



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS¹

PERIUS, Gustavo Rodolfo (1); MACHADO, Camila Sanja (2); DERLAM, Daiane Eckardt (3); ABREU, Ana Lígia Papst (4); ANDRADE, Cleide Cedeni (5)

(1) IFSC, e-mail: gustavo.perius@ifsc.edu.br; (2) IFSC, e-mail: camilasanja@live.com;
(3) IFSC, e-mail: dai.eckardt@outlook.com; (4) IFSC, e-mail: ana.abreu@ifsc.edu.br;
(5) IFSC, email: cleide@ifsc.edu.br

RESUMO

Analisando o problema do déficit habitacional brasileiro, diversas tentativas de desenvolver meios tecnológicos que facilitem a construção de moradias sociais vêm sendo pesquisadas ao longo dos últimos anos. Dentre elas, o desenvolvimento de técnicas e materiais que agredam menos o meio ambiente e que reduzam os custos facilitando, desta forma, o acesso à habitação para as camadas menos favorecidas. Este trabalho teve como objetivo desenvolver tijolos de solo-cimento com utilização de Resíduo de Construção e Demolição (RCD). Comparou-se a interferência do mesmo nos resultados de resistência à compressão e absorção. Para isto, foram produzidas amostras com variados teores de substituição de solo por agregado reciclado de RCD (0%, 10%, 20% e 30%). O aumento do consumo de resíduo elevou a resistência à compressão e diminuiu os índices de absorção, quando comparados com a amostra de referência. Quando confrontados com a NBR 8492/2012, verificou-se que as misturas com 20% e 30% de RCD obedeceram aos parâmetros estabelecidos pela norma. Mesmo o incremento de RCD tendo reduzido as taxas de absorção, nenhuma amostra enquadrou-se dentro dos critérios mínimos.

Palavras-chave: RCD, sustentabilidade, agregados reciclados

ABSTRACT

Analyzing the problem of the Brazilian housing deficit, various attempts to develop technological means to facilitate the construction of social housing have been researched over the past few years. Among them, the development of techniques and materials that harm less the environment and reduce costs thus facilitating the access to housing for the disadvantaged sections. This study aimed to develop soil-cement bricks with the use of Construction and Demolition Waste (CDW). Compared to interference even in the results of compressive strength and absorption. For this purpose, samples were produced with varying ground levels by replacing recycled aggregate RCD (0%, 10%, 20% and 30%). The residue increased intake increased the compressive strength and decreased absorption rates as compared to the reference sample. When faced with the NBR 8492/2012, it was found that mixtures with 20% and 30% of RCD met the parameters established by the standard. Even the increase RCD having reduced absorption rates, no sample is framed within the minimum criteria.

Keywords: CDW, sustainability, recycled aggregates.

¹ PERIUS, Gustavo Rodolfo; MACHADO, Camila Sanja; DERLAM, Daiane Eckardt; ABREU, Ana Lígia Papst; ANDRADE, Cleide Cedeni. Análise do desempenho de tijolos de solo-cimento com incorporação de agregados reciclados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Pinto (1999), a construção civil tem grande representação no consumo de recursos naturais e no baixo percentual de reciclagem e reaproveitamento dos resíduos gerados. Diante desta realidade, a busca por novas tecnologias que minimizem os impactos ambientais provocados pelo setor tem se tornado uma constante nos meios de pesquisa relacionados aos componentes e materiais.

Dentre as pesquisas, diversos estudos têm buscado a valorização dos resíduos de construção e demolição através da reciclagem dos mesmos, transformando-os novamente em matéria-prima para fabricação de novos materiais. Dentre as formas de reaproveitamento, está a utilização do agregado reciclado de RCD na substituição parcial de solo para a fabricação de tijolos de solo-cimento.

Apesar da facilidade de obtenção das matérias-primas para a fabricação dos tijolos, tanto o solo como os agregados reciclados de RCD, são materiais com um comportamento bastante heterogêneo em comparação com outros. Isso é revelado nas diversas pesquisas, nas quais os resultados obtidos variam muito de trabalho para trabalho.

Souza *et. al.* (2008), verificaram a viabilidade da fabricação de tijolos de solo-cimento com a substituição de diferentes percentuais de solo por agregado miúdo reciclado a partir de resíduos de blocos de concreto. Em seus resultados, a incorporação do resíduo diminuiu a retração por secagem do material. Além disso, todas as especificações das normas brasileiras para solo-cimento foram atendidas, inclusive mantendo o consumo de cimento inferior a 6% da massa total.

Já Rosário e Torrescasana (2011), em estudo semelhante, observaram que o solo estudado não possuía as especificações indicadas para a fabricação de tijolos de solo-cimento. Além disso, nenhuma das misturas com adição de RCD atendeu aos requisitos de resistência à compressão e absorção de água prescritos na NBR 8491 (ABNT, 2012). Entretanto, para todas, mesmo não atingindo tais valores, tanto a resistência quanto a absorção tiveram melhora em seus resultados quando comparadas com a amostra de referência.

Marques *et. al.* (2012), verificaram que para um percentual de substituição de solo por RCD de 20%, houve uma melhora nos resultados do ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Para o mesmo estudo, os parâmetros de resistência à compressão e de absorção dispostos em norma foram atendidos.

Tais diferenças obtidas em estudos nessa área podem ser explicadas pela adequação do solo local à produção de solo-cimento. Segundo a NBR 10832 (ABNT, 1989), os solos mais adequados para sua produção devem conter as seguintes características: (a) 100% dos grãos passantes na peneira de abertura 4,8 mm (n. 4); (b) 10% a 50% dos grãos passantes na peneira de abertura 0,075 mm (n. 200); (c) limite de liquidez $\leq 45\%$; (d) índice de

plasticidade $\leq 18\%$.

Dessa forma, quando o solo local possui característica predominantemente pedregulhosa ou arenosa, é necessário que a curva granulométrica seja corrigida com outro tipo de solo ou outro material inerte que possua grãos mais finos, sendo que desse material ao menos de 20% seja de material siltoso ou argiloso. Tais intervalos podem levar a uma variabilidade significativa entre diferentes tipos de solos e, desta maneira, por consequência, alterando os resultados nas misturas e influenciando diretamente nas características mecânicas e de durabilidade.

Assim, visando adequar um solo típico da cidade de Florianópolis para a produção de tijolos de solo-cimento, este trabalho analisou diversas misturas, com diferentes percentuais de substituição de solo por agregado reciclado de RCD. Como parâmetros, foram verificados a resistência à compressão aos 28 dias de idade e a absorção de água por imersão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

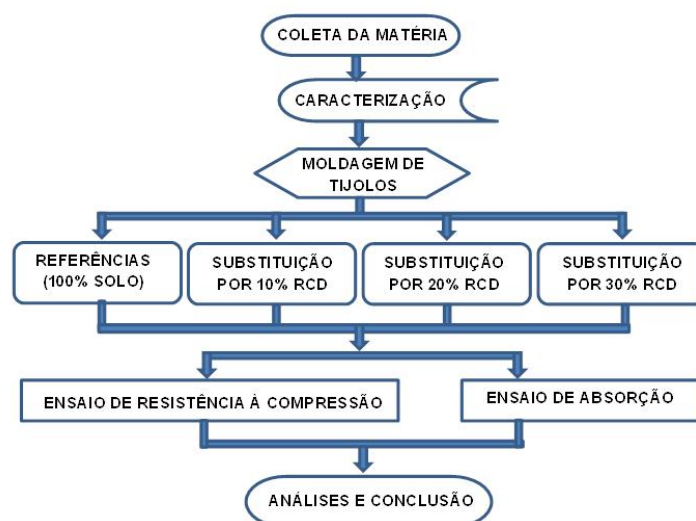
2.1 Materiais

Para o presente trabalho foi utilizado um solo residual de granito com grande presença de rocha intemperizada, característico dos horizontes B a C. O material foi coletado na cidade de Florianópolis – SC. O RCD empregado é formado de resíduos oriundos de concretos e argamassas, com baixos teores de material cerâmico e outros. O mesmo foi coletado junto a uma usina de reciclagem situada na cidade de São Bernardo do Campo – SP. A escolha de tal usina vem do fato de não haver usinas de reciclagem nas proximidades da região da grande Florianópolis. O cimento escolhido foi o CP II F – 32, pelo fato de possuir apenas adições minerais inertes, o que evita modificações dos resultados devido ao efeito pozolânico, por exemplo.

2.2 Métodos

Para atender o objetivo proposto, a metodologia deste trabalho foi dividida em três grandes etapas: caracterização dos materiais; moldagem dos tijolos de solo-cimento; e ensaios de resistências à compressão e absorção. A Figura 1 demonstra as etapas da metodologia.

Figura 1 – Fluxograma das etapas da metodologia da do presente trabalho.



Fonte: Elaboração própria.

O RCD coletado na usina, numa quantidade em torno de 150 kg de material, o qual foi remisturado em laboratório e reduzido em amostras de 30 kg. Para a redução foram tomados 7 pontos localizados diagonalmente da crista até a base da pilha formada.

A amostragem do solo foi realizada de um lote total de 6m³ de material. Para os ensaios de caracterização, de compactação e para a confecção dos tijolos, respeitaram-se os limites estabelecidos pela NBR 6457 (ABNT, 1986).

Para a caracterização do solo e do RCD (Figura 2), foram executados os ensaios de granulometria NBR 7181 (ABNT, 1984d) e de determinação da massa específica de acordo com a NBR 6508 (ABNT, 1984b). Para complementar a caracterização do solo, foi executado o ensaio de limite de liquidez conforme a NBR 6459 (ABNT, 1984a) e o ensaio de limite e plasticidade regido pela NBR 7180 (ABNT, 1984c).

Figura 2 – Imagem dos Materiais utilizados: Resíduo de Construção e Demolição (RCD) e Solo.



Fonte: Os autores

Após a caracterização, determinou-se a quantidade de água para cada teor de substituição, utilizando-se o ensaio de compactação de solos, seguindo os critérios da NBR 7182 (ABNT, 1986a). Para a análise, foi utilizada a energia Normal de compactação além de optar por realizar o ensaio sem reutilização de material, uma vez que após análise tátil visual verificou-se que havia percentual considerável de partículas friáveis.

Para a moldagem dos tijolos foram utilizadas, tanto para o solo quanto para o RCD, as frações passantes na peneira com abertura nominal de 2,0 mm. Para cada teor de substituição, foram produzidos três exemplares, cujos percentuais estão especificados na Figura 1. O consumo de cimento estabelecido foi de 7% em relação à massa total de solo. Para a moldagem utilizou-se uma prensa manual com capacidade de produção de um tijolo por vez, conforme apresentado na Figura 3 (a).

A dosagem dos blocos foi realizada pela substituição, em massa, de solo por RCD, uma vez que as massas específicas determinadas de ambos apresentaram resultados muito próximos. Determinados a partir dos resultados do ensaio de compactação, os percentuais ótimos de umidade para as misturas foram adotados para cada dosagem (Referência, 10% de RCD, 20% de RCD e 30% de RCD). Como para este tipo de material o consumo de cimento é baixo, sua influência na alteração da umidade total foi desconsiderada, não sendo realizadas quaisquer correções.

Figura 3 – Imagem da máquina de produção (a) e da amostra pronta (b).



(a)



(b)

Fonte: Os autores

Para a análise da absorção e da resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento foram seguidos os critérios de ensaios da NBR 8492/2012 (ABNT, 2012). Ambos os ensaios foram realizados aos 28 dias de idade. Os exemplares foram acondicionados previamente em ambiente com umidade controlada até a data de ensaio. A Figura 4 demonstra a etapa de capeamento dos tijolos para o ensaio de resistência à compressão.

Figura 4 – Imagem do capeamento das amostras.



Fonte: Os autores

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos com os ensaios de caracterização são apresentados na Tabela 1 e na Figura 5.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de caracterização

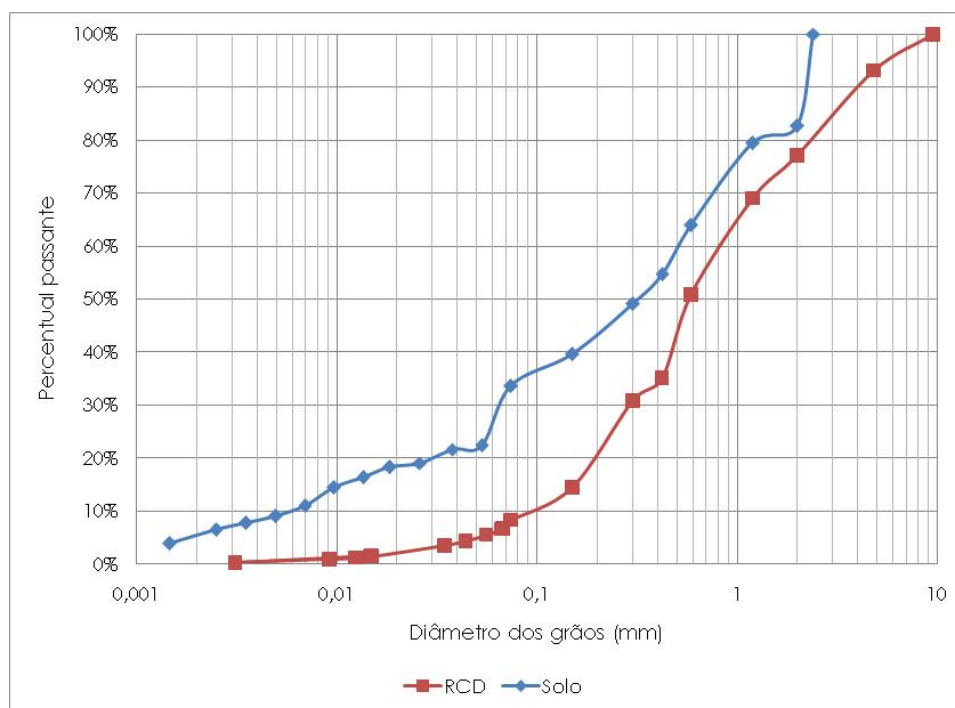
Material	Massa específica (g/cm ³)	Limites Físicos (%)	
SOLO	2,65	L.L.	31,9
		L.P.	30,0
		I.P.	1,9
RCD	2,67	L.L.	Não aplicável
		L.P.	Não aplicável
		I.P.	Não aplicável

Fonte: Os autores

Analisando os resultados da caracterização do solo, verificou-se que o mesmo se enquadra, de acordo com Funtac (1999), com os requisitos para produção de tijolos de solo-cimento, mesmo se tratando de um solo arenosiltoso. Aliás, é possível verificar que o índice de plasticidade do solo utilizado é baixo, o que dificulta sua utilização, uma vez que sutis modificações de umidade podem alterar seu estado de consistência.

Já para o RCD não há normatização para determinação de suas características para aplicação nestes casos. Por esse motivo, adaptaram-se os ensaios específicos para solos para caracterizar o resíduo. Na Tabela 1, observa-se que os ensaios de limites físicos não se aplicam para o RCD e que percentuais granulométricos servem meramente para associar ao diâmetro dos grãos. As massas específicas permaneceram muito próximas, o que possibilitou a dosagem por massa e não por volume.

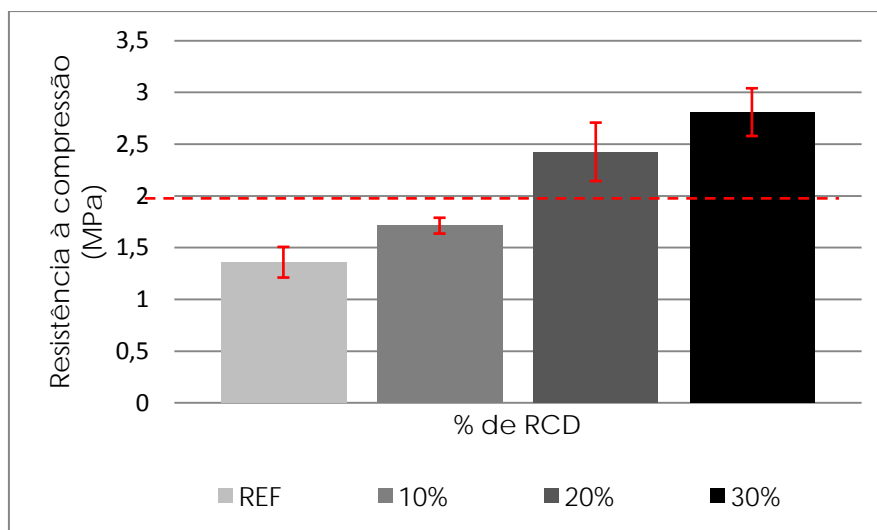
Figura 5 – Distribuição granulométrica do solo e do RCD



Fonte: Os autores

Além da caracterização, executaram-se os ensaios de absorção e de resistência à compressão. A Figura 5 apresenta os resultados alcançados do ensaio de resistência a compressão.

Figura 6 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão



-- Linha demonstrativa da resistência a compressão mínima exigida pela NBR 8491/2012.

Fonte: Os autores

Analizando os resultados é visível que o aumento do consumo de resíduo elevou a resistência à compressão dos tijolos, quando comparados com a amostra de referência (0% de RCD). Quando confrontados com a NBR 8491/2012, verificou-se também que as misturas com 20% e 30% de RCD obedeceram aos parâmetros estabelecidos pela norma.

A seguir, na Tabela 2, estão os resultados do ensaio de absorção dos tijolos de solo-cimento.

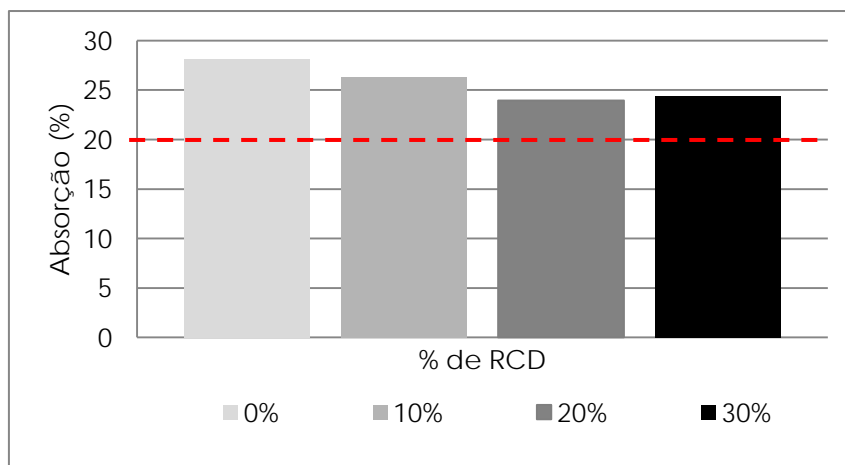
Tabela 2 – Resultados do ensaio de absorção

Tijolos	Peso Seco médio (g)	Peso Saturado médio (g)	Absorção média (%)	Coef. de variação (%)
REF.	2495,50	3197,40	28,13	4,40
10%	2562,00	3236,50	26,33	2,04
20%	2631,00	3261,10	23,95	3,25
30%	2641,50	3286,90	24,43	3,88

Fonte: Os autores

Esses resultados demonstram que a adição gradual de RCD em até 30% de substituição, promoveu uma diminuição dos índices de absorção. Apesar dessa redução, as amostras não atingiram os critérios mínimos de 20% exigidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

Figura 7 – Resultado do ensaio de absorção de água



-- Linha demonstrativa da absorção de água máxima exigida pela NBR 8491/2012.

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nos ensaios realizados, verificou-se que a substituição do solo em estudo pelo RCD analisado, promoveu um incremento na resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento e uma diminuição nos índices de absorção. Este incremento pode ser devido ao melhor empacotamento das partículas e redução do índice de vazios. Tal fato explica-se pelo aumento do peso específico unitário verificado com o aumento de resíduo.

Isso demonstra que o resíduo utilizado foi eficiente no aumento da compactação das misturas, para a energia de compactação empregada. Embora os índices de absorção tenham ficado acima dos parâmetros máximos permitidos pela norma, acredita-se ser possível atingir esses índices de absorção com correção granulométrica (ampliação ou redução da faixa granulométrica utilizada), ou até mesmo, com o aumento dos teores de substituição de solo por RCD.

Desta forma, demonstrou-se que é possível a utilização de matérias-primas alternativas e de baixo custo na busca do desenvolvimento de novos materiais que possam reduzir preços na construção de moradias e que minimizem os impactos ambientais.

Todavia, a escolha do solo adequado é primordial para que os requisitos técnicos sejam atendidos sem que sejam necessárias correções granulométricas ou incrementos no teor de cimento, o que pode inviabilizar

economicamente o material. Ressalta-se também que por tratar-se de agregado reciclado de resíduo de construção e demolição, é importante enfatizar a variabilidade de produção pode provocar diferenças significativas quando utilizados lotes de diferentes dias de produção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Apoio ao Fortalecimento dos Grupos de Pesquisa referente ao Edital nº 19/2014/PROPPI, do Instituto Federal de Santa Catarina, pelo apoio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986a.

_____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984a.

_____. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984b,

_____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984c.

_____. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984d.

_____. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1986b.

_____. **NBR 8492**: Tijolo de Solo-cimento - Determinação da Resistência à compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 10.832**: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1989.

FUNTAC - FUNDAÇÃO DE TECNOLOGIA DO ESTADO DO ACRE. **Cartilha para produção de tijolo de solo-cimento**. Rio Branco, 1999. 25p.

MARQUES, L. F., KOLLING, E. M., ROCHA, D. T.. **Comportamento físico mecânico de elementos construtivos produzidos de solo-cimento com adição de RCD**. Paraná. In: 2012. SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR. Curitiba, 2012.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ROSARIO, 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.

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