

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MANUEL ANTONIO VILLALOBOS LLAJARUNA

**ESTUDO DO SOLO-CIMENTO AUTO ADENSÁVEL PARA A FABRICAÇÃO DE
TIJOLOS DE PÓ DE MÁRMORE E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO**

Ilha Solteira

2016

MANUEL ANTONIO VILLALOBOS LLAJARUNA

**ESTUDO DO SOLO-CIMENTO AUTO ADENSÁVEL PARA A FABRICAÇÃO DE
TIJOLOS DE PÓ DE MÁRMORE E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO**

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. JORGE LUIS AKASAKI

Orientador

Prof. Dr. MARCO ANTONIO DE MORAIS
ALCANTARA

Co-orientador

Ilha Solteira

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- L791e Llaruna, Manuel Antonio Villalobos.
Estudo do solo-cimento auto adensável para a fabricação de tijolos de pó de mármore e resíduo de construção / Manuel Antonio Villalobos Llaruna. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
71 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2017
- Orientador: Jorge Luis Akasaki
Co-orientador: Marco Antonio de Moraes Alcântara
Inclui bibliografia
1. Solo-cimento auto adensável . 2. Pó de mármore. 3. Resíduo de construção. 4. Tijolo.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Estudo do solo cimento auto adensável para a fabricação de tijolos de pó de mármore e resíduo de construção

AUTOR: MANUEL ANTONIO VILLALOBOS LLAJARUNA

ORIENTADOR: JORGE LUIS AKASAKI

COORDENADOR: 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

Profa. Dra. ANA PAULA SILVA MILANI
Centro de Ciência Exatas e Tecnologia - CCET / UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

Ilha Solteira, 20 de fevereiro de 2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família
Gladys Llajaruna Huayhua minha mãe e
Luis Alberto Villalobos Bocanegra meu pai,
que estão sempre comigo juntos
nos bons e maus momentos.

AGRADECIMENTO

À minha família, especialmente aos meus pais que sempre me incentivarem sempre nos desafios que surgiram na minha vida, além do amor, apoio, compressão e pelos esforços que sempre fizeram, ajudando em todos os sentidos.

Ao meu orientador Jorge Luis Akasaki, por acreditar e contribuir no meu trabalho.

Ao meu Professor e co-orientador Marco Antonio de Moraes Alcântara, por toda a atenção, as conversas, por me orientar também e sempre confiar nas minhas capacidades

Ao Professor Anderson Segantini pela contribuição especial no trabalho.

Ao Gilson, Mário, Ozias e Flavio pelas ajudas técnicas no Laboratorio Central de Engenharia Civil.

Aos meus amigos Jhaber Yacoub, Diego Francisco, André Emiliano, Adolfo Genserico, Guilherme Ibere, Felipe Ribeiro, Marcelo Santana, Fernanda Almeida, Francisco Assis, Vania Meira, Alonso Angelo, Moises Pereira, Erica Ionara, Murillo Katayama, Fernanda Yada, Bruna Santos Teixeira, Gilmar Lima, Lucas Chaim, Andre Abrego, Rafael Lima, José Carlos, Matheus Zerbetto, que me ajudou em alguns ensaios no Laboratório, Ademir, Jerome, que me ajudou no início do trabalho, , que sempre estiveram ao meu lado durante esses 5 anos de faculdade.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Civil e da UNESP de Ilha Solteira por terem me recebido da melhor maneira.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo da influência do pó de mármore e do resíduo de construção no comportamento do Solo-Cimento Auto Adensável (SCAA), para o estado fresco e endurecido, com o intuito de fabricação de tijolos. Os parâmetros de solo, cimento, água e aditivo foram adotados a partir de estudos recentes sobre o tema de SCAA. Foram feitos estudos, onde foram estudados os teores adequados de pó de mármore e resíduo para a realização de tijolo. No estado fresco, foram realizados ensaios de espalhamento e o ensaio do funil e segregação enquanto que no estado endurecido, foram feitos, corpos de prova cilíndrico, que foram submetidos a ensaio de resistência à compressão axial aos 7, 14 e 28 dias e absorção de água. Observou-se que no estado fresco, que o teor de pó de mármore e resíduo de construção ajudam na trabalhabilidade e na vazão e segregação. No estado endurecido, com os teores de 20% pó de mármore e 10% de resíduo de construção faz com que a mistura tenha melhor desempenho mecânica, comparado as outras dosagens, para a fabricação de tijolos. O resultado de resistência, de 6,4 MPa e absorção de água, de 19,7% do tijolo obtiveram resultados satisfatórios e dentro das exigências das normas brasileiras.

Palavras-chave: Solo-cimento. Estado fresco. Estado endurecido. Pó de mármore. Resíduo de construção. Resistência à compressão. Tijolo.

ABSTRACT

This work presents a study of the influence of the marble powder and the construction residue on the behavior of the Self Compacting Soil-Cement (SCAA), for the fresh and hardened state, in order to manufacture bricks. The parameters of soil, cement, water and additive were adopted from recent studies on the subject of SCAA. Studies were carried out, where the adequate levels of marble powder and residue were studied for the performance of brick. In the fresh state, scattering tests and funnel and segregation tests were carried out, while in the hardened state, cylindrical specimens were made, which were submitted to axial compression resistance test at 7, 14 and 28 days and absorption of water. It was observed that in the fresh state, that the content of powder marble and construction residue help in workability and flow and segregation. In the hardened state, with 20% of powder marble and 10% of construction residue, the mixture has a better mechanical performance compared to other dosages for the manufacture of bricks. The result of resistance, of 6.4 MPa and water absorption, of 19.7% of the brick obtained satisfactory results and within the requirements of Brazilian standards.

Keywords: Soil-cement. Fresh State. Hardened State. Construction Residues. Powder marble. Mechanic Resistance. Brick.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Construções a base de solo pelo mundo.....	12
Figura 2 – Amostra de solo cimento em ambiente ácido.....	15
Figura 3 – Amostra de solo cimento em ambiente alcalino.....	15
Figura 4 – Amostra em pH = 4.....	16
Figura 5 – Amostra em pH = 9.....	16
Figura 6 – Design do bloco.....	17
Figura 7 – Dimensionamento do bloco.....	18
Figura 8 – Argamassadeira.....	35
Figura 9 – Mistura dos materiais secos.....	35
Figura 10 – Mistura após adição de água.....	35
Figura 11 – Mistura após o aditivo.....	35
Figura 12 – Materiais utilizados.....	37
Figura 13 – Betoneira utilizado.....	37
Figura 14 – A mistura do solo-cimento feita.....	37
Figura 15 – Ensaio de espalhamento.....	38
Figura 16 – Ensaio de espalhamento.....	38
Figura 17 – Ensaio do funil.....	39
Figura 18 – Peneira utilizado para o ensaio.....	40
Figura 19 – Corpos-de-prova utilizados para os ensaios do estado endurecido.....	41
Figura 20 – Formas de PVC.....	42
Figura 21 – Formas com a mistura dentro.....	42
Figura 22 – Corpos-de-prova dos tijolos.....	42
Figura 23 – Gráfico do diâmetro de espalhamento x teor do pó de mármore.....	44
Figura 24 – Gráfico do diâmetro de espalhamento x teor de resíduo de construção.....	45
Figura 25 – Gráfico de comparação de PM e RC, em relação ao espalhamento.....	45
Figura 26 – Gráfico do PM em relação a vazão mássica x espalhamento.....	46
Figura 27 – Gráfico do RC em relação a vazão mássica x espalhamento.....	47
Figura 28 – Resistência à compressão do PM.....	48
Figura 29 – Resistência à compressão do RC.....	49
Figura 30 – Gráfico de comparação do espalhamento do PM e RC.....	50
Figura 31 – Gráfico da influência de RC na mistura com 10 e 20% PM.....	51
Figura 32 – Gráfico de comparação de PM e RC.....	52
Figura 33 – Gráfico da influência de RC na mistura de 10% e 20% PM.....	53
Figura 34 – Gráfico de comparação de PM e RC.....	54
Figura 35 – Gráfico da influência de RC na mistura de 10% e 20% PM.....	55
Figura 36 – Gráfico de comparação das misturas de PM e RC.....	56
Figura 37 – Gráfico de dosagem individual com 10% PM.....	57

Figura 38 – Gráfico de dosagem individual com 20% PM.....	57
Figura 39 – Gráfico de comparação de PM e RC aos 28 dias.....	58
Figura 40 – Gráfico de influência de RC em dosagem mista de PM.....	59
Figura 41 – Gráfico de influência de RC nas dosagens de PM.....	59
Figura 42 – Gráfico de comparação de PM e RC.....	60
Figura 43 – Gráfico da influência de RC na mistura de 10% e 20% PM.....	61
Figura 44 – Variação das resistências pelas idade de 7 dias.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traços das misturas do solo cimento.....	17
Tabela 2 – Resultados da resistência à compressão e absorção de água.....	18
Tabela 3 – Resultados do ensaios do SCAA.....	21
Tabela 4 – Geração de entulho em alguns municípios.....	26
Tabela 5 – Tipos de tijolos de solo-cimento.....	29
Tabela 6 – Frações granulométricas do resíduo.....	32
Tabela 7 – Composições do estudo preliminar.....	34
Tabela 8 – Composições do estudo de otimização.....	36
Tabela 9 – Diâmetros médios de espalhamento.....	43
Tabela 10 – Vazões mássicas das misturas.....	46
Tabela 11 – Resistencia à compressão axial aos 7, 14 e 28 dias do estudo preliminar.....	47
Tabela 12 – Diâmetros médios de espalhamento.....	49
Tabela 13 – Vazões mássicas das misturas.....	51
Tabela 14 – Retenção no ensaio de peneiramento.....	53
Tabela 15 – Resistência à compressão axial aos 7, 14 e 28 dias do estudo de otmização.....	56
Tabela 16 – Absorções de água aos 28 dias.....	60
Tabela 17 – Resistencia à compressão aos 7, 14, 28 e 56 dias.....	62
Tabela 18 – Variação das resistências pela idade de 7 dias.....	62
Tabela 19 – Absorção do tijolo aos 56 dias.....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivo.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	Solo-cimento.....	12
2.2	Solo-cimento auto adensável.....	18
2.3	Pó de mármore.....	22
2.4	Resíduo de construção.....	25
2.5	Tijolo de solo-cimento.....	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1	Materiais.....	31
3.1.1	<i>Solo.....</i>	<i>31</i>
3.1.2	<i>Cimento.....</i>	<i>31</i>
3.1.3	<i>Resíduo de construção.....</i>	<i>32</i>
3.1.4	<i>Pó de mármore.....</i>	<i>32</i>
3.1.5	<i>Aditivo.....</i>	<i>33</i>
3.2	Métodos.....	33
3.2.1	<i>Procedimento experimental.....</i>	<i>33</i>
3.2.1.1	<i>Estudo preliminar.....</i>	<i>33</i>
3.2.1.2	<i>Estudo de otimização.....</i>	<i>35</i>
3.2.1.3	<i>Estudo principal.....</i>	<i>36</i>
3.2.2	<i>Ensaios aplicados no estado fresco.....</i>	<i>37</i>
3.2.3	<i>Ensaios aplicados no estado endurecido.....</i>	<i>40</i>
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1	Resultados e discussões do estudo preliminar.....	43
4.1.1	<i>Resultados dos ensaios do estado fresco.....</i>	<i>43</i>
4.1.2	<i>Resultados dos ensaios do estado endurecido.....</i>	<i>47</i>
4.2	Resultados e discussões do estudo de otimização.....	49
4.2.1	<i>Resultados dos ensaios do estado fresco.....</i>	<i>49</i>
4.2.2	<i>Resultados dos ensaios do estado endurecido.....</i>	<i>55</i>
4.3	Resultados e discussões do estudo principal.....	61
5	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
	REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o mundo vive em um dilema de sustentabilidade, onde os recursos naturais estão se tornando limitados para uso do setor tecnológico. A construção civil é certamente, a maior consumidora de recursos naturais de qualquer economia, segundo (JOHN, 2000).

Diante a essa necessidade que a construção civil precisa, existem pesquisas que ajudam a contribuir para o bem estar do meio ambiente, através da utilização de materiais alternativos de construção e, dentre estes, pode-se citar o solo cimento, que se destaca por ser uma alternativa econômica, e também pode ser classificado como material sustentável.

O solo-cimento estudado nessa pesquisa difere do solo cimento compactado, onde é muito utilizado em construções. O solo-cimento auto adensável (SCAA) tem uma trabalhabilidade permitindo um adensamento pelo próprio peso.

Nesta pesquisa serão encontrados parâmetros de dosagem para se chegar ao traço otimizado, onde, a mistura, não ocorra segregação, nem exsudação, além do mais seja fluida e homogênea, e que adensasse por gravidade. Serão avaliados as características do solo-cimento auto adensável, a partir do resultados dos ensaios do estado fresco e endurecido, onde serão observado as influências dos principais componentes que são o cimento, água, o aditivo, e em seguida, a influência da adição do pó de mármore e o resíduo de construção na mistura de SCAA.

A partir dos estudos feitos, será escolhido o melhor traço para a realização de tijolos de solo-cimento, que seria uma opção de técnica de construção sustentável, diante da necessidade de preservação do meio ambiente, além de aprimorar a construção de moradias populares e minimizar seus custos.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é estudar a influência dos resíduos finos nas propriedades físico-mecânicas do solo-cimento auto adensável, obtendo uma mistura única para a fabricação de tijolos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Solo-Cimento

O solo-cimento, segundo a NBR 12253 (2012), é definido como o resultado da mistura do solo, cimento e água, em proporções definidas por dosagens específicas para cada caso. Na mistura, o cimento tem a função de estabilizar o solo e a água de hidratar o cimento e facilitar a compactação.

As construções de solo mais antigas da humanidade, segundo Santiago (2001), datam há mais de 5000 anos a.C. Dentre essas construções, podem se destacar as pirâmides de Amon, em Luxor (1450 a.C.), em Karnak (1550 a.C.) e o templo de Abu-Simbel (1330 a.C.), sendo que essas obras foram construídas em pedras ou sobre pedras.

Atualmente, existem construções de terra, que, segundo Santiago (2001), na década de 80, na região sudeste da África, foram construídos 5000 casas, utilizando solo e alguns outros produtos locais.

Segundo Martins (2011), um terço da humanidade vive em edificações de terra, sendo que esse tipo de construção abrange todos os níveis sociais, podendo ser casas simples ou grandes palácios. A Figura 1 mostra a distribuição das construções a base de solo no mundo.

Figura 1: Construções a base de solo pelo mundo



Fonte: Martins (2011)

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

As aplicações do solo-cimento na construção civil são diversas, entre elas, pode ser aplicado na pavimentação, como camada resistente de pavimento, também ser aplicado em fundações de edificações no estado plástico ou auto

adensável, ou na utilização de vedações em edificações, podendo ser através de estruturas monolíticas ou paredes formadas por tijolos pré-fabricados.

As misturas de solo-cimento são frequentemente utilizados como bases para pavimentos, em infraestrutura de transporte, como estradas e aeroportos. A resistência e a vida útil são vantagens deste material. As propriedades mecânicas da mistura deverão ser influenciadas pelas propriedades originais do solo e cimento utilizados, e dependem fortemente das condições de umidade e a dosagem correta do cimento. (CONSOLI et al., 2012)

A proporção de solo e cimento, o teor de água, a relação de vazios ou porosidade, grau de compactação e o método de compactação são parâmetros, geralmente utilizados para caracterizar os tipos e as misturas. (RIOS et al., 2012)

De acordo com Goodary et al. (2012), a maioria das pesquisas sobre solo cimento está focado em ter a melhora da resistência do solo e suas características de durabilidade, que, em seguida, serão utilizados para construção de estradas, fundações e fabricação de tijolos para alvenaria, sendo estudados os fatores que implicam nas propriedades destes materiais, no que interessar a Engenharia Civil, além dos aditivos incorporados as misturas e a composição mineralógica e química do solo utilizado.

Segundo Neves (1994), o solo tem se revelando como material de maior potencial nos aspectos econômicos como construtivo.

Na construção civil, todo material deve ser estudado para que sua implantação seja realizada da melhor forma possível. E o solo, como um material sendo utilizado há muito tempo na construção civil, continua a ser estudado.

De acordo com Horpbilsuk (2003), a relação de água/cimento pode ser considerado uma referência à compressão mecânica para o solo cimento, sendo que este autor utilizou na sua pesquisa, misturas de solo cimento com alta dosagem de água, para avaliar a quantidade de vazios no solo, sabendo que a água influencia na resistência mecânica devido à possível interferência na estrutura do solo e que a porosidade influencia a resistência mecânica em função das partículas que não estão em contato.

Para Goodary et al. (2012), o teor ótimo de finos do solo para a utilização em solo cimento é da ordem de 25%, em relação a massa total. Embora existam trabalhos que foram utilizados 60% de teor de finos do solo, em relação a massa total, obtendo resultados bons. A partir disso, o solo adequado deverá conter

uma mistura de grãos grosso, médios e finos, uma vez que as propriedades de cada tipo de grão irá influenciar na homogeneidade das misturas em função de seu comportamento expansivo que, por consequência, em maiores valores de resistência mecânica e maior durabilidade às peças confeccionadas.

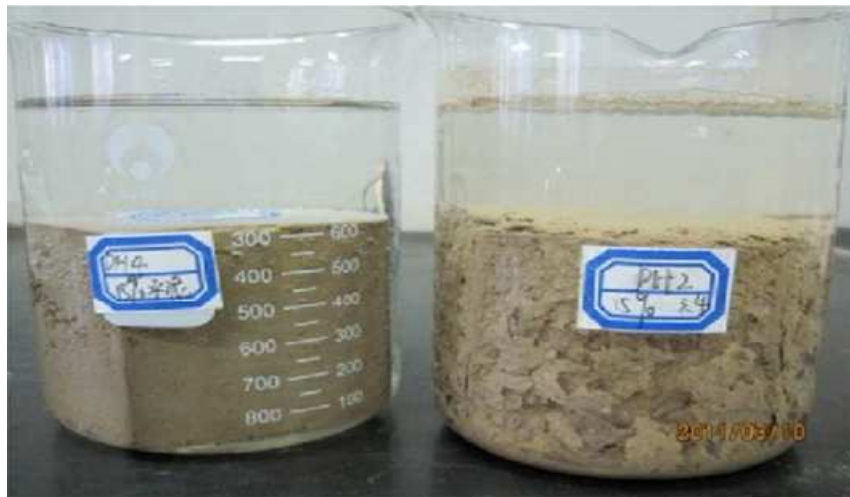
Segundo Consoli (2007), qualquer pequena quantidade de cimento adicionada ao solo pode modificar as suas propriedades e, quanto maior a quantidade de cimento adicionado, maiores serão as alterações nas suas propriedades, como o aumento da capacidade de carga quanto à resistência mecânica, a durabilidade quanto à molhagem e secagem do material e a diminuição da permeabilidade.

Segundo Fukue et al. (2003), com o agravamento da poluição do ambiente e os acidentes de engenharia que acontecem, resultam do solo se tornar poluído. Atualmente, muitos estudiosos concentram-se no estudo da influência do parâmetro da dosagem dos materiais com a resistência do solo-cimento. Nos recentes anos, de acordo com as condições específicas de serviço, as propriedades mecânicas e o papel da degradação do solo-cimento, gradativamente tornou-se em um ponto de acesso de pesquisa para a geotecnologia ambiental.

As vezes o ambiente desfavorável, pode complicar o desempenho do solo cimento, um ambiente agressivo, como a utilização da água que tenha um pH ácido ou alcalina, afeta, por exemplo, na sua resistência à compressão.

Yang et al. (2013), fez um estudo sobre o comportamento mecânico do solo cimento sob ambientes de vários tipos de pH, como ácido ou alcalino. Foi feito um traço de solo cimento e colocou em imersão em um ambiente ácido e outro alcalino, como pode ser visto na Figura 2 e Figura 3.

Figura 2: Amostra de solo cimento em ambiente ácido



Fonte: Yang et al. (2013)

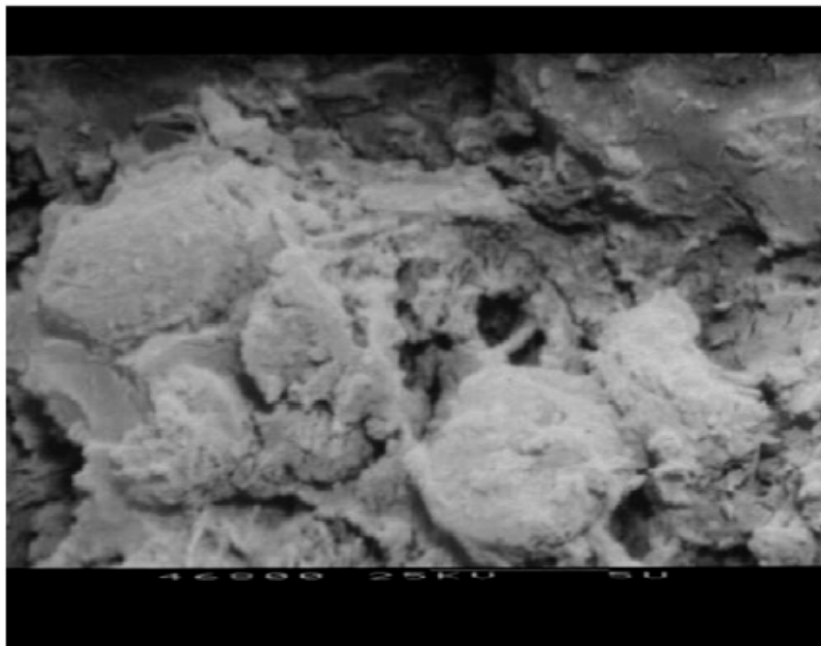
Figura 3: Amostra de solo cimento em ambiente alcalino



Fonte: Yang et al. (2013)

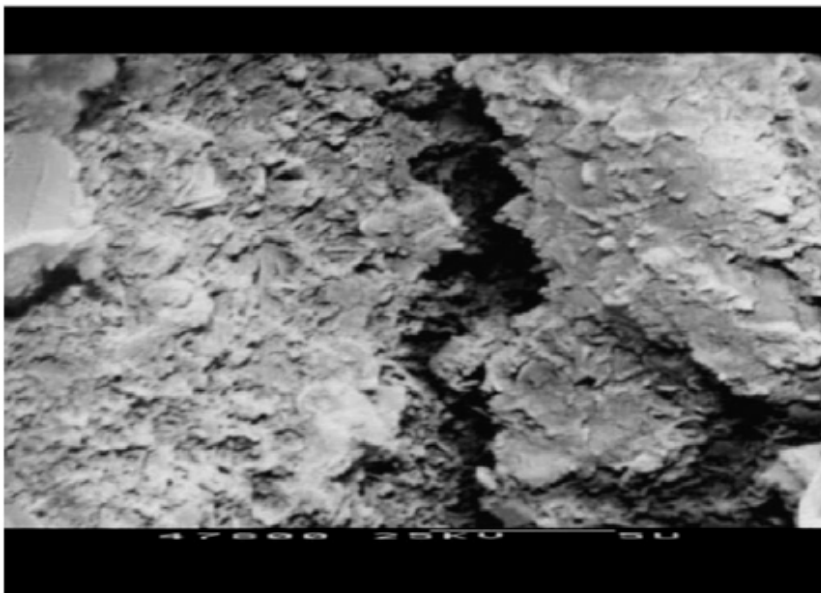
A partir dessa situação, foi analisado a estrutura do solo cimento, em cada caso de pH que foi submetido, ao ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), que teve uma ampliação de 4000 vezes. Na Figura 4, a amostra está em uma concentração de $\text{pH} = 4$, já na Figura 5, a amostra está em um concentração de $\text{pH} = 9$.

Figura 4: Amostra em pH = 4



Fonte: Yang et al. (2013)

Figura 5: Amostra em pH = 9



Fonte: Yang et al. (2013)

Tanto na Figura 4 quanto a Figura 5, a estrutura do solo cimento é toda irregular e existem muito poros. Onde tem o pH = 4, não há a hidratação do cimento, com isso não há junção do solo com o cimento, fazendo com que a estrutura fique bem corroída. Enquanto que na concentração alcalina, há a hidratação do cimento, pois nesse tipo de ambiente, estabiliza alguns desses produtos de hidratação, no entanto, a estrutura apresenta inúmeros buracos e

fendas, portanto há uma perda considerável da resistência da mistura solo cimento, tanto nas condições ácidas quanto alcalina, que pode chegar a 30%. Em um ambiente neutro, os produtos de hidratação do cimento acontecem, ocasionando em uma aglomeração do solo com o cimento. (Yang et al. 2013)

Fay et al. (2014), desenvolveu seu trabalho de blocos intertravado de solo cimento para construção de alvenaria, utilizando três tipos de misturas, para que sejam realizados ensaios de resistência à compressão, de 7 e 28 dias, e absorção de água. As misturas de solo cimento estão mostrados na tabela 1.

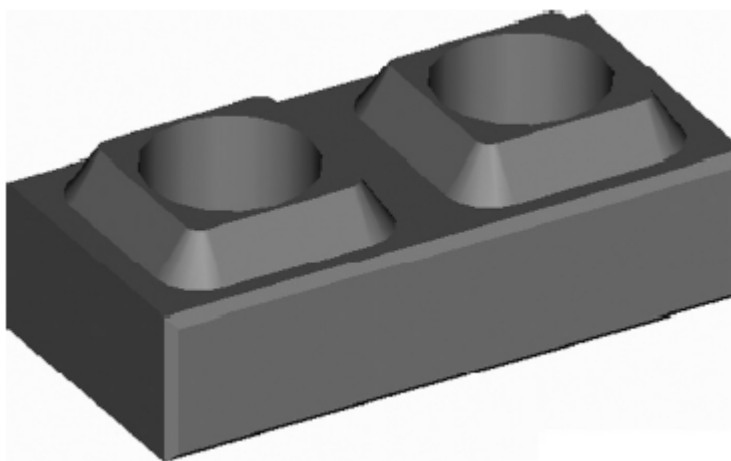
Tabela 1: Traços das misturas do solo cimento

Mixture	Soil (%)	Kaolin (%)	Sand (%)	Cement (%)
I	82	–	9	9
II	73	–	18	9
III	–	14	77	9

Fonte: Fay et al. (2014)

Esses blocos intertravados foram feitos com a morfologia mostrado na Figura 6 e Figura 7, e que está de acordo com as normas da ABNT. Os blocos de solo cimento foram levados ao ensaio de compressão e a absorção de água, e na Tabela 2 foram mostrados os seguintes valores

Figura 6: Design do bloco



Fonte: Fay et al. (2014)

Figura 7: Dimensionamento do bloco



Fonte: Fay et al. (2014)

Tabela 2: Resultados da resistência à compressão e absorção de água

Mixture	Compressive strength at 7 days (MPa)	Compressive strength at 28 days (MPa)	Absorption (%)	Dimensional variation (mm) length width height
I	8.2	11.4	21	-0.22-0.20 + 0.04
II	9.4	12.3	20	-0.22-0.17 + 0.12
III	10.8	14.0	19	-0.33-0.25 + 0.16

Fonte: Lay et al. (2014)

Fay et al. (2014), concluiu que os resultados de compressão, dos blocos intertravados, atenderam a norma, já que o mínimo aceitável é 2 MPa, para solo cimento, e as três misturas obtiveram, em média, 12 MPa, e também atingiram ao valor mínimo com relação a blocos cerâmicos estruturais, que é de 10 MPa. Com isso a morfologia adotado neste projeto, demostraram a viabilidade do bloco solo cimento e verificou-se que eles poderiam ser executados em alvenaria autossustentável.

2.2 Solo-cimento auto adensável

Existem diferentes tipos de solo cimento a serem produzidos. Segundo Segantini e Alcântara (2010), podem ser classificados da seguinte forma:

- Compactado: é o solo cimento mais convencional que tem, e necessita de compactação para estabilizar e atingir as características desejadas;
- Vibrado: pode ser chamado de solo cimento plástico, é semelhante ao concreto convencional, na produção, e seu adensamento ocorre a partir de vibrações;

- Auto Adensável: o solo cimento auto adensável requer menos energia para a sua aplicação, pois o seu adensamento é realizado por ação do seu próprio peso;

O SCAA (solo-cimento auto adensável) é produzido com os mesmos materiais do solo cimento convencional, porém recebe adições de plastificantes para aumentar sua trabalhabilidade, também possui um maior teor de cimento, e pode receber adição de finos, que melhoram suas características no estado fresco como no endurecido.

O SCAA se processa do modo similar aos concretos e argamassas, quanto aos seus mecanismos de estabilização, com a formação de compostos cimentantes oriundos da estabilização do cimento Portland.

O uso dos 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, por exemplo. Mas quanto maior for o uso do superplastificante na mistura, maior será a trabalhabilidade, porém o uso excessivo pode colocar em risco a mistura, podendo ocasionar em exsudação e segregação, tirando a homogeneidade da mistura, inviabilizando o trabalho.

A utilização de finos na mistura ajudam para a realização do SCAA, pois são agentes formadores de pasta, em que conferem coesão interna e homogeneidade à mistura, impedindo que ocorra a segregação e a exsudação.

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

O principal requisito de desempenho do SCAA é a condição de fluidez da mistura fresca. Por isso, a quantidade de água incorporada tem um papel primordial no desenvolvimento desse material. O teor de água utilizado deve refletir o compromisso entre o auto adensamento do material e sua resistência. Para Horpibulsuk, Rachan e Suddeepong (2011), embora o teor de água da argila reflita a microestrutura da argila mole, o teor de cimento influencia o nível de ligação do referido tecido.

Berté (2012) realizou um estudo sobre otimização e o comportamento do SCAA, utilizando um solo Podzólico Vermelho Amarelo, muito comum na região Oeste do Estado de São Paulo, e também na região Centro Sul do Brasil. Esse trabalho permitiu em se ter uma abordagem geral do papel dos finos do solo e do cimento frente à água, tratando os fenômenos da coesão, da dispersão das partículas de solo, fluidez e de homogeneidade que são próprios a um comportamento auto adensável. Ainda apresentou-se parâmetros do comportamento do SCAA de modo a se orientar estudos de otimização, sendo que descrevem o comportamento no estado fresco e no estado endurecido.

Berté e Alcântara (2013) desenvolveram um estudo experimental sobre SCAA em seu estado fresco e endurecido, e estudaram suas características em diferentes misturas. Com relação aos resultados do estado fresco, percebe-se que a adição de cimento provoca uma diminuição do diâmetro de espalhamento, assim como a adição de água, provoca um aumento no diâmetro do espalhamento. Com os resultados do escoamento observou-se, novamente, o papel importante na adição do cimento, na maioria das misturas essa adição mostra uma tendência em aumentar a viscosidade da mistura, diminuindo a vazão no funil, porém em algumas misturas se observa 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.

Ainda segundo Berté e Alcântara (2013), os resultados da resistência à compressão mostraram a 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. As resistências encontradas para todos os casos são maiores que 2,0 MPa, o que atende o prescrito na NBR 8491 (ABNT, 1984), ressaltando resultados maiores que 6,0 MPa para misturas específicas, o que são resultados muito promissores. Os resultados da absorção da água mostraram uma tendência na diminuição da absorção de água, com o aumento do consumo de cimento, porém o comportamento não é bem definido, quando se varia as quantidades de água e aditivo utilizada. As absorções encontradas para todos os casos ficaram abaixo do que prescreve a NBR 8491 (ABNT, 1984). Diante dos resultados, os autores concluem que os objetivos da pesquisa foram alcançados, e sugerem que se possa produzir componente de

alvenaria similar aos componentes tradicionais em SCAA, atendendo as prescrições normativas vigentes.

Alcântara e Matsuura (2015) desenvolveram um trabalho sobre SCAA para avaliar o desempenho com relação a exposição e a durabilidade. Para isso foi analisado as características do SCAA, em seu estado endurecido, para cinco situações diferentes de exposição. As exposições ocorreram da seguinte forma:

- Selados em câmara úmida;
- Imersos em água;
- Expostos totalmente ao ar livre;
- Expostos, protegidos a sombra;
- Semi-imersos, em lugar protegido;

Os resultados desses ensaios foram mostrados através da Tabela 3.

Tabela 3: Resultados do ensaios do SCAA

	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	Expostos totalmente ao ar livre
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)

Alcântara e Matsuura (2015) relataram que os corpos de prova que ganharam mais resistência, estavam em condições mais favoráveis a hidratação do cimento, dos quais ainda não havia sido hidratados até os 28 dias, somado a reação pozolânica, que pode ter ocorrido entre os argilominerais do solo com a cal liberada na hidratação do cimento, contribuindo para o ganho da resistência. Os corpos de prova “expostos totalmente ao ar livre” perderam resistência mecânica, supostamente, pelo material ter sofrido com variações climáticas, com ciclos de dilatação e contração, gerando micro-fissuração interna, o que pode ter acarretado queda na resistência mecânica. Os ensaios de absorção de água obtiveram os resultados satisfatórios, e dentro do limite aceitável pela normatização vigente em tijolos de solo cimento. Contudo o SCAA, melhorou seu

desempenho em algumas situações de exposição com umidade elevada, e apresentou desempenho satisfatório diante de situações adversas, mostrando que pode suportar situações rotineiras de uma edificação, podendo servir como matéria prima para alvenaria.

Claverie (2015), desenvolveu sua dissertação sobre o comportamento do SCAA, no estado fresco e endurecido, sob influência de cal e CCA (cinza de casca de arroz). Foi observado a grande influência do cimento como agente estabilizador, baseando nos resultados no estado fresco, sendo que as misturas que tiveram a menor relação água/cimento e maior teor de cimento, obtiveram os menores desvios padrões de diâmetros no ensaio de espalhamento. Os resultados do diâmetro de espalhamento está relacionado com a vazão mássica do ensaio do “V-funil”. Com relação a resistência à compressão axial do trabalho de Claverie (2015), foi observado a grande influência da relação a/c na compressão axial, apresentando uma maior resistência com uma menor relação água/cimento.

A exemplo da resistência à compressão axial, o fator água/cimento tem uma grande influência na resistência compressão diametral, em que uma menor relação água/cimento, leva a uma maior resistência. Os resultados da absorção de água nas amostras obtiveram um comportamento inverso, com o que tiveram a resistência à compressão axial e diametral, com relação a relação água cimento. Os resultados de maior absorção (%) foram o que tiveram maior relação a/c, pois um alto valor dessa relação há, na mistura solo cimento, uma maior porosidade, o que facilita na absorção. (CLAVÉRIE, 2015)

Segundo Milani e Barboza (2016), relataram que o SCAA alcança auto adensabilidade a partir do uso de aditivos superplastificantes na faixa de 0,8% a 1,2%, em relação à massa de cimento.

2.3 Pó de mármore

O mármore é um tipo de rocha ornamental com grande aplicabilidade na área da construção civil. Segundo Pacheco et al. (2009), o mármore é uma rocha metamórfica proveniente do calcário, formada a partir da transformação físico-química sofrida pelo calcário a altas temperaturas e pressão.

Dentre os principais países produtores de blocos de mármore e granito (Itália, China, Espanha, Índia, Portugal e Grécia), encontra-se o Brasil, com um setor de rochas ornamentais que movimenta cerca de US\$ 2,1 bilhões/ano, incluindo a comercialização nos mercados interno e externo e as transações com máquinas, equipamentos, insumos, materiais de consumo e serviços. Havendo uma grande quantidade de resíduos de mármore que acaba sendo gerado. (FEITOSA, 2004).

Este setor é responsável pelo uso, de aproximadamente, 1,5 bilhão de m³ de rochas por ano, além do fato de que durante o processo de beneficiamento, a perda de material, em forma de pó, na ordem de 25 a 30% das rochas. Sendo este pó, em alguns casos, descartado de maneira incorreta.

A produção de resíduos durante o beneficiamento de rochas ornamentais é gerada em enormes quantidades em forma de lama constituída por pó de pedra, cal, água e granalha metálica e pó de pedra com retalhos de rochas. O pó é produzido durante o processo de corte e polimento. (DESTEFANI, 2009)

O pó de mármore é um resíduo sólido inerte, que disposto de forma inadequada no meio ambiente acarreta diversos problemas ambientais.

A utilização da parte residual do mármore na construção civil é uma alternativa viável para resolver os problemas de despejo inadequado ao ambiente.

Destefani (2009), mostrou, através de pesquisas, que os resíduos de rochas ornamentais podem ser utilizados na produção de argamassa para a construção civil, na produção de tijolos solo-cimento, na confecção de blocos e revestimentos cerâmicos e podendo ser usado no concreto asfáltico como filer, preenchendo os espaços vazios do asfalto.

De acordo com Gonçalves e Moura (2002), além de ser aproveitado como material de construção para a produção de concretos, os estudos comprovam que os resíduos de serragem de granito e mármore apresentam grande potencial

de aproveitamento como argamassas de revestimento, aterros compactados e lajotas pré-moldadas para piso.

Lopes (2007), calculou o diâmetro das partículas do resíduo de beneficiamento de mármore e granitos e verificou que a faixa de variação do diâmetro foi de 7 a 19 μm , concluindo que o resíduo pode ser considerado como filer. Também foi determinado o índice de atividade pozolânica do resíduo e concluiu-se que não apresenta atividade pozolânica.

O resíduo de pó de mármore pode ser utilizado na produção de concreto auto adensável, face à sua elevada finura. Este material tem sido já alvo de pesquisas para a produção, sendo demonstradas as suas potencialidades. (LISBOA, 2004)

Mesmo que não apresentam uma quantidade precisa, segundo Bacarji et al. (2007), no Brasil existem aproximadamente 7000 empresas de pequeno porte para a produção de chapas de mármore, sendo que dados de 2002, estas empresas produziram cerca de 1,9 milhões de toneladas de chapas, não havendo destinação adequada aos resíduos procedentes dos tanques de decantação.

Segundo Kumayama et al. (2014), o pó de mármore se mostrou adequado para a utilização, na fabricação de concreto auto adensável, tendo em vista os resultados de validação no estado fresco.

De acordo com Miranda (2007), a adição de pó de mármore possibilitou condições favoráveis para se produzir tijolos prensados de solo cimento com qualidade e redução no consumo de cimento. E com o melhoramento desse material, pode se tornar uma boa alternativa para construções de moradias populares.

Alves (2014), afirmou que a adição de pó de mármore em até 40%, se mostrou viável tecnicamente para a confecção de tijolos de solo cimento, pois os valores de resistência e de absorção satisfazem as exigências prescritas na NBR 8491. Mas é recomendado ainda, novos estudos para a otimização dos resultados.

Segundo Sutcu et al. (2015), o resíduo de mármore utilizado em tijolo cerâmico, em até 30%, faz que o tijolo tenha uma resistência de 8,2 MPa. Esses tijolos produzidos, com a adição do resíduo, podem ser utilizados como um material de construção de isolamento de calor, já que o pó de mármore faz que

a condutividade térmica do tijolo tenha um menor valor, comparando com o tijolo sem a adição do resíduo. Consequentemente, em larga escala, esses tijolos podem ser usados em ambiente de regiões industriais.

2.4 Resíduo de construção

Com a necessidade de preservar o meio ambiente aliada a escassez dos recursos naturais, faz com que o setor da construção civil busque novos tipos de materiais, que sejam voltados para o conceito da sustentabilidade. O reaproveitamento de resíduos de construção e a redução no desperdício de materiais são fundamentais nesse setor, uma vez que a construção civil, além de produzir grande quantidade de resíduos, também consome um grande percentual de recursos, que são extraídos da natureza. Existem muitos estudos envolvendo a reciclagem desses tipos de resíduos que são descartados na construção civil.

Os altos índices de desperdícios são gerados, na maioria dos casos, por ingerência nos processos construtivos, principalmente devido à falta de coordenação desde a fase final de implementação da obra até a fase final e da manutenção. A ausência de padronização dos elementos construtivos, de especificações técnicas, baixa qualidade e pouco detalhamento dos projetos, além de deficiências de gestão na aquisição, transporte, estocagem e manuseio dos materiais podem levar a erros, que acabam se traduzindo em perdas e, por consequência, afetam inclusive o meio ambiente. (GRIGOLI, 2000 apud LEITE, 2001)

Os resíduos de construção e demolição (RCD) constituem-se de materiais como restos de brita, areia, argamassas, concretos, materiais cerâmicos entre outros. Segundo Ângulo et al. (2005), a fração de materiais de origem mineral, como concretos e argamassas, representam a maior quantidade da massa de RCD produzida pela construção civil (em torno de 90%).

O RCD é geralmente depositados indiscriminadamente em vales, margens de rios, a céu aberto, em terrenos baldios, em vias públicas ou em aterros desprovidos de qualquer tratamento específico. (FERREIRA, 2013)

Segundo Butler (2007), apesar da resolução 307 (Brasil, 2002), e de algumas iniciativas setoriais proibirem a deposição irregular de resíduos, essa ainda é uma pratica muito usual em inúmeras cidades brasileiras.

Segundo Ângulo (2005) apud Butler (2007), as deposições ilegais de resíduos ocorrem em função dos custos e distancias que envolvem o transporte desses materiais.

Essa disposição indiscriminada de RCD em aterros ou em bota-foras vem recebendo maior preocupação em relação ao meio ambiente e qualidade de vida nas cidades. Nesse contexto, esses resíduos vem sendo combatido com a qualificação da mão de obra, maior o controle na aplicação dos materiais e projetos executivos melhor detalhados, entretanto, esse pequeno avanço, não torna inevitável a geração de entulho. (ALTHERMAN, 2002)

Na Tabela 4, são apresentados os números relativos à geração de entulhos em algumas cidades brasileiras.

Tabela 4: Geração de entulho em alguns municípios

Município	População	Entulho (ton/ dia)	Entulho (kg/ hab. Dia)
Santo André-SP	625.500	1013	1,61
São José do Rio Preto-SP	323.600	687	2,12
São José dos Campos-SP	486.500	733	1,51
Ribeirão Preto-SP	456.300	1043	2,29
Jundiaí-SP	293.400	712	2,43
Vitória da Conquista-BA	242.200	310	1,28
Campinas-SP	850.000	1.258	1,48
Florianópolis-SC	285.300	636	2,23

Fonte: Pinto (1999)

Segundo Ferraz e Segantini (2004), em Ilha Solteira, estima-se que o volume de RCD produzido na cidade seja de 2500 m³/mês. Como Ilha Solteira tem uma população de 25000 habitantes, o volume de resíduo por pessoa é 1,2 m³/habitante/ano.

De acordo com Rosário e Torrescasana (2011), um destino adequado ao RCD, em virtude da preservação da natureza, visando a sustentabilidade e o desenvolvimento de materiais alternativos na construção civil, seria na fabricação de tijolos solo cimento.

Ainda, Rosário e Torrescasana (2011), afirmaram que a adição do resíduos de construção no solo cimento, se tornam uma boa alternativa para a melhora

das características do solo, e que essa melhora, teve como consequência um aumento na resistência e diminuição na absorção de água, sendo que essa redução pode chegar até mais de 10%.

Segundo Souza et al. (2006), que trabalhou com o aproveitamento de resíduos de construção em tijolos de solo cimento, concluiu que esses resíduos mostrou-se um excelente material para melhorar as características do solo que foi estudado, proporcionando condições técnicas favoráveis para a confecção de tijolos solo cimento de qualidade e na redução de consumo de cimento. Com o aumento da quantidade de resíduos de construção, em até 40% em relação à massa do solo, na mistura de solo cimento, houve um aumento na resistência à compressão.

Segundo Machado et al. (2006), quanto maior a quantidade de resíduos na composição do solo cimento, maiores serão os valores obtidos no módulo de elasticidade do solo cimento plástico, sendo que ensaios de laboratório, controle de qualidade e inspeções periódicas são indispensáveis para a obtenção de dosagens adequadas à finalidade pretendida ao material.

De acordo com Senna et al. (2015), a adição do RCD no solo causa uma diminuição do índice de plasticidade, que se torna bom para a produção do solo cimento. Outra melhoria que o resíduo causa é na diminuição da retração, já que o solo tem uma retração bastante elevada, e o resíduo corrige essa retração. Além de diminuir o teor de umidade e aumentar a resistência à compressão simples.

2.5 Tijolos de solo-cimento

A questão da habitação popular brasileira exige tecnologias mais singelas a custos mais compatíveis com a conjuntura sócio-econômica atual. Uma das alternativas é a utilização de tijolos de solo-cimento, ou também conhecidos como tijolos ecológicos. De acordo com Pecoriello (2003), esse tijolo apresenta características de desempenho similares às do tijolos cerâmicos. Embora sejam semelhantes, o uso de solo-cimento proporciona uma redução em torno de 30% nos custos finais de obra.

Segundo SEBRAE (2016), em estudos realizados em todo o Brasil, os tijolos ecológicos trazem para a obra de 20 a 40% de economia com relação à construção convencional.

Ainda, segundo Pecoriello (2003), essa redução se deve ao baixo investimento para a implantação da unidade produtora de tijolos, à obtenção de paredes bem alinhadas e aprumadas e, ainda, à facilidade de construção, proporcionando uma obra simples com um número reduzido de trabalhadores, se comparado com obras convencionais que utilizam tijolos cerâmicos comuns. Porém a utilização de tijolos de solo-cimento demanda certos cuidados, no sentido de evitar as patologias mais comuns: fissuras por efeitos de retração, desgaste superficial e percolação de umidade através de paredes.

De acordo com Grande (2003), os tijolos de solo-cimento representam uma alternativa em plena sintonia com as diretrizes do desenvolvimento sustentável, pois requerem baixo consumo de energia na extração de matéria prima, dispensam o processo de queima e reduzem a necessidade de transporte, uma vez que os tijolos podem ser produzidos com solo do próprio local da obra. Um outro aspecto é a possibilidade de racionalização do processo construtivo, por meio de tijolos modulares, que possibilitam o uso das técnicas empregadas na alvenaria estrutural, proporcionando redução de desperdícios e diminuição no volume de entulho gerado, deste modo, propiciam maior rapidez no processo construtivo, e como consequência, maior economia de materiais e de mão-de-obra.

De acordo com Holanda e Rodrigues (2015), o tijolo solo-cimento é considerado ambientalmente amigável e econômico porque não é necessário realizar o passo de queima, em comparação com o tijolo de argila convencional. Sendo que esse tijolo altamente atraente para a construção de moradias, principalmente, em países em desenvolvimento.

Os tijolos de solo-cimento podem ser produzidos por meio de prensas manuais mecanizadas. No Brasil, são encontrados fabricantes de prensas manuais que possuem a capacidade de produzir de 500 a 2000 unidades por dia. Os modelos mais comercializados são a prensa portátil e manual, que fazem a prensagem de tijolos maciços convencionais de solo-cimento. A produção é reduzida e é recomendado para obras de pequeno a médio porte, com o consumo de, no máximo, 800 peças por dia. (PISANI, 2005)

Diversas variedades de tijolos solo-cimento são fabricados no Brasil para atender às necessidades de cada obra, como ilustrado na Tabela 5.

Tabela 5: Tipos de tijolos de solo-cimento

<i>Tipo</i>	<i>Dimensões</i>	<i>Uso</i>	<i>Exemplo</i>
Tijolo maciço comum	(5 x 10 x 20) cm	Assentamento de alvenaria semelhante ao tijolo convencional	
Tijolo maciço com encaixe	(5 x 10 x 21) cm	Assentamento com baixo consumo de argamassa	
½ tijolo com encaixe	(5 x 10 x 10,5) cm	Elemento para conectar as juntas e amarrações sem necessidade de quebras.	
Tijolo com dois furos e encaixe	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Assentamento a seco, com cola rança ou argamassa plástica. As tubulações das instalações hidrosanitárias, elétricas e outras, passam pelos furos.	
½ tijolo com furo e encaixe	(5 x 10 x 10) cm (7 x 12,5 x 12,5) cm	Elemento para conectar as juntas e amarrações sem necessidade de quebras.	

Fonte: Lima (2010)

Ainda segundo Pisani (2015), a produção de tijolos de solo-cimento varia de acordo com os objetivos de sua utilização (resistências, aparentes ou para serem revestidos, pesos, formato, cor, textura entre outros) e, também, de acordo com o processo a ser utilizado (processos manuais, mecânica ou híbrido). Os tijolos podem ser maciços ou furados, com ou sem canaleta, para vedação ou estruturais. Estas variações são fundamentais para o melhor atendimento das necessidades do projeto arquitetônico.

De acordo com Motta et al. (2014), o tijolo solo-cimento pode ser montado por encaixe, colocando-se um sobre o outro, facilitando o assentamento e o tempo de execução e diminuindo a quantidade de argamassa ou cola empregada. Ocasionalmente em um peso de alvenaria menor, o que diminui o dimensionamento das fundações e outras estruturais.

Motta et al. (2014), relatou que, a partir das avaliações dos ensaios de resistência e absorção, o tijolo de solo-cimento é mais resistente que a alvenaria convencional (cuja a resistência é de 20 kgf/cm²), enquanto que o resultado do ensaio de absorção é 15,32% menor que o tijolo convencional, que é de 45,34%.

Souza et al. (2008), afirmou que há uma diferença de comportamento do material solo-cimento ao longo do tempo. A mistura moldados em corpos cilíndricos tiveram aumentos consideráveis de resistência, por exemplo após a idade de 120 dias, enquanto que os tijolos de solo-cimento obtiveram uma estabilização do aumento de resistência após a idade de 120 dias. Essa diferença de comportamento pode estar associada as características do corpos-de-prova ensaiados. Os CPs cilíndricos preservam mais as características originais do material, pois na sua confecção são empregados procedimentos que resultam em número menor de variáveis, enquanto que na confecção dos CPs feitos a partir de tijolos, ocorre a influência de muitas variáveis, como: corte dos tijolos ao meio, manipulação no assentamento das metades dos tijolos, o tipo, espessura, e resistência da argamassa de assentamento, aderência entre o tijolo e a argamassa de assentamento. Estas variáveis são muitas, o que acaba influenciando no resultado do ensaio enquanto que no CPs cilíndricos, isso não acontece.

Ainda segundo Souza et al. (2008), os tijolos de solo-cimento, utilizando resíduos de concreto atenderam aos requisitos mínimos da normas brasileiras, implicando em que, para os materiais em estudo, podem ser utilizados até 60% de resíduos, sem prejuízo ao solo-cimento, ou seja, o solo-cimento é uma excelente matriz para o aproveitamento desses resíduos.

Miranda et al. (2007), afirmou que todos os tijolos de solo-cimento produzidos com teores de 10% e 15% de cimento ultrapassaram os valores mínimos estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 1994), quanto à resistência à compressão simples e a capacidade de absorção de água. Todas as composições de tijolos moldados com 15% de cimento atingiram, em média, o valor mínimo de 4,5 MPa aos 28 dias, podendo ser empregados em alvenaria estrutural.

Morais et al. (2014), mostrou que a implantação massiva do tijolo solo-cimento no mercado é inviável por conta da grande demanda existente e, pelo fato da produção do tijolo ecológico, em comparação ao tijolo convencional

(cerâmico) não conseguir, atualmente, suprir a demanda massiva da Construção Civil. Além disso, é necessário um estudo do tipo de solo e teor de cimento a ser utilizado para atender as normas técnicas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Solo

O solo utilizado no trabalho é considerado pela EMBRAPA (2006) como argiloso, e segundo HBR (1945), trata-se de um solo A₄. Esse tipo de solo é muito utilizado em pesquisas realizadas na UNESP-Ilha Solteira, pois é facilmente encontrado na região Oeste do Estado de São Paulo, e também na região Centro-Sul do Brasil.

O solo foi coletado, em seguida, peneirado e exposto em alguns lugares do Laboratório Central de Engenharia Civil para secar, ao ar livre e ao sol. O material, já seco, foi armazenado em tambores, para ser realizado a caracterização e os ensaios da pesquisa.

A caracterização do solo foi realizado no Laboratório Central de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira, e seguiu as seguintes normas:

- NBR 6457 (ABNT, 1986) – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.
- NBR 6508 (ABNT, 1984) – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica.
- NBR 7181 (ABNT, 1988) – Solo – Análise Granulométrica – Método de Ensaio.
- NBR 6459 (ABNT, 1984) – Solo – Determinação de Limite de Liquidez.
- NBR 7180 (ABNT, 1984) – Solo – Determinação de Limite de Plasticidade.

3.1.2 Cimento

O cimento utilizado foi CP V-ARI, da marca Votorantim, cimento de alta resistência inicial, que atinge altas resistências já nos primeiros dias da sua aplicação. Esse desenvolvimento é obtido pela dosagem diferente de calcário e argila na produção de clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências com maior velocidade. O CP V-ARI contém adição de até 5% filler calcário. (ABCP, 2016)

3.1.3 Resíduo de Construção

Foi utilizado neste trabalho o resíduo de construção e demolição (RCD), fornecido pela Central de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil, do município de São José do Rio Preto – SP. Esse material possui uma granulometria muito parecida com a areia, que é muito utilizado em muitos trabalhos como um agregado, com isso o RCD podendo ser utilizado na mesma função da areia. A Tabela 6 mostra a distribuição granulométrica desse resíduo, de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995).

Tabela 6: Frações granulométricas do resíduo

Fração	Porcentagem (%)
Areia Fina	25,03
Areia Média	21,61
Areia Grossa	53,36

Fonte: Próprio Autor

3.1.4 Pó de Mármore

Foi utilizado neste trabalho o pó de mármore, vindo de indústria de marmoraria da cidade de Ilha Solteira – SP. De acordo com Kumayama et al. (2014), esse material apresenta uma finura semelhante a do cimento, conforme o ensaio de peneiramento realizado por meio da peneira 200, em acordo com NBR 11579, onde, o material retido na peneira foi de 10%, enquanto que, por exemplo, o cimento Portland CP II, a retenção foi de 12%. Segundo Teixeira et al. (2012), a massa específica do pó de mármore é de 2,65g/cm³.

3.1.5 Aditivo

O aditivo utilizado foi o Sika Viscocrete 20 HE, é um superplastificante redutor de água para concreto. Com a inserção deste aditivo nas misturas, pode-se reduzir a quantidade de água, gerando fluidez nas mesmas, sem prejudicar tais propriedades. (SIKA, 2014)

Trata-se de um aditivo líquido de pega normal, que através da adsorção superficial e do efeito estérico age promovendo a separação das partículas de aglomerante, proporcionando as seguintes propriedades à mistura:

- Aumento intenso no desenvolvimento dos ganhos de resistências iniciais;
- Efeito redutor de água extremamente poderoso, resultando em altas densidades e resistências, e reduzindo a permeabilidade da água;
- Excelente efeito plastificante resultando na melhoria do comportamento na fluidez;
- Melhoria no comportamento da retração;

3.2 Métodos

3.2.1 Procedimento Experimental

3.2.1.1 Estudo Preliminar

O estudo deste trabalho consistiu de 4 misturas do solo, cimento, pó de mármore, resíduo de construção, água e o aditivo, que foram determinados empiricamente, através dos resultados dos trabalhos de Berté (2012) e Claverie (2015), de forma que as misturas mostrem um caráter auto adensável. Para estabelecer esses traços, parâmetros constantes e variáveis foram escolhidos.

Berté (2012) demonstrou que o parâmetro água/solo+cimento tem uma maior influência na trabalhabilidade que o parâmetro água/cimento, indicando assim que é possível melhorar a resistência mecânica e a absorção, sem prejudicar muito as condições de trabalhabilidade. Claverie (2015), a partir do trabalho de Berté (2012), trabalhou com três diferentes parâmetros de água/materiais secos, onde que obteve os melhores resultados foram que este trabalho começou a estudar.

Os teores de pó de mármore e resíduo de construção foram variando, pois deseja verificar o quanto que cada material influencia no comportamento do solo cimento auto adensável, como um filler e um agregado. As composições das misturas no estudo, estão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Composições do estudo preliminar

Mistura	Água/Materiais Secos*	Aditivo/Solo+Cimento	Cimento/Solo	Pó de Mármore	Resíduo de Construção
1	31%	0,9%	33,3%	10%	0%
2				20%	0%
3				30%	0%
4				40%	0%
5				0%	10%
6				0%	20%
7				0%	30%
8				0%	40%

*Solo, cimento, pó de mármore e resíduo de construção

Fonte: Próprio Autor

O procedimento de homogeneização das misturas foi o seguinte:

- 1) Foi passado a água no fundo da argamassadeira, recipiente metálico onde foi colocado os materiais, afim de manter uma mesma umidade para as misturas feitas no mesmo dia, como mostra a Figura 8;
- 2) Foram colocados os materiais secos, primeiro, e nessa ordem: solo, cimento, pó de mármore e resíduo de construção efetuando-se a mistura por 1 minuto, como mostra a Figura 9;
- 3) Adicionou-se a água e em seguida, deixou-se bater o material por mais 1 minuto, ilustrado na Figura 10;
- 4) Foi desligado a argamassadeira, e com o auxílio de uma espátula de pedreiro, raspava-se a superfície do recipiente, para que não houvesse segregação dos materiais;
- 5) Foi adicionado o aditivo e continuou-se a homogeneização, por mais 1 minuto, como mostra a Figura 11;
- 6) Em seguida, deixou-se a mistura repousar por 30 segundos e depois continuar batendo por mais 30 segundos;
- 7) Com a mistura devidamente pronta, realizou-se os ensaios do estado fresco;
- 8) A cada ensaio realizado, a mistura foi batida por 1 minuto, para que não houvesse nenhuma interferência na sua homogeneização;

Figura 8: Argamassadeira

Figura 9: Mistura dos materiais secos



Fonte: Próprio Autor



Fonte: Próprio Autor

Figura 10: Mistura após adição de água Figura 11: Mistura após o aditivo



Fonte: Próprio Autor



Fonte: Próprio Autor

3.2.1.2 Estudo de Otimização

A partir do estudo preliminar, foi feito um estudo de otimização, através de uma matriz entre os melhores valores de pó de mármore e resíduo de construção obtidos dos resultados de desempenho mecânico do estudo anterior, ilustrado pela Tabela 8. Os parâmetros de solo/cimento, água/materiais seco e aditivo foram mantidos os mesmos do estudo anterior.

Tabela 8: Composições do estudo de otimização

Mistura	Pó de Marmoré	Resíduo de Construção
1	0%	0%
2	10%	0%
3	20%	0%
4	0%	10%
5	10%	10%
6	20%	10%
7	0%	20%
8	10%	20%
9	20%	20%

Fonte: Próprio Autor

O procedimento de homogeneização foram os mesmos do estudo anterior, realizados em uma argamassadeira.

3.2.1.3 Estudo Principal

A partir do estudo de otimização, foi feito o estudo principal, que é a formação de tijolos de solo-cimento auto adensável. Foi escolhido o melhor traço, através do estudo de otimização, e foram feitos os tijolos.

O processo de homogeneização da mistura é o mesmo que realizados nos ensaios preliminar e otimização, só que ao invés de utilizar a argamassadeira, foi feito com uma betoneira. As Figuras 12, 13 e 14 ilustram o processo sendo realizado.

Figura 12: Materiais utilizados



Fonte: Próprio Autor

Figura 13: Betoneira utilizado



Fonte: Próprio Autor

Figura 14: A mistura de solo cimento feita



Fonte: Próprio Autor

3.2.2 Ensaios aplicados no estado fresco

a) Ensaio de espalhamento

O Ensaio de Espalhamento foi executado conforme as prescrições das normas para concreto auto adensável NBR NM 68 (ABNT, 1998). Este ensaio é indicado para avaliação da trabalhabilidade das misturas auto adensáveis ou fluídas e é utilizado para medir a capacidade do concreto auto adensável fluir livremente sem segregar. Para a realização desse, foram utilizados um tronco

de cone e uma mesa metálica, de modo que não se absorvesse água nem provocasse atrito com a mistura. Para o caso de concretos auto adensáveis, a medida de fluidez que deve ser obtida é o diâmetro do círculo formado pelo concreto, cujo valor do diâmetro do espalhamento mínimo deve ser de 350 milímetros. Para o SCAA, desta pesquisa, o ensaio de espalhamento, foi efetuado de modo similar ao Cone de Abrams proposto por Kantro (1980), com algumas adaptações, verificando assim as condições de coesão, de trabalhabilidade e de fluidez das misturas de SCAA.

O ensaio consistiu em preencher o cone com a mistura e depois levantá-lo, deixando a pasta se espalhar livremente numa mesa metálica e em seguida era medido o valor do espalhamento. O procedimento desse ensaio está ilustrado nas Figura 15 e, Figura 16. O valor do espalhamento foi considerado como a média entre os dois diâmetros finais perpendiculares, procurando seguir os protocolos de auto adensamento para concretos. Os aspectos de homogeneidade foram considerados de modo visual, observando, de forma qualitativa, o aspecto circular da superfície, assim como a presença de franjas ou vestígios de exsudação no contorno do círculo. De modo a medir-se o espalhamento da massa homogeneizada, foi escolhido medir a parte consistente da mistura espalhada tirando-se a parte aquosa devida ao fenômeno de exsudação. Também foi escolhido manter a superfície da mesa utilizada úmida, de maneira a padronizar o ensaio.

Figura 15 e Figura 16: Ensaio de espalhamento



Fonte: Claverie (2015)

b) Ensaio de funil

Por meio do Ensaio do Funil, feito para averiguar a fluidez do material, analisou-se o fluxo de queda do material através da vazão mássica expressada em g/s. Este ensaio consistiu em preencher o funil até um ponto determinado – mais ou menos 600 g da mistura e, em seguida, registrar o tempo de escoamento, similar ao Ensaio de Determinação de Fluidez das pastas de cimentos prescritos pela NBR 7681 (ABNT, 1983) e NBR 7682 (ABNT, 1983). Quanto maior for o tempo de escoamento, menor a fluidez da mistura. Berte (2012) observou que o bocal de saída do Funil de Marsh abertura de 8 mm, era inadequado para esta pesquisa, uma vez que as misturas de SCAA eram mais densas e viscosas do que as caldas de concretos (grautes). Dessa forma, optou-se por utilizar um funil fabricado a partir de garrafa pet, com abertura de passagem de 22 mm, como o ensaio sendo similar ao do Funil de Marsh, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17: Ensaio do funil.



Fonte: Próprio Autor

c) Ensaio de segregação

Como não há um protocolo conhecido de ensaio de segregação, para o caso de SCAA, foi feito conforme o ensaio de peneiramento, com utilização da peneira 4,76mm, onde colocava-se o conjunto (peneira + fundo) na balança, tarava-a e despejava-se uma quantidade de 1500 g de mistura na peneira, para que em seguida verificar a quantidade de material que ficava retido na peneira em relação ao total de mistura despejado, como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18: Peneira utilizado para o ensaio



Fonte: Próprio Autor

3.2.3 Ensaios aplicados no estado endurecido

Os ensaios realizados no estado endurecido para os estudos preliminar e otimização foram os seguintes: Resistência à compressão axial aos 7, 14 e 28 dias, e absorção de água aos 28 dias. Esses ensaios foram realizados em moldes cilíndricos de PVC com 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro, como ilustrado na Figura 19, onde a mistura feita após a homogeneização, é lançado nos moldes até que endureçam em 1 dia.

Figura 19: Corpos de prova utilizados para os ensaios do estado endurecido



Fonte: Próprio autor

Os ensaios realizados para o estudo principal foram os seguintes: Resistência à compressão axial para as idades de 7, 14, 28 e 56 dias e absorção de água aos 56 dias. Esses ensaios foram realizados nos moldes, em forma de cubo para os tijolos de 5 cm de altura, 20 cm de comprimento e 10 cm de largura, de acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012), como ilustrado na Figura 20, 21 e 22, onde a mistura homogeneizada foi lançado nos moldes de PVC até que os CPs endureçam em 1 dia.

Figura 20: Formas de PVC



Fonte: Próprio Autor

Figura 21: Formas com a mistura dentro



Fonte: Próprio Autor

Figura 22: Corpos-de-prova dos tijolos



Fonte: Próprio Autor

a) Ensaio de resistência à compressão axial

Os corpos de provas dos estudos dos estudos preliminar e otimização, que foram submetidos ao ensaio de compressão mecânica ficaram em câmara úmida durante 7, 14 e 28 dias para cura, dentro de um saco plástico. Para cada mistura e data de cura, após terem sido lixados, foram submetidos 3 corpos de prova para ensaio de compressão axial. Com o objetivo de se estimar os valores das

resistências, foram executados ensaios de resistência à compressão axial seguindo as orientações da NBR 12025 (ABNT, 2012), através do equipamento EMIC DL30000. Para o estudo principal, os corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de compressão mecânica ficaram em câmara úmida durante 7, 14, 28 e 56 dias para cura. Foram submetidos 10 tijolos que foram divididos em duas partes, e juntando, as partes, um em cima do outro com uma pasta de cimento, para o ensaio de compressão axial. Esse ensaio de resistência foi seguindo as orientações da NBR 8492 (ABNT, 2012), através do equipamento EMIC DL30000.

b) Ensaio de absorção de água

Os ensaios de absorção de água foram realizados em 3 corpos de prova aos 28 dias. Após o período de cura em câmara úmida, os corpos de prova foram levados à estufa de 60°C durante 24 h. Foram pesadas para obter a massa seca m_s e, depois, é imergidos em um tanque de água. Depois de 24 horas, os CPs foram pesados para determinar a massa úmida m_u .

$$A = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100$$

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados e Discussões do Estudo Preliminar

4.1.1 Resultados dos ensaios no estado fresco

a) Ensaio de espalhamento

A Tabela 9 apresenta os resultados de espalhamento, com os diâmetros médios e o desvio padrão de cada mistura.

Tabela 9: Diâmetros médios de espalhamento

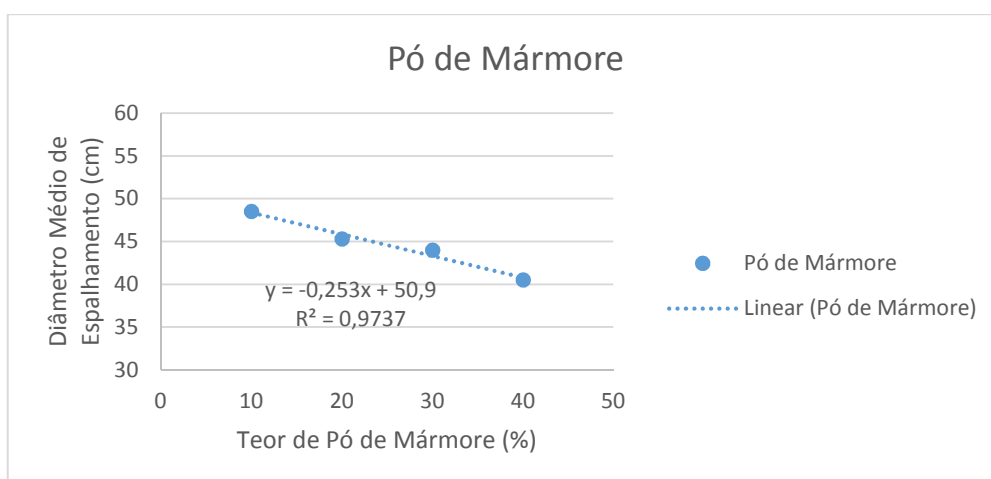
Mistura	1	2	3	4	5	6	7	8
Diâmetro médio (cm)	48,5	45,3	44	40,5	42,7	42,7	41,5	40,8
Desvio Padrão	0,5	1,2	2,6	1,5	2,3	1,5	1,3	0,8

Fonte: Próprio Autor

Os resultados mostram que nas misturas 1 ao 4, quanto maior a quantidade de pó de mármore, menor é o espalhamento, ocasionando uma boa variação de diminuição do espalhamento, mostrando que o pó de mármore é um material higroscópico. Para as misturas 5 ao 8, também, maior o teor de resíduo de construção na mistura, menor a trabalhabilidade, mas a variação da diminuição da trabalhabilidade é menor com relação ao pó de mármore.

Na Figura 23, mostra o gráfico, do teor de pó de mármore com relação ao diâmetro de espalhamento. Observa-se que a queda do espalhamento, mostrado através de uma reta é linear. Com o aumento da adição de pó de mármore, a mistura ficou mais consistente, gerando mais flocos, isto conferiu na competitividade no escoamento, reduzindo o espalhamento.

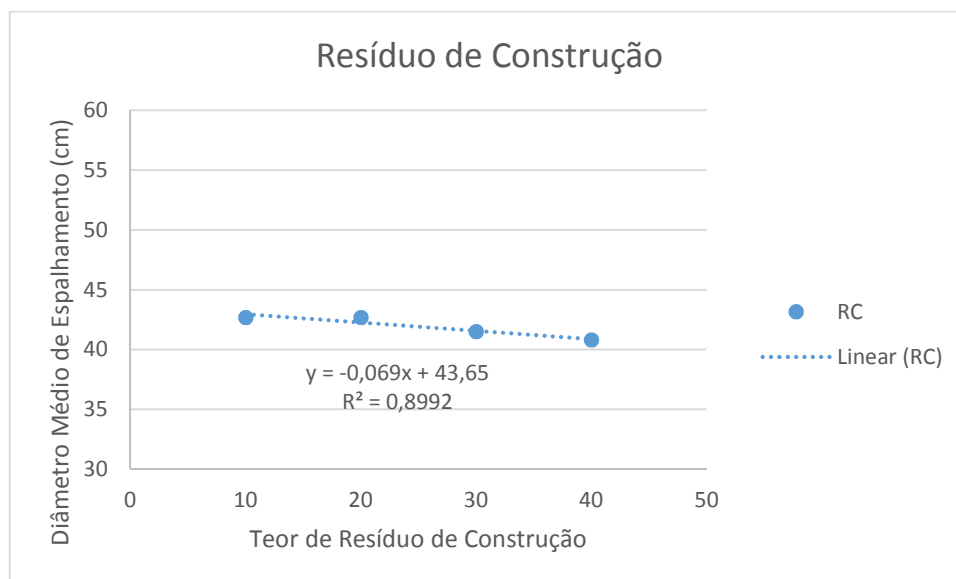
Figura 23: Gráfico do diâmetro de espalhamento x teor de pó de mármore



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 24, o comportamento do espalhamento com a adição do teor de resíduos de construção é o mesmo com do pó de mármore, ocasionando uma diminuição do diâmetro de espalhamento que a reta é linear.

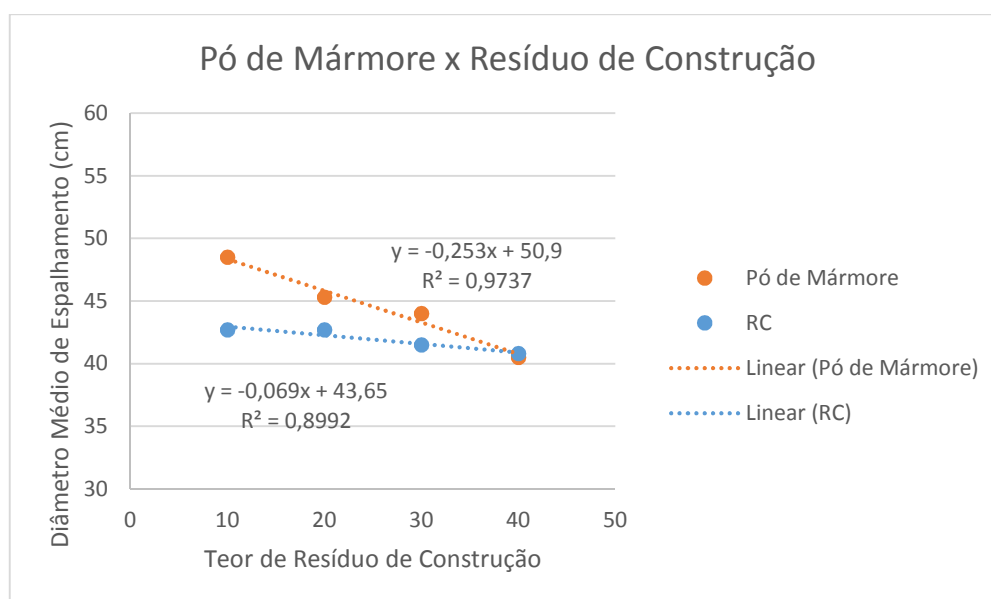
Figura 24: Gráfico do diâmetro de espalhamento x teor de resíduo de construção



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 25, mostra a comparação da queda da variação do espalhamento do pó de mármore e resíduo de construção.

Figura 25: Gráfico de comparação de PM e RC, em relação ao espalhamento



Fonte: Próprio Autor

b) Ensaio do funil

A Tabela 10 apresenta os resultados do ensaio de funil, em termos da vazão mássica.

Tabela 10: Vazões mássicas das misturas

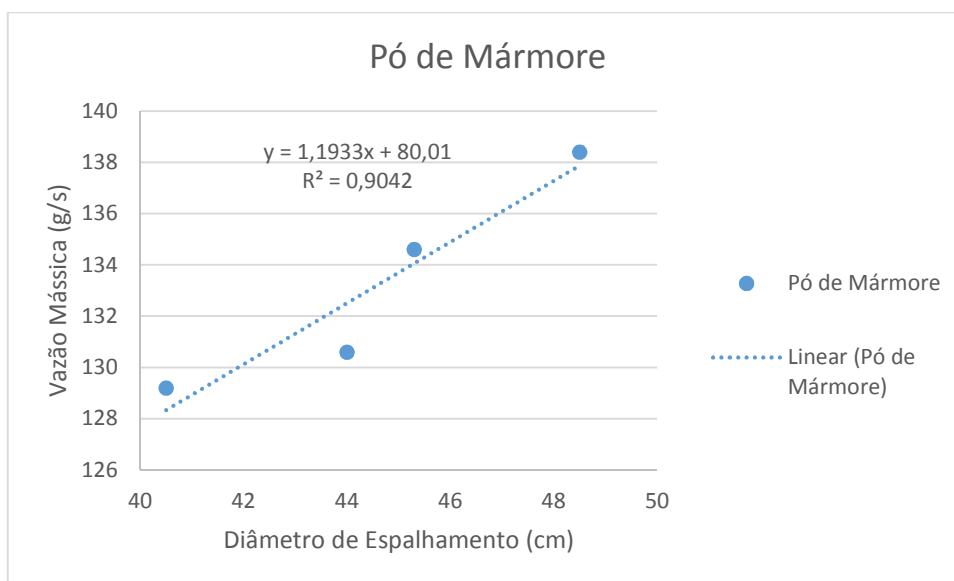
Mistura	1	2	3	4	5	6	7	8
Vazão mássica (g/s)	138,4	134,6	130,6	129,2	110,72	120,99	118,71	118,4

Fonte: Próprio Autor

Os resultados mostram que, as misturas 1 ao 4, quanto maior é o teor de pó de mármore na mistura, a vazão diminui, o mesmo comportamento tem as misturas 5 ao 8, com o aumento do teor de resíduo de construção, há diminuição, com exceção da mistura 5 ao 6, que teve um aumento da vazão mas depois houve uma queda.

Na Figura 26, mostra o gráfico do pó de mármore, relacionando a vazão mássica com o espalhamento. Observou-se que com o aumento do teor, os dois comportamentos tem a mesma reação, de queda. A consistência e o atrito interna da mistura com a adição do pó de mármore causou a diminuição da vazão, e se relaciona com os resultados do espalhamento.

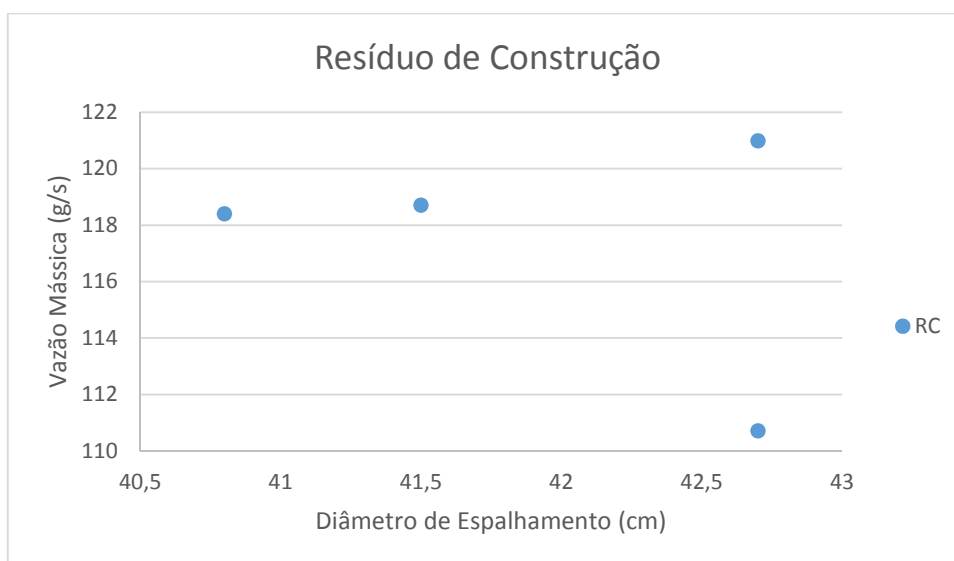
Figura 26: Gráfico do PM em relação a vazão mássica x espalhamento



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 27, também mostra o mesmo gráfico da Figura anterior, mas com relação ao resíduo de construção. Observou-se que o comportamento do espalhamento teve uma queda com o aumento do teor, e o comportamento da vazão também teve uma queda mas a partir dos 20% de teor. Quer dizer que dos 10% até 20% a vazão teve um aumento, pois teve uma homogeneização boa dos materiais, e com 30 e 40%, houve uma saturação do resíduo nas misturas, tornando-se mais espessas.

Figura 27: Gráfico do RC em relação a vazão mássica x espalhamento



Fonte: Próprio Autor

4.1.2 Resultados dos ensaio no estado endurecido

A Tabela 11 apresenta os resultados da resistência à compressão axial, realizado em 3 corpos de prova, para cada mistura aos 7, 14 e 28 dias.

Tabela 11: Resistência à compressão axial aos 7, 14 e 28 dias do estudo preliminar

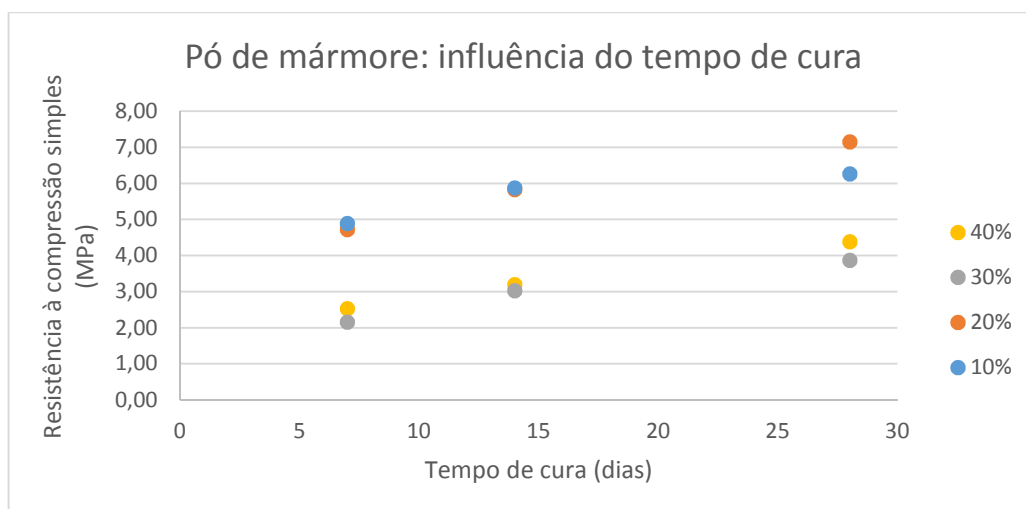
Mistura	Resistência à compressão axial 7 dias (MPa)	Desvio Padrão	Resistência à compressão axial 14 dias (MPa)	Desvio Padrão	Resistência à compressão axial 28 dias (MPa)	Desvio Padrão
1	4,89	0,37	5,87	1,16	6,26	0,10
2	4,72	0,18	5,82	0,28	7,15	0,69
3	2,16	0,08	3,02	0,16	3,87	0,22
4	2,53	0,08	3,19	0,13	4,38	0,50
5	2,61	0,16	3,50	0,16	4,36	0,13
6	2,36	0,15	3,24	0,26	4,84	0,10
7	1,95	0,21	2,63	0,28	3,43	0,11
8	1,87	0,21	2,51	0,03	3,68	0,38

Fonte: Próprio Autor

Na Tabela 17, os resultados mostram que, para as misturas 1 ao 4, o teor de pó de mármore com melhor desempenho mecânico foi de 20%, e para as misturas 5 ao 8, o teor de resíduo de construção com melhor desempenho foi, também, de 20%

Na Figura 28, mostra a resistência à compressão do pó de mármore, e observou-se que todos os teores, com o aumento das idades, teve aumento.

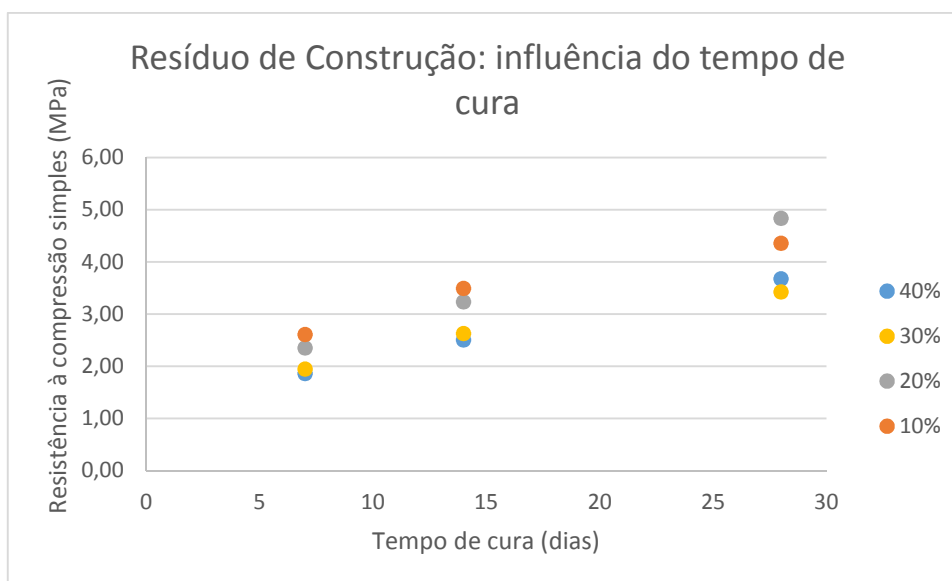
Figura 28: Resistência à compressão do PM



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 29, mostra o comportamento mecânico do resíduo de construção, que com o aumento das idades, também, para cada teor, há o aumento de resistência.

Figura 29: Resistência à compressão do RC



Fonte: Próprio Autor

4.2 Resultados e Discussões do Estudo de Otimização

Após os resultados do estudo preliminar, foi obtido que os melhores resultados de pó de mármore e resíduo de construção foi de 10 e 20%, nos dois casos. Com isso foi feito uma matriz de misturas de solo-cimento usando várias dosagens de PM e RC.

4.2.1 Resultados dos ensaios no estado fresco

a) Ensaio de espalhamento

A Tabela 12 apresenta os resultados de espalhamento, com os diâmetros médios e o desvio padrão de cada mistura.

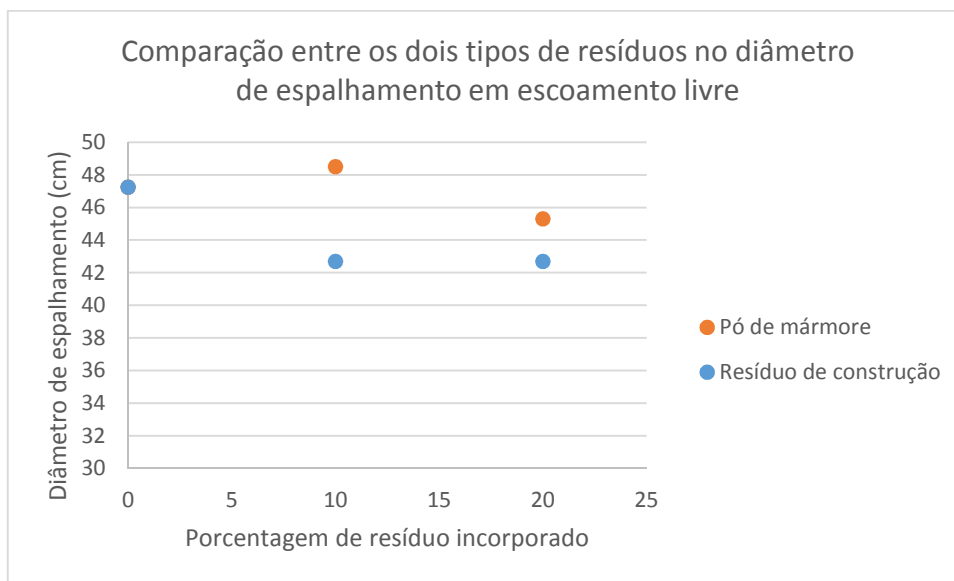
Tabela 12: Diâmetros médios de espalhamento

Mistura	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Diâmetro médio (cm)	47,25	48,5	45,3	42,7	47,3	43,3	42,7	44	45
Desvio Padrão	1,7	1,4	0,9	2,5	1,7	0,8	1,6	2,2	1,9

Fonte: Próprio Autor

A Figura 30 ilustra a comparação dos dois resíduos, com relação a variação do diâmetro de espalhamento.

Figura 30: Gráfico de comparação de espalhamento do PM e RC



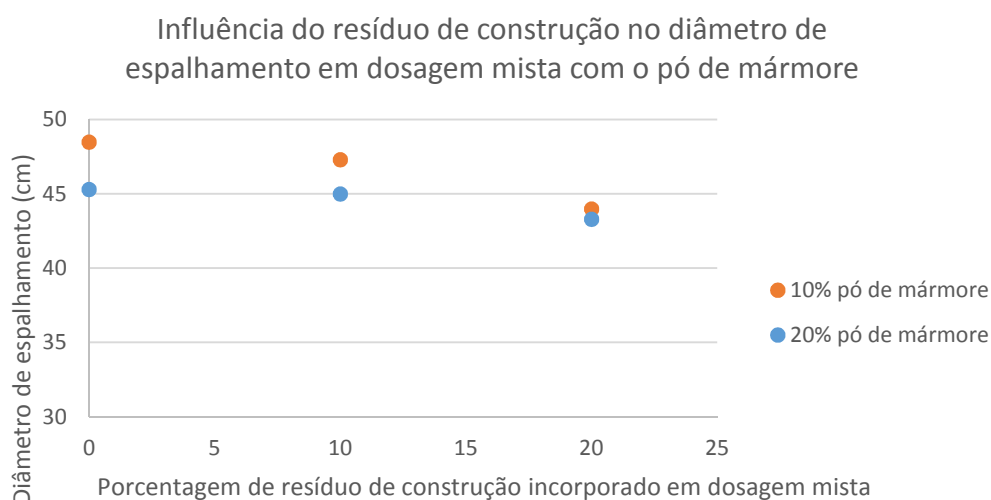
Fonte: Próprio Autor

Nota-se através da Figura 30 que ambos os tipos de resíduos contribuíram para a diminuição do diâmetro de escoamento, em comparação com a composição de referência. Compreende-se a partir da reologia dos materiais no estado fresco que o pó de mármore tenha contribuído para o refreamento do escoamento mediante o aumento da viscosidade, devido ao seu efeito de superfície e de formação de pasta, enquanto que, os resíduos de construção atuaram como materiais granulares contribuindo para o refreamento do

escoamento livre através dos fatores de inércia e de atrito interno. O efeito dos resíduos de construção foi aparentemente mais relevante do que o do pó de mármore em comparação com as condições da composição de referência.

A Figura 31 ilustra a comparação da variação do diâmetro de espalhamento das misturas de 10% e 20% PM, em função do resíduo de construção.

Figura 31: Gráfico da influência de RC na mistura com 10% e 20% PM



Fonte: Próprio Autor

Nota-se pela Figura 31 que o acréscimo do resíduo de construção contribuiu para o refreamento do escoamento, com as respectivas variações no diâmetro de escoamento, por um efeito conjugado dos fatores já citados, os fatores de inércia e de atrito interno. A influência do acréscimo de resíduo de construção pouco depende da porcentagem de pó de mármore incorporada, aparentemente em coerência com o que foi observado para os casos individuais, sendo os efeitos de inércia e de atrito interno mais relevantes.

b) Ensaio do funil

A Tabela 13 apresenta os resultados do ensaio de funil, em termos da vazão mássica.

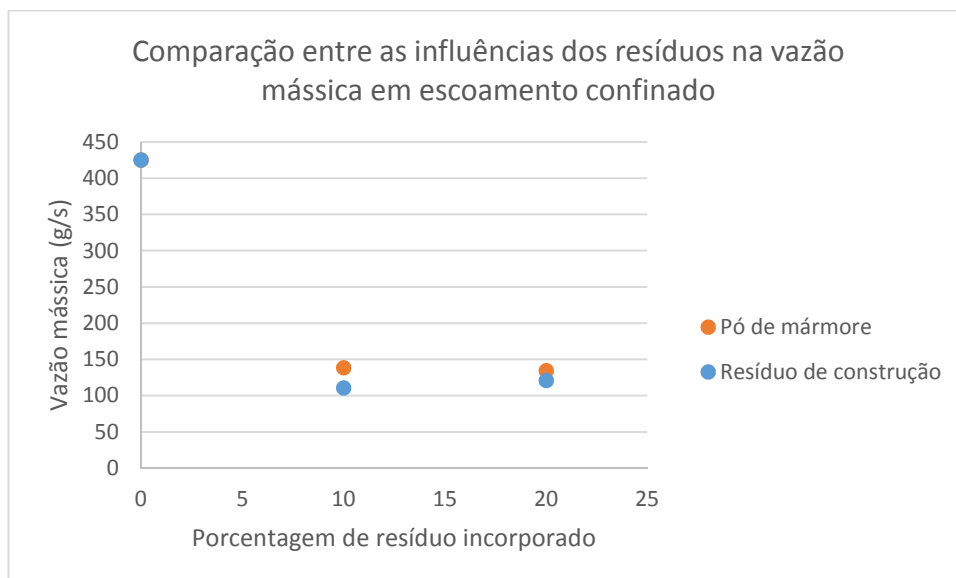
Tabela 13: Vazões mássicas das misturas

Mistura	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vazão mássica (g/s)	425,35	138,4	134,6	110,72	152,4	222,86	120,99	249,17	234,37

Fonte: Próprio Autor

A Figura 32 ilustra a comparação dos dois resíduos, com relação a vazão mássica.

Figura 32: Gráfico de comparação do PM e RC

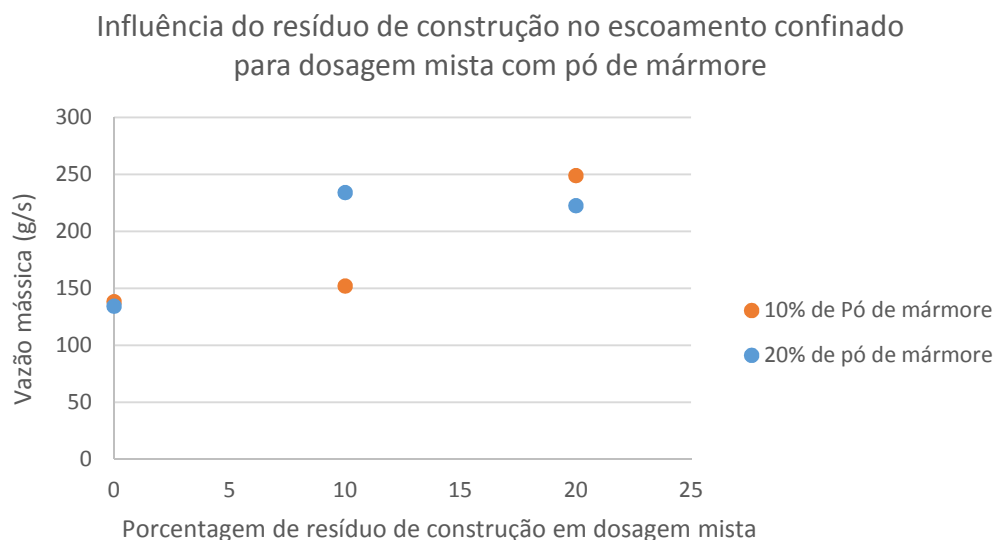


Fonte: Próprio Autor

Para os casos de escoamento confinado verifica-se através da Figura 32 que tanto o pó de mármore como o resíduo de construção influenciaram nas condições de fluxo com alterações com relação às da composição de referência, de modo se refletir na vazão mássica. Para os casos de incorporação de pó de mármore pode-se atribuir com possível causa das alterações as condições de viscosidade impostas pela presença do resíduo. Já para os casos do resíduo de construção pode-se atribuir como possíveis causas o atrito interno provocado pela inclusão do resíduo, e a intensificação deste causada pelos choques intergranulares quando na competitividade pela passagem pelo bocal do funil. A influência do resíduo de construção aparenta ser muito próxima da que é causada pelo pó de mármore, com leve diferença.

A Figura 33 ilustra a comparação da variação da vazão mássica das misturas de 10% e 20% PM, em função do resíduo de construção.

Figura 33: Gráfico da influência de RC na mistura de 10% e 20 % PM



Fonte: Próprio Autor

Observa-se através da Figura 33 que o resíduo de construção incorporado contribuiu para o aumento da vazão mássica. Possivelmente isto se deu em razão da maior concentração mássica devido a presença do resíduo de construção, assim como, da melhoria das condições de viscosidade proporcionadas pelo pó de mármore, atenuando os choques inter-granulares e promovendo melhor disciplinamento ao fluxo. Este tipo de comportamento é apresentado em Alcântara (2004), com referência à casos de concreto auto adensáveis. Pela observação da Figura 33 se faz notar que este aumento de fluxo é mais evidenciado com o aumento do pó de mármore em composição.

c) Ensaio de segregação

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos ao ensaio de segregação por peneiramento de 4,76 mm em termos de retenção de %.

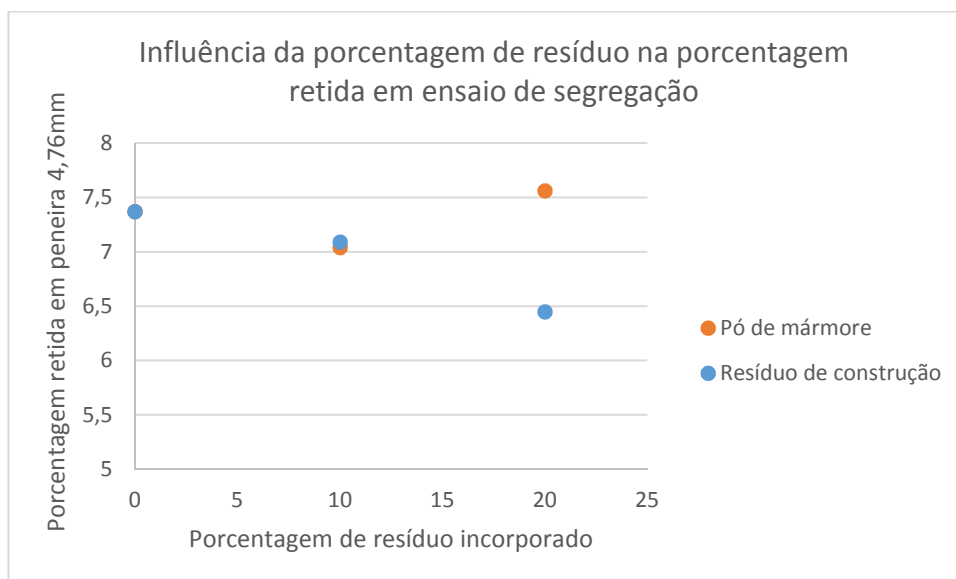
Tabela 14: Retenção no ensaio de peneiramento

Mistura	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Retenção #4,76 mm (%)	7,37	7,04	7,56	6,14	7,09	7,62	6,45	6,56	5,37
Fundo	92,63	92,96	92,44	93,86	92,91	92,38	93,55	93,44	94,63

Fonte: Próprio Autor

A Figura 34 ilustra a comparação dos dois resíduos, com relação a porcentagem retida em peneira.

Figura 34: Gráfico de comparação do PM e RC

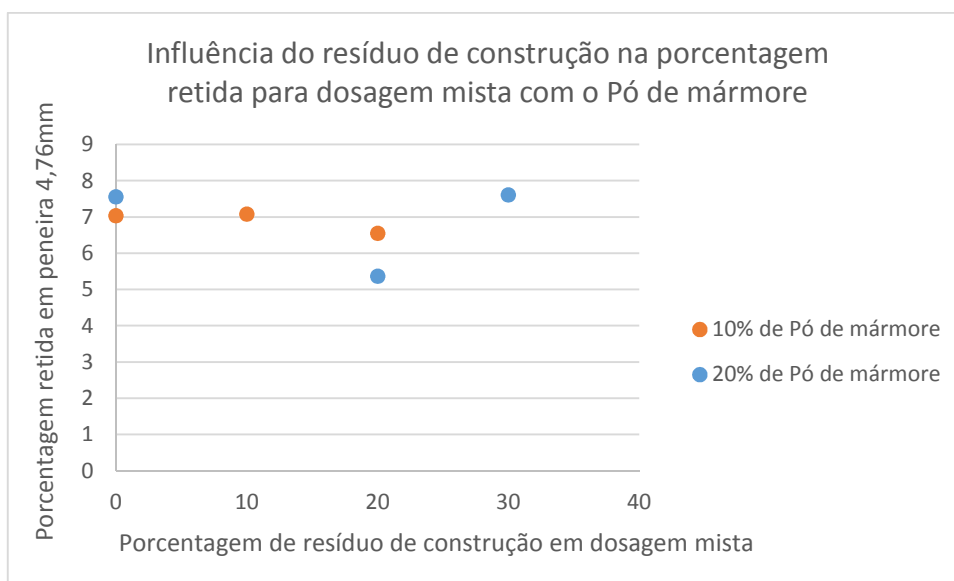


Fonte: Próprio Autor

Para os casos de ensaios de passagem pela peneira, observa-se através da Figura 34, que o pó de mármore contribuiu para um leve aumento nos valores da porcentagem retida na peneira, enquanto que o resíduo de construção influenciou preferencialmente para a diminuição destes valores. Este comportamento se apresenta de algum modo coerente visto que o pó de mármore tem contribuído para a acentuação de propriedades que dependem da acentuação das propriedades viscosas, e da floculação. O resíduo de construção, por sua vez, não tem grande impacto sobre a viscosidade, e apresenta maior concentração de massa. Acaba sendo notado que os efeitos distintos são mais acentuados para os teores mais elevados de resíduos.

A Figura 35 ilustra a comparação da variação da porcentagem retida em peneira das misturas de 10% e 20% PM, em função do resíduo de construção.

Figura 35: Gráfico da influência de RC na mistura de 10% e 20% PM



Fonte: Próprio Autor

Observa-se através da Figura 35 que o aumento do resíduo de construção em dosagem mista com o pó de mármore acarreta ligeiras diminuições para os casos de 10% de pó de mármore, e um acréscimo, com alternância de resultados, para com o caso do pó de mármore com 20% em incorporação. De maneira global, o pó de mármore tem a tendência de acentuar a retenção, e o resíduo de construção em diminuir a retenção. No caso de 30% de resíduo em construção, para 20% de pó de mármore, considera-se que houve maior aglomeração do resíduo em decorrência do maior teor de pó de mármore.

4.2.2 Resultados dos ensaios no estado endurecido

a) Ensaios de resistência à compressão axial

A Tabela 15 apresenta os resultados de resistência à compressão axial, realizado em 3 corpos de prova, para cada mistura aos 7, 14 e 28 dias.

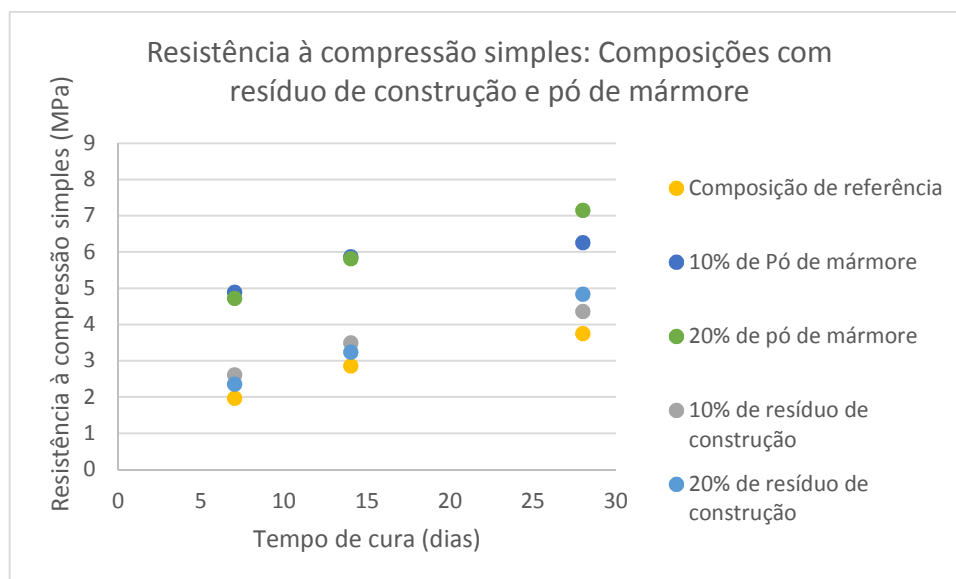
Tabela 15: Resistência à compressão axial aos 7, 14 e 28 dias do estudo de otimização

Mistura	Resistência à compressão axial 7 dias (MPa)	Desvio Padrão	Resistência à compressão axial 14 dias (MPa)	Desvio Padrão	Resistência à compressão axial 28 dias (MPa)	Desvio Padrão
1	1,97	0,12	2,86	0,64	3,75	0,26
2	4,89	0,34	5,87	0,32	6,26	0,65
3	4,72	0,21	5,82	0,89	7,15	0,34
4	2,61	0,54	3,5	1,43	4,36	1,32
5	3,53	0,87	4,35	0,34	5,26	0,99
6	7,1	0,33	7,33	0,65	8,2	0,43
7	2,36	0,21	3,24	0,14	4,84	0,74
8	6,28	0,75	7,79	0,93	8,08	1,45
9	5,11	1,23	7,49	0,76	7,96	1,11

Fonte: Próprio Autor

A Figura 36 apresenta a superposição dos casos envolvendo os dois tipos de resíduo na resistência à compressão.

Figura 36: Gráfico de comparação das misturas de PM e RC

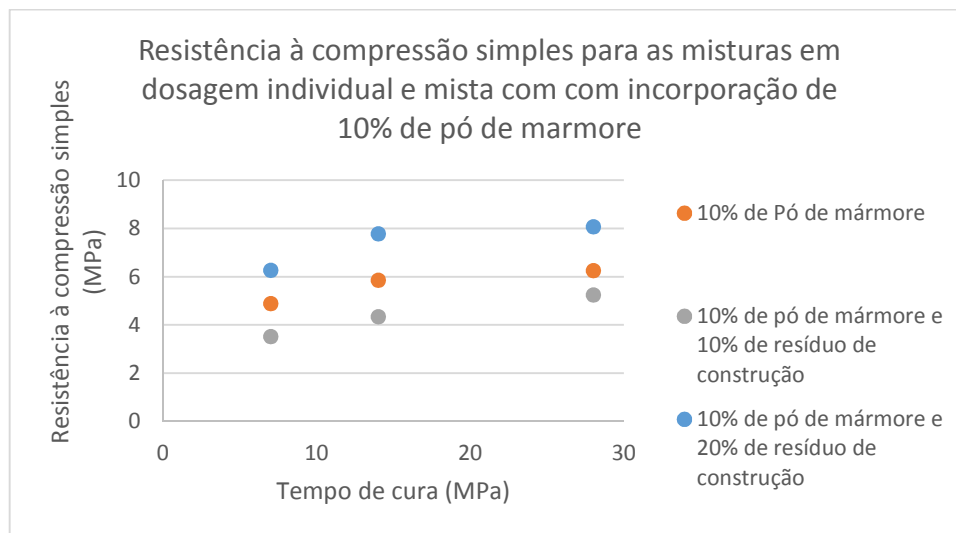


Fonte: Próprio Autor

Observa-se pela Figura 36 que tanto as composições com o pó de mármore como de resíduo de construção tendem a apresentar desempenho crescente com o tempo de cura, com maior acentuação para 20% do aditivo incorporado. As composições com o pó de mármore apresentaram desempenho superior do que às composições de resíduo de construção.

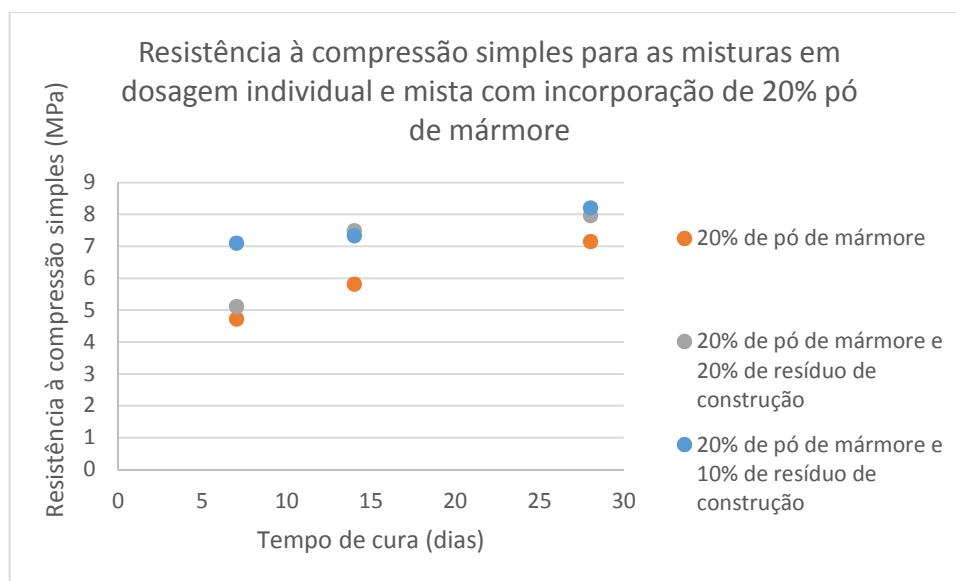
Com relação às composições de dosagem mista, estas são ilustradas através das Figuras 37 e 38, juntamente com as respectivas composições de dosagem individual, para os casos de 10 e 20% de pó de mármore.

Figura 37: Gráfico de dosagem individual com 10% PM



Fonte: Próprio Autor

Figura 38: Gráfico de dosagem individual com 20% PM

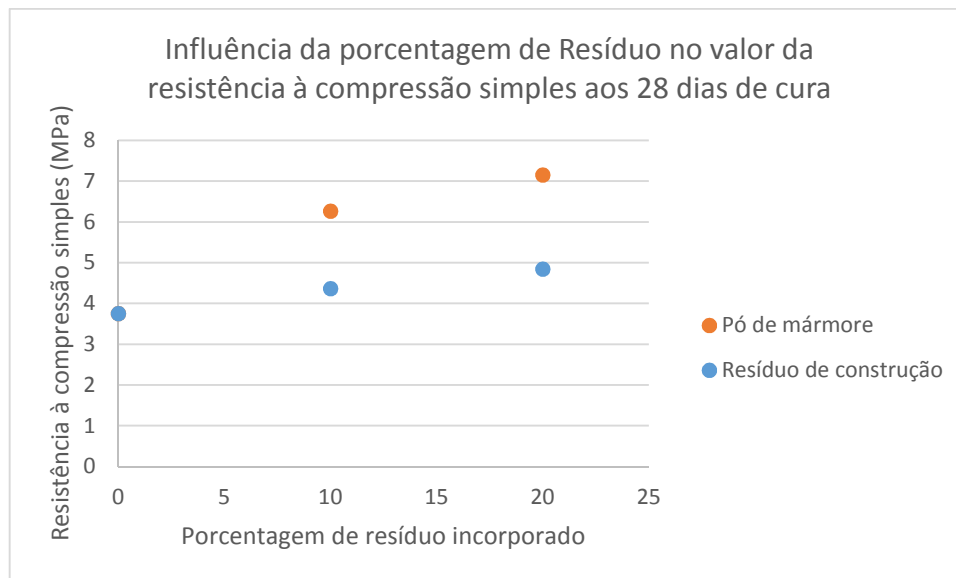


Fonte: Próprio Autor

Observa-se pelas Figuras 37 e 38 que as misturas mistas permitem o patamar mais elevado de resistência para todas as idades.

A Figura 39 ilustra a superposição da variação do valor da resistência à compressão em função da porcentagem de resíduo incorporado, para os casos de resíduos de construção e pó de mármore.

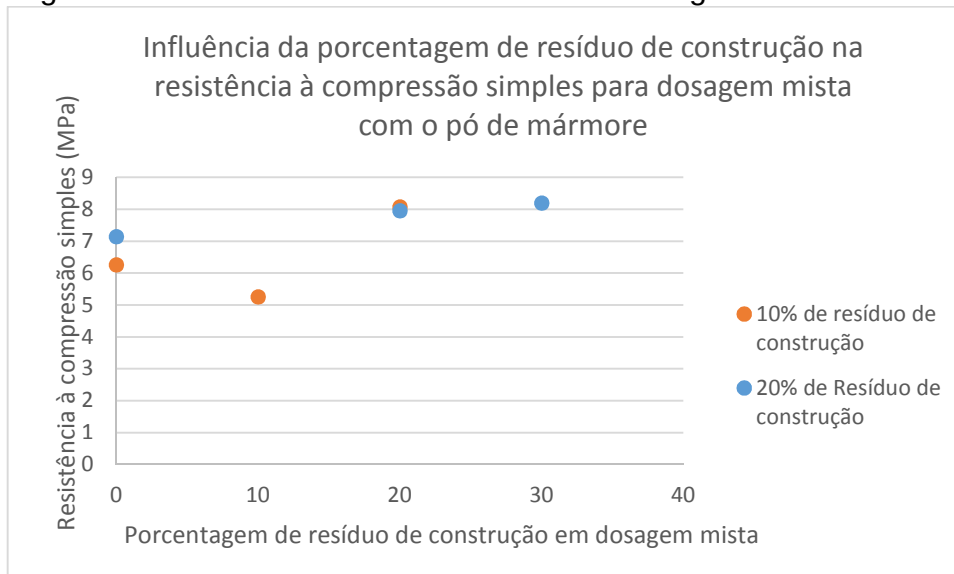
Figura 39: Gráfico de comparação de PM e RC aos 28 dias



Para os casos de avaliação da resistência à compressão simples, observa-se através da Figura 39, que o tanto o pó de mármore como o resíduo de construção contribuíram para o aumento nos valores da resistência mecânica. O pó de mármore atuou provavelmente com o efeito fíler, enquanto que o resíduo de construção influenciou provavelmente com a absorção dos esforços mecânicos, como no caso dos agregados do concreto e de argamassas. Acaba sendo notado que os efeitos são bem distintos e são mais acentuados para os casos de incorporação do pó de mármore. A isto se atribui provavelmente um possível ponto fraco para o caso dos resíduos de construção, onde, as interfaces solo-cimento-resíduo podem ser pontos preferenciais de ruptura, quando a tensão de aderência é baixa, ou pelas heterogeneidades locais criadas pela presença do resíduo de construção.

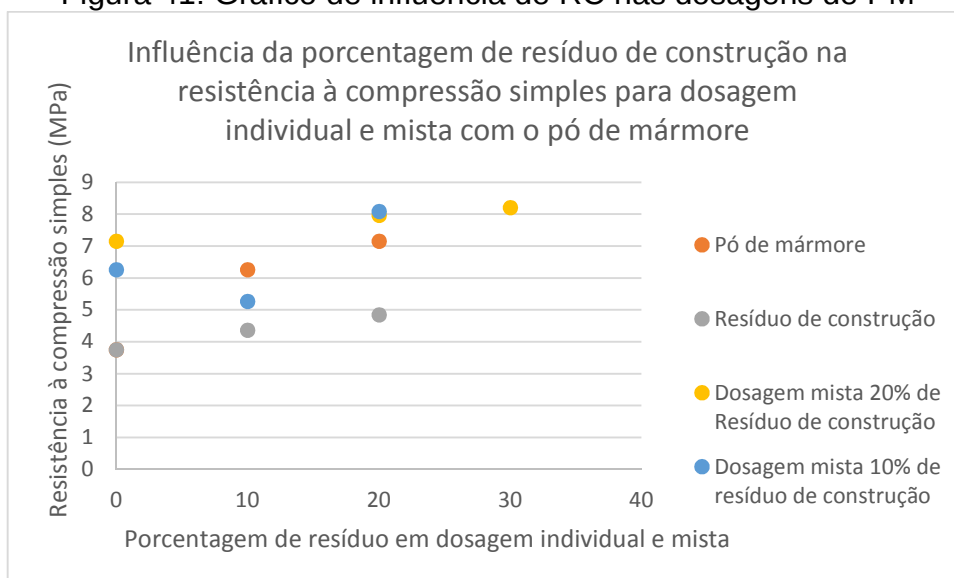
A Figuras 40 ilustra a superposição dos casos, e a Figura 41 ilustra a superposição de todos os casos, de composições de dosagem mista e de composições de dosagem individual.

Figura 40: Gráfico de influência de RC em dosagem mista com PM



Fonte: Próprio Autor

Figura 41: Gráfico de influência de RC nas dosagens de PM



Fonte: Próprio Autor

Observa-se através da Figura 40 que a reunião dos dois tipos de adição as misturas tendem a contribuir para o aumento do valor da resistência mecânica, particularmente com o aumento da porcentagem do resíduo de construção incorporado. As composições com 20% de pó de mármore apresentam melhor desempenho com o incremento gradativo da incorporação do resíduo de construção. A isto se pode atribuir um melhor empacotamento e travamento do material, somada a influência da aglomeração pela mistura com o pó de mármore. Pela observação da Figura 41, nota-se que as composições em

dosagem mista se mostraram superiores às que apresentavam incorporações de apenas um tipo de resíduo.

b) Absorção de água

A Tabela 16 apresenta os resultados de absorção de água, realizado em 3 corpos de prova, para cada mistura aos 28 dias.

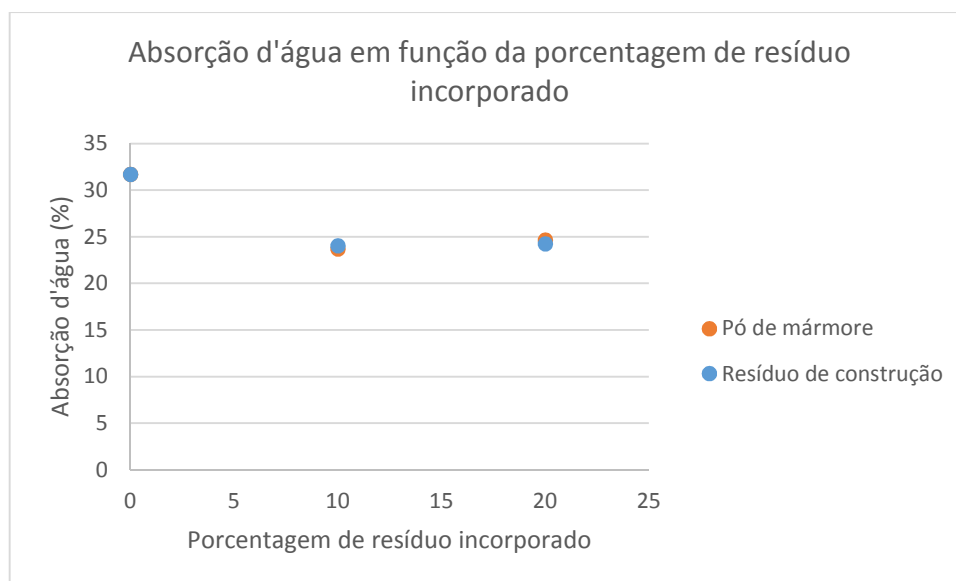
Tabela 16: Absorções de água aos 28 dias

Mistura	Absorção (%)	Desvio Padrão
1	31,7	0,45
2	23,68	0,22
3	24,65	0,98
4	24,02	1,23
5	23,95	0,67
6	23,5	0,34
7	24,23	0,87
8	23,78	1,43
9	23,64	0,78

Fonte: Próprio Autor

A Figura 42 ilustra a superposição da comparação da absorção da água dos dois tipos de resíduos.

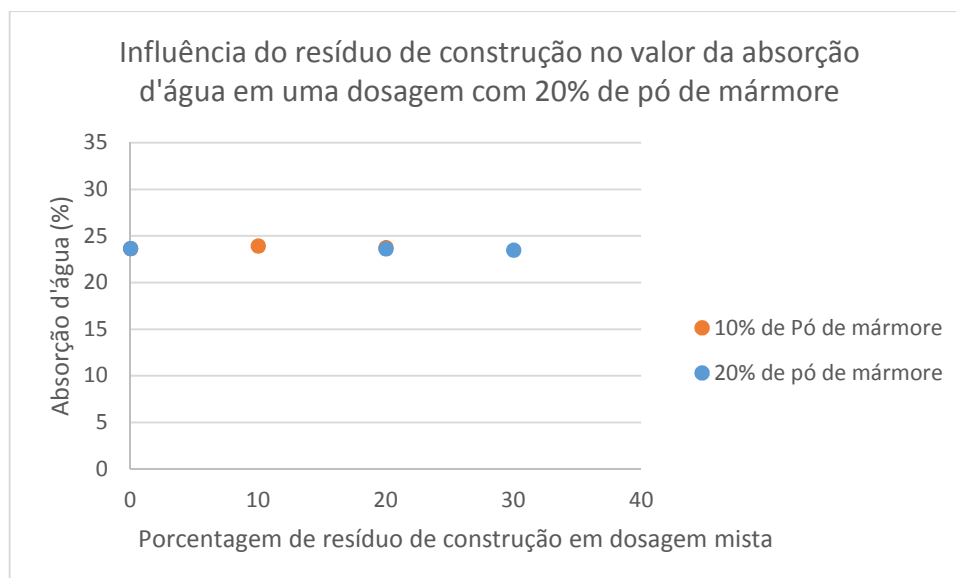
Figura 42: Gráfico de comparação de PM e RC



Fonte: Próprio Autor

Observa-se através da Figura 42 que tanto o pó de mármore como o resíduo de construção contribuíram de modo eficaz para a diminuição do valor da absorção d'água. A Figura 43 apresenta os casos de superposição para dosagem mista.

Figura 43: Gráfico da influência de RC na mistura de 10% e 20% PM



Fonte: Próprio Autor

Nota-se através da Figura 43 que os valores de absorção apresentados são praticamente invariáveis com relação à dosagem para os casos apresentados.

4.3 Resultados e Discussões do estudo principal

Após os resultados do estudo de otimização, foi obtido que o melhor dosagem de pó de mármore e resíduo de construção para usar na fabricação de tijolo, que no caso foi 20% de PM e 10% de RC, pois foi obtido a maior resistência aliado a baixa absorção.

a) Ensaio de compressão

A Tabela 17 apresenta os resultados de resistência à compressão simples dos tijolos realizado em 10 corpos de prova, para as idades de 7, 14, 28 e 56 dias.

Tabela 17: Resistência à compressão aos 7, 14, 28 e 56 dias

Idade	7 dias	14 dias	28 dias	56 dias
Resistencia à compressão (MPa)	5,0	5,1	6,2	6,4
Desvio Padrão	1,4	1,1	2,3	0,8

Fonte: Próprio Autor

A Tabela 18 apresenta a variação do valor da “resistência à compressão simples n dias/ resistência à compressão simples 7 dias” para o caso de tijolos com dosagem mista apresentando 20% de pó de mármore e 10% de resíduo de construção. Esta Tabela 18 foi elaborada com base nas informações da Tabela 23, sobre a variação da resistência média do tijolo maciço.

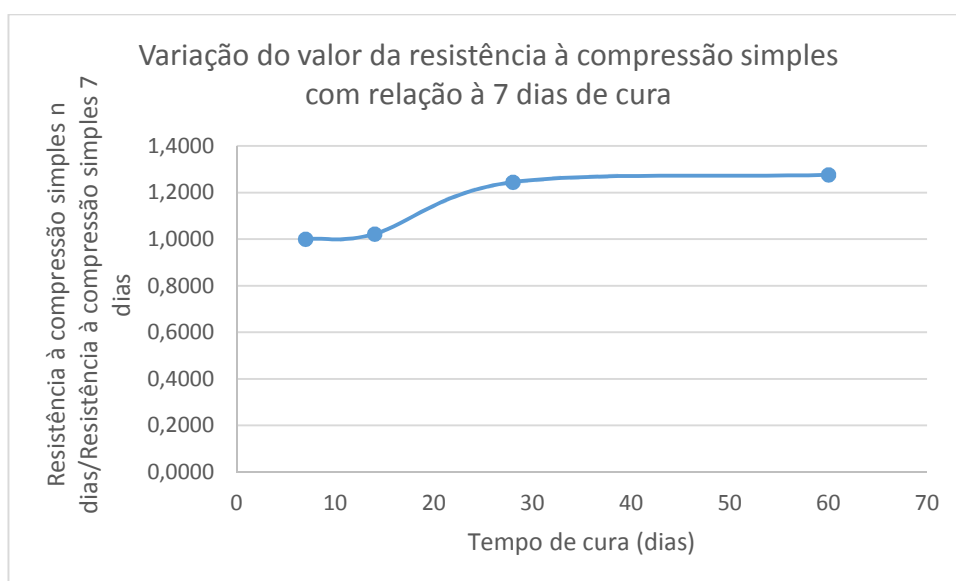
Tabela 18: Variação das resistências pela idade de 7 dias

Idade	7 dias	14 dias	28 dias	56 dias
Resis/Resis 7 dias	1,00	1,02	1,24	1,27

Fonte: Próprio Autor

A Figura 44 ilustra a respectiva variação do valor da “resistência à compressão simples n dias/ resistência à compressão simples 7 dias”.

Figura 44: Variação dos valores de resistência pela idade 7 dias



Fonte: Próprio Autor

Nota-se, pela Figura 44, que o valor da resistência à compressão simples é crescente com o tempo de cura até a idade de 28 dias de cura, e apresentando uma ligeira variação e estabilização do crescimento para 56 dias de cura. Como Souza et al. (2008) afirmou, os CPs cilíndricos preservam mais as características originais do material, pois na sua confecção são empregados procedimentos que resultam em número menor de variáveis, enquanto que na confecção dos CPs feitos a partir de tijolos, ocorre a influência de muitas variáveis, como: corte dos tijolos ao meio, manipulação no assentamento das metades dos tijolos, aderência entre o tijolo e a argamassa de assentamento, a partir dessas variáveis faz que o desvio padrão dos corpos de prova sejam altas. Embora não tenha sido observado, um ganho adicional de resistência mecânica pode talvez ser adquirido por meio das reações pozolânicas entre o solo e a cal liberada na hidratação do cimento, fato observado em Clavèrie (2014).

Pode ser observado que todos os tijolos obtiveram o valor de resistência acima do mínimo exigido pela norma, sendo o mínimo de 2 MPa.

d) Ensaio de absorção

A Tabela 19 apresenta o dado de absorção do tijolo, realizado na idade de 56 dias.

Tabela 19: Absorção do tijolo aos 56 dias

Absorção(%)	19,7
Desvio Padrão	2,1

Fonte: Próprio Autor

A partir do valor obtido de absorção, mostrou que este valor esteve de acordo com o que exige a norma, sendo que a absorção não pode passar de 20%.

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que:

- As condições do processo auto adensável para as misturas de SCAA foram de acordo com as normas.
- O pó de mármore teve melhor desempenho mecânico isoladamente, e atuou por enriquecimento da matriz, enquanto que o resíduo de construção contribuiu preferencialmente com o efeito de estrutura.
- A associação dos dois resíduos foi no sentido de oferecer a sinergia, mas aparentemente o efeito de associação contribui com o aumento do pó de mármore mas tende a estabilizar-se.
- Na parte mecânica, a maior quantidade de pó de mármore na mistura ajudou para que a resistência seja maior, até o acréscimo de 20%, pois com maior quantidade a resistência diminuiu. O pó de mármore teve o papel de filler, preenchendo os espaços vazios da mistura.
- O resíduo de construção também teve um papel importante, como um material granular dentro da mistura na parte mecânica, o teor adequado foi de 10%, acima disso a resistência diminuía.
- Os valores de resistência à compressão dos estudos preliminares e de otimização obtiveram resultados satisfatórios, todos de acordo com as normas.
- Os valores de resistência à compressão e absorção de água dos tijolos estiveram de acordo com as normas brasileiras.
- O uso dos 2 resíduos, pó de mármore e resíduo de construção, tiveram influência positiva na mistura de SCAA como na fabricação de tijolos.

A partir deste estudo, propõem-se como sugestões para a realização de trabalhos futuros, os seguintes:

- Um maior controle da granulometria da mistura poderia fazer com que haja uma melhor homogeneidade e melhorar precisão dos ensaios no estado fresco. O solo argiloso apresenta, além de partículas arenosas e finas, conglomerados de partículas argilosas floculadas por causa do fenômeno de troca iônica. E a presença desses conglomerados, faz variar sua granulometria

e a homogeneidade da mistura final. Um peneiramento melhor de solo, antes de misturar, minimizaria do problema.

- Um estudo de microscopia dos materiais para identificar a microestrutura e as possíveis influências destas nas propriedades mecânicas.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, M. A. M; MATSUURA, F. L. 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.

ALTHEMAN, D. **Avaliação da durabilidade de concretos confeccionados com entulho de construção civil**. 2002. 102 f. Relatório (Iniciação Científica) – Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

ALVES, R. P.; SEGANTINI, A. A. S. Estudo da utilização de resíduos de mármore na composição de tijolos prensados de solo-cimento. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 26., 2014, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha Solteira: Unesp, 2014.

ÂNGULO, S. C. et al. **Aperfeiçoamento da reciclagem da fração mineral dos resíduos de construção e demolição**: uso em concretos. São Paulo: USP, 2016. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/APR-RCD_Angulo%20et%20al.pdf>. Acesso em: 26 de jul. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Definição de CP V-ARI**. 2016. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/o-que-e-cp-v-ari/>>. Acesso em: 26 jul. 2016.

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 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6508**: grãos de solos que passam 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 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 - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7681**: calda de cimento para injeção - especificação. Rio de Janeiro, 1983. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7682**: calda de cimento para injeção - determinação do índice de fluidez. Rio de Janeiro, 1983. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8491**: tijolo solo-cimento. Rio de Janeiro, 2012. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8492**: tijolo de solo cimento – análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **10833**: fabricação de tijolo de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – procedimento. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12025**: solo cimento - ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 2 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 NM 68**: concreto – determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de graff. Rio de Janeiro, 1998. 10 p.

BACARJI, E.; FIGUEIREDO, E. J. P.; LOPES, J. L. M.; REGO, J. H. S.; PEREIRA, A. A viabilidade técnica da utilização de resíduos de marmorarias na produção de concretos. CHAHUD, E. (Org.). **Reciclagem de resíduos para a construção civil**. Belo Horizonte: FUMEC, 2007. p. 167-191

BERTÉ, S. D. D. **Otimização do solo-cimento auto adensável**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012. Disponível em: <http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91444/berte_sdd_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jul. 2016.

BERTÉ, S. D. D; ALCANTARA, M. A. M. Estudo do comportamento do solo-cimento auto adensável. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia**, v. 7, n. 2, p. 37-52, 2013. Disponível em: <revistas.ufg.br/index.php/reec/index>. Acesso em: 04 jan. 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 307 de 2002**. Dispõe sobre resíduos de construção civil. Brasília, DF: CONAMA, 2002. Disponível em: <https://www.unifesp.br/reitoria/dga/images/legislacao/residuos2/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2017.

BUTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. 499 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CLAVERIE, J. **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, Ilha Solteira, 2015.

CONSOLI, N.; CRUZ, R.; VIANA DA FONSECA, A. ;COOP, M. Influence of cement-voids ratio on stress-dilatancy behavior of artificially cemented sand. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Reston, v. 138, n. 1, p. 100 -109, 2012.

DESTEFANI, A. Z. **Adição de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais para a produção de blocos prensado de encaixe**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos de Goytacazes, Universidade Federal do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

FAY, L.; COOPER, P.; MORAIS, H. F. Innovative interlocked soil–cement block for the construction of masonry to eliminate the settling mortar. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 52, p. 391-395, 2014.

FEITOSA, A. O. **Utilização do resíduo de serragem de granito para uso em blocos de concreto sem função estrutural**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2004.

FERREIRA, L. V. **Concreto e graute estruturais produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição**. 2013. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2013.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. S. Estudo da aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades de tijolos de solo-cimento. **Holus Environment**, Rio Claro, v. 4, n. 1, p. 23-37, 2004.

FUKUE, M.; SATO, Y.; YAMASHITA, M.; YANAI, M.; FUJIMORI, Y. Change in microstructure of soils due to natural mineralization. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 23, p.169–177, 2003.

GOODARY, R.; LECOMTE-NANA, G. L.; PETIT, C.; SMITH, D. S. Investigation of the strength development in cement-stabilised soils of volcanic origin. **Construction & Building Materials**, Limoges Cedex, v. 28, n. 1, p. 592-598, 2012.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A. Reciclagem do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais na construção civil. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3., 2002, Recife. **Anais...** Recife: Mineralis, 2002. p. 179-189, 2002.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com adição de sílica ativa**. 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

HIGHWAY RESEARCH BOARD - HRB. Report of committee on classification of materials for subgrades and granular type roads. In: PROCEEDINGS OF THE ANNUAL MEETING HELD AT SKIRVIN HOTEL, 25., 1946, Oklahoma. **Proceedings of the...** Oklahoma: Highway Research Board, 1946. p. 376-384. (Highway Research Board, 25)

HOLANDA, J. N. F.; RODRIGUES, L. P. Recycling of water treatment plant waste for production soil-cement bricks. **Procedia Materials Science**, Amsterdam, v. 8, n. 4, p. 197-202, 2015.

HORPBILSUK, S.; MIURA N.; NAGARAJ, T. S. Assessment of strength development in cement-admixed high water content clays with Abram's law as a basis. **Geotechnique Journal**, Bangalore, v. 53, n. 4, p. 439–444, 2003.

HORPIBULSUK S.; RACHAN R.; SUDDEEPONG, A. Assessment of strength development in blended cement admixed Bangkok clay. **Construction & Building Materials**, Amsterdam, v. 25, n. 4, p. 1521-1531, 2011.

JOHN, M. V. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2017.

KANTRO, D. L. Influence of water reducing admixtures on properties of cement pastes – a miniature slump test. **ASTM Standards and Engineering Library Journal**, New York, v. 2, n. 2, p. 95-102, 1980.

KUMAYAMA, R.; ALCÂNTARA, M. A. M.; CRUZ, W. S.; SEGANTINI, A. A. S.; PINHEIRO, L. M. Estudo das propriedades mecânicas do concreto auto adensável com o emprego de pó de mármore e substituição parcial dos agregados por pérolas de poliestireno expandido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 56., 2014, Natal. **Anais...** Natal: Ibracon, 2014.

LIMA, R. C. O. **Estudo de durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concreto produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LISBOA, E. M. **Obtenção de concreto auto adensável utilizando resíduo do beneficiamento de mármore e granito e estudo das propriedades mecânicas**. 2004. 144 f. (dissertação) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

LOPES, J. L. M. P. **Influência da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como filer, nas propriedades do concreto**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

MACHADO, A. F.; MIRANDA, D. E. O.; BOMFIM, M. I.; SEGANTINI, A. A. S. Estudo das características de resistência e deformabilidade ao longo do tempo do solo-cimento plástico obtido através de resíduos sólidos de construção, visando a sua aplicação em fundações de obras de pequeno porte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 13., 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [S.n.], 2006. v. 1. p. 573-577. Disponível em: < <http://www.fec.unicamp.br/~pjra/Arquivo15.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

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

MILANI, A. P.; BARBOZA, C. S. Contribuição ao estudo de propriedades do solo-cimento auto adensável para a fabricação de parede monolíticas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 143-153, 2016.

MIRANDA, R. A. C. **Viabilidade técnica da aplicação de resíduo de beneficiamento de mármore e granito em tijolos de solo-cimento**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

MORAIS, M. B.; CHAVES, A. M.; JONES, K. Análise de viabilidade de aplicação do tijolo ecológico na construção civil contemporânea. **Revista Pensar Engenharia**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, 2014. Disponível em: < <http://revistapensar.com.br/engenharia/artigo/no=a138.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

MOTTA, J. C. S. S.; MORAIS, P. W. P.; ROCHA, G. N.; TAVARES, J. C.; GONÇALVES, G. C.; CHAGAS, M. A.; MAGESTE, J. S.; LUCAS, T. P. B. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 13-26, 2014.

NEVES, C. M. M. **Resgate e atualização do construir com terra: o projeto pro terra**. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1, 2004, ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [S.n.], 2004. Disponível em: <
ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0247d.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2017.

PACHECO, C. P.; GONÇALVES, L. P. N.; LORENZONI, R.; GÓIS, T. S.; SIQUEIRA, W. L. **Mármore e granito**. Vitória: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, 2009.

PISANI, M. A. J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. **Sinergia**, São Paulo, v. 6. n. 1. p. 53-59, 2005. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/271829933_Um_material_de_construcao_de_baixo_impacto_ambiental_o_tijolo_de_solo-cimento>. Acesso em: 06 abr. 2017.

PECORIELLO, L. A. **Recomendações práticas para uso do tijolo furado solo-cimento na produção de alvenaria**. 2003. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2003.

RIOS, S.; VIANA DA FONSECA, A. ;BAUDET, B. The effect of the porosity/cement ratio on the compression of cemented soil. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Reston, v. 138, n. 11, p. 1422-1426, 2012.

ROSÁRIO, T.; TORRESCASANA, C. E. N. **Tijolos do solo-cimento produzidos com resíduos de concreto**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2011.

SANTIAGO, C. C. **O solo como material de construção**. 2. ed. Salvador: Ed. UFBA, 2001. 72 p.

SEGANTINI, A. A. S.; ALCANTARA, M. A. M. 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.

SENNA, R. S.; SEGANTINI, A. A. S.; ALCÂNTARA, M. A. M. Estudo da utilização de resíduos de concreto oriundos de uma central de reciclagem na composição do solo cimento plástico. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 57., 2015, Bonito. **Anais...** Bonito: Ibracon, 2015.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – Sebrae. **Ideias de negócios: fabrica de tijolos ecológicos**. SEBRAE. 26 p.

Disponível

em:<https://mailattachment.googleusercontent.com/attachment/u/0/?ui=2&ik=a2fb927061&view=att&th=13e5b4089373585f&attid=0.1&disp=inline&safe=1&zw&saduie=AG9B_P9IRLpg1-o8omBa7ypQQsSL&sadet=1367422748242&sads=tbb hm1dOHPYLr3KLqF36llqyXEA>. Acesso em: 23 dez. 2016.

SIKA. **Ficha do produto Sika ViscoCrete 20 HE**. 2014. Disponível em: <http://bra.sika.com/dms/getdocument.get/08502c14-6b8b-3bd5-bb35d17b2cf7e571/sika_viscocrete_20HE.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2016.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos de solo-cimento com resíduos de construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008.

SOUZA, M. I. B.; PEREIRA, J. A.; SEGANTINI, A. A. S. Tijolos de solo-cimento com resíduos de construção. **Techne**, São Paulo, v. 113, 2006. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/113/artigo285544-5.aspx>>. Acesso em: 25 jul. 2016.

SUTCU, M.; ALPTEKIN, H.; ERDOGMUS, E.; ER, Y.; GENCEL, O. Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 82, p. 1-8, 2015.

TEIXEIRA, A. M.; GAZZOLA, P. M.; GALZERANO, M. B.; RIBEIRO, L. C. L. J.; LINTZ, R. C. C.; BARBOSA, L. A. G. Produção de concreto auto adensável utilizando resíduos de mármore. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54., 2012, Maceió. **Anais...** Maceió: IBRACON, 2012.

YANG, Y.; WANG, G.; XIE, S.; TU, X.; HUANG, X. Effect of mechanical property of cemented soil under the different pH value. **Applied Clay Science, School of Engineering and Technology**, Beijing, v. 79, p. 19-24, 2013.