui, percebe-se que ainda há muito a ser estudado a respeito da alvenaria, principalmente quando se trata da alvenaria estrutural, pois merece um aprofundamento maior devido à responsabilidade a que é conferida.

E quando se estuda a alvenaria de solo cimento, percebe-se que ainda existem muitas dúvidas com relação ao assunto, pois várias pesquisas vêm sendo publicadas atualmente, desde pesquisas que analisam ainda o comportamento do material, que visam realizar um estudo direcionando mais a pesquisa a um nível micro, que avalia a estrutura atômica dos materiais, ligações intermoleculares, ou mesmo pesquisas aplicando o material solo cimento para fabricação de alvenaria, para estudar a relação entre o traço e a resistência do produto final.

Mas também existem pesquisas que estão tratando do assunto a nível macro, estudando a relação tensão deformação em blocos, prismas e paredes, módulo de elasticidade dos materiais, formas de ruptura, módulo de deformação, para relacionar a resistência de alvenaria com as resistências dos componentes.

Nessa pesquisa estuda-se uma nova forma de produção de blocos através um material pouco aplicado que é solo cimento auto-adensável. Como o estudo é realizado com material encontrado na natureza, que no mundo apresenta grande diversidade, o uso de referências internacionais foi realizado de forma mais moderada. E com o intuito de deixar a pesquisa o mais coerente possível, procurou-se basear mais a pesquisa em publicações nacionais.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 MATERIAIS**

Aqui serão descritos todos os materiais utilizados para confecção do SCAA, assim como da argamassa de assentamento utilizada nos prismas.

#### **4.1.1 Cimento**

O cimento utilizado na pesquisa foi o CP V – ARI ULTRA, da marca VOTORAN. Este tipo de cimento não possui adições, o que facilita a análise dos resultados em relação a outros tipos de cimento; no entanto, de acordo com o fabricante, ele pode conter até 5% em massa de material carbonático.

Além disso, possui uma alta velocidade de hidratação aos primeiros dias de cura, conferindo à mistura uma alta resistência inicial, sendo ideal para obras onde a desforma rápida é necessária, e é de fácil acesso no mercado.

#### **4.1.2 Solo**

O solo utilizado na pesquisa foi retirado de uma jazida na cidade de Ilha Solteira, mas que pode ser encontrado facilmente na região oeste do estado de São Paulo. O estudo do solo foi realizado no Laboratório Central de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira e pode ser observado, no Anexo I, onde são apresentados os resultados dos ensaios de: Granulometria Conjunta, Limites de Consistência, Compactação do Solo – Proctor Normal. Os ensaios seguiram as orientações das seguintes normas técnicas:

- NBR 6457 (ABNT, 1986) – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;
- NBR 6459 (ABNT, 1984) – Solo – Determinação do limite de liquidez;
- NBR 6508 (ABNT, 1984) – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica;
- NBR 7180 (ABNT, 1984) – Solo – Determinação do limite de plasticidade;
- NBR 7181 (ABNT, 2016) – Solo – Análise Granulométrica.

A granulometria do solo é apresentada na Tabela 20 e pode ser observada uma distribuição granulométrica, com presença de argila, silte e areias fina e média. Este tipo de

distribuição confere ao solo um alto grau de empacotamento, que, por sua vez, é uma das características fundamentais para produção de solo cimento. Destaca-se que quanto maior for o grau de empacotamento, maior será a densidade da mistura e menor será a permeabilidade no produto final, garantindo ao solo cimento melhores características mecânicas e melhor durabilidade.

**Tabela 20-** Granulometria do solo

<b>Porcentagem de Ocorrência</b>		
<b>Fração</b>	<b>Subdivisão</b>	<b>( % )</b>
Pedregulho	-	0,0
Areia	Grossa	0,0
	Média	1,3
	Fina	58,7
Silte	-	13,0
Argila	-	27,0

Fonte: Próprio autor

#### 4.1.3 Cal e cal hidratada

A cal utilizada na pesquisa para fabricação da argamassa de assentamento dos blocos foi a Cal Dolomítica Hidratada CHIII ITAÚ, que segundo o fabricante é composta de hidróxidos de cálcio e magnésio e atende as especificações da NBR 7175 (ABNT, 2003).

Segundo NBR 7175 (ABNT, 2003) a cal hidratada é resultado da hidratação da cal virgem e composta por uma mistura de hidróxido de cálcio hidróxido de magnésio podendo conter também óxido de magnésio. De acordo com a mesma norma, a cal deve seguir algumas exigências em relação às composições químicas e físicas que podem ser observadas nas Tabela 21 e Tabela 22.

**Tabela 21-** Exigências químicas para cal hidratada

Compostos		Limites
		CH - III
Anidrido carbônico	Na fábrica	13%
	No depósito	15%
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado		15%
Óxidos totais na base de não-voláteis		88%

Fonte: ABNT (2003). adaptada NBR 7175



**Tabela 22-** : Exigências físicas para cal hidratada

Compostos		Limites
		CH - III
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,600 mm	0,50%
	Peneira 0,075 mm	15%
Retenção de água		70%
Incorporação de areia		2,20%
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias
Plasticidade		110%

Fonte: ABNT (2003). adaptada NBR 7175

Também foi utilizada a Cal de pintura Itaú para elaboração do traço dos blocos, que segundo o fabricante é uma cal dolomítica hidratada composta por hidróxidos de cálcio e magnésio e também atende as especificações da NBR 7175 (ABNT, 2003).

#### 4.1.4 Areia

A areia utilizada na pesquisa é proveniente da cidade de Castilhos (SP) e sua caracterização granulométrica pode ser observada na Tabela 23.

**Tabela 23-** Granulometria da areia

	Fração	Porcentagem %
Areia	Fina	47,5
	Média	48
	Grossa	4,5

Fonte: Claverie (2015)

#### 4.1.5 Cinza de casca de arroz

A pesquisa contou ainda com a utilização de cinza de casca de arroz SILCCA NOBRE SCI, produzida pela empresa SVA SILICA VERDE DO ARROZ LTDA de Alegrete, Rio Grande do Sul, de acordo com o fabricante a composição da cinza é apresentado na Tabela 24.

**Tabela 24-** Composição da cinza da casca de arroz

Substância	Sílica Amorfa (SiO <sub>2</sub> )	Sílica Cristalina (SiO <sub>2</sub> )	Óxido de Sódio (Na <sub>2</sub> O)	Carbono Total (C)	Umidade (H <sub>2</sub> O)
Composição Química (%)	≥ 90,0	≤ 2	≤ 1,5	≤ 6,0	≤ 3,0

Fonte: SVA (2013).

#### 4.1.6 Água

A água utilizada em todos os experimentos foi proveniente do sistema de distribuição público de água potável da cidade de Ilha Solteira.

#### 4.1.7 Aditivo

O aditivo utilizado na pesquisa foi o TEC FLOW 7000 produzido pela GRACE BRASIL LTDA. De acordo com o fabricante se trata de um aditivo superplastificante na forma líquida isento de cloretos com princípio dispersante, produzido a partir de uma cadeia de éter carboxílico. É indicado para concretos auto-adensáveis de auto desempenho, pois reduz a relação água/cimento, mantendo a plasticidade da mistura.

A utilização do aditivo oferece a mistura melhora na aparência e textura da superfície, e a possibilidade de redução de água em até 40 %, garantindo a coesão da mistura sem apresentar segregação e exsudação.

## 4.2 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS PARA ESTUDO

O primeiro passo da pesquisa foi a definição dos traços a serem utilizados. Foram tomadas como referência as pesquisas citadas no item 3 desta dissertação, as quais, na maior parte, foram desenvolvidas no laboratório de engenharia da FEIS.

A justificativa dessa metodologia é devida aos resultados promissores que apresentaram as pesquisas citadas. A partir dos resultados encontrados na pesquisa de Claverie (2015), três traços foram escolhidos, cada traço com uma relação de cimento/(solo + areia) diferente adicionado à mistura, o que resultou em variações bastante significativas em seu comportamento em estado endurecido.

Os traços escolhidos sofreram algumas mudanças em relação aos traços de referência, pois foi percebido que a adição de CCA e de cal incorporaram resistência mecânica ao SCAA; portanto, para a pesquisa em questão, foram utilizadas incorporações maiores de finos. Também foram utilizados cimento e aditivo diferentes, como mostrado no item 4.1.1 e 4.1.7 dessa pesquisa.

As misturas escolhidas como referência são as composições 4, 10 e 16, apresentadas na Tabela 12, porém, foi adicionado 5% de CAL em relação ao cimento em todas as misturas.

**Tabela 25-** Composições das misturas utilizadas

Mistura	Água/(Mat. Secos*)	Aditivo/(Solo+Cimento)	Cimento/(Solo+Areia)	CCA/Cimento	Cal/Cimento
1	30 %	0,40 %	26,70 %	10 %	5 %
2			30,00 %		
3			33,3 %		

\*Materiais secos = Solo, areia, cimento, CCA, cal

Fonte: Próprio autor

As misturas em questão foram utilizadas para estudos preliminares visando à confirmação da eficiência dos traços.

Para o estudo preliminar, os traços foram batidos em betoneira e estudou-se a trabalhabilidade da mistura através dos ensaios de espalhamento e ensaio do funil, que serão descritos no item 4.4; em seguida estudaram-se as características da mistura no estado endurecido, que foram avaliadas através de ensaios de resistência à compressão axial, utilizando-se três CPs para cada idade de cura, sendo analisado o comportamento para 7, 14 e 28 dias de cura.

Na **Figura 19** pode ser observada a preparação do material na betoneira, o resultado do ensaio de espalhamento e os corpos de prova cilíndricos moldados que ainda seriam colocados em câmara úmida para posteriores ensaios.

**Figura 19-** (a) Material em betoneira antes de iniciar a mistura, (b) Resultado do ensaio de espalhamento, (c) Corpos de prova para ensaios no estado endurecido.



Fonte: Próprio autor

#### 4.3 GEOMETRIA DA ALVENARIA

O trabalho estudou o comportamento do solo cimento como matéria prima para confecção de blocos, portanto, a partir da definição das misturas, foram moldados blocos em tamanho real para continuação do estudo.

A NBR 10834 (ABNT, 2012) trata de blocos de solo cimento sem função estrutural e fornece dimensões nominais para blocos com comprimento de 300 mm, largura de 150 mm e altura de 150 mm, mas também diz que as dimensões dos blocos podem ser diferentes das estabelecidas desde que o bloco permaneça com a altura (H) igual ou superior à largura (L).

Portanto, pela insuficiência de informações de normatização específica para definição das dimensões dos blocos de solo cimento, fez-se uso da NBR 6136 (ABNT, 2014), que classifica os blocos de concreto estrutural de acordo com suas dimensões, como mostra a Tabela 26.

**Tabela 26-** Família de blocos de concreto estrutural

Família		20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40	
Medida Nominal mm	Largura	190	140		115			90		65	
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-

Fonte: ABNT (2014). NBR 6136

Diante das opções oferecidas de dimensões, optou-se pela família de blocos 15x30, com dimensões 140 mm de largura, 190 mm de altura e 290 mm de comprimento.

Para definição da espessura das paredes dos blocos, seguiu-se a recomendação da NBR 10834 (ABNT, 2012) que diz que para blocos com furos, estes devem ter eixos perpendiculares à superfície de assentamento e a espessura mínima das paredes no seu entorno deve ser de 25 mm. Também foi observada a recomendação oferecida pela NBR 6136 (ABNT, 2014) que sugere espessuras variando de 18 a 32 mm dependendo da classe dos

blocos, que se alteram de acordo com suas aplicações. Na Tabela 27, ilustram-se algumas das recomendações.

**Tabela 27-** Espessura dos blocos em relação a classe

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

<sup>a</sup> Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.  
<sup>b</sup> Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Fonte: ABNT (2014). NBR 6136

Como se seguiu a recomendação de espessura de parede mínima de 25 mm, a largura do bloco teve que ser aumentada para 15 cm, pois, para confecção dos blocos, foi utilizado tubo de PVC de diâmetro igual a 100 mm para formas dos furos dos blocos. A Figura 20 mostra o material nas fôrmas logo após o lançamento dos SCAA.

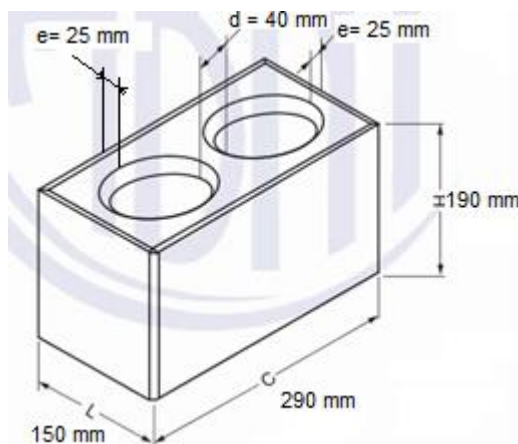
**Figura 20-** Blocos moldados em formas de madeira e furos em PVC.



Fonte: Próprio autor

A Figura 21 exemplifica as dimensões escolhidas para o bloco proposto de acordo com as NBR 10834 (ABNT, 2012) e NBR 6136 (ABNT, 2014).

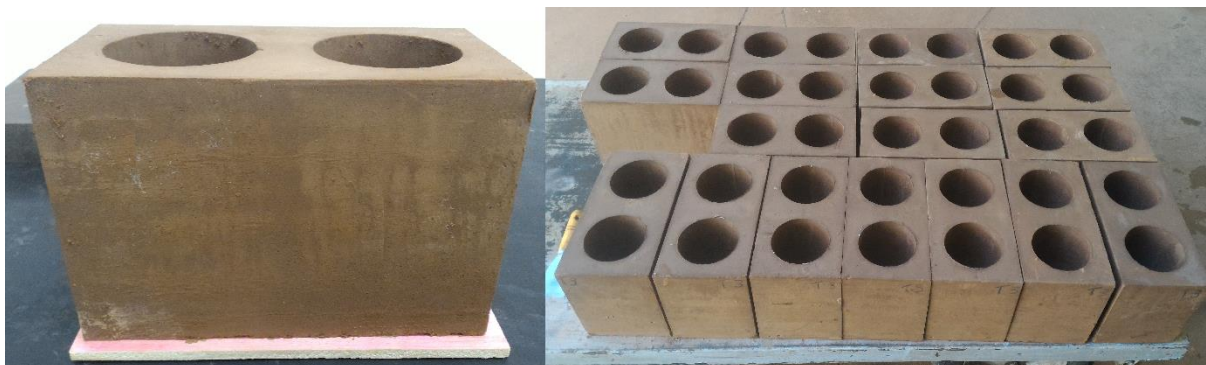
**Figura 21-** Dimensão dos blocos.



Fonte: ABNT (2012). Adaptado NBR 10834

Na Figura 22, pode-se observar exemplares dos blocos produzidos na pesquisa após a desforma.

**Figura 22-** Blocos produzidos



Fonte: Próprio autor

Observando a Figura 22, percebe-se que os blocos produzidos apresentaram boa aparência, mostrando a boa auto adensabilidade da mistura.

#### 4.4 ENSAIOS REALIZADOS

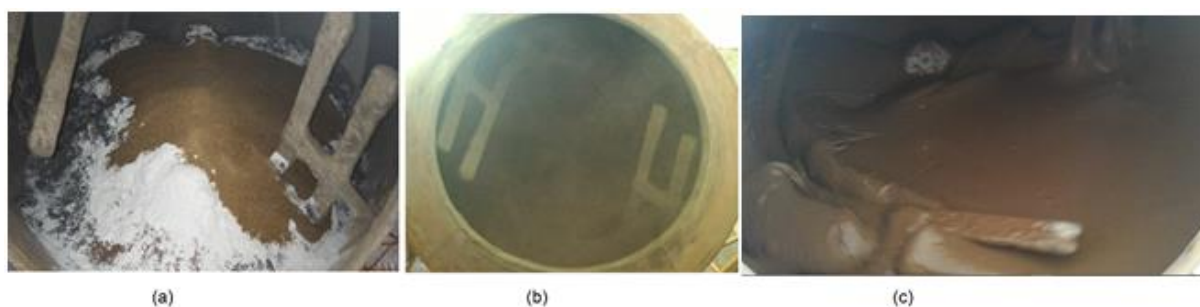
##### 4.4.1 Ensaios do SCAA no estado fresco

Para realização dos ensaios, a mistura passou inicialmente por um processo de homogeneização, que é descrito a seguir:

- 1) Para garantir que a betoneira não iria absorver água da mistura, a mesma era umedecida imediatamente antes de seu uso;
- 2) Os materiais secos eram colocados na betoneira: solo, cimento, areia, CCA e cal, e misturados por cerca de 1 minuto;
- 3) Percebendo que todo o material seco estava misturado de forma homogênea, o aditivo era adicionado à água, que, juntos, eram adicionados na betoneira, em seguida deixava-se bater a mistura por mais um minuto;
- 4) Esse tempo era insuficiente para homogeneizar a mistura, pois parte do material ficava grudado no fundo da betoneira, então, a betoneira era desligada e, com uma colher de pedreiro, raspava-se todo o material grudado;
- 5) Deixava-se a mistura bater por mais um minuto, mas observando a presença de material grudado ao fundo da betoneira, repetia-se o processo de raspagem com a colher de pedreiro seguido da mistura mecânica por um minuto, até a mistura atingir homogeneidade;
- 6) Nos ensaio preliminares por se tratar de volumes menores, foram necessários dois momentos de raspagem com a colher de pedreiro para que a mistura se tornasse homogênea, já para realizar a mistura dos materiais do ensaio principal, foram necessários até quatro momentos para raspagem;
- 7) Após o processo de homogeneização, dava-se início aos ensaios no estado fresco.

A **Figura 23** ilustra o processo de preparação e mistura dos materiais para o estudo principal.

**Figura 23-** Processo de homogeneização



Fonte: Próprio autor

**a) ENSAIO DE ESPALHAMENTO**

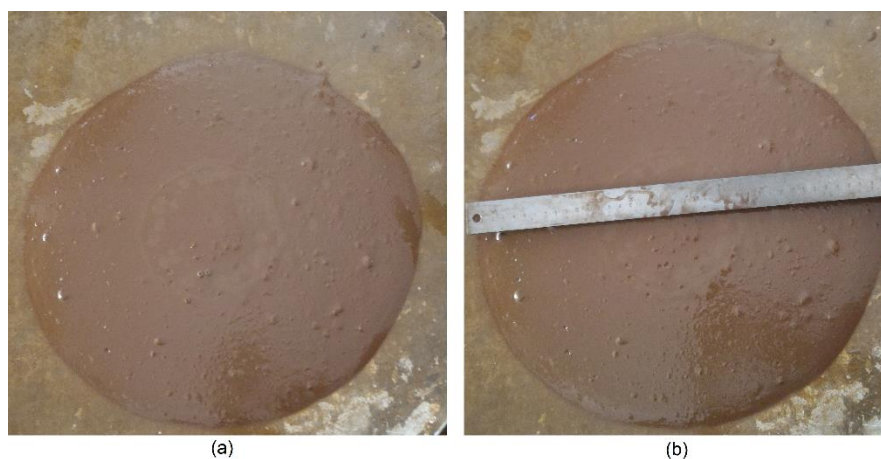
O ensaio seguiu as recomendações da NBR 15823-2 (ABNT, 2010), que tem como objetivo determinar a consistência do concreto pelo espalhamento do tronco de cone sobre a

mesa de Graff. Segundo a mesma norma, para a mistura ser considerada auto adensável, o diâmetro de espalhamento deve ser superior a 350 mm e não apresentar indícios de segregação e exsudação.

A determinação do diâmetro de espalhamento foi realizada com a régua posicionada paralelamente aos lados da mesa, na posição onde foram obtidos os dois maiores diâmetros, e a consistência da mistura foi dada pela média aritmética dos dois valores medidos.

A Figura 24 mostra o procedimento do ensaio de espalhamento realizado.

**Figura 24-** Ensaio espalhamento



Fonte: Claverie (2015).

#### ***b) Ensaio do funil***

O Ensaio do Funil é indicado para analisar o fluxo de queda da mistura, expressa em g/s, para averiguar a fluidez do material em condição de confinamento.

O ensaio consistiu em preencher um funil padrão, com uma massa de mistura, após isso, verificou-se o tempo necessário para que toda a mistura escoasse pelo funil.

O ensaio realizado é similar aos prescritos pela NBR 7681 (ABNT, 1983) e NBR 7682 (ABNT, 1983), que fixam que quanto maior for o tempo de escoamento da mistura, menor será a fluidez da mesma. O ensaio normatizado utiliza o Funil de Marsh que está mostrado na Figura 25.



**Figura 25-** Funil de Marsh



Fonte: Berte (2012).

Para se adaptar à realidade das misturas trabalhadas na pesquisa, o diâmetro de saída do funil foi aumentado em relação ao Funil de Marsh, tendo-se em vista que a mistura de SCAA apresenta maior viscosidade que as caldas de concreto.

Tal ensaio foi realizado utilizando-se o mesmo procedimento das pesquisas de Berte (2012) e Claverie (2015), fazendo-se o uso de funil de garrafa plástica, do tipo pet, como mostra a Figura 26.

**Figura 26-** Ensaio do funil



Fonte: Próprio autor

#### **4.4.2 Ensaio no estado endurecido em corpos de prova cilíndricos**

##### ***a) Ensaio de resistência à compressão axial, diametral e módulo de deformação***

Com o intuito de determinar as resistências à compressão axial, diametral e o módulo de deformação de cada mistura, no estado endurecido, foi seguido o método A descrito na NBR 12024 (ABNT, 2012) para modelagem dos Corpos de Prova (CPs). Tal método é indicado

para solos com 100 % das partículas com diâmetros menores que 4,75 mm, o que pode ser comprovado observando o Anexo I deste trabalho.

Para os ensaios de compressão axial e diametral foram moldados CPs cilíndricos com 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro, e para os ensaios de módulo de deformação, foram moldados CPs cilíndricos com 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, como mostra a Figura 27.

**Figura 27-** Corpos de prova cilíndricos 5x10 e 10x20

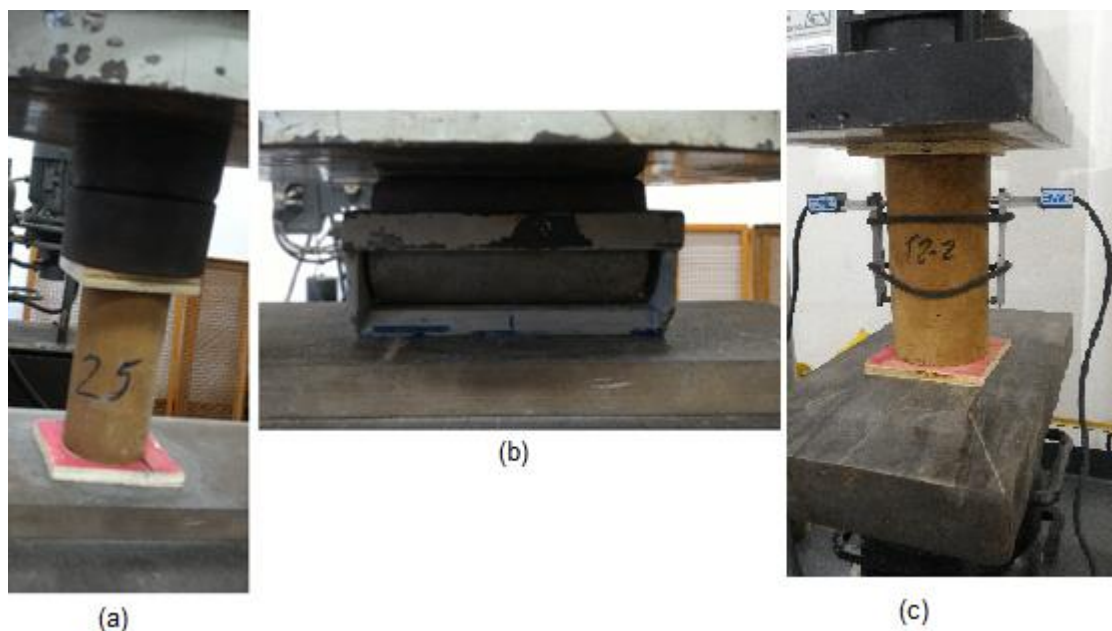


Fonte: Próprio autor

Após a moldagem, os mesmos passaram por cura em câmara úmida, até a data de ensaio. Para o ensaio a compressão axial e módulo de deformação, seguiu-se as orientações da NBR 12025 (ABNT, 2012), e, para determinação da resistência a compressão diametral, foi seguida as orientações da NBR 7222 (ABNT, 2011).

Na realização dos ensaios de compressão axial e módulo de deformação, houve a necessidade de realizar a regularização da superfície do CP que entraria em contato com a prensa. O procedimento de regularização da superfície foi feito através do lixamento, deixando a área de contato com a prensa o mais plano possível, além disso, utilizou-se uma placa de maderite de 10 mm de espessura entre as superfícies do CP e a prensa visando garantir o espalhamento uniforme das tensões no corpo de prova, como mostra a Figura 28.

**Figura 28-** (a) Compressão axial; (b) Compressão diametral; (c) Módulo de deformação



Fonte: Próprio autor

Os ensaios de resistência à compressão axial e diametral foram realizados aos 7, 14, 28 e 56 dias de cura. Foram utilizados cinco CPs para cada idade de cura no ensaio de resistência a compressão axial, três CPs para cada idade de cura no ensaio de compressão diametral, e três CPs aos 28 dias de cura para determinação do módulo de deformação do material.

Os ensaios de tração e compressão são ensaios destrutivos que medem a força axial aplicada em um corpo até o início da fratura, acarretando na ruptura do material, conhecida a área da seção transversal inicial do corpo de prova, a tensão normal pode ser escrita da seguinte forma:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Onde:  $\sigma$  – Tensão (MPa)

F – Força (kN)

A – Área da seção transversal do CP (cm<sup>2</sup>)

Para definição do módulo de deformação foi utilizada a lei de Hooke, que relaciona a tensão e deformação quando o corpo de prova é solicitado a uma ação axial. Essa relação axial linear entre tensão e deformação é escrita da seguinte forma:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

Onde:  $\varepsilon$  – Deformação (%)

E – Módulo de deformação (MPa)

A deformação linear ocorre devido à aplicação de forças axiais em um corpo, provocando a variação de seu comprimento, geralmente escrita em parte por mil, e pode ser definido da seguinte forma:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Onde:  $\Delta L$ : Variação do comprimento do corpo

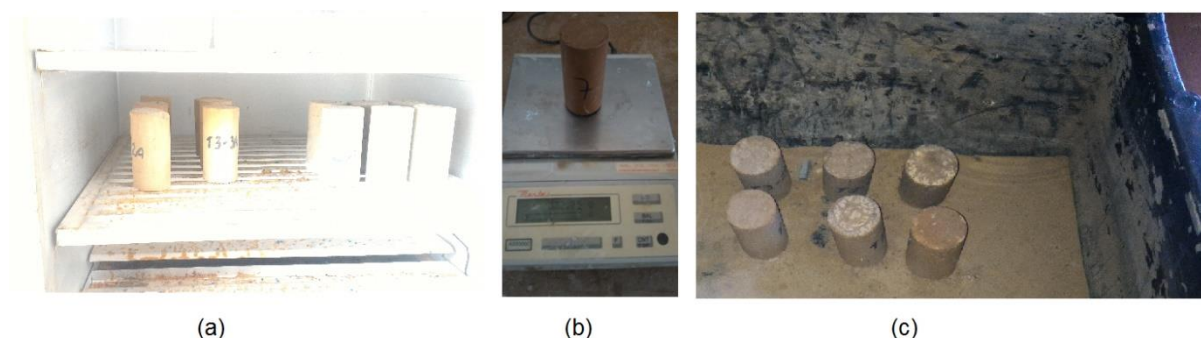
L: Comprimento inicial do corpo

**b) Ensaio de absorção de água**

O ensaio de absorção de água seguiu orientações da NBR 13555 (ABNT, 2012) e foram realizados a partir de CPs cilíndricos moldados de acordo com NBR12024 (ABNT, 2012), ocorrendo aos 7, 14 e 28 dias de cura, utilizando-se três CPs para cada idade.

Para realização do ensaio, os CPs foram curados até data de ensaio; em seguida, levados à estufa por um período de 24 horas para que a água fosse perdida, nessa situação foi coletada a massa do CP em balança de precisão como mostra a Figura 29, em seguida, os CPs foram imersos em um tanque de água durante 24 horas, após esse processo, enxugou-se superficialmente com pano úmido e pesou-se o CP imediatamente. Para cada idade, foram utilizados três corpos de prova.

**Figura 29-** (a) Secagem dos corpos de prova em estufa, (b) Pesagem do corpo de prova, (c) Corpos de prova imersos em água



Fonte: Próprio autor

O valor da absorção de água pode ser descrito pela seguinte equação:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

onde: A: absorção de água de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);  
 $m_1$ : massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

$m_2$ : massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

**c) *Ensaio de massa específica aparente***

Os CPs utilizados para ensaio de absorção de água tiveram suas medidas coletadas para cálculo da massa específica aparente como mostra a Figura 30. Como a umidade em cada CP pode variar, optou-se por utilizar a massa seca e a massa úmida de cada CP para cálculo da massa específica aparente.

**Figura 30-** Coleta das medidas do corpo de prova



Fonte: Próprio autor

#### **4.4.3 Ensaio no estado endurecido em blocos e prismas**

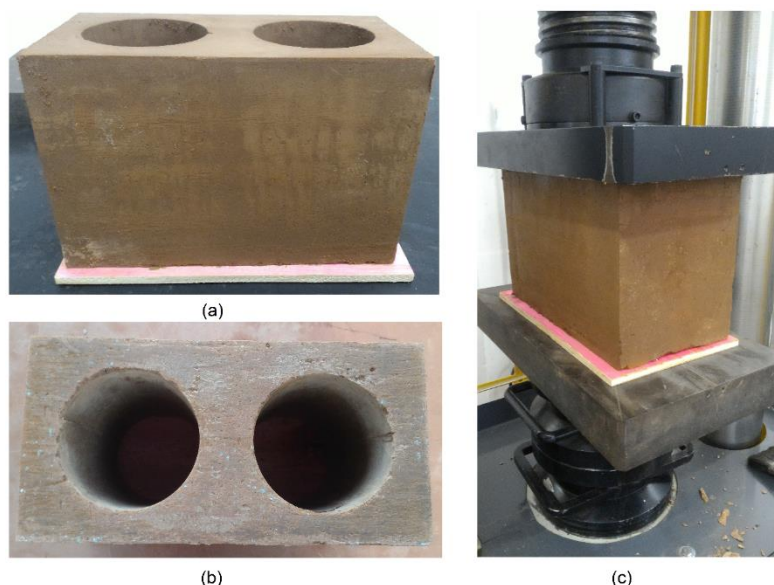
**a) *Resistência à compressão do bloco***

Os ensaios seguiram recomendações da NBR 10836 (ABNT, 2013), que entre outras instruções, dita sobre o procedimento a ser seguido para o ensaio a compressão de blocos de solo cimento sem função estrutural.

Os blocos foram ensaiados no equipamento EMIC DL30000, após processo de cura de 7, 14, 28 e 56 dias. Foram ensaiados três blocos por idade, e a exemplo dos CPs cilíndricos, passaram por processo de regularização de superfície para que houvesse perfeito contato entre as superfícies do bloco e o prato da prensa. Para uniformizar o espalhamento de tensão, também foi utilizado maderite com espessura de 10 mm entre a prensa e o bloco.

Como mostra a Figura 31 (a), as superfícies que estavam em contato com a forma na moldagem dos blocos ficaram muito bem acabadas, e não precisaram de regularização, no entanto, a superfície que ficou voltada para cima na forma precisou de lixamento como mostra a Figura 31 (b), portanto, para o ensaio de compressão do bloco foi utilizado maderite em somente uma das faces do bloco como mostra a Figura 31 (c).

**Figura 31-** (a) Bloco com superfície regular, (b) Face do bloco lixada, (c) Ensaio de compressão do bloco.



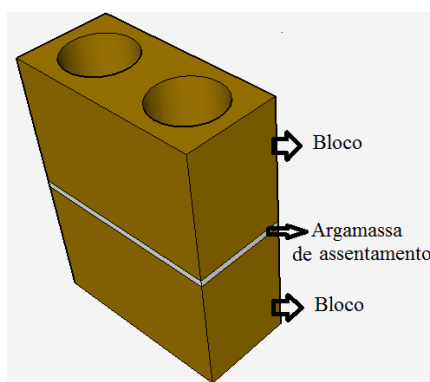
Fonte: Próprio autor

Após o ensaio, os blocos tiveram suas fissuras mapeadas para posterior análise de suas formações.

**b) Resistência à compressão de prismas formados por dois blocos**

Os prismas são elementos formados por dois blocos unidos por junta de argamassa, como mostra a Figura 32.

**Figura 32-** Prismas de blocos



Fonte: Próprio autor

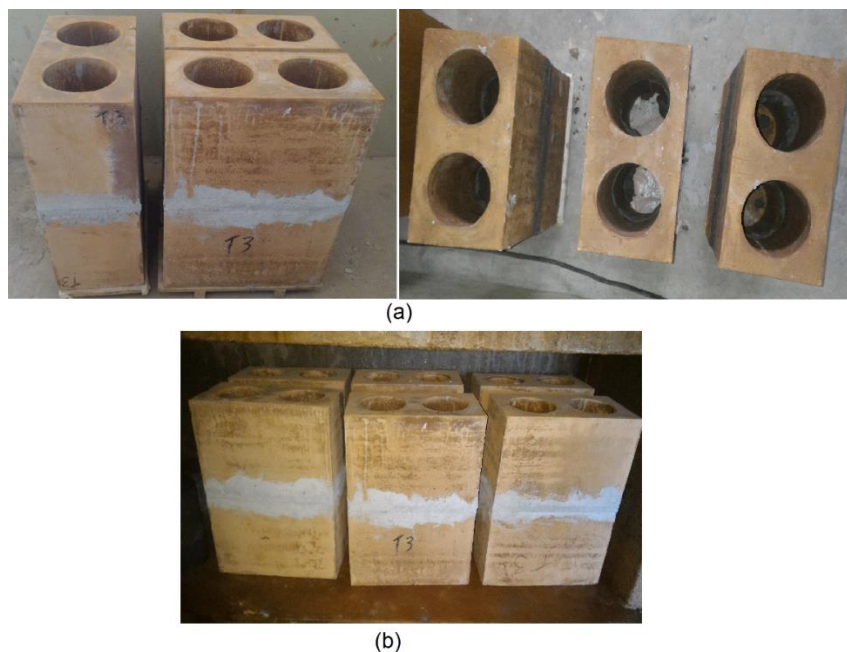
O interesse pelo estudo da resistência do prisma baseia-se na ideia de que a resistência da alvenaria está diretamente ligada à resistência do prisma, que por sua vez, está relacionada diretamente com a resistência do bloco.

Neste trabalho optou-se pela realização de ensaio com prismas pela economia e praticidade do ensaio se comparado ao ensaio de parede. Para realização dos ensaios foi

seguida as recomendações da NBR 15961 – 2 (ABNT, 2011), que dita sobre o procedimento dos ensaios de prismas de blocos de concreto.

Os prismas foram moldados utilizando-se dois blocos assentados a prumo com argamassa de cimento e areia preenchendo toda a face do bloco, incluindo os septos laterais e transversais como mostra a Figura 33.

**Figura 33-** (a) Confecção dos prismas, (b) Cura dos prismas em câmara úmida



Fonte: Próprio autor

Os blocos utilizados para confecção dos prismas datavam de 28 dias de cura, assim, para que a argamassa utilizada atingisse 28 dias de cura, os prismas foram ensaiados com 56 dias de cura dos blocos, tendo-se utilizado três prismas por traço.

Na Figura 34 pode ser observado o prisma pronto para ser ensaiado no equipamento EMIC DL30000.

**Figura 34-** Ensaio de determinação de resistência do prisma

Fonte: Próprio autor

Para definição do traço a ser utilizado para a argamassa de assentamento, foram realizados ensaios preliminares de resistência mecânica de três traços diferentes com cimento, areia, cal hidratada e água. Os traços testados para argamassa podem ser observados na Tabela 28, que foram retirados de cotidiano de obra, mas adaptados para a vivência em laboratório, assim, os traços apresentados estão relacionados em massa.

**Tabela 28-** Argamassa de assentamento

Traços	Cimento	Cal hidratada	Areia grossa	Relação água/cimento
Argamassa 1	1	1	6	1,53
Argamassa 2	1	2	9	2,3
Argamassa 3	1	3	12	2,93

Fonte: Próprio autor

As propostas de traços de argamassa tiveram como objetivo apresentarem resistências entre 70 e 100 % da resistência dos blocos, pois, de acordo com Ramalho e Corrêa (2003), dessa forma a argamassa não causa influência significativa na resistência do prisma.

Portanto, para definição da argamassa utilizada na fabricação de cada prisma, tinha-se uma expectativa de característica mecânica para cada traço de bloco de solo cimento. Isso mostra a importância da definição do traço descrita no item 4.2 onde foi realizado o estudo preliminar dos traços utilizados na pesquisa.

Para construção dos prismas, foi utilizado gabarito para garantir o prumo dos blocos e espaçadores para garantir a espessura de 10 mm da argamassa. Após os ensaios dos prismas, os mesmos passaram por mapeamento de fissuras para posterior análise.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os resultados e discussões da pesquisa, os resultados foram divididos em duas fases, a pesquisa preliminar e a pesquisa principal, e em cada fase do estudo foi realizada análise dos resultados em estado fresco e endurecido das misturas.

### 5.1 PESQUISA PRELIMINAR

Aqui serão apresentados os resultados da pesquisa preliminar descrita no item 4.2, iniciando pelos resultados dos ensaios no estado fresco, seguido pelos resultados em estado endurecido.

#### 5.1.1 Estado fresco

A Figura 35 mostra três resultados distintos para o ensaio de espalhamento, tal fato ocorreu pela falta de homogeneidade da mistura, porém, após algumas tentativas de criar uma mistura homogênea, chegou-se ao padrão descrito no item 4.4.1, que demonstrou ser eficaz para o processo de homogeneização.

##### *a) “Slump flow”*

Após a padronização da metodologia de mistura do traço, os resultados se tornaram interessantes para a pesquisa, como pode ser observado na Tabela 29, que mostra os resultados dos ensaios de espalhamento preliminar dos três traços de estudo. De acordo com a NBR 15823-2 (ABNT, 2010), os três traços estudados podem ser classificados como auto adensáveis, pois, apresentaram valores médios de espalhamento acima de 350 mm.

Também se verificou a homogeneidade das misturas, sem a presença de exsudação ou segregação para nenhum dos traços estudados.

Em relação à diferença na composição dos traços, observou-se que com o aumento da adição de cimento, houve uma redução do diâmetro de espalhamento. O que já era esperado tendo em vista que o cimento possui comportamento aglomerante, fornecendo coesão à mistura.

**Figura 35-** Ensaio de espalhamento preliminar do traço 1

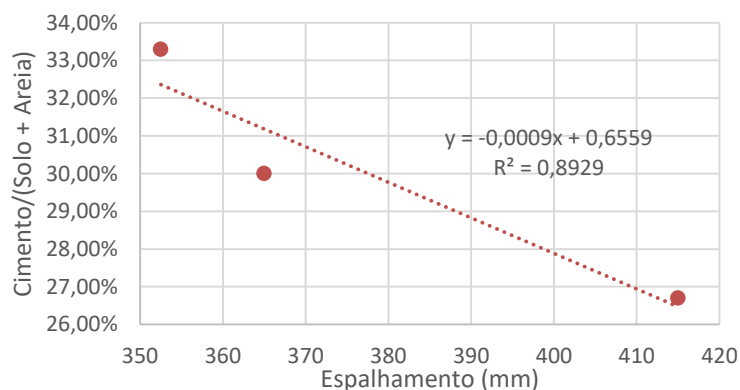
Fonte: Próprio autor

**Tabela 29-** Ensaio preliminar de espalhamento

Traços	Cimento/(Solo + Areia)	Slump Flow (mm)	Slump Flow médio (mm)
1	26,7 %	410 x 420	415,0
2	30,0 %	360 x 370	365,0
3	33,3 %	350 x 355	352,5

Fonte: Próprio autor

Na Figura 36 pode ser observada uma correlação forte entre o diâmetro de espalhamento e a adição de cimento,

**Figura 36-** Espalhamento x Relação (Cimento/Solo+Areia)

Fonte: Próprio autor

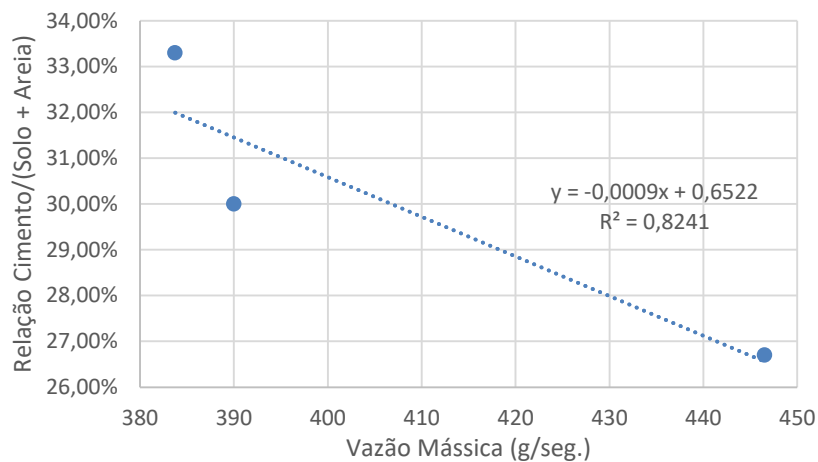
**b) Ensaio do funil**

Na Tabela 30 e Figura 37 são apresentados os resultados dos ensaios do funil, onde se verificou uma relação forte e inversa entre a adição de cimento e a Vazão Mássica, ou seja, quanto maior a relação Cimento/(Solo + areia), menor se mostrou a vazão mássica.

**Tabela 30-** Ensaio preliminar do funil

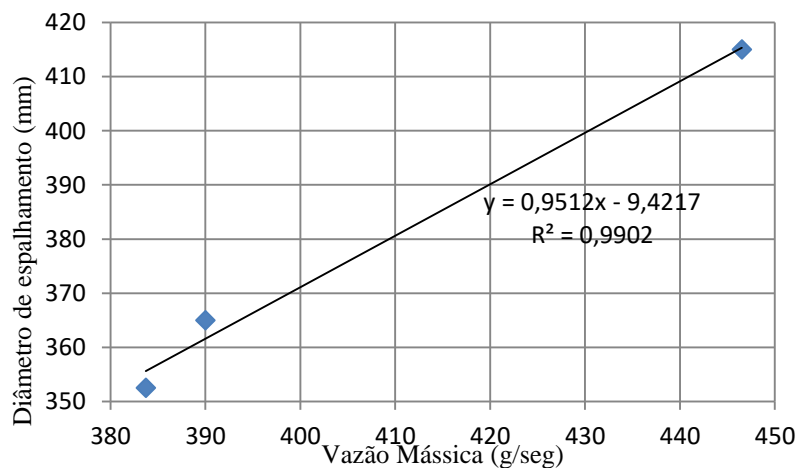
Traços	Massa (g)	Tempo (seg.)	g/seg.
1	1420	3,18	446,54
2	1234	3,21	390,00
3	1132	2,95	383,73

Fonte: Próprio autor

**Figura 37-** Vazão mássica x Relação (Cimento/Solo+Areia)

Fonte: Próprio autor

Observando a Figura 38, nota-se a relação positiva linear praticamente perfeita entre o diâmetro de espalhamento encontrado no ensaio do slump flow, e a vazão mássica encontrada no ensaio do funil.

**Figura 38-** Diâmetro de espalhamento x Vazão Mássica (ensaio preliminar)

Fonte: Próprio autor

### 5.1.2 Estado endurecido

Na Tabela 31 e Figura 39 são apresentados os resultados dos ensaios de compressão axial dos três traços de SCAA em função do tempo de cura, analisando os resultados de uma forma geral nota-se ganho de resistência em função do tempo de cura, porém analisando a Figura 39

em relação ao coeficiente de correlação de Pearson, percebe-se relação mediana para o traço 1, fraca para o traço 2 e forte para o traço 3.

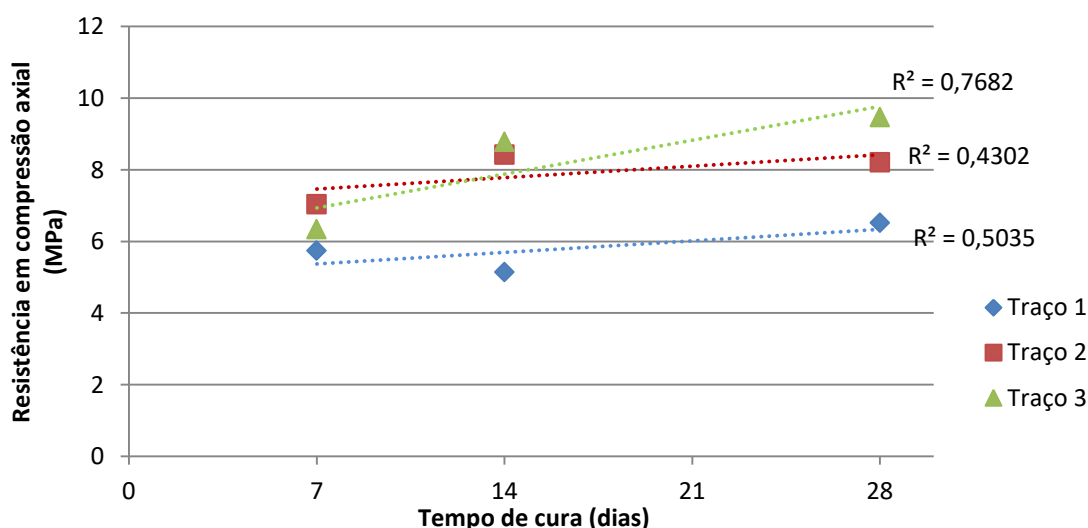
Os resultados mostram um indicativo de comportamento, com algumas incoerências que podem ser justificadas pelo pequeno número de amostras estudadas nessa fase da pesquisa.

**Tabela 31-** Resistência a compressão axial (MPa) x Tempo de cura (dias)

	MPa (7 dias)	MPa (14 dias)	MPa (28 dias)
Traço 1	5,74	5,14	6,52
Traço 2	7,04	8,42	8,21
Traço 3	6,34	8,78	9,47

Fonte: Próprio autor

**Figura 39-** Resistência à compressão axial x Tempo de cura



Fonte: Próprio autor

Também é percebido o ganho de resistência com a adição de cimento a mistura, comparando os traços 1, 2 e 3 nota-se ligeiro ganho de resistência mecânica do segundo traço em relação ao primeiro e também do terceiro em relação ao segundo. Outro dado que se destaca é a boa resistência aos 7 dias de cura para ambos os traços, ultrapassando os 5,5 MPa.

Em relação à resistência da argamassa de assentamento, as 28 dias de cura chegou-se a valores na compressão axial de 7,12 MPa, 4,28 MPa e 2,31MPa, respectivamente para os traços 1, 2 e 3. Portanto para reduzir a influência da argamassa nos resultados de compressão dos prismas, utilizou-se a argamassa com o traço 1 apresentado na Tabela 28.

## 5.2 PESQUISA PRINCIPAL

Aqui serão apresentados os resultados da pesquisa principal descrita no item 4.4, iniciando pelos resultados dos ensaios no estado fresco, seguido pelos resultados em estado endurecido.

### 5.2.1 Estado fresco

A exemplo do que ocorreu nos ensaios preliminares, as três misturas ensaiadas se comportaram bem, não mostrando presença de segregação ou exsudação, porém houve uma dificuldade maior para realizar o processo de homogeneização da traço, como descrito no procedimento apontado no item 4.4.1, pois o volume de material utilizado nos ensaios principais foram maiores, cerca de 140 litros foram batidos em betoneira, enquanto que nos ensaios preliminares foram utilizados apenas 7 litros.

**Figura 40-** Material sendo batido em betoneira



Fonte: Próprio autor

Importante destacar que devido ao bom comportamento do material no estado fresco, não houve dificuldades para confecção dos blocos, ou seja, a partir da homogeneização o SCAA o material apresentou propriedades que permitiram manuseá-lo facilmente com baldes para preenchimento das formas, mantendo suas propriedades devido à coesão interna do material.

#### a) *Slump flow*

Novamente os valores encontrados no ensaio de espalhamento se mostraram satisfatórios para classificar a mistura como auto adensável, mantendo-se acima dos 350 mm de espalhamento, requeridos na NBR 15823-2 (ABNT, 2010), e mostrando pequena variação entre os dois diâmetros medidos.

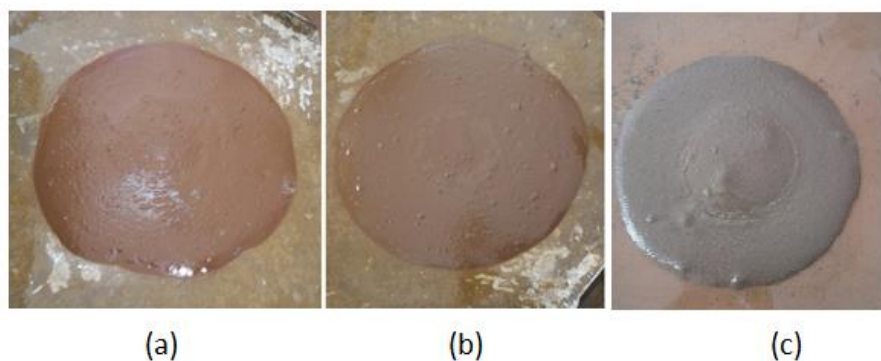
**Tabela 32-** Ensaio de espalhamento

Traços	Cimento/(Solo + Areia)	Slump Flow (mm)	Slump Flow médio (mm)
1	26,70%	387 x 382	384,5
2	30%	366 x 363	364,5
3	33,30%	348 x 354	351

Fonte: Próprio autor

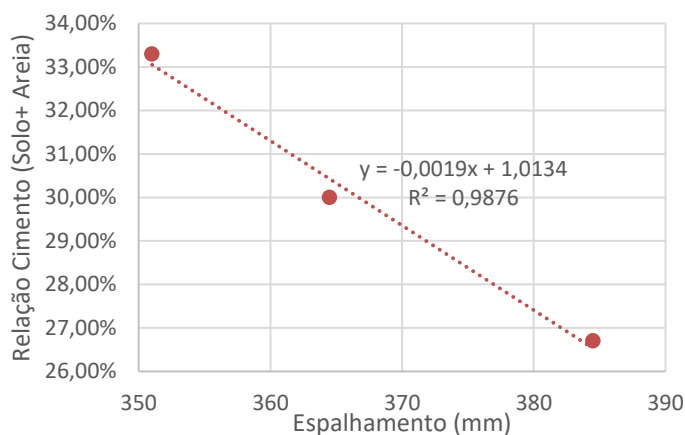
Como pode ser observado na Figura 1Figura 41, os três traços apresentaram boa homogeneidade e de acordo com a Figura 42, quanto maior a quantidade de cimento utilizado na mistura, menor o diâmetro de espalhamento observado, ou seja, a relação entre a quantidade de cimento utilizada e o diâmetro de espalhamento é linear e inversa, e apresentam relação muito forte, sendo praticamente perfeita.

**Figura 41-** Ensaio de espalhamento: (a) Primeiro traço; (b) Segundo traço; (c) Terceiro traço.



Fonte: Próprio autor

**Figura 42-** Espalhamento x Relação (Cimento/Solo+Areia)



Fonte: Próprio autor

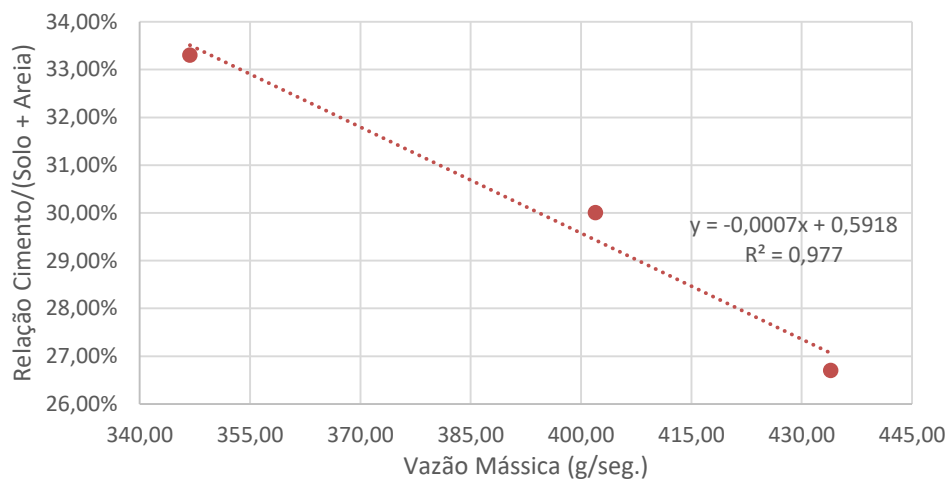
### ***b) Ensaio do funil***

Na Tabela 33 e na Figura 43, são apresentados os resultados do ensaio do funil, que assim como no estudo preliminar apresentou uma relação linear inversa praticamente perfeita entre a relação Cimento/(solo + areia) e a Vazão mássica da mistura.

**Tabela 33-** Ensaio do funil

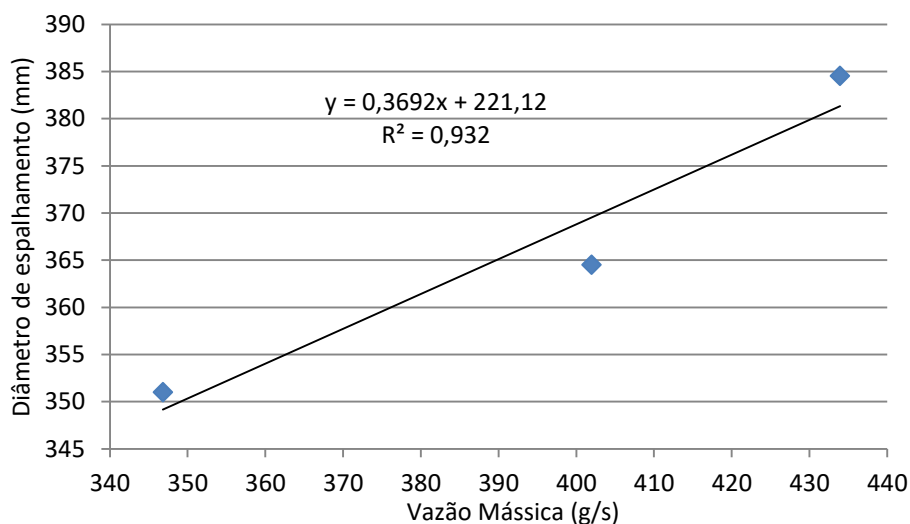
Traços	Massa (g)	Tempo (seg.)	g/seg.
1	2812	6,48	433,95
2	2452	6,1	401,97
3	2289	6,6	346,82

Fonte: Próprio autor

**Figura 43-** Ensaio do funil

Fonte: Próprio autor

Pode ser destacada também a relação muito forte entre o diâmetro de espalhamento e vazão mássica, como mostra a Figura 44.

**Figura 44-** Diâmetro de espalhamento x Vazão Mássica (ensaio principal)

Fonte: Próprio autor

## 5.2.2 Estado endurecido em corpos de prova cilíndricos

*a) Ensaio de compressão axial, diametral e módulo de deformação.*

- COMPRESSÃO AXIAL

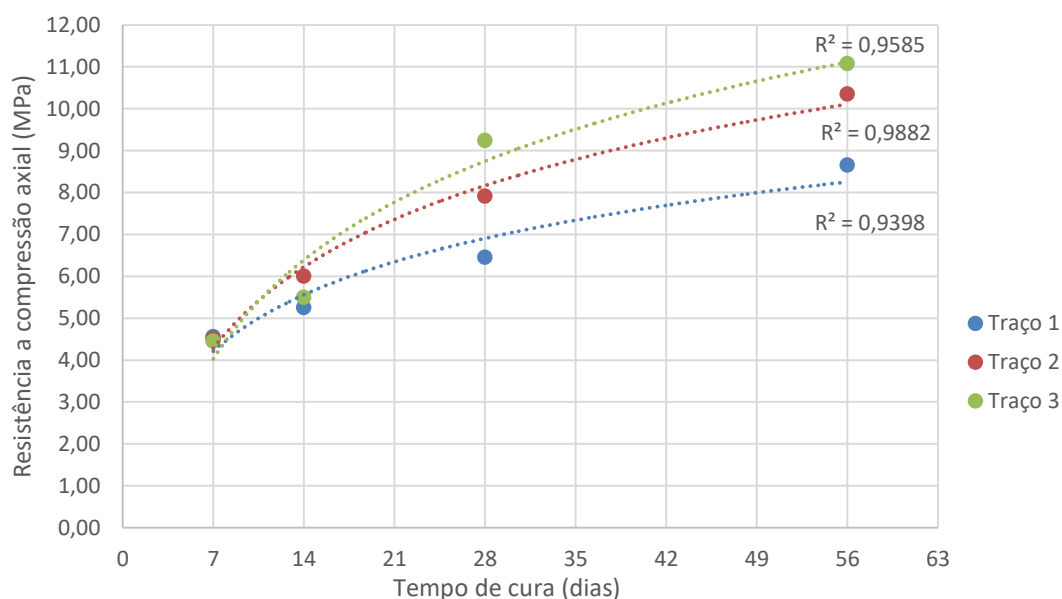
Na Tabela 34 e Figura 45 podem ser observados os resultados para resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos 5 x 10 cm, os resultados são apresentados para 7, 14, 28 e 56 dias.

**Tabela 34-** Resistência à compressão axial – Corpos de prova cilíndricos 5x10

Tempo de cura (dias)	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Resistência à compressão axial (MPa)	Desvio Padrão	Resistência à compressão axial (MPa)	Desvio Padrão	Resistência à compressão axial (MPa)	Desvio Padrão
7	4,56	0,12	4,51	0,44	4,45	0,40
14	5,25	0,38	6,00	0,29	5,50	0,87
28	6,45	0,15	7,91	1,13	9,24	1,07
56	8,66	0,74	10,35	0,19	11,08	0,89

Fonte: Próprio autor

**Figura 45-** Resistência à compressão axial – Corpos de prova cilíndricos 5x10



Fonte: Próprio autor

O que pode ser notado é a boa resistência inicial para os três traços, ficando na ordem de 4,5 MPa aos 7 dias de cura, e ultrapassando os 9,0 MPa aos 28 dias para o traço 3.

Percebe-se também uma correlação muito forte entre a resistência axial e o tempo de cura para os três traços, mostrando uma distribuição de pontos muito bem ordenada.

- COMPRESSÃO DIAMETRAL

Na Tabela 35 e Figura 46 podem ser observados os resultados para os ensaios de compressão diametral em corpos de prova cilíndricos 5 x 10 cm, que assim como no ensaio de



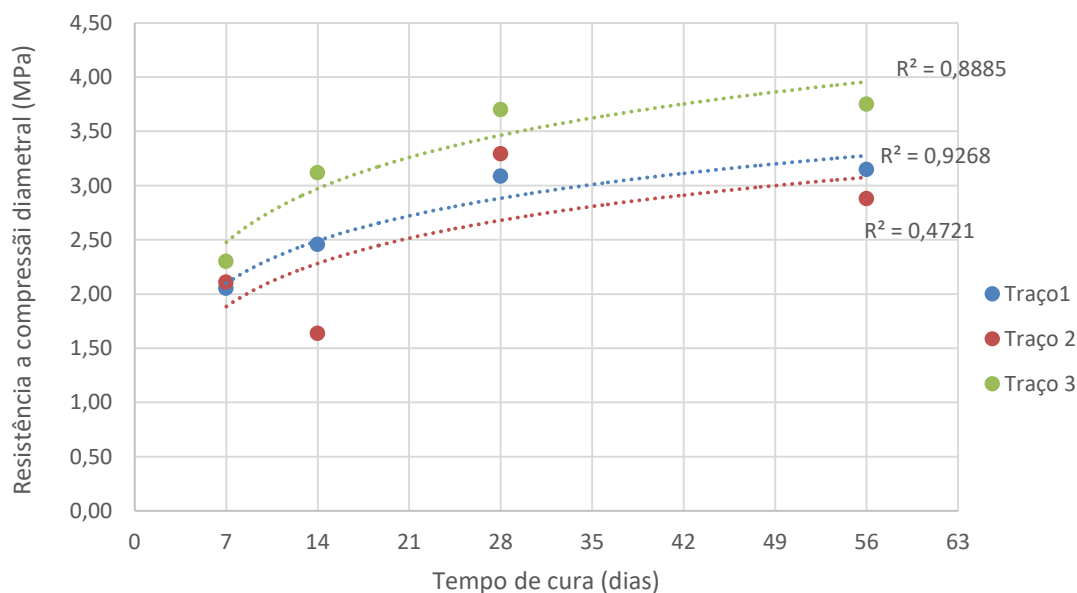
compressão axial apresentam os resultados variando de acordo com o tempo de cura, que foi de 7, 14, 28 e 56 dias.

**Tabela 35-** Resistência à compressão diametral – Corpos de prova cilíndricos 5x10

Tempo de cura (dias)	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Resistência a compressão (MPa)	Desvio Padrão	Resistência a compressão (MPa)	Desvio Padrão	Resistência a compressão (MPa)	Desvio Padrão
7	2,05	0,18	2,11	0,03	2,3	0,58
14	2,46	0,44	1,64	0,11	3,12	0,35
28	3,09	0,68	3,29	0,17	3,7	0,53
56	3,15	0,55	2,88	0,20	3,75	0,31

Fonte: Próprio autor

**Figura 46-** Resistência à compressão diametral – Corpos de prova cilíndricos 5x10



Fonte: Próprio autor

Podem ser observados que para os traços 1 e 3, houve uma concordância na evolução da resistência em função do tempo de cura, mostrando uma correlação mediana para o traço 3 e forte para o traço 1. Já no traço 2 percebe-se resultados incoerentes mostrando perda de resistência dos 7 para os 14 dias de cura, e queda de resistência novamente dos 28 para os 56 dias. A única justificativa encontrada para os resultados apresentados são de alguma possível interferência nos CPs, pois o ocorrido não se repete para as outras amostras do traço 2, onde foram ensaiados blocos e prismas, como descrito no item 5.2.3, por esse motivo não houve a preocupação de repetir tais ensaios, tendo em vista, que houveram outros indicativos que pronunciaram o comportamento do traço.

- MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

Os ensaios de módulo de elasticidade foram realizados utilizando CPs cilíndricos 10 x 20 cm aos 28 dias de cura e resultaram nos valores apresentados na Tabela 36 e Figura 47.

Nota-se que a variação encontrada para o módulo de deformação dos três traços foi muito pequena, portanto a relação tensão deformação apresentou praticamente a mesma curva independente do traço analisado.

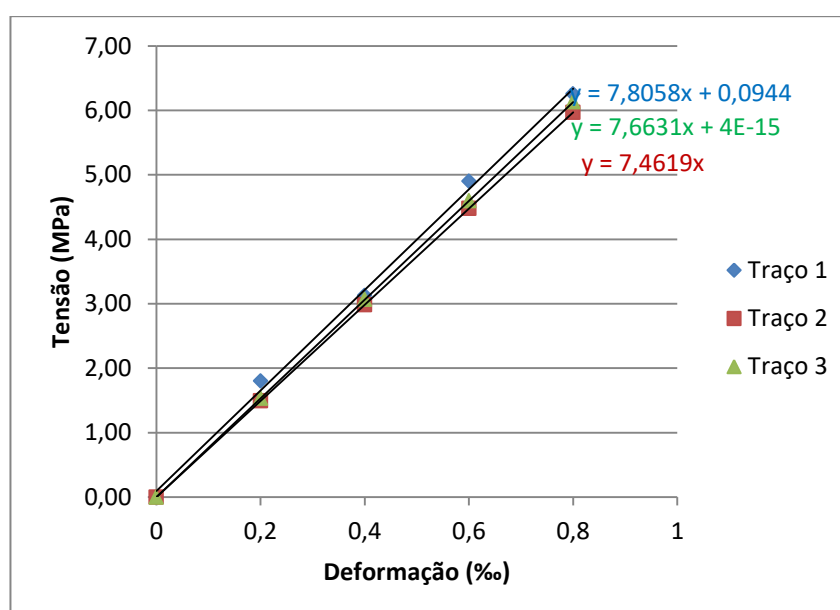
O ensaio realiza a leitura da carga aplicada no corpo de prova que dividido pela sua área fornece a tensão, e da variação de comprimento que o corpo sofre ao ser submetido à aplicação da carga, que quando dividido pelo comprimento inicial do corpo fornece a deformação. Assim obtém-se a relação de tensão em função da deformação, que como apresentado anteriormente, pode produzir uma relação linear, sendo o módulo de deformação o coeficiente angular dessa curva.

**Tabela 36-** Módulo de deformação do solo cimento

Traço 1			Traço 2			Traço 3		
Deformação (%)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)	Deformação (%)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)	Deformação (%)	Tensão (Mpa)	Módulo (GPa)
0	0,00	7,8	0	0,00	7,5	0	0,00	7,6
0,2	1,80		0,2	1,49		0,2	1,53	
0,4	3,13		0,4	2,98		0,4	3,07	
0,6	4,90		0,6	4,48		0,6	4,60	
0,8	6,26		0,8	5,97		0,8	6,13	

Fonte: Próprio autor

**Figura 47-** Gráfico Tensão x Deformação do solo cimento



Fonte: Próprio autor

Para integridade dos equipamentos de medição de deformação, as medidas foram realizadas até aproximadamente 70 % da previsão de ruptura do corpo de prova, por esse motivo a curva se apresenta linear e não contempla a fase plástica da deformação.

### ***b) Ensaio de absorção de água***

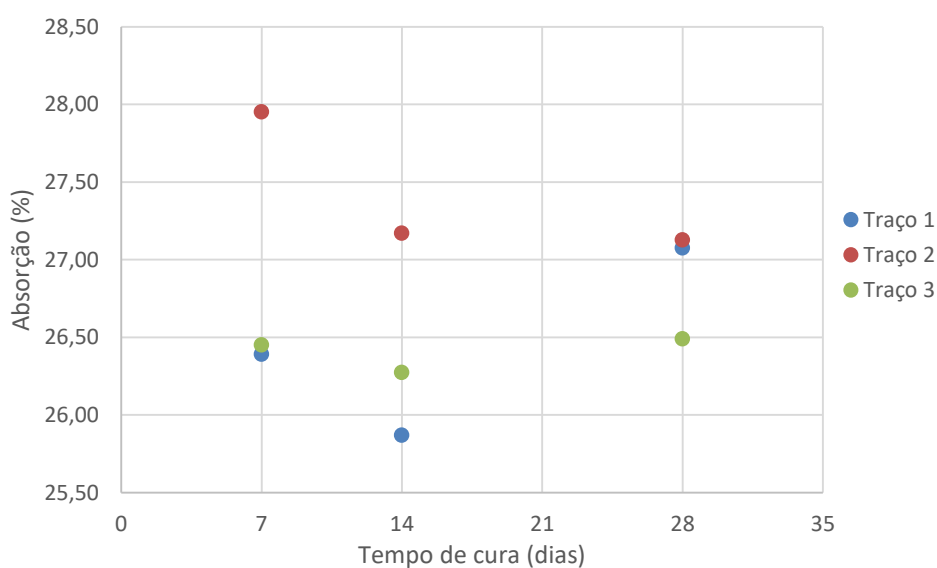
São apresentados na Tabela 37 e Figura 48 os resultados encontrados de absorção de água em corpos cilíndricos 5 x 10 cm, novamente os resultados são fornecidos em função do tempo de cura, que foi de 7, 14 e 28 dias.

**Tabela 37-** Ensaio de absorção

Tempo de cura (dias)	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Absorção (%)	Desvio Padrão	Absorção (%)	Desvio Padrão	Absorção (%)	Desvio Padrão
7	26,39	0,58	27,95	0,26	26,45	0,12
14	25,87	0,44	27,17	0,21	26,27	0,05
28	27,08	0,56	27,13	0,35	26,49	0,06

Fonte: Próprio autor

**Figura 48-** Ensaio de absorção



Fonte: Próprio autor

No que diz respeito à absorção de água em blocos de concreto a NBR 6136 (ABNT, 2007) limita a absorção de água em 10 %, de acordo com os requisitos exigidos para blocos em cerâmica a NBR 15270 (ABNT, 2005) exige absorção máxima de 22 %, assim como a NBR 10836 (ABNT, 2013) que limita a absorção de água média e individual máximas de, respectivamente 20 % e 22 %, aos sete dias de cura.

Os resultados encontrados na pesquisa variaram pouco, porém todos se mostraram entre 25 % a 28 %, ficando fora dos limites estabelecidos para absorção máxima.

### c) *Ensaio de massa específica aparente*

O ensaio de massa específica ocorreu concomitantemente com o ensaio de absorção de água, pois, os valores de massa seca e massa úmida coletados para realizar o cálculo da absorção também foram utilizados para realizar o cálculo da massa específica, restando somente realizar a medida geométrica de cada corpo de prova.

Os diâmetros de todos os CPs foram considerados constante de 47,48 mm, valor medido com paquímetro, as outras variáveis utilizadas para cálculo da massa específica aparente são mostradas na Tabela 38.

**Tabela 38-** Massa específica aparente

Traço	Massa seca (g)	Massa úmida (g)	Altura do CP (mm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Massa específica seca (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica úmida (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão
1	232,45	292,57	88	155,81	1,49	1,88	0,06
2	249,96	315,62	94	166,43	1,50	1,90	0,04
3	261,94	327,84	98	173,52	1,51	1,89	0,01

Fonte: Próprio autor

Percebeu-se com o ensaio pouca variação da massa específica entre os traços estudados, não possibilitando relaciona-la com nenhuma outra grandeza, como a absorção ou as características mecânicas do material por exemplo.

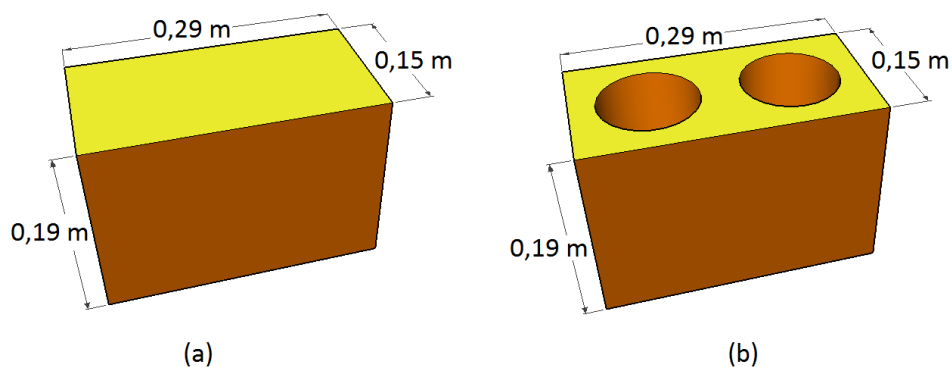
### 5.2.3 Ensaio no estado endurecido em blocos e prismas

Para cálculo da resistência dos blocos e prismas foram consideradas duas situações, a primeira como se o carregamento fosse aplicado de forma uniforme em toda a área bruta do bloco, não descontando os furos, como pode ser observado na Figura 49 (a). A segunda situação, foi considerada uma área líquida onde se descontou os furos dos blocos para cálculo da área, como pode ser observado na Figura 49 (b), o cálculo das áreas ficou da seguinte forma:

$$Área_{bruta} = 29 \times 15 = 435 \text{ cm}^2$$

$$Área_{líquida} = (29 \times 15) - 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 10^2}{4}\right) = 277,92 \text{ cm}^2$$

**Figura 49-** Áreas para cálculo de resistência: (a) Área bruta; (b) Área líquida



Fonte: Próprio autor

**a) Resistência a compressão do bloco**

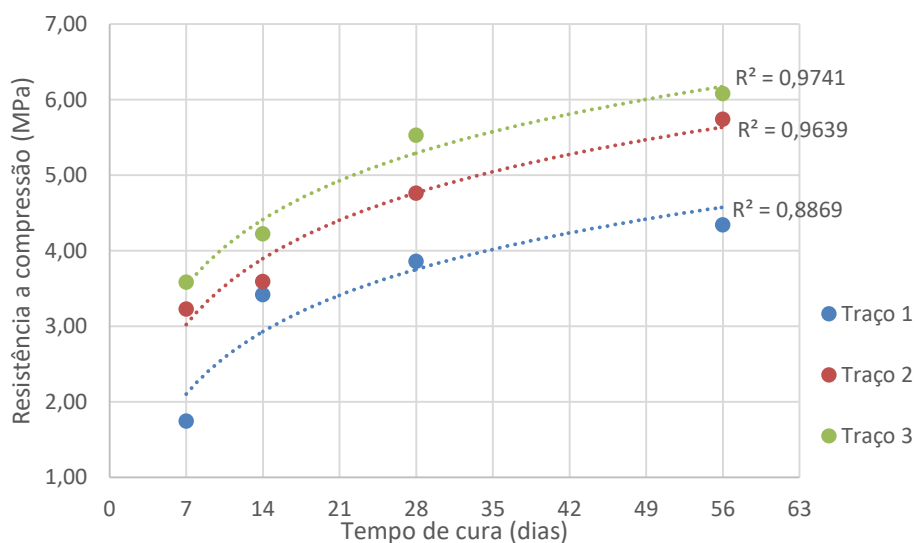
Na Tabela 39 e Figura 50 são apresentados os resultados de resistência à compressão dos blocos considerando a área bruta para cálculo.

**Tabela 39-** Resistência à compressão dos blocos – área bruta

Tempo de cura (dias)	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	$f_{Bloco,k}$ (MPa)	Desvio Padrão	$f_{Bloco,k}$ (MPa)	Desvio Padrão	$f_{Bloco,k}$ (MPa)	Desvio Padrão
7	1,74	0,22	3,22	0,15	3,58	0,31
14	3,41	0,36	3,59	0,07	4,22	0,52
28	3,86	0,56	4,76	0,55	5,53	0,78
56	4,34	0,04	5,74	0,67	6,08	0,30

Fonte: Próprio autor

**Figura 50-** Resistência à compressão dos blocos – área bruta



Fonte: Próprio autor

É observado comportamento bem ordenado das curvas de tendência, com a resistência crescendo em função do tempo de cura, e apresentando resultados mais elevados para relação a/c menores, o que já era esperado.

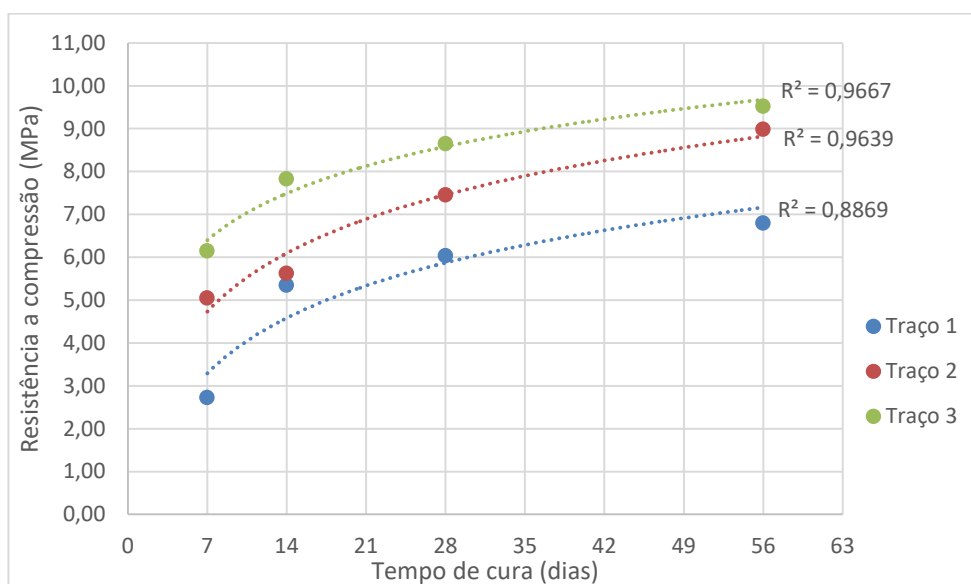
Na Tabela 40 e Figura 51 são apresentados os resultados de resistência à compressão dos blocos considerando somente a área líquida dos blocos.

**Tabela 40-** Resistência à compressão dos blocos – área líquida

Tempo de cura (dias)	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	$f_{Bloco,k}$ (MPa)	Desvio Padrão	$f_{Bloco,k}$ (MPa)	Desvio Padrão	$f_{Bloco,k}$ (MPa)	Desvio Padrão
7	2,73	0,34	5,05	0,24	6,15	0,49
14	5,34	0,56	5,62	0,11	7,83	0,81
28	6,04	0,88	7,45	0,87	8,65	1,22
56	6,80	0,06	8,98	1,05	9,52	0,47

Fonte: Próprio autor

**Figura 51-** Resistência à compressão dos blocos – área líquida



Fonte: Próprio autor

Os resultados apresentados na Tabela 40 e Figura 51 se justificam para comparação feita na Tabela 41 que apresentada à relação entre a resistência dos blocos, fazendo a consideração somente de área líquida, e a resistência dos corpos de prova cilíndrico 5 x 10.

**Tabela 41-** Relação entre a resistência a compressão dos blocos (área líquida) x Resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos 5 x10 cm

	Traço 1	Traço 2	Traço 3
Tempo de cura (dias)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
7	0,60	1,12	1,38
14	1,02	0,94	1,42
28	0,94	0,94	0,94
56	0,78	0,87	0,86

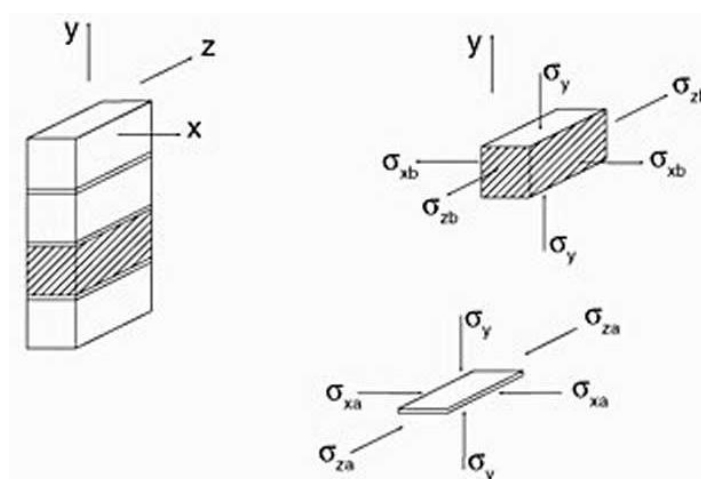
Fonte: Próprio autor

Essa relação mostra que em algumas situações a resistência do bloco foi superior à resistência dos corpos de prova cilíndricos, e quando houve redução na resistência, o que se observou foi uma perda pequena, em torno de 10% a 20%. O que mostra o efeito positivo da geometria definida para os blocos.

A queda de resistência dos blocos para os CPs cilíndricos já era esperada e é explicada pelo plano triaxial de tensões a que é conferido os blocos de forma mais pronunciada.

Como mostra Ramalho e Corrêa (2003) o bloco ou prisma quando submetido a um plano de carregamento em uma direção, responde a essa solicitação também nas outras direções, ou seja, como mostra a Figura 52 se o prisma sofre uma solicitação de compressão na direção “y”, a resposta a essa solicitação será o aparecimento de tensões de tração solicitando as direções “z” e “x” desse prisma.

**Figura 52-** Estado triaxial de tensões



Fonte: Ramalho e Corrêa (2003).

Os esforços de tração laterais a que é submetido o bloco pode ser considerado uniforme na altura da unidade e igual nas direções “x” e “z” (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Como mostra a Figura 53 os blocos foram submetidos a um esforço de compressão na direção “y” que gerou esforços de tração nas direções “x” e “z” iguais em módulo, mas como

as áreas correspondentes por suportar esses esforços de tração são diferentes, as tensões em cada direção se tornam diferente, ou seja:

$$\text{Área}_x = 15 \times 19 = 285 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área}_z = 29 \times 19 = 551 \text{ cm}^2$$

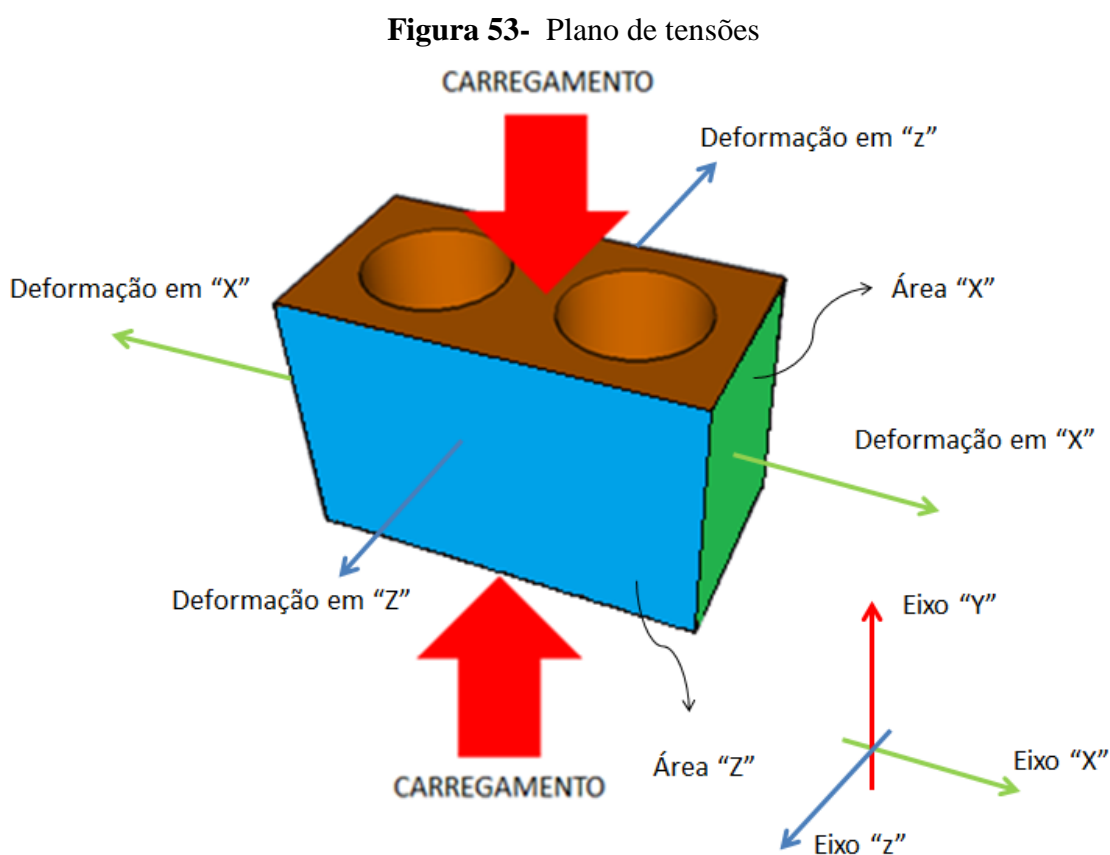
Como:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_x = \frac{F}{A_x} = \frac{F}{285}$$

$$\sigma_z = \frac{F}{A_z} = \frac{F}{551}$$

Portanto considerando material isotrópico,  $\sigma_x$  é maior que a  $\sigma_z$ , e o módulo de deformação é constante independente da direção, portanto, se  $\sigma = \varepsilon \cdot E$ , temos que a deformação na direção “x” será maior que na direção “z”. Para melhor entendimento é apresentada a **Figura 53**, que mostra os planos de carregamento e os planos de deformações.



Fonte: Próprio autor

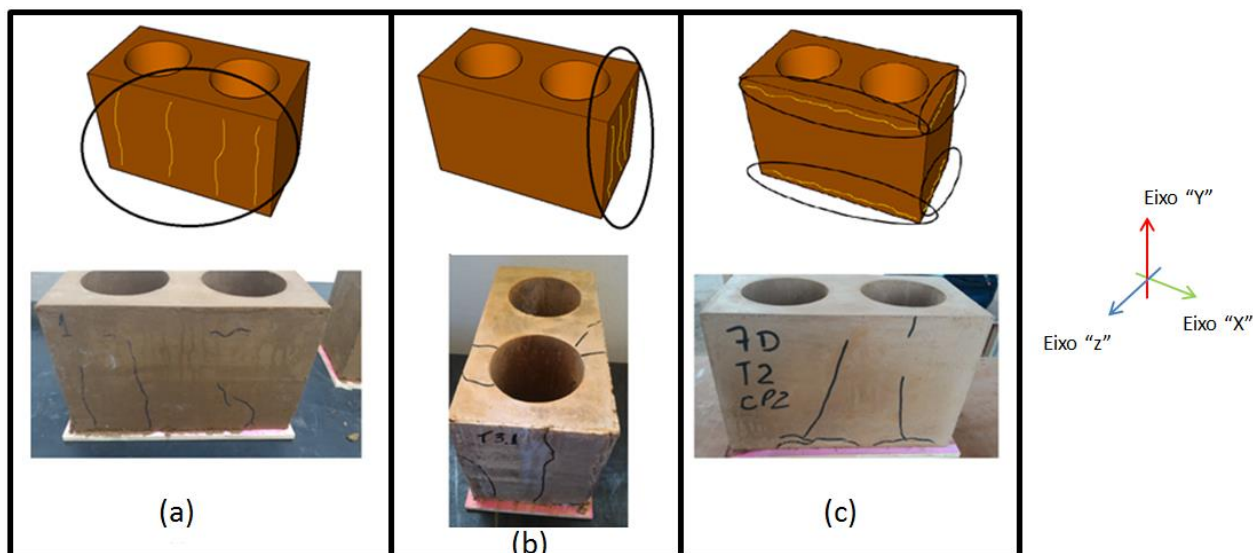
A formação de fissuras nos blocos ocorreu de forma bastante complexa, mas em sua grande maioria ocorreu como mostra a Figura 54.



Os tipos de fissuras mais comuns foram às fissuras verticais, na área “Z” (veja Figura 53), como mostra a Figura 54 (a), provocadas por esforços de tração na direção “X”.

Também se mostraram presentes de forma bastante sistemática, outros dois tipos de fissuras, que estão apresentadas na Figura 54. O tipo (b) são fissuras verticais na área “X” (veja Figura 53), provocadas por esforços de tração presentes no eixo “Z”, e o tipo (c) são fissuras provocadas pela variação de deformação do bloco em relação ao prato da prensa, no caso de ensaios de blocos, ou seja, as áreas “X” e “Z” se deformaram, mas a área do bloco em contato com a prensa não acompanharam a deformação, gerando esse tipo de fissura característica.

**Figura 54-** Representação e fissuras características nos blocos



Fonte: Próprio autor

Apesar da tentativa de planificar a área de aplicação de carga, para gerar aplicação de tensão uniforme nos blocos, em algumas situações percebeu-se a formação de fissuras decorrentes da má distribuição de carga, como mostra a Figura 55, no entanto, esse comportamento não causou prejuízos significativos em relação à resistência do bloco.

**Figura 55-** Concentração de tensão



Fonte: Próprio autor

**b) Resistência a compressão de prismas formados por dois blocos**

Como já mencionado por Ramalho e Corrêa (2003), a resistência do prisma sempre vai ser maior que a resistência da alvenaria, e menor que a resistência do bloco, a resistência do prisma é inversamente proporcional à quantidade de fiadas, ou seja, quanto maior o número de fiadas menor será a resistência do elemento, tal conceito mostra a importância da eficiência da alvenaria.

A Tabela 42 mostra as resistências encontradas para os prismas, e de acordo com as resistências dos prismas mostra a resistência da alvenaria e a sua eficiência. O cálculo da resistência da alvenaria e de sua eficiência foi encontrado como segue:

$$f_{Alv,k} = 0,7 * f_{p,k}$$

$$\eta = \frac{f_{Alv,k}}{f_{Bloc,k}}$$

**Tabela 42-** Resistência de prisma e coeficiente de eficiência

	$f_{p,k}$ (Mpa)	Desvio Padrão - $f_{p,k}$	Resistência à compressão axial da argamassa de assentamento (56dias- MPa)	$f_{Alv,k} =$ $0,7 * f_{p,k}$ (Mpa)	$f_{Bloc,k}$ (MPa)	$\eta = \frac{f_{Alv,k}}{f_{Bloc,k}}$
Traço 1	4,18	0,64	6,78	2,92	4,34	0,67
Traço 2	4,47	0,52	3,6	3,13	5,74	0,55
Traço 3	3,80	0,52	3,6	2,66	6,08	0,44

Fonte: Próprio autor

Analisando a Tabela 42 percebe-se inicialmente que houve um ganho de resistência do traço dois em relação ao primeiro, porém, ocorreu uma redução de resistência do prisma confeccionado com o terceiro traço em relação ao segundo, o que torna os resultados incoerentes quando analisamos o trabalho de uma forma geral, pois o traço três por ser o mais rico, deveria apresentar maiores resistências em todos os casos.

Tais resultados mostram que o estudo do prisma deve ser mais elaborado, pois mais de um elemento deve ser analisado, nesse caso acredita-se que a argamassa de assentamento pode ter influenciado nos resultados finais.

O traço utilizado para fabricação da argamassa de assentamento para todos os prismas, foi o da argamassa tipo 1, que apresentou resultados com valores dentro do intervalo esperado na pesquisa preliminar, porém os ensaios realizados com a argamassa utilizada para fabricação dos prismas mostraram que apesar da utilização do mesmo traço e tomando todos os cuidados com o controle dos materiais utilizados, chegou-se a valores diferentes para cada ensaio.

Esses resultados também estão apresentados na Tabela 42, e mostram que para traço 1 a argamassa obteve resistência 56% superior a resistência do bloco, mas para o traço 2 obteve somente 63 % da resistência do bloco, enquanto que para o traço 3 ficou limitada a 60 %.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003) a resistência da alvenaria não é influenciada de forma muito significativa pela resistência da argamassa, porém analisando a formação das fissuras percebe-se que houve influência da argamassa nos resultados atingidos.

- Análise do primeiro traço:

Nos prismas do primeiro traço, observando a Figura 56 percebe-se fissuras verticais presentes em toda a altura do prisma, mostrando tensões atuantes bem distribuídas, e a argamassa servindo de elemento portante de carregamento, transmitindo o esforço entre os blocos de forma bastante eficiente.

**Figura 56-** Fissuras verticais características dos prismas – traço 1



Fonte: Próprio autor

Também ocorreram fissuras horizontais próximas à prensa e próximas à argamassa, como mostra a Figura 57, de acordo com o conceito apresentado na Figura 52, como os prismas estão submetidos a um estado triaxial de tensões, a deformação ocorre de forma distinta entre o bloco e a argamassa, o que pode gerar fissuras nessa região. E também ocorreram fissuras próximo ao prato da prensa, pois o bloco tenta se deslocar, devido a tensões de tração laterais, mas o atrito entre a prensa e o bloco não deixa o deslocamento ocorrer, gerando fissuras que podem ser observadas na Figura 57.

**Figura 57-** Fissuras horizontais características dos prismas – traço 1



Fonte: Próprio autor

Todavia, pelas resistências alcançadas e a formação de fissura observada, a alvenaria se comportou de forma excelente, mostrando ótimos resultados com resistência a compressão chegando a quase 3,00 MPa e eficiência de 0,67.

- Análise do segundo traço:

Analisando as fissuras presentes nos prismas do segundo traço, percebe-se que houve distribuição uniforme presente em todo bloco, pois as fissuras estão presentes de forma bem pronunciada em toda a altura do prisma.

Porém pode ser observada região de fragilidade na argamassa de assentamento, que provavelmente contribuiu para uma ruptura ligeiramente antecipada, pois apresentou grandes deformações antes da ruptura do conjunto.

Outro indicativo da ruptura do prisma ter ocorrido na argamassa é o não aparecimento de fissuras horizontais nos blocos próximo ao prato da prensa, o que indica pouca deformação dos blocos na região.

**Figura 58-** Fissuras características dos prismas – traço 2



Fonte: Próprio autor

Esse comportamento mostra que a argamassa de assentamento não cumpriu sua função integralmente, mas de qualquer forma não comprometeu de forma muito significativa à resistência do conjunto, pois a alvenaria apresentou resistência acima de 3,00 MPa e eficiência em torno de 55 %.

- Análise do terceiro traço:

A ruptura dos prismas do traço três ficaram aquém do esperado, pois se trata do traço mais rico, que apresentou melhor comportamento em toda a pesquisa, mas acreditasse que a argamassa de assentamento tenha influenciado nos resultados dos ensaios dos prismas.

Observando a Figura 59, pode-se perceber que as fissuras estão presentes de forma bastante discreta, aparecendo em pequena quantidade e em pequenas magnitudes. No entanto, para todos os prismas do traço três, percebeu-se o mesmo comportamento da argamassa, que em cargas mais amenas transmitia o carregamento de forma eficiente entre os blocos, mas quando solicitada de forma mais intensa levou o conjunto ao colapso, deixando claro que a ruptura do conjunto ocorreu devido a imperfeições na região de ligação.

**Figura 59-** Fissuras características dos prismas – traço 3



Fonte: Próprio autor

Dessa forma a alvenaria atingiu resistência de apenas 2,7 MPa limitando sua eficiência em 44 %, já que a resistência do bloco para o traço três foi o maior entre todos atingindo o valor de 6,08 MPa aos 56 dias de cura.

## 6 CONCLUSÕES

A construção civil busca sempre a evolução de suas técnicas de aplicação, e uma das formas de contribuir para evolução é com a sugestão de aplicação de novos materiais.

Realizando a análise dos resultados, percebe-se que tecnicamente é possível a utilização do SCAA como um novo material para produção de blocos para alvenaria, tornando o uso do material uma alternativa viável para este fim.

Os blocos produzidos ficaram bem acabados, apresentando boa aparência e grande potencial para ser aceito comercialmente, tendo em vista que o uso do solo cimento já é uma realidade nas construções no Brasil e no mundo.

Nos resultados apresentados pode-se verificar o bom desempenho que as misturas em SCAA apresentaram tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Concordando com os referenciais teóricos, as misturas de SCAA utilizadas apresentaram características auto adensáveis, sem a presença de exsudação ou segregação, e com ótima trabalhabilidade, oferecendo viscosidade suficiente para manter a coesão interna, mas ao mesmo tempo, baixa o suficiente para permitir o trabalho de preenchimento das formas de madeira utilizadas para fabricação dos blocos e dos moldes dos CPs.

Em relação à massa específica, mostrou-se que o processo de hidratação do cimento é mais importante que o processo de adensamento para ganho de resistência, pois a variação da massa específica foi muito pequena entre as amostras. Por outro lado, verificou-se valores de absorção variando entre 25 % e 28 %, valores que estão em desacordo com as exigências da NBR 10834 (ABNT, 2013), que limita a absorção individual em 22 %, no entanto não existe nenhuma orientação quando à absorções máximas para o SCAA, portanto, existe necessidade de ampliar o estudo em relação a este aspecto.

Os resultados no estado endurecido são promissores, pois os blocos apresentaram resistência à compressão axial variando de 1,74 a 3,58 MPa aos 7 dias de cura, e 3,86 a 5,53 MPa aos 28 dias de cura, mostrando que o SCAA possui características que possibilitam seu uso para alvenaria estrutural, tomando como base os requisitos de desempenho indicados para os blocos cerâmicos e blocos de concreto.

Analisando as resistências encontradas para os prismas que variou de 3,80 a 4,47 MPa aos 56 dias de cura, verificou-se que a resistência da alvenaria girou em torno de 3,0 MPa com eficiência apresentando resultados entre 0,44 a 0,67, o que são resultados ótimos quando comparados com blocos de outros materiais, como cerâmicos ou concreto.

As formas de ruptura observadas nos ensaios dos prismas mostram que possivelmente para o primeiro traço, houve uma interação ideal entre os blocos e a argamassa de assentamento, para o segundo traço acredita-se que a ruptura pode ter ocorrido de forma ligeiramente prematura devido à argamassa de assentamento, pois os blocos não apresentaram fissuras muito pronunciadas, e para o terceiro traço, o que pode ser concluído é o não cumprimento total da função da argamassa de assentamento, já que aparentemente houve esmagamento da argamassa no ensaio, reduzindo a expectativa de resistência do conjunto.

Diante do contexto verifica-se a viabilidade técnica da aplicação do material, mostrando que o SCAA é uma opção para fabricação de blocos, inclusive se enquadrando como estrutural, oferecendo como vantagem a sustentabilidade que lhe confere, pois a fabricação dos blocos pode inclusive ser realizada em canteiro de obra, com solo do próprio local.

Ressalta-se que devido a grande diversidade de solos existentes, devem ser realizados ensaios laboratoriais para utilização do mesmo como matéria prima para fabricação dos blocos, e se necessário deve ser realizada a correção granulométrica para sua aplicação.



## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A partir do que foi estudado, propõe-se algumas sugestões de pesquisas futuras utilizando o SCAA.

- Estudo mais aprofundado do módulo de elasticidade do material, tendo em vista que o estudo se limitou a verificar apenas a fase linear da relação tensão e deformação, não possibilitando o entendimento integral do comportamento do material.
- Procurar soluções para reduzir a permeabilidade do material, reduzindo sua absorção.
- Verificar a durabilidade do material sobre ação de intempéries, incluindo a absorção de água, e verificar se o efeito é prejudicial ao material. Realizar estudo de estabilização dimensional.
- Verificar a possibilidade de utilizar solo cimento, em substituição da argamassa de assentamento, para fabricação de alvenaria, para aproximar as características dos materiais utilizados para fabricação dos blocos, e do material utilizado para o assentamento.

## REFERÊNCIAS

ALCANTARA, Marco Antônio de Moraes; NUNES, Sandra Conceição Barbosa; RIO, João Filipe Meneses Espinheira. Estudo do solo-cimento-auto-adensável produzido com solos da região do Porot-PT. Parte I: caracterização de propriedades mecânicas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiania, v. 9, n. 1, p.37-51, 6 set. 2014. Disponível em: <revistas.ufg.br/index.php/reec/index>. Acesso em: 4 jan. 2015.

ALCANTARA, Marco Antônio de Moraes; CUSTÓDIO, Miriam da Silva; VIZHALIL, Paul Mathew. O solo-cimento auto-adensável com adição de cinzas de casca de arroz como aditivo auxiliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 57., 2015, Bonito. **Anais Bonito: Ibracon**, 2015. p. 1 - 16.

ALCANTARA, Marco Antônio de Moraes; MATSUURA, Fernanda de Lima. Estudo de variação das propriedades do solo-cimento auto-adensável no estudo endurecido em função das condições de exposição após a cura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 57., 2015, Bonito. **Anais...** Bonito: Ibracon, 2015. p. 1 - 14.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6457**: amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6459**: solo - determinação do limite de liquidez – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6508**: grãos de solos que assam na peneira de 4,8 mm - determinação da massa específica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7175**: cal hidratada para argamassas - requisitos. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7180**: solo - determinação do limite de plasticidade - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7181**: solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: concreto e argamassa — determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: tijolo de solo-cimento - requisitos. Rio de Janeiro: 2013. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834**: bloco de solo-cimento sem função estrutural - requisitos. Rio de Janeiro: 2013. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024**: solo-cimento — moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — procedimento. Rio de Janeiro, 2012. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025**: solo cimento - ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos - método de ensaio. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio. Rio de Janeiro: 2013. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253**: solo-cimento - dosagem para emprego como camada de pavimento - procedimento. Rio de Janeiro: 2012. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15823-2**: concreto auto-adensável parte 2: determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-1**: alvenaria estrutural – blocos de concreto. Rio de Janeiro, 2011. 42 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-2**: alvenaria estrutural – blocos de concreto. Rio de Janeiro, 2011. 35 p.

BERTÉ, Susana Dalila Dolejal; ALCANTARA, Marco Antônio de Moraes. Estudo do comportamento do solo-cimento auto-adensável. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiania, v. 7, n. 2, p. 37-52, 25 nov. 2013. Disponível em: <[revistas.ufg.br/index.php/reec/index](http://revistas.ufg.br/index.php/reec/index)>. Acesso em: 4 jan. 2015.

CAMACHO, Jefferson, Sidney **Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria cerâmica**. 1995. 157 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CAMACHO, Jefferson Sidney **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Ilha Solteira: UNESP, 2006c. 53 p. Apostila.

CLAVERIE, JEROME. **Estudo da influência da cinza de casca de arroz e da cal nas propriedades do solo-cimento auto-adensável**. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil)– Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DENIT. **NORMA DNIT 143/2010 – ES: pavimentação – base de solo-cimento – especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2010.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre da. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de pearson (r). **Revista Política Hoje**, Pernambuco, v. 18, p. 115-146, 2009.

FOPPA, Diego **Análise de variáveis-chave no controle da resistência mecânica dos solos artificialmente cimentados.** 2005. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

GOMES, Paulo César Correia; BARROS, Alexandre Rodrigues de. **Métodos de dosagem de concreto auto-adensável.** São Paulo: Pini, 2009. p 165.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo **Manual de dosagem e controle do concreto.** Pini: [s.n.], 1992. p 330.

JUSTE, Andrea Elizabeth. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão.** 2001. 236 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

MARTINS, Vítor Manuel Vieira. **Alvenaria em solo-cimento: para moradias unifamiliares em Angola.** 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto, Porto, 2011.

MENDES, Cleiton João. **Concreto auto adensável utilizado cinza de casca de arroz: estudo das propriedades mecânicas.** 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2015.

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges (Org.).**Técnicas de construção com terra.** Bauru: Feb-UNESP, 2011. 79 p.

NEVES, Célia Maria Martins. Resgate e atualização do construir com terra: o projeto proterra. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., 2004, São Paulo. **Congresso.** São Paulo: [s.n.], 2004. p. 1 - 10.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: PINI, 2003. p 169.

REDDY, Venkatarama; GUPTA, Ajay. **Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil-cement block masonry**. India: Construction And Building Materials, 2007. p. 1614-1623.

REDDY, Venkararama; LAL, Richardson; RAO, Nanjunda. Enhancing bond strength and characteristics of soil-cement block masonry. **Journal Of Materials In Civil Engineering**, India, v 19, n 2, p. 164-172. fev. 2007.

REDDY, Venkatarama; LAL, Richardson; RAO, Nanjunda. Optimum soil grading for the soil-cement blocks. **Journal Of Materials In Civil Engineering**, India, v. 19, n. 2, p. 139-148, 19 fev. 2007.

SANBONSUGE, Kendi. **Comportamento mecânico e desempenho em campo de base de solo-cimento**. 2013. 135 f. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SANTIAGO, Cybèle Celestino. **O solo como material de construção**. 2. ed. Salvador: Edufba, 2001. 72 p.

SEGANTINI, Antonio Anderson Silva; ALCANTARA, Marco Antonio. de Moraes. Solo-cimento e solo-cal. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO - IBRACON (Org.). **Materiais de construção civil e princípios básicos de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, p. 863-891.

SHIHATA, Sabry ; BAGHDADI, Zaki. Long-term strength and durability of soil cement. **Journal Of Materials In Civil Engineering**, Arabia Saudita, v. 13, n. 3, p. 161-165, mar. 2001.

SIKA S.A.. **Ficha do produto sika viscoflow 20**. Osasco: São Paulo, 2014. Disponível em: <[http://bra.sika.com/dms/getdocument.get/08502c14-6b8b-3bd5-bb35-d17b2cf7e571/sika\\_viscoflow\\_20.pdf](http://bra.sika.com/dms/getdocument.get/08502c14-6b8b-3bd5-bb35-d17b2cf7e571/sika_viscoflow_20.pdf)>. Acesso em: 25 out. 2016.

SOUZA, Josiani (Org.). **Alternativas tecnológicas para edificações**. São Paulo: Pini, 2008. 237 p. Revisão técnica: Fernando Benigno.

TAUIL, Carlos Alberto; NESE, Flávio José Martins. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2010. 183 p. Coordenação de Manuais Técnicos: Josiani Souza.

VILATÓ, Rolando Ramires; FRANCO, Luiz Sérgio. **A capacidade resistente da alvenaria estrutural não armada**: relatório técnico. São Paulo: Escola Politécnica-USP, 2000. p. 20.

TENNANT, Adam G.; FOSTER, Craig D; REDDY, Venkatarama. Verification of masonry building code to flexural behavior of cement-stabilized soil block. **Journal of Materials in Civil Engineering**, India, v. 25, n.3, p. 303-307, mar. 2013.

**ANEXOS**

ANEXO I: Ensaio de Granulometria Conjunta, Limites de Consistência, Ensaio de Compactação do Solo - Proctor

### ENSAIO DE GRANULOMETRIA CONJUNTA

Classificação: HRB: A-4	
Sondagem	Amostra: SOLO TORRE NOVO - II
Profundidade: (m)	Data: 18/11/2015
Local:	Operador: Mário
Registro:	Obs:

#### SEDIMENTAÇÃO

Umidade %	
Cápsula	118
(S + A + T) (g)	129,62
(S + T) (g)	128,67
(S) (g)	94,52
(A) (g)	0,95
(T) (g)	34,15
w (%)	1,0

Dados Gerais	
Solo Umido (g):	69,85
Solo Seco (g):	69,15
ps (g/cm <sup>3</sup> ):	2,67
Solo Seco Retido - # 200 (g):	29,38
Densímetro:	2
Defloculante:	Hexametáfosfato de Sódio
Am Total (Pen.Grosso)	69,15

T (°C)	Tempo (min)	Leitura	Correção	Leitura Corrig.	Viscosid. $\mu \times (10^4)$	pw (g/cm <sup>3</sup> )	Alt. Queda (cm)	Diâmetro $\phi$ (mm)	Porc. %
				0,00				0,075	57,5
27,5	1	19,3	-2,6	16,70	8,52	0,9963	14,8	0,0480	38,5
27,5	2	18,3	-2,6	15,70	8,52	0,9963	15,0	0,0342	36,2
27,5	4	17,5	-2,6	14,90	8,52	0,9963	15,1	0,0242	34,4
27,5	8	16,8	-2,6	14,20	8,52	0,9963	15,3	0,0173	32,8
27,5	15	16,2	-2,6	13,60	8,52	0,9963	15,4	0,0126	31,4
27,0	30	15,6	-2,7	12,90	8,72	0,9965	15,5	0,0091	29,8
26,5	60	14,9	-2,8	12,10	8,72	0,9965	15,7	0,0065	27,9
26,0	120	14,5	-2,9	11,60	8,92	0,9968	15,8	0,0046	26,8
26,0	240	14,0	-2,9	11,10	8,92	0,9968	15,9	0,0033	25,6
27,0	480	13,0	-2,7	10,30	8,72	0,9965	16,0	0,0023	23,8

#### PENEIRAMENTO

Peneiramento Grosso			
Peneira Nº	Diâmetro $\phi$ (mm)	Massa Retida	Porc. % < $\phi$
	50	0,00	100,0
	38	0,00	100,0
	25	0,00	100,0
	19	0,00	100,0
	13,5	0,00	100,0
	9,5	0,00	100,0
4	4,8	0,00	100,0
10	2,0	0,00	100,0

Peneiramento Fino			
Peneira Nº	Diâmetro $\phi$ (mm)	Massa Retida	Porc. % < $\phi$
10	2,0	0,00	100,0
20	0,800	0,18	99,7
40	0,420	0,93	98,7
60	0,250	6,07	91,2
100	0,150	14,43	79,1
140	0,104	21,37	69,1
200	0,075	29,38	57,5
Prato	-		

Fração	Intervalo de Diâmetros - mm	Peneiras
Pedregulho	4,8 < $\phi$ < 76	Grosso: 19 < $\phi$ < 76
		Fino: 4,8 < $\phi$ < 19
Areia	0,05 < $\phi$ < 4,8	Grossa: 2,0 < $\phi$ < 4,8 #10 #4
		Média: 0,42 < $\phi$ < 2,0 #40 #10
		Fina: 0,05 < $\phi$ < 0,42 #270 #40
Silte	0,005 < $\phi$ < 0,05	-
Argila	$\phi$ < 0,005	-

Porcentagem de Ocorrência		
Fração	Subdivisão	(%)
Pedregulho	-	0,0
	Grossa	0,0
Areia	Média	1,3
	Fina	58,7
Silte	-	13,0
Argila	-	27,0



### LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Classificação:	
Poço:	Amostra:
Profundidade: (m)	Data: 17/11/2015
Local: SOLO TORRE NOVO - II	Operador: MÁRIO
Registro:	Obs:

#### LIMITE DE LIQUIDEZ

Cápsula N°	P47	P72	P88	P74	P76		
Amostra Úmida + Tara (g)	25,12	25,23	21,12	25,24	24,03		
Amostra Seca + Tara (g)	22,70	22,29	18,35	22,11	21,07		
Água (g)	2,42	2,94	2,77	3,13	2,96		
Solo (g)	10,36	11,74	10,87	11,87	10,65		
Tara (g)	12,34	10,55	7,48	10,24	10,42		
<b>Umidade %</b>	<b>23,4</b>	<b>25,0</b>	<b>25,5</b>	<b>26,4</b>	<b>27,8</b>		
Número de Golpes	42	27	21	17	11		

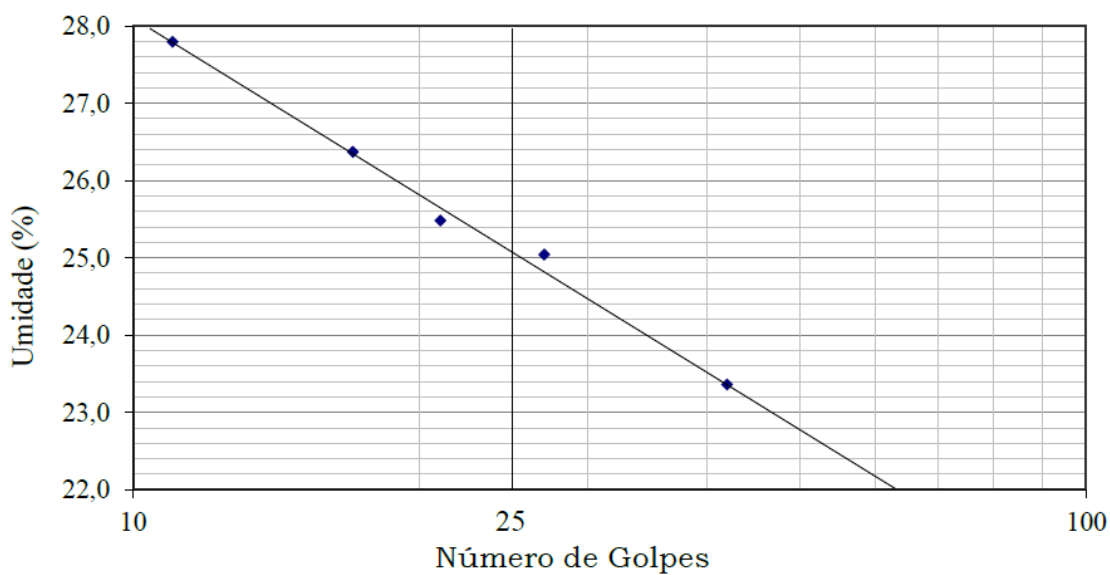
#### LIMITE DE PLASTICIDADE

Cápsula N°	P37	P88	P81	
S + A + T (g)	18,99	12,12	14,07	
S + T (g)	18,33	11,48	13,36	
Água (g)	0,66	0,64	0,71	
Solo (g)	4,11	4,00	4,35	
Tara (g)	14,22	7,48	9,01	
<b>Umidade %</b>	<b>16,1</b>	<b>16,0</b>	<b>16,3</b>	

#### RESULTADOS

LIMITE DE LIQUIDEZ	<b>25,1</b>
LIMITE DE PLASTICIDADE	<b>16,1</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	<b>9,0</b>

#### LIMITE DE LIQUIDEZ



## ENSAIO DE COMPACTAÇÃO DE SOLOS - PROCTOR

Classificação:	
Amostra: SOLO TORRE NOVO - II	
Profundidade: (m)	Data: 18/11/2015
Local: I. SOLTEIRA	Operador:
Registro:	Obs:

 Proctor Normal

 Proctor Intermediário

 Proctor Modificado

### Compactação

Determinação (nº)	1	2	3	4	5	6	7
Volume do Cilindro (cm <sup>3</sup> )	1001	1001	1001	1001	1001		
Tara do Cilindro (g)	2395	2395	2395	2395	2395		
Cilindro + Solo Úmido (g)	4378	4500	4557	4540	4470		
Solo Úmido (g)	1983	2105	2162	2145	2075		
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,981	2,103	2,160	2,143	2,073		
$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,789	1,879	1,917	1,889	1,808		

### Umidade

Cápsula (nº)	107	114	G01	117	108		
( S + A + T ) (g)	260,45	286,87	574,80	317,72	284,13		
( S + T ) (g)	238,44	260,04	520,70	284,33	252,27		
( A ) (g)	22,01	26,83	54,10	33,39	31,86		
( S ) (g)	205,13	225,33	428,05	248,98	217,54		
( T ) (g)	33,31	34,71	92,65	35,35	34,73		
w (%)	10,7	11,9	12,6	13,4	14,6		

 Massa Espec. Seca Máx. ( $\rho_d$ ) **1,917**

 Umidade Ótima (w) **12,6**

### CURVA DE COMPACTAÇÃO

