

VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE REJEITO DE PÓ DE ROCHA AMETISTA NA PRODUÇÃO DE BLOCOS ALTERNATIVOS DE VEDAÇÃO

Rodrigo Minetto

Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Frederico Westphalen
rodrigo.minetto@hotmail.com

Rodrigo A. Klamt

Professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Frederico Westphalen
rodrigoklamt@outlook.com

Luciële da S. Knierim

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria
luh_knierim@hotmail.com

Elisangela A. Mazzutti

Acadêmica do Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Frederico Westphalen
elisamazzutti@hotmail.com

Resumo. *O aproveitamento de resíduos de rochas preciosas no setor de engenharia civil é uma alternativa economicamente atrativa e ambientalmente correta. Este trabalho tem por objetivo verificar a influência na resistência à compressão simples e na absorção de água da incorporação do rejeito de pó de rocha ametista na substituição parcial do cimento. Para isso, foram executados tijolos de solo-cimento e solo-cimento-rejeito de pó de rocha ametista, em diferentes traços, a fim de determinar a resistência à compressão simples e absorção de água. De acordo com os resultados os melhores traços obtidos foram de solo-cimento. No entanto, os blocos com adição de rejeito de pó de rocha ametista podem ser utilizados na construção civil como paredes sem função estrutural. A grande vantagem da utilização desses blocos está na redução dos passivos ambientais, por utilizar um material de rejeito e reduzir a quantidade de cimento utilizado na construção.*

Palavras-chave: *Rejeito de pó de rocha ametista. Tijolo ecológico. Resíduo*

1. INTRODUÇÃO

Diante do cenário em que se encontra a construção civil, ameaçando a qualidade de vida atual e as futuras gerações, a busca por materiais que envolvem baixo consumo energético, baixa geração de resíduos não reaproveitáveis e poluentes, baixa emissão de CO₂, devem ganhar maior atenção neste setor vasto que é a construção. Com isso a construção ecológica de terra crua está se tornando uma boa alternativa de construção sustentável. Embora muitas vezes desconhecida pela população, a construção ecológica gera certo preconceito, tanto por parte de profissionais da área quanto pela população (GIORGI, 2016).

Então, a busca por soluções para os sistemas construtivos se dá por novos meios, métodos e materiais que proporcionam redução de custo, minimização de impactos ambientais, reutilização de materiais, canteiro de obra limpo e eficiente. Pode-se destacar nesta linha o uso do solo estabilizado com materiais reaproveitáveis, com a finalidade de reduzir a

quantidade de cimento, material geralmente utilizado para a estabilização (LIMA, 2009).

Uma aplicação para a solos estabilizados pode-se ser nas alvenarias, através dos já conhecidos tijolos de solo-cimento. Os sistemas de vedações mais utilizados são de alvenaria convencional, composta por tijolo furado ou maciço, em conjunto com as estruturas de concreto armado. No entanto, segundo Grande (2003) a alvenaria estrutural de solo-cimento apresenta muitas vantagens se comparado a alvenaria convencional: controle de perdas; baixo custo; disponibilidade de abastecimento; durabilidade e segurança estrutural; eficiência construtiva devido seu sistema modular, o que facilita o assentamento pelo encaixe e com pouca quantidade de argamassa.

Além disso, os tijolos ecológicos possuem furos que facilitam a passagem de tubulações elétricas e hidráulicas, sem a necessidade de rasgos em paredes; baixa agressividade ao meio ambiente, pois sua cura não necessita de queima; e economia de transporte quando produzido no local da obra (GRANDE, 2003).

A alvenaria estrutural com blocos ecológicos tem vantagem de poder ser reutilizada de forma sustentável, pois o material descartado no processo de fabricação pode ser levado ao triturador onde se torna matéria-prima. Posteriormente, no processo de fabricação, pode formar novos blocos.

A reutilização de materiais descartados na estabilização de solos depende da disponibilidade de recursos da região, sendo o rejeito de pó de rocha ametista (RPR) uma opção na região norte do estado do Rio Grande do Sul. O RPR, por não ter destinação final, é muitas vezes descartado em aterros ou de forma inadequada no meio ambiente. No entanto, pode-se ter a adição deste material no bloco de solo-cimento, gerando a diminuição da quantidade de cimento utilizado na fabricação dos blocos, com consequente redução dos custos e na poluição gerada ao meio ambiente pela fabricação do cimento.

Atualmente, tem-se um grande número de estudos de desempenho do sistema de alvenarias cerâmicas e blocos de concreto, assim o bloco de solo-cimento ainda precisa de maior estudo, principalmente de ensaios laboratoriais para propiciar maior aceitação e comprovação de sua eficiência como material de construção para habitações sociais. Ainda se tem um preconceito em relação a estanqueidade nas construções de solo pelo pensamento que o material em contato com a água da chuva e a ação das variações de temperatura irá degradar a construção (GIORGI, 2016).

Dessa forma, a presente pesquisa procura estudar a influência na resistência à compressão simples e na absorção de água de blocos de solo-cimento e solo-cimento-RPR para fins de aplicação em paredes estruturais e de vedação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na cidade de Frederico Westphalen, com amparo da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Campus de Frederico Westphalen.

A moldagem mecânica foi executada na empresa Alroma, instalada na cidade de Palmas, no estado do Paraná. Já, os ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples foram executados no laboratório de materiais da URI, Campus de Frederico Westphalen.

2.1 Materiais

O solo utilizado para confecção dos blocos foi coletado na jazida utilizada pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Campus de Frederico Westphalen, localizada às margens da BR-386 no km 38, com coordenadas de latitude 27°24'9.35" Sul e longitude 53°24'28.93" Oeste, no município de Frederico Westphalen/RS.

Os ensaios de caracterização do solo utilizado na pesquisa foram obtidos por Pessotto (2017). A curva granulométrica obtida pela autora determina que o solo é composto por 39,07% de argila, 31,10% de areia e 29,83% de silte. Ainda, conforme os resultados apresentados pela mesma autora, o solo apresenta os limites de liquidez e de plasticidade de 42% e 21%, respectivamente. O índice de plasticidade é de 21%.

O cimento utilizado para estabilização do solo e confecção dos blocos ecológicos foi cimento da marca Supremo CP-II-F, normatizado pela NBR 11578 (ABNT, 1991). O mesmo é destinado para várias aplicações, inclusive na fabricação de blocos de solo-cimento. Este tipo de cimento é composto por 90% a 94% de clínquer e gesso e de 6% a 10% de material carbonático ou *filler*.

O material a ser adicionado para substituição parcial do cimento é o RPRA. Este material não tem destinação e, na maioria das vezes, é descartado de forma inadequada no meio ambiente. Esse material é obtido em grande quantidade nas galerias de mineração devido à escavação da rocha em busca de pedras preciosas. O RPRA tem procedência do comercial Gheno da cidade de Ametista do Sul/RS, sendo que o mesmo é disponibilizado para a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI) para que se possam fazer estudos para utilização na construção civil.

O RPRA utilizado não passou pelo processo de secagem prévia, assim, para eliminar pedriscos, o material foi peneirado a fim de manter apenas os grãos passantes na peneira nº 200, que corresponde a abertura de 0,074 mm. Cabe ressaltar, que o material utilizado na pesquisa foi somente o material passante na peneira supracitada.

2.2 Métodos

Com base em trabalhos semelhantes encontrados durante a revisão de literatura, porém com outros materiais, na presente

pesquisa foram utilizadas as dosagens solo-cimento e solo-cimento-RPRA mostradas na Tab. 1. Para cada traço foram moldados 10 blocos, sendo que deste total, 7 blocos foram destinados para o ensaio de resistência à compressão simples e 3 blocos para o ensaio de absorção de água.

Para a execução dos traços citados na Tab. 1 o solo foi utilizado em sua umidade natural de 36,71%. Para as amostras, ainda foi necessário adicionar areia média, que apresentou umidade natural de 4,95% no momento da moldagem.

A umidade utilizada na moldagem foi a umidade natural dos materiais, não havendo necessidade de adição de água nas amostras durante a moldagem.

O solo utilizado na moldagem foi retirado de uma profundidade de 1,5 metros, sua granulometria usada foi a natural, por ser de granulometria fina e, também, pelo fato de o mesmo não conter material retido na peneira de nº 10 (abertura de 2,0 mm).

Tabela 1. Dosagem dos blocos ecológicos moldados na pesquisa

Amostra	Umidade da mistura (%)	Areia (%)	Solo (%)	Cimento (%)	Pó (%)
01 S/Pó	10,43	48,00	40,00	12,00	0,00
01 C/Pó	10,01	48,00	40,00	7,20	4,80
02 S/Pó	11,59	28,92	57,85	13,23	0,00
02 C/Pó	15,93	28,92	57,85	7,95	5,28
03 S/Pó	19,12	35,00	55,00	10,00	0,00
03 C/Pó	16,35	35,00	55,00	6,00	4,00

* S/Pó: Traço sem adição de rejeito de pó de rocha ametista; C/Pó: traço com adição de rejeito de pó de rocha ametista.

A moldagem mecânica foi realizada em um equipamento da marca ALROMA, na empresa Alroma máquinas para tijolos ecológicos, na cidade de Palmas, no estado do Paraná.

Na moldagem dos traços, de acordo com a Tab. 1, primeiramente os materiais foram separados em volumes a serem usados em cada traço. Depois, os materiais foram colocados no

misturador a fim de homogeneizar as misturas. Posteriormente, a mistura foi transportada por uma esteira até a prensa mecânica, a qual dá a forma aos blocos. A prensa mecânica utilizada é mostrada na Fig. 1 (a).

Depois de realizada a moldagem dos blocos, utilizou-se embalagens plásticas para realizar a cura úmida de cada bloco em individual, conforme mostra a Fig. 1 (b). Assim, os mesmos, permaneceram embalados por 10 dias para curar.

Figura 1. (a) Prensa mecânica; (b) Cura úmida



Após a cura úmida, os blocos foram cortados ao meio e colados com nata de cimento, permanecendo assim por 24 horas até secar. Posteriormente, os blocos foram capeados em ambos os lados, também com nata de cimento.

Posteriormente, com 14 dias após a moldagem, foi realizado o ensaio de resistência à compressão simples, conforme mostra a Fig. 2. Cabe ressaltar que este ensaio foi realizado no laboratório de materiais de construção da URI/FW, com velocidade de ruptura média de 0,011 MPa/s de acordo com a NBR 10836 (ABNT, 2013).

Quanto ao ensaio de resistência à compressão simples, o mesmo foi executado de acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012) que trata sobre tijolos de solo-cimento – requisitos, para amostras ensaiadas com base na NBR 8492 (ABNT, 2012). As normativas têm como requisitos que a resistência à compressão simples individual dos blocos de solo-cimento deve atender a resistência mínima de 1,7 MPa (17 kgf/cm²). A resistência média do lote deve atender a resistência mínima de 2,0 MPa (20

kgf/cm²), com idade de cura mínima de sete dias.

Figura 2. Ensaio de RCS



Pra calcular a RCS individual e a média dos blocos foram utilizadas as Eq. (1, 2, 3, 4).

$$A_{furo} = \pi \times r^2 \quad (1)$$

$$A_{bruta} = c \times l \quad (2)$$

$$A_{útil} = A_{bruta} - A_{furo} \quad (3)$$

$$f_{p,k} = \frac{f}{A_{útil}} \quad (4)$$

Onde:

- A_{furo} : Área do furo (mm²);
- r : raio do furo (mm);
- A_{bruta} : Área bruta do bloco (mm²);
- c : comprimento do bloco (mm);
- l : largura do bloco (mm);
- $A_{útil}$: Área útil do bloco (mm²);
- $f_{p,k}$: Resistência à compressão simples individual do bloco (MPa);
- f : carga de ruptura individual do bloco (N).

A NBR 8491 (ABNT, 2012) que trata sobre tijolos de solo-cimento – requisitos, para amostras ensaiadas com base na NBR 8492 (ABNT, 2012), apresenta que a absorção de

água do bloco de solo-cimento individual não deve ser superior a 22% e para valores médios não deve ser superior a 20%, com idade mínima de cura de sete dias. Os ensaios de absorção de água dos blocos moldados de forma mecanizada foram realizados no laboratório de materiais de construção da URI/FW. Os ensaios de absorção de água foram realizados conforme procedimento da NBR 8492 (ABNT, 2012). A Figura 3 mostra o ensaio de absorção de água sendo realizado.

Figura 3. Ensaio de absorção de água



Para obtenção da absorção de água os blocos passaram por processo de secagem em estufa com temperatura de 105° C até que apresentar uma máxima constância, assim utilizando a última pesagem (M1) caracterizada por massa seca. Após a secagem colocaram-se os blocos em um reservatório com água por 24 horas. Posteriormente, os mesmos foram retirados e água em excesso foi absorvida com um pano seco. Pesando-se os blocos, foi possível obter a massa M2, representando a massa úmida. Por meio da Eq. (5) foi obtida a absorção de água individual e, posteriormente, calculada a média para o lote.

$$Absorção = \frac{M2-M1}{M1} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

- *Absorção*: absorção de água (%);
- *M1*: massa seca (kg);
- *M2*: massa úmida (kg).

3. RESULTADOS

3.1 Ensaio de Resistência à Compressão Simples

A Tabela 2 apresenta os resultados de resistência à compressão simples individual e a média do lote para as misturas em estudo. Os blocos foram rompidos com idade de 14 dias.

Em análise dos resultados obtidos para as misturas solo-cimento, o traço que apresentou melhor desempenho para a construção é o traço composto por 86,77% de solo estabilizado com areia média e 13,23% de cimento (02 S/PÓ), que atingiu uma resistência à compressão simples (RCS) média de 2,40 MPa. Já o traço de menor RCS, para as misturas de solo-cimento, atingiu 2,01 MPa, para o traço composto por 90% de solo estabilizado com areia média e 10% de cimento (03 S/PÓ). Entre esses resultados obteve-se uma diferença da maior RCS (02 S/PÓ) para a menor RCS (03 S/PÓ) de 16,67%.

Na análise dos resultados dos traços com substituição parcial do cimento por RPRa em 40%, não se obteve os resultados mínimos exigidos pela NBR 8492 (ABNT, 2012), quanto aos resultados de RCS. Pela análise da Tab. 2, para as misturas solo-cimento- RPRa, o traço em que obteve a maior RCS foi o traço composto por 86,77% de solo estabilizado com areia média, 7,95% de cimento e 5,28% de RPRa (02 C/PÓ) o qual teve a RCS média de 1,57 MPa. Já o traço de pior desempenho foi o traço composto por 90% de solo estabilizado com areia média, 6,00% de cimento e 4,00% de RPRa (03 C/PÓ), que obteve a RCS média de 0,90 MPa. Nesta análise, obteve-se uma diferença da maior RCS (02 C/PÓ) para a menor RCS (03 C/PÓ) de 42,68%.

Tabela 2. Resistência à Compressão
Simples

Mistura - Corpo de Prova	RCS unitária (MPa)	RCS média (MPa)
01 S/PÓ - CP 1	2,90	2,30
01 S/PÓ - CP 2	2,70	
01 S/PÓ - CP 3	2,40	
01 S/PÓ - CP 4	1,90	
01 S/PÓ - CP 5	1,70	
01 S/PÓ - CP 6	2,30	
01 S/PÓ - CP 7	2,20	
01 C/PÓ - CP 1	1,30	1,17
01 C/PÓ - CP 2	1,10	
01 C/PÓ - CP 3	1,20	
01 C/PÓ - CP 4	1,20	
01 C/PÓ - CP 5	1,20	
01 C/PÓ - CP 6	1,20	
01 C/PÓ - CP 7	1,10	
02 S/PÓ - CP 1	2,00	2,40
02 S/PÓ - CP 2	2,40	
02 S/PÓ - CP 3	2,10	
02 S/PÓ - CP 4	2,50	
02 S/PÓ - CP 5	2,30	
02 S/PÓ - CP 6	1,80	
02 C/PÓ - CP 1	1,50	1,57
02 C/PÓ - CP 2	1,60	
02 C/PÓ - CP 3	1,50	
02 C/PÓ - CP 4	1,60	
02 C/PÓ - CP 5	1,60	
02 C/PÓ - CP 6	1,60	
03 S/PÓ - CP 1	2,10	2,01
03 S/PÓ - CP 2	2,00	
03 S/PÓ - CP 3	2,00	
03 S/PÓ - CP 4	1,60	
03 S/PÓ - CP 5	2,30	
03 S/PÓ - CP 6	1,90	
03 S/PÓ - CP 7	2,00	
03 C/PÓ - CP 1	0,90	0,90
03 C/PÓ - CP 2	0,90	
03 C/PÓ - CP 3	0,70	
03 C/PÓ - CP 4	0,90	
03 C/PÓ - CP 5	1,10	
03 C/PÓ - CP 6	1,00	
03 C/PÓ - CP 7	1,20	

*S/Pó: Traço sem adição de rejeito de pó de rocha ametista; C/Pó: traço com adição de rejeito de pó de rocha ametista.

O traço 02 S/PÓ (composto de 28,92% de areia, 57,85% de solos e 13,23% de cimento) se caracterizou por ser um traço mais homogêneo, sendo que o mesmo apresentou uma RCS média de 2,40 MPa. Já, se comparar o referido traço, como o mesmo traço, no entanto com a substituição de parte do cimento por RPRA (02 C/PÓ - 7,95% de cimento e 5,28% de RPRA), este não atingiu ao mínimo exigido pela norma. Isso dá evidências de que o RPRA não reage quimicamente como o cimento, assim, como houve redução de cimento, o traço não obteve a resistência desejada.

Essa tendência entre as misturas apenas com cimento e as misturas com a substituição parcial do cimento por RPRA aconteceu nos demais casos, ou seja, ao analisar as misturas 01 S/PÓ e 01 C/PÓ, a RCS para mistura sem a adição do RPRA a RCS foi maior (e atendeu os requisitos da norma) se comparado com a mistura com RPRA (que não atendeu os requisitos da norma). Isso também ocorreu entre as misturas 03 S/PÓ e 03 C/PÓ.

Para complementar, cabe destacar que para a mistura 03 S/PÓ, o corpo de prova n° 4 apresentou RCS igual a 1,6 MPa, não atendendo a norma em termos de RCS individual (mínimo deve ser 1,7 MPa). No entanto, como a norma solicita a média de um lote de no mínimo 6 amostras, o referido corpo de prova poderia ser descartado, o que aumentaria a confiabilidade do resultado e, em consequência, aumentar a RCS média do lote da mistura.

Portanto, RCS média para as misturas apenas com cimento foram atendidos os requisitos impostos pela NBR 8492 (ABNT, 2012), com resistência à compressão simples mínima de 2,0 MPa para o lote, em todas as misturas. Já, os blocos de solo-cimento- RPRA não atenderam as exigências da normativa. Possivelmente, isso ocorreu pelo fato de que o RPRA não reage quimicamente com o solo e com o cimento e, também, pela alta porcentagem de RPRA utilizada. Esse fato é justificado por Andrade e Tutikian (2011), onde os autores afirmam que a incorporação na

adição de material de base mineral atua como modificante interno da massa de cimento e não reage quimicamente.

Para fins comparativos pode-se utilizar o trabalho de Souza (2006). O autor, em seu estudo, concluiu que os blocos de solo-cimento com adição de resíduos de construção civil e demolição (RCD), com componentes cerâmicos argamassas e concretos, tiveram seus valores de RCS médios atendidos pela norma NBR 8492 (ABNT, 2012), em idades de 7 e 28 dias. Cabe destacar, que no estudo de Souza (2006), o autor utilizou diferentes porcentagens de resíduos de construção civil passantes na peneira 4,8 mm e solo arenoso com granulometria fina, classificado como A4 (HRB – Highway Research Board) da Ilha Solteira/SP. Além disso, o cimento utilizado foi o CP II Z-32.

De acordo com Souza (2006) os resultados para RCS foram influenciados por conta de o solo utilizado em sua pesquisa possuir granulometria com características arenosas. Os traços de referências (apenas solo e cimento) do autor apresentam uma resistência menor que os traços moldados com adições significativas de RCD, caracterizando melhores resultados em materiais com pouca presença de materiais finos.

3.2 Ensaio de Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi realizado com 14 dias de cura, onde os resultados de absorção média são apresentados pela Tab. 3.

Na análise dos resultados obtidos para as misturas solo-cimento, a partir da Tab. 3, o traço que apresentou o melhor desempenho é o que apresenta 88,00% de solo estabilizado com areia média e 12,00% de cimento (01 S/PÓ), que obteve uma absorção de água de 15,24%. Já o traço com maior absorção de água atingiu 21,38% que foi o traço composto por 90,00% de solo estabilizado com areia média e 10% de cimento (03 S/PÓ), o qual obteve uma diferença da menor absorção de água (01 S/PÓ) para a maior absorção de água (03 S/PÓ) de

34,71%, em porcentagem. Cabe ressaltar, que o traço 01 S/PÓ atendeu as exigências da norma quanto à absorção de água e o traço 03 S/PÓ ultrapassou o limite de 20% de absorção de água estabelecido por norma.

Tabela 3. Absorção de Água

Mistura - Corpo de Prova	M1		M2	Abs. (%)	Abs. média (%)
01 S/PÓ – CP 1	3,69	3,33	3,86	15,93	15,24
01 S/PÓ – CP 2	4,11	3,68	4,26	15,56	
01 S/PÓ – CP 3	3,89	3,54	4,05	14,22	
01 C/PÓ – CP 1	3,65	3,28	3,82	16,61	17,12
01 C/PÓ – CP 2	3,60	3,25	3,80	16,83	
01 C/PÓ – CP 3	3,30	2,98	3,52	17,91	
02 S/PÓ – CP 1	3,84	3,28	3,93	19,95	19,65
02 S/PÓ – CP 2	3,63	3,13	3,74	19,34	
02 C/PÓ – CP 1	3,71	3,05	3,72	21,94	20,79
02 C/PÓ – CP 2	3,63	3,19	3,82	19,63	
03 S/PÓ – CP 1	3,70	3,13	3,77	20,20	21,38
03 S/PÓ – CP 2	3,58	3,00	3,68	22,60	
03 S/PÓ – CP 3	3,67	3,08	3,74	21,32	
03 C/PÓ – CP 1	3,47	3,01	3,62	20,10	20,53
03 C/PÓ – CP 2	3,40	2,97	3,59	21,02	
03 C/PÓ – CP 3	3,46	3,00	3,61	20,44	

* As amostras 02 S/PÓ e 02 C/PÓ tiveram 2 blocos; S/Pó: Traço sem adição de rejeito de pó de rocha ametista; C/Pó: traço com adição de rejeito de pó de rocha ametista.

Nos resultados dos traços com substituição parcial do cimento por RPRA em 40%, apresentados na Tab. 3, obteve-se apenas um

traço aceitável pela NBR 8492 (ABNT, 2012), que foi o traço composto por 88,00% de solo estabilizado com areia média, 7,20% de cimento e 4,80% de RPRa (01 C/PÓ). Esse traço obteve a absorção de água igual a 17,12%. Já, os traços 02 C/PÓ e 03 C/PÓ não atenderam os requisitos das normas, apresentando absorção de 20,79% e 20,53%, respectivamente.

Entre todos os traços em estudo, o traço de pior desempenho em termos de absorção de água é o traço composto por 90% de solo estabilizado com areia média, 6,00% de cimento e 4,00% de RPRa (03 C/PÓ), o qual obteve absorção média de 21,38%.

Em termos gerais, o traço sem RPRa composto de 40% de solo, 48% de areia e 12% de cimento (01 S/PÓ) apresentou o melhor índice de absorção, que foi de 15,24%. Esse fato possivelmente aconteceu por este traço conter materiais granulares que retém pouca umidade.

Para o estudo com substituição parcial de 40% do cimento por RPRa os resultados foram satisfatórios somente no primeiro traço (01 C/PÓ). Nos demais traços compostos por RPRa, a absorção de água foi maior, possivelmente, pela mistura conter maior porcentagem de materiais finos, que tendem a absorver mais água.

Para fins comparativos, em estudo apresentado por Souza (2006), os blocos de solo-cimento com adição de RCD tiveram seus valores médios aceitos pela norma NBR 8492 (ABNT, 2012) em idades de 7 e 28 dias, ficando abaixo do limite exigido de 20%. No estudo de Souza (2006) foram utilizados RCDs passantes na peneira 4,8 mm e solo arenoso, classificado como A4 (HRB – Highway Research Board) da Ilha de Solteira/SP. O cimento usado foi o CP II Z-32.

O estudo de Souza (2006) apresentou resultados obtidos na absorção de água aceitáveis pela norma, assim como na RCS, na absorção de água os traços de referências apresentam maiores absorções por ser um material de granulometria fina (solo e cimento),

os quais tem maior absorção em relação aos traços com adição de RCD de maior granulometria, logo, estes últimos absorveram menor quantidade de água.

4. CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado tiveram-se traços obtidos como satisfatórios para construção em tijolo ecológico, pois atenderam os requisitos de norma, podendo ser usado como material estrutural e de vedação. Alguns dos traços não atenderam as normativas, mas, cabe ressaltar, que embora não possam ser utilizados como materiais estruturais podem ser utilizados em paredes de vedação.

Os resultados encontrados para as misturas com a incorporação do RPRa mostraram que o mesmo não reage quimicamente como o cimento e com o solo, apresentando resultados insuficientes para aplicação em paredes estruturais. De acordo com a pesquisa os melhores resultados obtidos foram traços mais granulares e com maior porcentagem de cimento.

O melhor traço moldado e que atende a resistência à compressão simples e a absorção de água é o segundo traço estudado, composto por 28,92% de areia, 57,85% de solo e 13,23% de cimento (02 S/PÓ). Já, o traço com melhor desempenho frente absorção de água foi composto de 40% de solo, 48% de areia e 12% de cimento (01 S/PÓ).

Embora alguns resultados que não satisfiz a norma NBR 8492 (ABNT, 2012), os blocos ecológicos podem ser usados na construção civil como paredes de divisórias internas e sem função estrutural. A grande vantagem da utilização dos blocos com RPRa está na redução dos passivos ambientais, por utilizar um material de rejeito e reduzir a quantidade de cimento utilizado na construção.

Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa Alroma por ceder o espaço e auxiliar no desenvolvimento da pesquisa. Também, agradecem a comercial Gheno pela doação de materiais para realização da pesquisa.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J. O.; TUTIKIAN, B. F. Resistência mecânica do concreto. In: ISAIA, G. C. (org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. 1. v. São Paulo: IBRACON, 2011. cap. 17.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8491**: Tijolo de Solo-Cimento – Requisitos. Rio de Janeiro. 2012.

_____. **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.

_____. **NBR 10836**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro. 1991.

GIORGI, P. **Avaliação de desempenho de sistema de vedação vertical de bloco de solo-cimento conforme NBR 15575 referente à habitabilidade e sustentabilidade**. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil): Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, RS, 2016.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em arquitetura): Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2003.

LIMA, T. V. **Estabilização de solos argilosos para a produção de blocos ecológicos**. 2009.

Tese (Doutorando em Engenharia): IME – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

PESSOTO, L. **Estudo do efeito da granulometria do material fresado para estabilização de um solo para aplicação em sub-base de pavimentos**. 2017. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação): Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Frederico Westphalen, RS, 2017.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. 2006. Dissertação (mestrado): Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP, 2006.