



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS
MATERIAIS

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA
FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Lívia Racquel de Macêdo Reis
José Milton Elias de Matos

Teresina - Piauí

2017

LÍVIA RACQUEL DE MACÊDO REIS

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA
FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como requisito complementar à obtenção do título de Mestre em Ciência dos Materiais.

ORIENTADOR: JOSÉ MILTON ELIAS DE MATOS

Teresina-Piauí

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

R375u Reis, Livia Racquel de Macedo.
Utilização de resíduos da construção e demolição na
fabricação de tijolos de solo-cimento / Livia Racquel de Macedo
Reis. – 2017.
93 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) –
Universidade Federal do Piauí, 2017.
“Orientador: Prof. Dr. José Milton Elias de Matos”.

1. Ciência dos Materiais. 2. Tijolo Solo-Cimento.
3. Construção Civil. 4. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 620.112

LIVIA RACQUEL DE MACEDO REIS

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA
FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

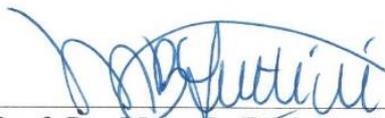
Dissertação submetida à coordenação do curso de Pós-graduação em Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Piauí, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Ciência dos Materiais.

Aprovada em: 28/07/2017

Banca Examinadora:



Prof. Dr. José Milton Elias de Matos
Universidade Federal do Piauí
Orientador



Prof. Dr. Marcelo Barbosa Furtini
Universidade Federal do Piauí
Examinador Interno



Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares
Instituto Federal do Piauí
Examinador Externo

“Se a gente acreditar que as coisas
darão certo, elas darão...Isso se chama
fé!”

(Anna L. Ramos)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, George e Laura, pelo amor, incentivo e inspiração. Exemplos de luta e vitória que eu quero sempre seguir.

AGRADECIMENTOS

O primeiro e maior agradecimento é a Deus, fonte de toda inspiração, por iluminar e guiar meu caminho e por permitir a realização de mais um sonho em minha vida.

Dedico os mais sinceros e profundos agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste meu objetivo. Alguns contribuíram com um simples gesto de amor, paciência, força e incentivo, outros com informações indispensáveis, conhecimento técnico e até mesmo com a força e suor nos trabalhos pesados.

Aos meus amados pais, George e Laura, pelo carinho e amor compartilhado, por incentivarem sempre o caminho dos estudos e do trabalho e por terem paciência com minhas incansáveis noites em claro.

Aos meus irmãos Liana e Lucas pelo apoio e à minha querida sobrinha Ilana, por iluminar a minha vida de alegria e por estar muitas vezes sentada ao meu colo nos momentos de inspiração ao escrever este trabalho.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais e à CAPES que me concederam esta oportunidade. Aos professores Edson Cavalcanti, Rômulo Ribeiro, Maria Rita, José Milton e Marcelo Furtini por me proporcionar o conhecimento e maior interesse na área de pesquisa. Aos funcionários da coordenação Kelson e Kilson pelo auxílio prestado e por tornar o ambiente mais amigável. Agradecer ao Centro de Análise de Solos, no campus Cinobelina Elvas, em Bom Jesus, por realizar o ensaio de textura. Agradecer também à Prefeitura Universitária, em nome de Gabriela Celso, por fornecer um caminhão para o transporte do RCD, ao Laboratório Multidisciplinar de Materiais Avançados (LIMAV) por realizar ensaios químicos, ao Laboratório de Materiais de Construção do Centro de Tecnologia por armazenar o RCD britado nas suas dependências e ao Laboratório de Metrologia e Ensaio Mecânicos, em especial aos técnicos Miqueias e Jean, por conduzirem os ensaio de resistência.

Ao querido orientador Prof. Dr. José Milton Elias de Matos por acreditar em mim desde o processo de seleção e me orientar com tanta presteza, simpatia e acima de tudo, por tornar-se um amigo.

À empresa JAS Tirentulho por fornecer uma caçamba de resíduos da construção e demolição e transportar até o britador.

À Remanso Mineradora e Construtora, por permitir que todos os resíduos presentes no entulho fossem britados.

À Associação de Moradores do Bairro Poti Velho, presidida pelo Senhor Luís Felipe, que no início da pesquisa esclareceu todas as dúvidas e forneceu o espaço da fábrica de tijolos ecológicos para a fabricação das composições estudadas. Agradeço, em especial, ao Senhor Paulo, que prontamente auxiliou na fabricação dos tijolos até nos dias mais improváveis, forneceu todo o solo utilizado na pesquisa e preservou todos os tijolos durante o período de cura.

Ao 2º Batalhão de Engenharia e Construção, pela disponibilidade do seu laboratório de solos, no qual foram depositados os solos e RCD e realizados alguns ensaios de caracterização dos materiais deste trabalho. Agradecer ao Tenente-Coronel Alessandro da Silva, ao Técnico Moisés, ao Sargento André e a todos os soldados que ajudaram a carregar material e contribuíram para a colheita dos resultados.

Ao Instituto Camilo Filho, em especial ao Técnico Marcelo por permitir utilizar o laboratório de materiais para realização de alguns ensaios nos tijolos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí por realizar os ensaios químicos no laboratório de materiais.

Aos colegas de mestrado Antônio Bruno, Felipe Fabrício, Janete Martins, Joana Medeiros, José Welinton, Patrício da Silva, Ricardo de Araújo e Wesley Sampaio, pelo apoio, incentivo, auxílio e convívio ao longo desta jornada.

Aos meus ex-alunos Ian Gustavo e Silvio Romero pela gentileza e presteza em auxiliar nos ensaios mais pesados nos quais, muitas vezes, eu estava sozinha.

Aos amigos Luzana Brasileiro, Pablo Vieira, Maurício Marinho, Nayra Sousa, Elizete Batista, Jocélia Resende, Teresinha Luz, Laise Danuce, Aline Chaves e demais amigos por todo o carinho, ajuda, preocupação e compreensão.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	VII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUÇÃO	1
Objetivo da pesquisa.....	3
Geral	3
Específicos.....	3
Procedimentos para alcançar os objetivos	4
Organização da pesquisa	5
Referências	6
CAPÍTULO 1 – TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: UMA QUESTÃO AMBIENTAL	9
Resumo	10
Abstract.....	11
1.1 Tijolo	12
1.2 Tijolo solo-cimento	14
1.3 Resíduos da construção e demolição – RCD.....	18
1.3.1 Geração de RCD.....	18
1.3.2 Reciclagem de RCD	21
1.3.3 Aplicabilidade do RCD	23
1.4 Conclusão	26

Referências	27
CAPÍTULO 2 – UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO	39
Resumo	40
Abstract.....	41
2.1 Introdução.....	42
2.2 Parte experimental	44
2.2.1 Materiais	44
2.2.2 Composições aplicadas na pesquisa	46
2.2.3 Produção dos tijolos	47
2.2.4 Caracterização dos materiais.....	48
2.2.4.1 Análise granulométrica.....	48
2.2.4.2 Ensaio de textura	48
2.2.4.3 Ensaio de compactação.....	48
2.2.4.4 Limite de liquidez e limite de plasticidade.....	49
2.2.4.5 Análise mineralogia por difração de raios x.....	49
2.2.4.6 Análise química por fluorescência de raios x.....	50
2.2.5 Caracterização dos tijolos.....	50
2.2.5.1 Ensaio de absorção de água.....	50
2.2.5.2 Ensaio de resistência à compressão simples.....	51
2.3 Resultados e discussão	52
2.3.1 Caracterização dos materiais	52
2.3.1.1 Análise granulométrica.....	52
2.3.1.2 Ensaio de textura do solo.....	53
2.3.1.3 Compactação	55

2.3.1.4 Limite de liquidez e limite de plasticidade.....	57
2.3.1.5 Análise mineralógica e química dos materiais	58
2.3.2 Caracterização dos tijolos.....	60
2.3.2.1 Absorção de água dos tijolos	60
2.3.2.2 Resistência à compressão simples dos tijolos.....	62
2.4 Conclusão	67
Referências	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
PERSPECTIVAS FUTURAS.....	75

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: UMA QUESTÃO AMBIENTAL

Figura 1.1 – Etapas de fabricação dos tijolos de solo-cimento.....	14
Figura 1.2 – Casa construída com tijolo ecológico.....	17
Figura 1.3 – Resíduos da construção e demolição.....	19
Figura 1.4 – Total de RCD coletado no Brasil e por região no Brasil.....	21

CAPÍTULO 2 – UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Figura 2.1 – Amostra do solo coletado para pesquisa.....	44
Figura 2.2 – a: Caçamba contendo resíduos classe A; b: Amostra de RCD.....	45
Figura 2.3 – Britador de mandíbulas.....	45
Figura 2.4 – Produção de tijolo solo-cimento.....	47
Figura 2.5 – Curvas granulométricas do solo e solo-RCD.....	53
Figura 2.6 – Gráfico de compactação das composições.....	56
Figura 2.7 – Difração de raios x do solo, RCD e solo-RCD.....	58
Figura 2.8 – Fluorescência de raios x do solo, RCD e solo-RCD.....	59
Figura 2.9 – a: Secagem dos tijolos em estufa; b: Tijolos imersos em tanque com água.....	60
Figura 2.10 – Absorção de água dos tijolos.....	61
Figura 2.11 – a, b, c: Resistência dos tijolos solo-cimento e solo-RCD-cimento.....	63
Figura 2.12 – a: Comparativo das resistências com o mesmo percentual de cimento.....	64

Figura 2.12 – b: Comparativo das resistências com o mesmo percentual de cimento.....65

Figura 2.12 – c: Comparativo das resistências com o mesmo percentual de cimento.....66

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: UMA QUESTÃO AMBIENTAL

Tabela 1.1 – Tipos de tijolos de solo-cimento fabricados no Brasil..... 15

CAPÍTULO 2 – UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Tabela 2.1 – Nomenclatura das composições de solo-cimento e RCD..... 46

Tabela 2.2 – Ensaio de textura do solo..... 54

Tabela 2.3 – Umidade ótima e massa específica aparente seca máxima..... 56

Tabela 2.4 – Absorção de água dos tijolos 61

Tabela 2.5 – Resistência dos tijolos 62

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A	Absorção de Água
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
BEC	Batalhão de Engenharia e Construção
BTC	Bloco de Terra Comprimida
C	Cimento
CEB	Compressed Earth Block
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
cm	Centímetro
CP	Cimento Portland
DRX	Difração por Raios X
EPD	Environmental Protection Department
FRX	Fluorescência por Raios X
Hot	Umidade Ótima
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Índice de Plasticidade
ISSS	Sistema Internacional
kg	Quilograma
LABMAT	Laboratório de Materiais
LIMAV	Laboratório Multidisciplinar de Materiais Avançados

LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
M1	Massa do Corpo de Prova Seco
M2	Massa do Corpo de Prova Saturado
MPa	Mega Pascal
m ³	Metro Cúbico
mm	Milimetro
NBR	Norma Brasileira
NL	Não Líquido
NP	Não Plástico
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
R	RCD
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
RCS	Resistência à Compressão Simples
RS	Resistente a Sulfatos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
S	Solo
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
t	Tonelada
USDA	Sistema Norte-Americano
γ_{Smax}	Massa Específica Aparente Seca Máxima
μm	Micrômetro

RESUMO

A construção civil é uma das atividades mais antigas e que mais cresce no mundo, proporcionando investimentos, empregabilidade de mão-de-obra e, ao mesmo tempo, consumindo muitos recursos naturais e gerando resíduos da construção e demolição (RCD), que levam a impactos ambientais. Uma alternativa aplicada no setor da construção é o emprego de produtos que reduzam o consumo de recursos naturais, melhorem o destino de materiais descartáveis em obras e visem a sustentabilidade. A reciclagem do RCD e sua aplicação em tijolos de solo-cimento surge como alternativa sustentável, pois reduz a retirada de solo natural do meio ambiente e gera um produto ecologicamente correto, que não passa pelo processo de queima. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo utilizar RCD na fabricação de tijolos de solo-cimento, em percentuais de 25% e 50% em substituição à massa de solo, enquanto o cimento foi aplicado em percentuais de 8%, 10% e 12% em relação à massa total. Os materiais utilizados, assim como as composições em que foram modelados os tijolos, passaram por processo de caracterização, através de ensaios de granulometria, textura do solo, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação, difração de raios x e fluorescência de raios x. Os tijolos foram submetidos aos ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples. Os resultados indicaram o potencial do RCD como material alternativo em substituição ao material natural, em destaque a composição ternária de solo, 25% de RCD e 12% de cimento.

Palavras-Chave: construção civil, RCD, sustentabilidade, tijolo solo-cimento.

ABSTRACT

Civil construction is one of the oldest and fastest growing activities in the world, providing investment, labor employability and, at the same time, consuming many natural resources and generating construction and demolition wastes (CDW), leading to environmental impacts. An alternative applied in the construction sector is the use of products that reduce the use of natural resources, improve the destination of disposable materials in construction sites that aims sustainability. The recycling of CDW and its application in soil-cement bricks emerges as a sustainable alternative, as it reduces the removal of natural soil from the environment and generates an ecologically correct product that does not go through the burning process. According to the above, this research had the objective of using CDW in the manufacture of soil-cement bricks, in percentages of 25% and 50% soil mass replacement, while cement was applied in percentages of 8%, 10% and 12% in relation to the total mass. The materials used, as well as the compositions in which the bricks were modeled, were characterized by granulometry, soil texture, liquidity limit, plasticity limit, compaction, x-ray diffraction and x-ray fluorescence. The bricks were submitted to water absorption tests and simple compression strength. The results indicated the potential of CDW as alternative material in substitution for natural material, in particular the ternary soil composition, 25% CDW and 12% cement.

Keywords: construction, CDW, sustainability, soil-cement brick.

INTRODUÇÃO

Uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e de extrema importância nas economias regional e global é a construção civil (Magdaleno & Nóbrega, 2016). Desde as primícias da humanidade até os dias atuais, essas atividades são realizadas de maneira artesanal, criando como subproduto uma enorme quantidade de resíduos de natureza diversificada, além de ser responsável pelo demasiado consumo de recursos naturais oriundos de fontes não-renováveis (Boldrin *et al.*, 2006; Lintz *et al.*, 2012).

O desenvolvimento tem proporcionado graves danos ao meio ambiente e colocando em perigo a sua sustentabilidade (Silva, de Brito & Dhir, 2014). A etapa de construção responde por uma porção expressiva dos impactos ocasionados pela construção civil no meio ambiente (Martínez, Nuñez & Sobaberas, 2013). A indústria da construção civil é responsável pela extração de 14% a 50% dos recursos naturais do planeta (Silva & Silva 2015) e pela geração de resíduos que são descartados em aterros sem nenhum tratamento, levando a prejuízos ambientais (Oliveira *et al.*, 2016).

A reciclagem tem vantagens ambientais e econômicas, já que reduz o consumo de recursos naturais. Assim, existe uma vasta gama de investigação sobre o custo social e financeiro, produção, caracterização e reciclagem destes resíduos (Contreras *et al.*, 2016). As fábricas de reciclagem de resíduos da construção e demolição (RCD) provaram ser economicamente viáveis (Coelho & de Brito, 2013a; Coelho & de Brito, 2013b), bem como ter um impacto ambiental positivo (Coelho & de Brito, 2013c; Coelho & de Brito, 2013d).

De acordo com os dados da Eurostat (2017), a quantidade total de resíduos gerados na União Europeia em 2014 foi superior a 2,5 milhões de toneladas, dos quais cerca de 35% (860 milhões de toneladas) foram oriundas de atividades de construção e demolição.

A produção de resíduos da construção e demolição, no Brasil, é superior a 70 milhões de toneladas por ano, o que representa a maior quantidade de resíduos sólidos

urbanos – RSU (Contreras *et al.*, 2016). A porção de entulho gerada nas cidades brasileiras é bastante significativa e pode servir como um indicador do desperdício de materiais (Mesquita, 2012).

Em 05 de julho de 2002 entrou em vigor a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que institui diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, visando proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental. Segundo a resolução, os RCD são classificados em quatro classes: Classe A (RCD recicláveis como os agregados); B (RCD recicláveis para outras destinações como plásticos, papel/papelão, metais, entre outros); C (RCD sem tecnologia disponível para reciclagem e aproveitamento como o gesso) e D (RCD perigosos como tintas, solventes, óleos, fibrocimentos com amianto, entre outros) (Ângulo *et al.*, 2011).

Em meio a classificação determinada pela Resolução nº 307 do CONAMA, destacou-se neste trabalho os resíduos produzidos pela classe A, dentre eles os resíduos de concreto, argamassa, reboco e cerâmicas.

Com o passar do tempo, os resíduos sólidos fabricados nos centros urbanos no Brasil têm se tornado um grave problema para as administrações municipais. Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, a geração de RSU no Brasil chegou a 45,1 milhões de toneladas, o que significa um aumento de 1,2% no ano de 2015, quando comparado a 2014 (ABRELPE, 2015).

Uma das soluções consideradas para resolver os problemas dos resíduos da construção e demolição é o desenvolvimento sustentável, o qual satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazer as suas próprias necessidades (Kumbhar, Gupta & Desai, 2013). Dentre as soluções construtivas estão a redução do desperdício, a utilização de novas ferramentas tecnológicas, emprego de materiais

que agridam pouco o meio ambiente, reciclagem de resíduos, entre outros (de Oliveira, do Amaral & Schneider, 2014).

Quando se pensa em construção, o tijolo de solo-cimento se torna a melhor opção. Os tijolos ecológicos têm variadas vantagens, como economia, agilidade, facilidade e resistência. Além dessas vantagens, é possível construir sem que a natureza sofra os impactos produzidos pela poluição dos resíduos da construção civil, como entulho de obra e poluição do solo e da água pelo cimento (Sampaio & Nunes, 2017).

A utilização de RCD na fabricação de tijolos de solo-cimento pode ser ideal para fornecer ao solo adotado características apropriadas ao uso (Silva & Lafayette, 2016). A maior quantidade de material empregado na fabricação desses tijolos é o solo, logo, sua substituição por RCD reduz a progressiva exploração das jazidas para retirada de solos, além de reduzir os locais destinados a aterros e beneficiar a extensão dos processos de reciclagem dos resíduos da construção civil (Velasco *et al.*, 2014).

Objetivo da Pesquisa

➤ Geral

Utilizar parcialmente resíduos da construção e demolição, em diferentes proporções, na fabricação de tijolos de solo-cimento.

➤ Específicos

- Analisar fisicamente o solo e o RCD, quanto à composição granulométrica, limite de liquidez e limite de plasticidade e determinar a umidade ótima das misturas de solo-RCD-cimento.

- Realizar ensaio de textura no solo, para determinar a descrição, identificação e classificação do solo utilizado para a produção dos tijolos de solo-cimento.
- Caracterizar os materiais solo, RCD e solo-RCD, através da análise mineralógica por difração de raios x (DRX) e da análise química por fluorescência de raios x (FRX).
- Dosar as composições utilizadas na pesquisa, com teores de 8%, 10% e 12% de cimento em relação à massa total, além de 25% e 50% de RCD em substituição à massa do solo, confeccionar tijolos de solo-cimento e solo-RCD-cimento e realizar ensaios de absorção e resistência à compressão simples.
- Comparar os resultados com as normas vigentes brasileiras empregadas para a produção de tijolo de solo-cimento, de forma a verificar se os RCD podem ou não substituir o solo no processo de produção.

Procedimentos para alcançar os objetivos

Os procedimentos para se alcançar os objetivos são:

- Coleta de resíduos da construção e demolição gerado em diversas obras da cidade de Teresina;
- Britagem dos resíduos coletados de forma a produzir o reciclado de RCD, visto que a cidade de Teresina não dispõe de usina de reciclagem de entulho;
- Caracterização física, química e mineralógica do solo, do RCD reciclado e da mistura solo-RCD;
- Elaboração das composições de solo-cimento e solo-RCD-cimento;
- Produção dos tijolos de solo-cimento e solo-RCD-cimento;

- Avaliação do comportamento das composições através dos ensaios de absorção e resistência à compressão simples;
- Análise dos resultados.
- Conclusão.

Organização da Pesquisa

Esta dissertação foi estruturada conforme estabelecido no programa de pós-graduação em Ciências dos Materiais, de forma que os capítulos se desenvolvem da seguinte forma:

Introdução: Apresenta a justificativa para a realização do estudo, seus objetivos, procedimentos para alcançar os objetivos e a organização do trabalho;

Capítulo 1 – Revisão bibliográfica: Artigo de revisão bibliográfica sobre a reutilização de resíduos da construção e demolição na própria indústria da construção civil sob a forma de agregados reciclados. O artigo explana à cerca das disparidades da indústria da construção com os conceitos de sustentabilidade, da quantidade de RCD gerado no mundo, da reciclagem do RCD e sua aplicabilidade nos mais diversos ramos da construção civil, inclusive nos tijolos de solo-cimento.

Capítulo 2 – Parte experimental: Artigo descrevendo a parte prática da pesquisa realizada com o apoio laboratorial do 2º Batalhão de Engenharia de Construção, do Instituto Camilo Filho, da Universidade Federal do Piauí, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí e da Associação de Moradores do Bairro Poti Velho, sendo que este descreve materiais utilizados, métodos e caracterização dos materiais, procedimentos de dosagem, verificação do comportamento das misturas em laboratório, resultados, análise dos resultados e conclusão.

REFERÊNCIAS

ABRELPE (2015). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em 19 de maio de 2017.

Angulo, S. C., Teixeira, C. E., Castro, A. L. D., & Nogueira, T. P. (2011). Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 16(3), 299-306.

Boldrin, A. J., Machado, R. L., Campos, M. A., Lintz, R. C. C. (2006). Estudo das Propriedades Mecânicas do Concreto com Resíduos de Construção e Demolição Empregados na Produção de Blocos de Concreto. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 48º, Rio de Janeiro, Anais, 48CBC0237.

Coelho A., de Brito J. (2013a). Economic viability analysis of a construction and demolition waste plant in Portugal – Part I: location, materials, technology and economic analysis, *J. Cleaner Prod.* 39 (1),338–352.

Coelho A., de Brito J. (2013b). Economic viability analysis of a construction and demolition waste plant in Portugal – Part II: economic sensitivity analysis, *J. Cleaner Prod.* 39 (1), 329–337.

Coelho A., de Brito J. (2013c). Environmental analysis of a construction and demolition waste plant in Portugal – Part I: energy consumption and CO2 emissions. *Waste Manage.* 33 (5), 1258–1267.

Coelho A., de Brito J. (2013d). Environmental analysis of a construction and demolition waste plant in Portugal – Part II: environmental sensitivity analysis. *Waste Manage.* 33 (1), 147–161.

Contreras, M., Teixeira, S. R., Lucas, M. C., Lima, L. C. N., Cardoso, D. S. L., da Silva, G. A. C., ... & dos Santos, A. (2016). Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). *Construction and Building Materials*, 123, 594-600.

de Oliveira, J. R., do Amaral, A. G., & Schneider, R. M. (2014). Incorporação de resíduos sólidos na fabricação de tijolos solo-cimento. *Nativa*, 2(1), 53-57.

Eurostat (2017). Estatística de resíduos. Disponível em:

<<http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained>>. Acesso em 10 de junho de 2017.

Kumbhar, S. A., Gupta, A., & Desai, D. B. (2013). Recycling and reuse of construction and demolition waste for sustainable development. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, 83-91.

Lintz, R. C. C., Jacintho, A. E. P. G. A., Pimentel, L. L., Gachet-Barbosa, L. A. (2012).

Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 5, 166-181.

Magdaleno, A. C. R. M., & da Nóbrega, M. D. J. R. (2016). Metodologias para qualificação de obras civis sustentáveis. *Revista Augustus*, 20(40), 70-83.

Martínez, E., Nuñez, Y., & Sobaberas, E. (2013). End of life of buildings: Three alternatives, two scenarios. A case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(5), 1082.

Mesquita, A.S.G., (2012). Analise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí. *Holos – issn 1807-1600*, v.2, p.162,58-65, IFPI.

Sampaio, G. S., & Nunes, I. E. S. (2017). Estudo interdisciplinar da viabilidade de aplicação do tijolo de solo-cimento na construção civil: economia aliada à sustentabilidade. *Janus*, 12(22).

Silva, L., & Lafayette, K. P. V. (2016). Avaliação das propriedades do Resíduo da Construção Civil RCC como subsídio para confecção de tijolos de solo-cimento. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, 2(1).

Silva, R. V., De Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, 65, 201-217.

Silva, V. G. & Silva, M. G., Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental. In: Gonçalves, J. C. S.; Bode, K. N. Edifício ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 129-151.

Oliveira, Y. L., Linhares Júnior, Z., Ancelmo L., Soares R. A. L. (2016). Estudo da reutilização de resíduos de telha cerâmica (chamote) em formulação de massa para blocos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, 21, 45-50.

Velasco, P. M., Ortíz, M. M., Giró, M. M., & Velasco, L. M. (2014). Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material—A review. *Construction and Building materials*, 63, 97-107.

**CAPÍTULO 1 – TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO: UMA QUESTÃO AMBIENTAL**

TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: UMA QUESTÃO AMBIENTAL

Lívia Racquel de Macêdo Reis^{1}, José Milton Elias de Matos¹*

¹ Universidade Federal do Piauí – UFPI, Centro de Ciências da Natureza – CCN, Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais – PPGCM, Campus Ministro Petrônio Portela, Ininga, Teresina-PI, 64049-550, Brasil, telefone (+550XX86) 3221 5710.

*liviareis@gmail.com

RESUMO

Uma parcela expressiva da economia de um país está relacionada a construção civil, com importantes investimentos e grande empregabilidade de mão-de-obra, mas também por degradar o meio ambiente, ao retirar uma vultosa quantidade de recursos naturais e por gerar resíduos da construção e demolição (RCD). A utilização de produtos que reduzam o consumo de recursos naturais, visem a sustentabilidade e melhorem o destino de resíduos, vem sendo uma alternativa aplicada na construção, em destaque, na fabricação de tijolos. Este artigo apresenta pesquisas que descrevem a origem e os tipos de tijolos, em destaque o tijolo de solo-cimento e suas vantagens ao ser utilizado em relação ao demais. Também são abordados a geração, reciclagem e aplicação do RCD em diversos materiais, em destaque, na fabricação dos tijolos de solo-cimento.

Palavras-Chave: RCD, meio ambiente, tijolo de solo-cimento.

SOIL-CEMENT BRICKS AND WASTE FROM CONSTRUCTION AND DEMOLITION: AN ENVIRONMENTAL ISSUE

Livia Racquel de Macêdo Reis^{1}, José Milton Elias de Matos¹*

¹ *Federal University of Piauí – UFPI, Postgraduate Program in Materials Science – PPGCM,
Science Center of Nature – CCN, Campus University Minister Petrônio Portela, Ininga,
Teresina – PI, 64049-550, Brazil, phone (+550XX86) 3221 5710.*

*lviareis@gmail.com

ABSTRACT

An expressive part of a country's economy is related to construction, major investments and great employability of labor, but also through the environment, by removing a large amount of natural resources and generating construction and demolition waste (CDW). The use of products that reduce the use of natural resources, aiming at sustainability and improvements of destination, being an alternative applied in the construction, in particular, in the manufacture of bricks. This paper presents researches that describe the origin and types of bricks, highlighting the soil-cement brick and its advantages when used in relation to the others. The generation, recycling and application of CDW in the manufacture of soil-cement bricks are also addressed.

Keywords: CDW, environment, soil-cement brick.

1.1 TIJOLO

A alvenaria é um dos processos construtivos mais antigos e o tijolo faz parte desse processo (Mendes, Carvalho & Borges, 2012). Na construção civil, artesanal ou industrial, o tijolo é um material amplamente utilizado. A palavra tijolo origina-se do espanhol *tejuelo*, diminutivo de *tejo* – caco de telha (Costa, 2010). O surgimento do tijolo refere-se à antiguidade, onde a cultura bizantina iniciou por meio de uma renovação do mundo helenístico e de velhas culturas orientais (Mendes *et al.*, 2010).

À medida que o homem deixou de ser nômade e começou a dispor da necessidade de ter construções duradouras e resistentes, os tijolos surgiram como uma novidade tecnológica de extrema importância, pelo fato de proporcionar que edificações fossem construídas com resistências à humidade e à temperatura (Costa, 2010).

Existe uma diversidade de tijolos ofertados pelo mercado, variando de matéria-prima, de tamanho, de forma e de preço, influenciados pelo rendimento do material e pela qualidade. Por ser um elemento fundamental de qualquer edificação, o tijolo necessita ser de excelente qualidade, a fim de assegurar que a obra tenha êxito.

Segundo Papini (2013), as propriedades almeçadas pelos tijolos são:

- Resistência à compressão apropriada;
- Regularidade na forma e dimensões;
- Durabilidade em relação aos agentes agressivos: diversidade de temperatura, umidade e ataque por agentes químicos;
- Resistência ao fogo;
- Pouca porosidade;
- Habilidade de aderir à argamassa e tornar a parede homogênea.

Campos (2012) determina os tipos de tijolos e seus usos mais comuns:

Pedra – bastante utilizada na antiguidade. Atualmente utilizada em fundações, muros de arrimo e com propósito estético em muros aparentes. Pode ser aplicada tanto na alvenaria propriamente dita, como pode ser usada somente como revestimento.

Tijolo de barro cru – também denominado de “Adobe”, precede o processo do tijolo cozido. A produção é feita com barro, água, palha e fibras naturais e a secagem é realizada ao sol. Tem como vantagens custo barato e isolante térmico excelente.

Tijolo de barro cozido – evolução do tijolo de barro cru, podendo ser chamado de “Tijolinho” ou “Tijolo comum”.

Tijolo refratário – tijolo cozido fabricado com argila engrandecida de materiais que, ao serem colocados à forte exposição de calor, reduzem a retração mecânica. Trabalham como isolantes térmicos.

Tijolo laminado – utilizado para alvenaria aparente, é um desenvolvimento do tijolo de barro cozido, cujo modelo mais conhecido possui 21 furos cilíndricos e mede aproximadamente 24 x 11,5 x 5 cm. As vantagens são maior resistência mecânica, menor absorção de água e, conseqüentemente, inferior porosidade.

Tijolo furado – também conhecido como “Tijolo baiano”, possui nas faces externas rachaduras que auxiliam na adesão da argamassa de revestimento e internamente possui furos. Os tijolos mais comuns são fabricados com 6 e 8 furos. As vantagens são baixo peso, preço mais barato e maior velocidade na execução.

Tijolo de vidro – mais utilizado em locais específicos, como decoração na construção, devido ao alto preço. Assegura um excelente isolamento acústico, efeitos estéticos e entrada de luminosidade no ambiente.

Bloco de concreto – o tipo comum, fabricado com cimento e pedrisco, é utilizado para vedação. O outro tipo é utilizado como alvenaria estrutural e produzido com maior resistência, para suportar cargas. Existe uma extensa variedade de tipos, formatos, dimensões e materiais.

Concreto celular – também chamado de “Pumex”, é fabricado através da mistura de cimento com silicato de cálcio e utilizado para enchimento de lajes e fechamento de vãos.

Tijolo de solo-cimento – produzido pela mistura de solo, cimento e água prensados, o chamado “Tijolo ecológico” é uma alternativa sustentável, pois não passa pelo processo de queima. Pode substituir o bloco de concreto e ser utilizado em habitações populares.

1.2 TIJOLO SOLO-CIMENTO

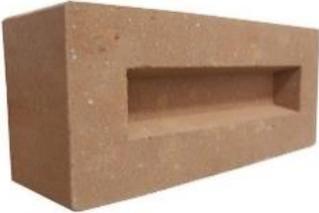
O tijolo de solo-cimento, também chamado de “tijolo ecológico”, possui o nome técnico “bloco de terra comprimida – BTC” e em inglês é conhecido como “compressed earth block – CEB” e “soil-cement brick” (Tijolo Eco, 2016). As etapas de fabricação e os tipos de tijolos fabricados no Brasil estão descritos, respectivamente, na Figura 1.1 e na Tabela 1.1.

Figura 1.1 – Etapas de fabricação dos tijolos de solo-cimento.



Fonte: Autor (2017).

Tabela 1.1 – Tipos de tijolos de solo-cimento fabricados no Brasil.

Tipo	Imagem do tijolo
Maciço comum	
Maciço com encaixes	
Tijolo com dois furos e encaixes	
Meio tijolo com furo e encaixe	
Canaletas	

Fonte: Eco máquinas (2016), Eco produção (2016), Tijolo eco (2016).

Pisani (2006), estabelece os tipos de tijolos de solo-cimento e suas características específicas:

Maciço comum – Assentamento com utilização de argamassa equivalente ao tijolo cerâmico maciço comum.

Maciço com encaixes – Assentamento com encaixes com reduzido consumo de argamassa.

Tijolo com dois furos e encaixes – Assentamento feito a seco, através do uso de cola branca ou argamassa bem plástica. Pelos furos passam as tubulações, na vertical.

Meio tijolo com furo e encaixe – Parte de um tijolo que não necessita de quebras, fabricado para acertar aparelhos.

Canaletas – Elemento produzido para reforço de paredes, execução de vergas, passagem de tubulações horizontais e cintas de amarração.

O clássico tijolo cerâmico de 6 ou 8 furos pode ser substituído pelo tijolo ecológico, que constitui custos inferiores ao término da obra, em torno de 30% (Verdesaine, 2014 apud Silva, 2015). O processo produtivo do tijolo de solo-cimento é executado de maneira bastante simples e proporciona uma alternativa de emprego e renda para cooperativas e microempresários (Soares, Soares & Lima, 2016).

Segundo Motta *et al.* (2014), o solo é a matéria-prima básica para a produção do tijolo de solo-cimento e traz privilégios ao procedimento de fabricação, pelo fato de ser encontrado de maneira abundante em todo o planeta. De Oliveira, do Amaral & Schneider (2014) ainda reportam que o solo é um material de baixo custo, por entrar em maior quantidade na mistura para a fabricação do tijolo e pelo fato de poder utilizar o solo do próprio local da construção da obra.

A olaria ecológica surgiu a partir desse método de fabricação do tijolo que não promove destruição e não arremessa detritos de queima no meio ambiente, como acontece nas

olarias tradicionais (Souza & Polli, 2014). Outra vantagem da aplicação do tijolo de solo-cimento é o fato de ser um material que economiza no processo de revestimento de uma construção, devido ao acabamento liso das paredes monolíticas fornecido pela alvenaria (Silva, 2013). A Figura 1.2 é um exemplo de construção que utilizou tijolos de solo-cimento sem a necessidade de revestimento.

Figura 1.2 – Casa construída com tijolo ecológico.



Fonte: Autor, 2016.

Como alternativa satisfatória ao processo de preservação ambiental, o tijolo solo-cimento não contribui com o desmatamento e não lança resíduos de combustão para o ar, como costuma acontecer na cerâmica, além de reduzir a necessidade de transporte, pelo fato dos tijolos poderem ser produzidos com o solo do próprio local da obra. A produção deste material também mostra outras contribuições ambientais, como a adição de resíduos à mistura solo-cimento, que permite melhorias no desempenho e propriedades físico-químicas do material adquirido (Araújo, 2016).

De acordo com dados do SEBRAE (2010, apud Fraga *et al.*, 2016), comparados a construção convencional, os tijolo ecológicos trazem para a obra uma economia de 20% até 40%, redução de 30% do tempo de construção, economia em torno de 70% em concreto e argamassa e 50% em ferro.

1.3 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – RCD

1.3.1 Geração de RCD

A indústria da construção civil é uma das maiores atividades realizadas desde o início da humanidade, com bastante variedade e, embora ainda apresente expressivos traços artesanais, fabrica como subproduto uma imensa quantidade de resíduos de natureza diversificada (Lintz *et al.*, 2012; Pereira & Vieira, 2013). O consumo desses recursos naturais disponibilizados pelo planeta acontece de maneira indiscriminada em todo o mundo. De acordo com Pereira (2015), o setor da construção civil anualmente requisita de 14% a 50% desses recursos e em todos os procedimentos fabrica resíduos.

Da escavação até a demolição da construção, os resíduos são produzidos em diferentes etapas do processo construtivo e determinam uma representativa parcela do total do “lixo” fabricado nas cidades (Silva e Fernandes, 2012). Como exemplo, a indústria do concreto explora 50% das matérias-primas, 40% do total de energia e gera cerca de 50% do total dos resíduos (Behera *et al.*, 2014). O RCD pode ser proveniente de limpeza de terreno, de obras de arte, de material de escavação ou construção, demolição e manutenção de edifícios (Cabral & Moreira, 2011 apud Brasileiro, 2015), além de tragédias naturais, como furacões, terremotos, inundações, avalanches e tornados e tragédias artificiais, como explosões, poluição e desabamentos (Levy & Helene, 1997 apud Brasileiro 2013).

Ulsen *et al.* (2010) determinou que em torno de 90% da massa total dos RCD fabricados no Brasil, na Europa e em alguns países asiáticos era constituída por materiais de origem mineral, entre eles solos, gessos, argamassas, materiais cerâmicos e concretos (Figura 1.3). Uma intensa quantidade de resíduos é produzida pela indústria da cerâmica vermelha, que acumula restos de materiais desde o armazenamento pela má manipulação dos produtos quebradiços (Silva *et al.*, 2015).

Figura 1.3 – Resíduos da construção e demolição.



Fonte: Autor, 2016.

Um assunto que expressa a importância dos resíduos da construção e demolição corresponde a sua progressiva participação no total dos resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos diariamente, que possuem grande volume de resíduos provenientes de atividades relacionadas à construção civil (Oliveira *et al.*, 2011; Paschoalin Filho *et al.*, 2013).

Na Austrália, aproximadamente 14 milhões de toneladas de resíduos são despejados anualmente em aterros e 44% desses resíduos são provenientes da indústria da construção.

Nos Estados Unidos, em torno de 29% dos resíduos sólidos são oriundos do setor da construção. No Reino Unido, mais de 50% do volume de resíduos depositados em aterros é resultante de resíduos da construção, enquanto em Hong Kong, chega a 25% dos resíduos produzidos (Poon *et al.*, 2013).

Na Malásia, os RCD juntamente com os resíduos industriais, correspondem a 28,34% do total dos RSU. Já os resíduos domésticos atingem 36,73% do valor total (Begun *et al.*, 2006). No Canadá, estima-se que, anualmente, a indústria da construção gere cerca de 9 milhões de toneladas de RCD, o que representa um terço dos RSU do país (Yeheyis *et al.*, 2013). Em Israel é gerado 7,5 milhões de toneladas de RCD por ano, o que representam em torno de 60% do total de RSU (Katz & Baum, 2011). Portugal gerou em torno de 7,8 milhões de toneladas de RCD por ano, porém apenas 2,2 milhões de toneladas foram conduzidos para local adequadamente licenciado para reciclagem (APA, 2013).

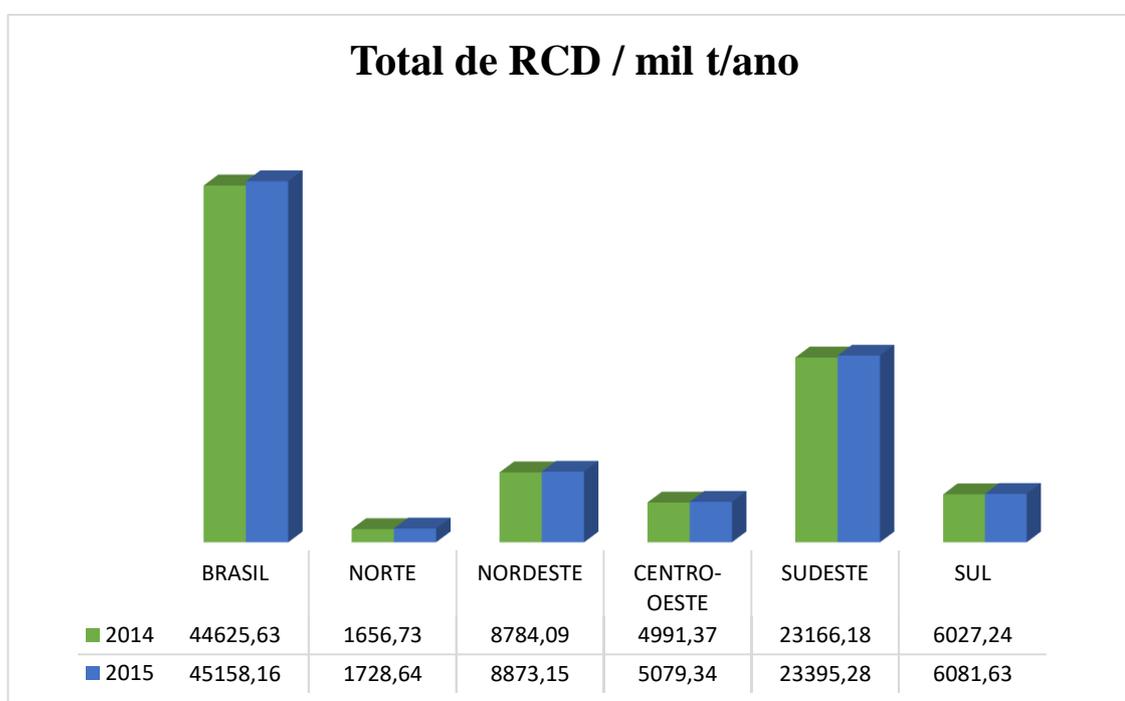
A quantidade total de resíduos gerados na União Europeia em 2014 foi superior a 2,5 milhões de toneladas, dos quais cerca de 35% (860 milhões de toneladas) foram oriundas de atividades de construção e demolição (Eurostat, 2017).

No Brasil, a produção de resíduos da construção e demolição é superior a 70 milhões de toneladas por ano, representando a maior quantidade de RSU (Contreras *et al.*, 2016; Cabral *et al.*, 2009).

A Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) publicou em seu Panorama de Resíduos Sólidos 2015, as informações apresentadas na Figura 1.4. Os dados referem-se a uma estimativa feita entre os anos de 2014 e 2015 a respeito da coleta de RCD executada pelo serviço público, excluindo os resíduos de construção e demolição provenientes da coleta realizada por serviços privados, os quais estabelecem a maior parte da totalidade de RCD produzido. O Brasil gerou no ano de 2014 cerca de 44,6 milhões de toneladas de RCD. Já em 2015, gerou em torno de 45,1 milhões de toneladas, o

que significa um aumento de 1,2% em relação a 2014. Entre as regiões do Brasil, a que produziu a maior quantidade de RCD, em 2015, foi a Sudeste com 23,3 milhões de toneladas por ano, seguida pelo Nordeste, com 8,7 milhões de toneladas por ano. A menor foi da região Centro-Oeste, com apenas 1,7 milhões de toneladas por ano. Fazendo um comparativo em relação a 2014, a região Norte foi a que teve o maior aumentando, 1,04%, porém, as demais regiões atingiram um resultado aproximado de 1,01%.

Figura 1.4 – Total de RCD coletado no Brasil e por região no Brasil.



Fonte: Autor, 2017.

1.3.2 Reciclagem de RCD

Nas últimas décadas, os assuntos relacionados à redução de resíduos, à preservação ambiental e à reciclagem, conquistaram uma posição de destaque nas discussões realizadas pela sociedade buscando alcançar um modelo de desenvolvimento sustentável para o planeta (Silva *et al.*, 2014).

Segantini & Wada (2011) destacam que as atividades da construção civil fabricam imensos volumes de resíduos e propiciam grandes desperdícios de materiais, como cimento, areia, madeira, cerâmica e pedra, entre outros materiais que possam ser reciclados. No Brasil, em relação a quantidade total de RCD, são contabilizados somente os resíduos coletados pelo setor público que são despejados em ambiente público (Confederação Nacional da Indústria – CNI, 2014).

O crescimento acelerado do setor e a falta de qualificação da mão de obra, aliados a utilização de métodos arcaicos, a limitação de recursos naturais existentes e a falta de locais adequados para a disposição final dos resíduos, levam a avaliar medidas para a implantação de um sistema eficiente de manejo e disposição final desses recursos, além de um sistema de reciclagem (Cabral 2007; Evangelista, 2010; Silva & Fernandes, 2012; Martins, 2012).

Como opções de sustentabilidade que visam valorizar os resíduos, a reciclagem e a reutilização de RCD na construção civil surgem como matéria-prima alternativa (Souza, Segantini & Pereira, 2008). Contribuem para a ampliação da vida útil dos aterros e diminuição da exploração desenfreada de jazidas minerais (Brasileiro & Matos, 2015). A reciclagem também beneficia a geração de empregos, de acordo com a pesquisa do grupo *Friends of the Earth Europe* (2010 apud Pereira & Vieira, 2013), em que afirmou que o setor poderia gerar em torno de 563.000 postos de trabalho se 70% dos resíduos da União Europeia fossem reciclados.

Notáveis e diversificados produtos podem ser produzidos com a reciclagem e o tratamento do RCD e designados a diferentes usos, entre eles a pedra reciclada pode ser utilizada para aterros, terraplanagens e drenagens, enquanto a brita reciclada é recomendada para drenagens e fabricação de concretos sem fins estruturais (da Silva & da Silva, 2016).

Em Portugal, cerca de 76% do RCD são colocados em aterro, 11% são reutilizados, 4% são incinerados e apenas 9% realmente são reciclados (Pereira, 2002 apud Coelho & de

Brito, 2013). Em outros países, a quantidade de RCD reciclados ou reutilizados é bem maior em comparação a Portugal, como a Holanda (98%), Alemanha (86%), Lituânia (60%), Irlanda (80%), Estônia (92%), Reino Unido (75%), Dinamarca (94%) e Áustria (60%) (European Commission DG ENV 2011). Na Tanzânia o RCD não é reciclado (Sabai *et al.*, 2013), enquanto na Bélgica (Flandres) a reciclagem chega a mais de 90% (Torgal, 2013).

Evangelista *et al.* (2010 apud Silva & Fernandes, 2012) afirma que a atividades relacionadas à reciclagem de RCD no Brasil são reduzidas e encontram-se atrasadas em comparação a outros países, em destaque os europeus. De acordo com os dados publicados pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), 4.031 municípios brasileiros (72,45%) apresentam serviços de controle de RCD e em 392 municípios (7,05%) existe alguma espécie de tratamento dos resíduos, os quais estão distribuídos conforme o nível de tratamento dado aos RCD (IBGE, 2010).

As informações expostas afirmam que diversos países estão mais avançados com relação a reciclagem de resíduos da construção e demolição (Silva, de Brito & Dhir, 2014). Alguns países com taxa de reciclagem acima de 80% e outros com um índice pouco significativo, como é o caso do Brasil, que não chega a 5% da reciclagem dos Estados Unidos, que gira em torno de 140 milhões de toneladas (Bartoli, 2015). Espera-se que todos entendam que a reciclagem e a reutilização de RCD são formas de aliviar o meio ambiente da pressão que vem sofrendo com a deposição de resíduos em locais inadequados.

1.3.3 Aplicabilidade do RCD

Diversos autores utilizam o RCD como um material de grande potencial no setor da construção civil (Levy & Helene, 1997; Brasileiro, 2013; Cabral *et al.*, 2007; Carneiro *et al.*, 2001; Pinto, 1999; Lima, 1999; Segantini & Wada, 2011). A reciclagem de RCD pode ser

empregada para vários fins, dentre as numerosas possibilidades existentes, tais como: coberturas primárias de vias, camadas de sub-base e base para pavimentação, fabricação de concretos, argamassas de revestimento e assentamento, blocos e meio-fio pré-moldados, tijolos de solo-cimento e blocos de solo-cimento.

Estudos realizados com utilização de RCD na produção de concreto para os mais diversos fins apresentaram bons resultados técnicos e de custo (Araújo *et al.*, 2016; Cabral *et al.*, 2007; Vieira *et al.*, 2004; Tenório *et al.*, 2012; Richardson, 2010; Tam, 2008; Kou, 2004; Buyle-Bodin, Skoczylas & Wirquin, 2003).

Para a produção de mistura asfáltica a quente, como substituto parcial do agregado natural foram utilizados resíduos de cerâmica vermelha (Silvestre, 2013), agregados reciclados de tijolos (Khalaf, 2004), agregados reciclados de concreto (Mills-Beale & You, 2010; Wong, Sun & Lai, 2007; Paravithana & Mohajerani, 2006), agregados de resíduos da construção e demolição (Pérez, Pasandín & Medina, 2011; Aljassar, Al-Fadala & Ali, 2005) e agregados de materiais de construção recuperados (Shen & Du, 2004; Shen & Du, 2005), com resultados satisfatórios.

O agregado de cerâmica vermelha foi utilizado para fabricação de argamassa (Silva, Brito & Veiga, 2007; Silva, 2006) e para produção de novos tijolos (Reis, 2007). Enquanto Sousa, Bauer & Sposto (2002) confeccionaram, em sua pesquisa, componentes pré-moldados de concreto com agregado reciclado de RCD.

Simieli *et al.* (2007) recomendaram o emprego de agregados reciclados para a produção do concreto a ser utilizado na confecção de peças para pavimentos intertravados. Bastos *et al.* (2004) destacam o emprego do RCD em pavimentação de novas vias e a reciclagem de misturas betuminosas oriundas da demolição de estradas, que tem sido laboriosamente estudada (Baptista, 2006; Ainchil & Burgueño, 2004).

Na fabricação de tijolos de solo-cimento, a maior quantidade de material corresponde ao solo. Como maneira de reduzir a progressiva exploração das jazidas para retirada de solos aliada à redução de locais destinados a aterros e a extensão dos processos de reciclagem dos resíduos da construção civil, pesquisadores têm empregado RCD nos tijolos de solo-cimento, com o intuito de impulsionar o seu regresso à cadeia da construção civil (Velasco *et al.*, 2014).

Souza, Segantini & Pereira (2008) estudou a composição do solo-cimento com solo natural e com adição de resíduos de concreto. Em relação à massa do solo, utilizou solo mais 20% de resíduos de concreto, solo mais 40% de resíduos de concreto e solo mais 60% de resíduos de concreto. Em cada uma dessas constituições foram utilizados os três teores de cimento de 6%, 8% e 10% em relação à massa da composição solo-resíduo. Os autores concluíram que é possível utilizar até 60% de resíduos de concreto e menos de 6% de cimento para a confecção de tijolos, melhorando o destino de resíduos e reduzindo a quantidade de consumo de cimento.

Ferraz & Segantini (2004), empregaram as dosagens de solo natural, solo mais 20% de resíduo de argamassa de cimento, solo mais 40% de resíduo de argamassa de cimento e, em cada caso, três teores de cimento (6%, 8% e 10%). Os resultados se mostraram favoráveis a adição de resíduos, reduzindo custos e melhorando as propriedades mecânicas, pelo fato das composições de solo natural com 6% e 8% de cimento não atingirem a resistência determinada em norma.

Na primeira etapa da pesquisa de Segantini & Wada (2011) foram analisados o solo natural, solo mais 20% de RCD, solo mais 40% de RCD (em relação à massa de solo), com três percentuais de cimento (6%, 8% e 10%) em cada composição. Na segunda etapa foram estudadas misturas de 60%, 80% e 100% de RCD (em relação à massa de solo), para os quais foram utilizados 2% e 4% de cimento. Os pesquisadores chegaram à conclusão de que os

tijolos com boas qualidades podem ser fabricados com o percentual de 4% de cimento e adição de 20% ou mais de RCD.

1.4 CONCLUSÃO

O uso dos tijolos é uma prática antiga na construção civil que, ao longo dos anos, tende a buscar novas tecnologias para facilitar tanto a produção quanto a execução. Especificamente o tijolo de solo-cimento ainda tem a fabricação mais simples que os tijolos convencionais, mas ao mesmo tempo é necessário a busca por novas alternativas para reduzir o uso de matéria prima natural, através de materiais reciclados.

A reciclagem de resíduos da construção e demolição fornece vantagens ambientais e econômicas para as cidades em que é introduzida. Além da redução dos custos de administração dos resíduos, o custo do material reciclado é bem menor do que o agregado natural. A reciclagem demonstra ser uma das principais maneiras de destinação adequada dos RCD, atenuando os impactos sobre o meio ambiente e propiciando a fabricação de novos produtos.

Embora os percentuais de reaproveitamento de RCD sejam bem diferentes em diversos países do mundo, pesquisadores, governos e até mesmo a sociedade estão se voltando cada vez mais para esta realidade de reciclagem/ reutilização, procurando reduzir a geração de resíduos e elevar o reaproveitamento, através de legislações e das mais diversas utilidades, em destaque, na construção civil, na forma de agregados reciclados, com o intuito de estimular o seu regresso à cadeia da construção.

Os tijolos de solo-cimento fabricados com RCD em substituição à massa de solo, surgem como uma alternativa sustentável para a destinação dos resíduos, já que não há produção de entulhos, além de melhorar as propriedades mecânicas dos tijolos. Uma

arquitetura direcionada para o meio ambiente torna-se uma opção mais consciente para sobreviver no futuro, ao utilizar tijolos ecológicos com adição de RCD para fornecer materiais alternativos para a construção, que podem ser encontrados na localidade mais próxima, além de optar por materiais que demonstrem um generoso conforto térmico e acústico.

Os problemas tocantes ao meio ambiente são essenciais desafios relacionados à natureza e aos limites do conhecimento científico recente, por isso é necessário que haja uma integração maior da ciência com o social, na expectativa de que se desenvolvam novas tecnologias para um benefício mais socioambiental.

REFERÊNCIAS

ABRELPE (2015). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015. Disponível em:

<<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em 10 de maio de 2017.

Ainchil, J., Burgueño, A. (2004). State of the art of practical applications for the use of the recycled materials through real cases in Catalonia. In: Proceedings of RILEM International Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings, Barcelona, Spain, 322-330.

Aljassar, A. H., Al-Fadala, K. B., Ali, M. A. (2005). Recycling building demolition waste in hot-mix asphalt concrete: a case study in Kuwait. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 7, 112-115.

APA (2013). Resíduos de construção e demolição. Agência Portuguesa do Ambiente.

Disponível em: <<http://www.apambiente.pt/>>. Acesso em 12 de maio de 2017.

Araujo, F. P., Almeida, L. R., Silva Filho, E. C., Souza, J. S. N., Osajima, J. A. e Furtini, M. B. (2016). A Study of the Chemical and Physical Characteristics of the Soils from the South of Piauí for Soil-Cement Brick Production". *Materials Science Forum*, 869, 112-115.

Baptista, A. (2006). Bituminous Mixtures Recycled by Heat in a Plant e Contribution to Its Study and Application (in Portuguese). PhD thesis on Civil Engineering, Science and Technology Faculty, Coimbra University, Portugal.

Bartoli, H. (2015). Brasil recicla cerca de 20% dos resíduos de construção. Disponível em: <<http://www.brasilengenharia.com/portal/noticias/noticias-da-engenharia/14151-brasilrecicla-cerca-de-20-dos-residuos-de-construcao>>. Acesso em: 30 de maio de 2017.

Bastos, G. D. A., Bastos, I. D. A., Fior, L., Hildebrand, L., Cerri, J. A., Araújo M. S. (2004). Desenvolvimento em escala industrial de composições para blocos de solo-cimento utilizando fração cerâmica de entulho da construção civil – Um estudo de caso. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, Anais, 1, 18-21.

Begun, R. A., Siwar, C., Pereira, J. J., Jaafar, A. H. (2006). A benefit-cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimization: the case of Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, 48, 86-98.

Behera, M., Bhattacharyya, S. K., Minocha, A. K., Deoliya, R., and Maiti, S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete—A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. *Construction and building materials*, 68, 501-516.

Brasileiro, L. L. (2013). Utilização de agregados reciclados provenientes de RCD em substituição ao agregado natural no concreto asfáltico. Dissertação de Mestrado em Ciências dos Materiais. Universidade Federal do Piauí.

Brasileiro, L. L.; Matos, J. M. E. (2015). Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria a construção civil. *Cerâmica*, 61, 178-189.

- Buyle-Bodin, F., Skoczylas, F., Wirquin, E. (2003). Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25 (2), 223-232.
- Cabral A. E. B., Schalch V., Dal Molin D. C. C., Ribeiro J. L. D., Ravindrarajah R. S. (2007). Ultimate shrinkage modeling of recycled aggregate concrete, *Int. Conf. Eng. Environment*, Phuket.
- Cabral, A. E. B. (2007). Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD. Tese (Doutorado) em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Cabral, A. E. B., Schalch, V., Molin, D. C. C. D., Ribeiro, J. L. D., Ravindrarajah, R. S. (2009). Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 55, 448-460.
- Campos, I. M. (2012). Tipos de tijolos para alvenaria. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=7&Cod=93>>. Acesso em 20 de março de 2017.
- Carneiro, A. P., Brum, I. A. S., Cassa, J. C. S. (2001). Características do entulho e do agregado reciclado. In: *Projeto Entulho Bom. Reciclagem de Entulho para a produção de materiais de construção*. Salvador: Editora UFBA, 142-186.
- Coelho, A.; de Brito, J. (2013). Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal e part I: location, materials, technology and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 39, 338-352.

Confederação Nacional da Indústria – CNI. (2014). Visão da Indústria Brasileira sobre a Gestão de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006221.pdf>>. Acesso em 13 de março de 2017.

Contreras, M., Teixeira, S. R., Lucas, M. C., Lima, L. C. N., Cardoso, D. S. L., da Silva, G. A. C., ... & dos Santos, A. (2016). Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). *Construction and Building Materials*, 123, 594-600.

Costa, K. (2010). Seminário sobre tijolos. Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfKjQAF/seminario-sobre-tijolos>>. Acesso em 20 de março de 2017.

da Silva, A. L., Chaves, A. C., Neves, G. D. A., Oliveira, D. D. N. S., Luna, C. B. B. & Santos, P. D. S. (2015). Reaproveitamento de rejeitos de tijolos na obtenção de membranas cerâmicas destinada a tratamento de efluentes. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 7(3), Páginas-90.

da Silva, L. F. F. & da Silva, M. A. (2016). Resíduos sólidos na construção civil: qual o custo de sua destinação e tratamento?. In *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*.

de Oliveira, J. R., do AMARAL, A. G., & Schneider, R. M. (2014). Incorporação de resíduos sólidos na fabricação de tijolos solo-cimento. *Nativa*, 2(1), 53-57.

Eco Máquinas (2016). Tijolos ecológicos. Disponível em: <<https://ecomaquinas.com.br/>>. Acesso em 10 de julho de 2016.

Eco Produção (2016). Tijolos ecológicos. Disponível em: <<http://www.ecoproducao.com.br/>>. Acesso em 10 de julho de 2016.

Eurostat (2017). Estatística de resíduos. Disponível em:

<<http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained>>. Acesso em 10 de junho de 2017.

European Commission DG ENV (2011) Final Report Task 2 – Management of C&D waste.

Evangelista, P. P. A.; Costa, D. B. (2010). Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. *Ambiente Construído*, 10 (3), 23-40.

Ferraz, A. L. N., & Segantini, A. D. S. (2004). Estudo da adição de resíduos de argamassa de cimento nas propriedades do solo-cimento. In *The proceedings of the Conferência Latino Americana de Construção Sustentável (claCS'04)/X Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente construído (ENTAC 2004)*, São Paulo, edited by CIB.

Fraga, Y. S. B., Barbosa, A. Q., Santos, L. H. P., Mota, W. V., & Dortas, I. S. (2016).

Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT*, 3(3), 11.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2010). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Censo 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/default.php>>. Acesso em 20 de abril de 2017.

Katz, A., & Baum, H. (2011). A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites. *Waste management*, 31(2), 353-358.

Khalaf, F. M. (2004). Recycling of clay bricks as aggregate in asphalt concrete. In: Vázquez, E., Hendriks, Ch. F., Janssen G. M. T., editors. *The use of recycled materials in buildings and structures*. RILEM, 56-65.

Kou, S. C., Poon, C. S., Chan, D. (2004). Properties of steam cured recycled aggregate fly ash concrete. In: Proceedings of RILEM International Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings, Barcelona, Spain, 590-599.

Levy, S. M., Helene, P. R. L. (1997). Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Lima, J. A. R. de. (1999). Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

Lintz, R. C. C., Jacintho, A. E. P. G. A., Pimentel, L. L., & Gachet-Barbosa, L. A. (2012). Study of the reuse of construction residues in concrete employed by blocks manufacture. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 5(2), 166-181.

Martins, F. G. (2012). Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte: estudos de caso. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Mendes, H; Carvalho, K. M. B. e Borges, T.E. (2012). Tijolos e alvenaria: no âmbito da construção civil. Disponível em < <https://pt.slideshare.net/KleberMarceloCarvalho/artigo-tijolos-e-alvenaria-no-mbito-da-construo-civil>>. Acesso em 15 de março de 2017.

Mendes, L. C., Lourenço, L. da C., Alves, V. R., Jordy, J. C., Lourenço, M. V. da C. (2010). Coberturas em edificações históricas: análise arquitetônica, estrutural e de durabilidade. Disponível em <www.edutecne.utn.edu.ar/cinpar_2010/Topico%205/CINPAR%20072.pdf>. Acesso em 18 março 2017.

Mills-Beale, J., You, Z. (2010). The mechanical properties of asphalt mixtures with recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 24, 230–235.

Motta, J. C. S. S., Morais, P. W. P., Rocha, G. N., da Costa Tavares, J., Gonçalves, G. C., Chagas, M. A., Chagas, M. A., Mageste, J. L. e Lucas, T. D. P. B. (2014). Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. *E-xacta*, 7(1), 13-26.

Oliveira, M. E. D. de, Sales, R. J. de M., Oliveira, L. A. S. de, Cabral, A. E. B. (2011). Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 16, 219-224.

Papini, C. A. (2013). Materiais cerâmicos. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/AquilesCampagnaro/cermicas-26467332>>. Acesso em 16 de março de 2017.

Paranavithana, S., Mohajerani, A. (2006). Effects of recycled concrete aggregates on properties of asphalt concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 48, 1-12.

Paschoalin Filho, J. A.; Dias, A. J. G.; Cortes, P. L.; Duarte, E. B. L. (2013). Manejo de resíduos de demolição gerados durante obras da arena de futebol Palestra Itália (Allianz Parque) localizada na cidade de São Paulo/Brasil. *HOLOS* 29, 6, 73-91.

Pereira, F. M. S. (2015). Diagnóstico da geração de resíduos da construção civil em Teresina. Dissertação de Mestrado em Ciências dos Materiais. Universidade Federal do Piauí.

Pereira, P. M.; Vieira, C. S. (2013). Resíduos de construção e demolição. Um estado de arte visando a sua valorização em trabalhos geotécnicos. Relatório de Investigação no âmbito do

projeto “Aplicação sustentável de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em estruturas reforçadas com geossintéticos – RCD-VALOR”. FEUP.

Pérez, I., Pasandín, A. R., Medina, L.(2012) Hot mix asphalt using C & D waste as coarse aggregates. *Materials & Design*, 36, 840-846.

Pinto, T. P. (1999). Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Pisani, M. A. J. (2006). Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. *Ae ensaios*, São Paulo, ed. C3. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/271829933_Um_material_de_construcao_de_baixo_impacto_ambiental_o_tijolo_de_solo-cimento>. Acesso em 21 de março de 2017.

Poon, C. S.; Yu, A. T. W.; Wong, A.; Yip, R. (2013). Quantifying the impact of construction waste charging scheme on construction waste management in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139, 466-479.

Reis, J. P. (2007). Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Estado de Santa Catarina.

Richardson, A. (2010). Concrete with crushed, graded and washed recycled construction demolition waste as a coarse aggregate replacement. *Structural Survey*, 28 (2), 142-148.

Sabai, M. M., Cox, M. G. D. M., Mato, R. R., Egmond, E. L. C., Lichtenberg, J. J. N. (2013). Concrete block production from construction and demolition waste in Tanzania. *Resources, Conservation and Recycling*, 72, 9-19.

- Segantini, A. A. S.; Wada, P. H. (2011). Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, 33 (2), 179-183.
- Shen, D., Du, J. (2004). Evaluation of building materials recycling on HMA permanente deformation. *Construction and Building Materials*, 18, 391-397.
- Shen, D., Du, J. (2005). Application of gray rational analysis to evaluate HMA with reclaimed building materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 17, 400-406.
- Silva, A. P. M. (2013). O uso do tijolo de na construção civil. 2013. Curso de Especialização em Construção Civil – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Silva, J., Brito, J. de, Veiga, R.(2007). Avaliação do Comportamento à Água de Argamassas com Incorporação de Agregados Cerâmicos. *Engenharia Civil*, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, 28, 37-45.
- Silva, J. R. M. C. (2006). Incorporação de resíduos de barro vermelho em argamassas cimenticias. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa;
- Silva, J. V. S. da. (2015). Produção de tijolos ecológicos em Pedro II (PI): a sustentabilidade em questão. *Revista informe econômico*, Teresina, 34, 68-72.
- Silva, R. V., De Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, 65, 201-217.
- Silva, V. A.; Fernandes, A. L. T. (2012). Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. *Sociedade e Natureza*, 24 (2), 333-344.

Silva, V. M. D., Góis, L. C., Duarte, J. B., Silva, J. B. D., & Acchar, W. (2014). Incorporation of ceramic waste into binary and ternary soil-cement formulations for the production of solid bricks. *Materials Research*, 17(2), 326-331.

Silvestre, R.; Medel, E.; García, A.; Navas, J. (2013). Using Ceramic Wastes from Tile Industry as a Partial Substitute of Natural Agregates in hot Mix Asphalt Binder Courses. *Construction and Building Materials*, 45, 115–122.

Simieli, D.; Mizumoto, C.; Segantini, A. A. S.; Salles, F. M. (2007). Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados. *Exacta*, São Paulo, 5 (2), 231-241.

Soares, R. A. L.; Soares, R. A. L. e Lima, Y. C. C. (2016). Avaliação do tijolo ecológico produzido em Teresina - PI. 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 780-785.

Sousa, J.G.G.; Bauer, E.; Sposto, R.M. (2002). Blocos de concreto produzidos com agregados provenientes da reciclagem de resíduos gerados pela construção civil. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1633-1642.

Souza, M. I. B.; Segantini, A. A. S.; Pereira, J. A. (2008). Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12 (2), 205-212.

Souza, M. Q. e Polli, G. M. (2014). Impacto ambiental e retorno financeiro do tijolo ecológico. *Revista Borges: Estudos Contemporâneos em Ciências Sociais e Aplicadas*, 5(2), 16-21.

Tam, V. W. Y. (2008). Economic comparison of concrete recycling: a case study approach. *Resources, Conservation & Recycling*, 52 (5), 821-828.

Tenório, J. J. L.; Gomes, P. C. C.; Rodrigues, C. C.; Alencar, T. F. F. Concrete produced with recycled aggregates. *Revista IBRACON de Estruturas de Materiais*, v. 5, n. 5, p. 692-701, 2012.

Tijolo Eco (2016). Tijolo ecológico. Disponível em: < <http://www.tijolo.eco.br/tijolo-ecologico/conheca-o-tijolo-ecologico/> >. Acesso em 21 de julho de 2016.

Torgal, F. P. (2013). Resíduos de construção e demolição (RCD): enquadramento e breves considerações sobre a localização óptima das estações de reciclagem. *Maquinaria*, 229, 56-62.

Ulsen, C.; Kahn, H.; Ângulo, S. C.; John, V. M. (2010). Chemical composition of mixed construction and demolition recycled aggregates from the State of São Paulo. *Revista de Escola de Minas*, 63 (2), 339-346.

Velasco, P. M., Ortíz, M. M., Giró, M. M., & Velasco, L. M. (2014). Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material—A review. *Construction and Building materials*, 63, 97-107.

Verdesaine. (2014). Tijolo ecológico. Disponível em: <http://www.verdesaine.net/tijolo_ecologico>. Acesso em 03 de agosto de 2016.

Vieira, G. L.; Molin, D. C. C.D.; Lima, F. B. Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição. *Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho*, n. 19, p. 5-18, 2004.

Wong, Y. D., Sun, D. D., Lai, D. (2007). Value-added utilization of recycled concrete in hotmix asphalt. *Waste Management*, 27, 294-301.

Yeheyis, M.; Hewage, K.; Alam, M. S.; Eskicioglu, C.; Sadiq, R. (2013). An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15, 81-91.

**CAPÍTULO 2: UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Livia Racquel de Macêdo Reis^{1}, José Milton Elias de Matos¹*

¹ Universidade Federal do Piauí – UFPI, Centro de Ciências da Natureza – CCN, Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais – PPGCM, Campus Ministro Petrônio Portela, Ininga, Teresina-PI, 64049-550, Brasil, telefone (+550XX86) 3221 5710.

*liviareis@gmail.com

RESUMO

A produção de tijolos de solo-cimento, com uso de resíduos da construção e demolição (RCD) destaca-se como alternativa para valorizar os materiais descartados nas obras. Este trabalho teve por objetivo utilizar 8%, 10% e 12% de cimento na fabricação de tijolos de solo-cimento e utilizar parcialmente RCD, em percentuais de 25% e 50% em substituição à massa de solo. Após a cura, os tijolos foram submetidos aos ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples. Os materiais utilizados, assim como as composições em que foram modelados os tijolos, passaram por processo de caracterização por ensaios de granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação, difração de raios x e fluorescência de raios x. Os resultados alcançados na pesquisa apontaram que das composições estudadas, a que indicou melhores resultados, foi a composição ternária de solo, 25% de RCD e 12% de cimento. Ainda, as composições em que foi utilizado 50% de RCD apresentaram resistências próximas ou melhores que as de apenas solo e cimento, apontando os materiais alternativos como uma boa opção para a substituição do material natural, proporcionando sustentabilidade com produtos ecologicamente corretos.

Palavras-chave: resíduos de construção e demolição, tijolo de solo-cimento, sustentabilidade.

USE OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES IN THE MANUFACTURE OF SOIL-CEMENT BRICKS

Livia Racquel de Macêdo Reis^{1}, José Milton Elias de Matos¹*

¹ *Federal University of Piauí – UFPI, Postgraduate Program in Materials Science – PPGCM,
Science Center of Nature – CCN, Campus University Minister Petrônio Portela, Ininga,
Teresina – PI, 64049-550, Brazil, phone (+550XX86) 3221 5710.*

*liviareis@gmail.com

ABSTRACT

The manufacture of soil-cement bricks with the use of construction and demolition wastes (CDW) stands out as an alternative to valorize the materials discarded in construction sites. The objective of this research was to use 8%, 10% and 12% of cement in the manufacture of soil-cement bricks and to partially use CDW, in 25% and 50% percentages, as soil mass replacement. After curing, the bricks were subjected to water absorption tests and simple compression strength. The materials used, as well as the compositions in which the bricks were modeled, were characterized by granulometry, liquidity limit, plasticity limit, compaction, x-ray diffraction and x-ray fluorescence tests. The results obtained in the research indicated, of the compositions studied which indicated better results, was the ternary soil composition, 25% CDW and 12% cement. Moreover, the compositions in which 50% of CDW were used showed resistance close to or better than those of only soil and cement, pointing to alternative materials as a good option for the replacement of natural resources, providing sustainability with ecologically correct products.

Keywords: construction and demolition waste, soil-cement brick, sustainability.

2.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os problemas ambientais têm surgido como um desafio para a humanidade e, especificamente, para o ramo da construção civil, que é uma das atividades de extrema importância nas economias regionais e global. A construção civil contribui para: a geração de empregos, o comércio de materiais, o desenvolvimento de novas tecnologias e infraestruturas e a melhoria da qualidade de vida (Magdaleno & Nóbrega, 2016).

Segundo Paschoalin Filho, Duarte & Faria (2016), a utilização de práticas gerenciais que objetivem a sintonia entre a sustentabilidade e a construção civil baseia-se em um essencial paradigma a ser discutido pelo meio técnico, uma vez que propicia a limitação da utilização de recursos ambientais como matéria-prima, reduz a deposição de resíduos e contribui para a solidificação de uma boa imagem das empresas envolvidas junto ao mercado consumidor.

O Brasil, no decorrer dos últimos anos, tem passado por um grande desenvolvimento no ramo da construção civil. Com esse desenvolvimento, o consumo de recursos não renováveis de origem mineral, entre eles a argila e o concreto, tem expandido significativamente, bem como a produção dos resíduos de construção e demolição (RCD) (Perpétuo, Lima & Alvarado, 2015).

De acordo com Silva & Fernandes (2012), os resíduos da construção representam uma parcela expressiva dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) podendo chegar a 60% dos resíduos gerados pelas cidades, enquanto que, para Pinto (2003 apud BRASILEIRO 2013) varia de 41 a 70%. A produção de resíduos da construção e demolição, no Brasil, é superior a 70 milhões de toneladas por ano (Contreras *et al.*, 2016).

Os assuntos relacionados à sustentabilidade têm sido o pedestal para o desenvolvimento de muitas pesquisas científicas, em que a preocupação com a falta de recursos naturais estimulou pesquisas sobre técnicas de materiais e construção (Eko *et al.*,

2012; Ashour, Korjenic & Korjenic, 2015; Araújo *et al.*, 2016). As ideias de sustentabilidade são de relevante preocupação atualmente, devido ao uso de ampla quantidade de recursos naturais para a produção de materiais relacionados à construção civil, como o concreto. O esgotamento dos recursos naturais é uma dessas questões de sustentabilidade que é preciso abordar de forma eficiente (Siqueira & Holanda, 2013). A tendência atual na indústria da construção é usar a fonte alternativa de materiais de construção que pode substituir o uso de matérias-primas virgens, a fim de reduzir o impacto ambiental em termos de consumo de energia, poluição, eliminação de resíduos e aquecimento global. Com isso, a reciclagem e reutilização destes resíduos podem reduzir o uso de recursos naturais (Behera, Minocha & Deoliya, 2014).

Em muitas áreas do mundo, já existe uma escassez de material de fonte natural para a produção de tijolos convencionais (Zhang, 2013). Nessa perspectiva, o uso de tijolos de solo-cimento, segundo Motta *et al.* (2014) produz uma menor quantidade de resíduos e a matéria-prima para a fabricação desse tipo de tijolo é abundante, pois utiliza apenas solo, cimento e água. O tijolo solo-cimento, ou tijolo ecológico, pode ser montado através de encaixe, colocando-se um sobre o outro, simplificando o assentamento e o tempo de execução e diminuindo a quantidade de argamassa ou cola empregada.

Para Góis (2012), os tijolos ecológicos apresentam inúmeras vantagens em relação aos tijolos cerâmicos, entre elas, maior conforto térmico e acústico, redução dos desperdícios e geração de menor quantidade de entulho. Em relação ao fator econômico, os tijolos de solo-cimento apresentam um menor custo de produção com alvenaria e transporte, uma vez que podem ser produzidos no próprio canteiro de obras (Segantini & Wada, 2011).

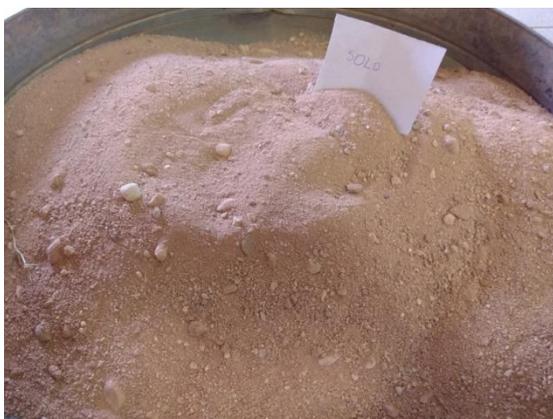
Com base no exposto, esta pesquisa objetiva incorporar RCD, em diferentes proporções, na fabricação de tijolos de solo-cimento.

2.2 PARTE EXPERIMENTAL

2.2.1 Materiais

O solo utilizado neste trabalho (Figura 2.1) foi extraído de jazida situada no bairro Monte Verde, na cidade de Teresina-PI. Após ser coletado, o solo foi encaminhado para o laboratório de solos do 2º Batalhão de Engenharia de Construção, onde foi disposto para secar em ambiente coberto, protegido da ação do intemperismo.

Figura 2.1 – Amostra do solo coletado para pesquisa.



Fonte: Autor (2016).

De acordo com a NBR 10833:2012, o solo deve atender as seguintes características, para serem destinados à fabricação dos tijolos de solo-cimento:

- *Percentual de material que passa na peneira com abertura de malha de 4,8 mm (ABNT N° 4) – 100%*
- *Percentual de material que passa na peneira com abertura de malha de 0,075 mm (ABNT N° 200) – 10 a 50%;*
- *Limite de Liquidez – menor ou igual a 45%;*
- *Limite de Plasticidade – menor ou igual a 18%.*

O RCD empregado foi gerado em diversas obras da cidade de Teresina-PI. A princípio, houve a escolha do material a ser reciclado, a partir de inspeção visual dos resíduos que se encontravam em caçamba estacionária de remoção de entulho. Na caçamba continha, em sua maioria, resíduos Classe A (classificação de acordo com Resolução nº 307/2002 CONAMA), restos de tijolos, argamassas, cerâmicas, concreto, e etc., em volume por volta de 4,00 m³, conforme capacidade da caçamba (Figura 2.2a). Devido a cidade de Teresina não possuir usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição, o material reciclado foi britado em um britador de mandíbulas (Figura 2.3) de propriedade particular. Na Figura 2.2b, segue uma amostra de RCD coletado para os estudos, após ser triturado e peneirado.

Figura 2.2 – a) Caçamba contendo resíduos Classe A; b) Amostra de RCD.



Fonte: Autor (2016).

Figura 2.3 – Britador de mandíbulas.



Fonte: Autor (2016).

O cimento aplicado na produção dos tijolos foi adquirido no comércio local da cidade de Teresina-PI. Por ser o utilizado nas construções locais e por indicar propriedades adequadas à fabricação do tijolo solo-cimento, foi empregado o cimento Portland do tipo CP IV-32-RS, da marca Apodi.

2.2.2 Composições aplicadas na pesquisa

Por recomendações de Sherwood (1993), o valor mínimo de aglomerante para estabilização química dos solos deve ser de 4%. Na literatura mais recente, Góis (2012) utiliza o mínimo de 6%. Porém, em sua pesquisa, o tijolo que apresentou melhores resultados utilizou 10% de cimento. Para esta pesquisa, optou-se em adotar os percentuais de cimento de 8%, 10% e 12% em relação à massa total. As composições de solo e RCD foram confeccionadas em proporções de 25% e 50% de RCD em substituição à massa de solo. A nomenclatura das misturas de solo (S), cimento (C) e RCD (R) empregadas na moldagem dos tijolos de solo-cimento, encontra-se na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Nomenclatura das composições solo-cimento e RCD.

Nomenclatura	Determinação das misturas
S	Solo
S8C	Solo + 8% Cimento
S10C	Solo + 10% Cimento
S12C	Solo + 12% Cimento
S25R8C	Solo + 25% RCD + 8% Cimento
S25R10C	Solo + 25% RCD + 10% Cimento
S25R12C	Solo + 25% RCD + 12% Cimento
S50R8C	Solo + 50% RCD + 8% Cimento
S50R10C	Solo + 50% RCD + 10% Cimento
S50R12C	Solo + 50% RCD + 12% Cimento

Fonte: Autor (2016).

2.2.3 Produção dos tijolos

Os tijolos de solo-cimento e solo-RCD-cimento foram produzidos na Associação de Moradores do Bairro Poti Velho, localizada na Avenida Boa Esperança nº 4267, Teresina-PI. Para a fabricação, utilizou-se os requisitos da NBR 8491:2012 e as recomendações da ABCP (1986). Para os tijolos produzidos pela Associação, para fins comerciais, adota-se o percentual de 8% de cimento em relação ao solo e foram utilizados como comparativo às composições determinadas pela pesquisa.

Figura 2.4 – Produção de tijolo solo-cimento.



Fonte: Autor (2016).

As misturas dos materiais foram realizadas manualmente com o auxílio de uma pá, e os tijolos foram produzidos em uma prensa hidráulica semiautomática, obtendo-se tijolos com altura de 8,0 cm, largura de 12,5 cm e comprimento de 25,0 cm, conforme Figura 2.4. Os tijolos foram armazenados em ambiente fechado e protegido de vento e umidade e passaram por um processo de cura mínima de 07 (sete) dias, sendo regados com água, durante todos os dias de cura. Para cada mistura determinada, foram fabricados 10 (dez) tijolos, sendo 07 (sete) para o ensaio de resistência à compressão simples e 03 (três) para o ensaio de absorção de água.

2.2.4 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados neste trabalho foram caracterizados por análise granulométrica, ensaio de textura do solo, ensaio de compactação, limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP), análise mineralógica por difração de raios X (DRX) e análise química por fluorescência de raios X (FRX).

2.2.4.1 Análise granulométrica

Uma parte do solo e do RCD foi separada para a análise granulométrica. A distribuição do tamanho relativo dos grãos que formam a fase sólida dos solos é chamada de granulometria. Nesta avaliação foi utilizado o método de ensaio da NBR 7181:2016, realizada no Laboratório de Solos do 2º BEC.

2.2.4.2 Ensaio de textura

Uma amostra de solo foi coletada para a realização do ensaio de textura do solo, executado no Centro de Análises de Solos do *campus* da UFPI Professora Cinobelina Elvas, em Bom Jesus.

2.2.4.3 Ensaio de compactação

Ao encerrar a secagem natural, o solo passou pelo processo de desagregação manual dos torrões sendo, logo em seguida, passado pela peneira de malha 4,8 mm (Nº 4) e reservado em recipientes de plástico com capacidade para 60 litros. Em seguida, no Laboratório de

Solos do 2º BEC, as amostras de solo foram preparadas para o ensaio de compactação e caracterização, conforme NBR 6457:2016. Os ensaios de compactação do solo foram realizados de acordo com a NBR 7182:2016 e da mistura de solo-cimento de acordo com a NBR 12023:2012 onde foram obtidos o teor de umidade ótima (H_{ot}) e a massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{s_{max}}$).

2.2.4.4 Limite de liquidez e limite de plasticidade

Em relação aos índices básicos que representam a plasticidade, os dois ensaios que caracterizam o solo quanto a esse critério, são chamados de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP). O índice de plasticidade (IP) do solo é estabelecido conforme equação:

$$IP = LL - LP$$

A Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2000) determina, para solo-cimento, que o limite de liquidez seja menor ou igual a 45% e que o limite de plasticidade seja menor ou igual a 18%. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Solos do 2º BEC, de acordo com as NBR 6459:2016, NBR 7180:2016 e seguindo os parâmetros da NBR 10833:2012.

2.2.4.5 Análise mineralógica por difração de raios x

As amostras das composições de solo, RCD e solo-RCD (25% e 50% de RCD) foram levadas ao Laboratório Multidisciplinar de Materiais Avançados (LIMAV), na UFPI e submetidas a ensaios de difração de raios x. A análise DRX foi realizada pelo método do pó, utilizando um difratômetro da marca Shimadzu, modelo XRD 6000, operando com tubo de

cobre (Cu $K\alpha_1 = 015406$ nm), realizando medidas no intervalo 2 entre 5 a 75° (graus), com passe de 0,02° min⁻¹.

2.2.4.6 Análise química por fluorescência de raios x

O solo, o RCD e a mistura solo-RCD (25% e 50% de RCD) foram encaminhados ao Laboratório de Materiais (LABMAT), no IFPI e submetidos a ensaios de espectroscopia de fluorescência de raios x (FRX), preparadas como pó solto. Aproximadamente 1,0 (um) grama do material foi empacotado num copo de polietileno de 20 mm de diâmetro interno e coberto com película de polipropileno de 6 µm de espessura (Mylar®). Utilizou-se o espectrômetro de fluorescência de raios X de Epsilon 3x (PANalytical, Brasil) para analisar a amostra (Hap), utilizando filtro de Si no ranger de sódio (Na) para amerício (Am) e tubo de raios X operado sob 15 a 50 Kv e 1 mA.

2.2.5 Caracterização dos tijolos

Os tijolos fabricados foram submetidos a ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples (RCS).

2.2.5.1 Ensaio de absorção de água

Para a determinação da absorção da água dos tijolos obedeceu-se a NBR 8492:2012. Para a realização do ensaio foi utilizada a estufa de secagem da marca De Leo equipamentos laboratoriais, com controle de temperatura de 50 °C a 250 °C. Utilizou-se o Laboratório de

Materiais do Instituto Camilo Filho. Conforme a norma, os valores individuais de absorção de água são expressos em porcentagem e obtidos por meio da expressão seguinte:

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

Em que:

A = absorção de água, expressa em porcentagem (%);

M1 = massa do corpo de prova seco em estufa, expressa em gramas (g);

M2 = massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

Após a cura de 07 (sete) dias, três tijolos de cada composição foram colocados em estufa para secar, entre 105 °C a 110 °C, até atingir a constância da massa, obtendo-se o tijolo seco, M1, em gramas (g). Após atingirem a temperatura ambiente, os tijolos foram imersos em um tanque com água por 24 horas. Ao serem retirados da água, foram enxutos superficialmente com um pano levemente umedecido e, antes de encerrar 3 minutos, pesados, para obter a massa do tijolo saturado, M2, em gramas (g).

2.2.5.2 Ensaio de resistência à compressão simples

Os ensaios de resistência à compressão simples, dos tijolos, foram realizados no Laboratório de Metrologia e Ensaio Mecânicos da UFPI, por meio da máquina universal Emic DL20000, com capacidade de 20.000 kgf, aos 14, 28 e 56 dias, respeitando as regras da NBR 8492:2012.

Conforme essa norma, sete tijolos de cada mistura foram utilizados para os ensaios, sendo, cada um, partido ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão. Criou-se uma

pasta de cimento Portland que foi colocada em repouso por aproximadamente 30 minutos, para que ocorresse a expansão. Em seguida, as superfícies cortadas dos tijolos foram superpostas por suas faces maiores de forma invertida e ligadas por uma fina camada da pasta de cimento, com 3 mm de espessura e aguardou-se o endurecimento da pasta por 12 horas. Para que ocorresse preciso contato entre as superfícies de trabalho, as faces dos corpos de prova precisavam estar planas e paralelas, então foi necessário fazer uma regularização das faces, através de capeamento de espessura de 3 mm, com a pasta de cimento Portland, retirando as rebarbas existentes. Após o endurecimento, os corpos de prova moldados foram imersos em água por 6 horas, o mínimo recomendado pela norma. Por fim, foram retirados da água e colocados na máquina de ensaio à compressão, com aplicação de carga uniforme e à razão de 500 N/s (50 kgf/s).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

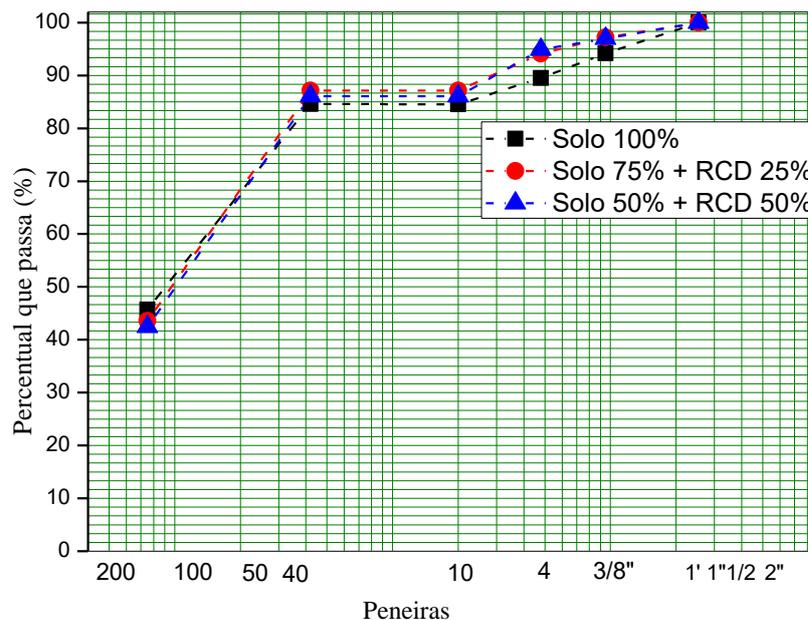
2.3.1 Caracterização dos materiais

2.3.1.1 Análise granulométrica

A granulometria é a distribuição percentual, dos variados tamanhos de grãos, sendo estabelecida através de peneiras com determinada abertura, constituindo uma série padrão. Após secagem e destorroamento, o solo foi submetido ao ensaio de análise granulométrica, de acordo com a NBR 7181:2016, manipulando o seguinte conjunto de peneiras: 50,8; 38,1; 25,4; 19,1; 12,7; 9,5; 4,8; 2,0; 0,42 e 0,075 mm. As composições de solo-RCD fabricadas em proporções de 25% e 50% de RCD em substituição à massa de solo, também foram analisadas. Para cada ensaio, utilizou-se amostras de 1,5 Kg. O gráfico com as curvas granulométricas obtidas pelo ensaio, encontra-se na Figura 2.5.

A NBR 10833:2012 que trata do procedimento para fabricação do tijolo de solo-cimento especifica que o percentual de solo passante na peneira nº 4 deve ser de 100% e na peneira nº 200 entre 10% e 50%. Conforme disposto na Figura 2.5, o material que passa na peneira nº 4 corresponde a 89,5% do solo. Isso ocorre devido ao material ter uma pequena quantidade de pedras que ficaram retidas. As misturas de solo-RCD com 75% de solo e solo-RCD com 50% de solo, apresentaram percentuais que passaram na peneira nº 4 próximos a 100%. Todos os materiais que passaram pela peneira nº 200 estiveram dentro do limite entre 10% e 50%.

Figura 2.5 – Curvas granulométricas do solo e solo-RCD.



Fonte: Autor (2016).

2.3.1.2 Ensaio de textura do solo

A textura do solo retrata a distribuição quantitativa das partículas primárias do solo em relação ao tamanho e determina que uma grande estabilidade leve à descrição, identificação e classificação do solo (Medina, 1975).

Segundo Silva (2017) e Prado (2017), no Sistema Internacional – ISSS (escala de Atterberg) e Sistema Norte-Americano – USDA, o diâmetro das partículas corresponde a:

- *Argila*: menor que 0,002 mm;
- *Silte*: de 0,002 a 0,02 mm (ISSS), de 0,002 a 0,05mm (USDA);
- *Areia*: de 0,02 a 2 mm (ISSS), de 0,05 a 2mm (USDA).

De acordo com Motta *et al.* (2014) e Fraga *et al.* (2016), para a fabricação de tijolos de solo-cimento é desejável que o solo contenha:

- *Argila*: de 10% a 20%;
- *Silte*: de 10% a 20%;
- *Areia*: de 50% a 70%.

O solo foi identificado com 22% de argila, 4,6% de silte e 73,4% de areia. Com base nos resultados da Tabela 2.2, o solo foi classificado de acordo com o diagrama textural adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Medina, 1975) na classe textural como franco-arenoso.

Tabela 2.2 – Ensaio de textura do solo.

Identificação da amostra	Argila	Silte	Areia
Solo	22%	4,6%	73,4%

Fonte: Autor (2017).

Os resultados indicaram um solo semelhante ao utilizado pela literatura e próximo aos resultados determinados por Motta *et al.* (2014) e Fraga *et al.* (2016). Ferrari *et al.* (2014) apresentou um solo considerado arenoso, com 78% de areia e 19% de argila e 3% de silte. O solo arenoso de da Silva Milani & Barboza (2016) indicou composição granulométrica de 77% de areia e 23% de finos (argila + silte).

Na construção civil, a utilização do solo pode ser tanto da maneira natural, como ele é encontrado, quanto posteriormente à correção de algumas características e propriedades, por meio da correção granulométrica ou pela adição de compostos químicos (Ferraz *et al.*, 2000 apud Lima, 2006). Dos Reis, Negreiros & Canetomi (2016) empregam, para correção granulométrica, resíduos da construção e demolição triturados que vão garantir melhores propriedades ao material.

2.3.1.3 Compactação

Segundo Kormann (1996) o ensaio de compactação tem essencialmente como objetivo determinar a umidade ótima do solo, para uma dada energia de compactação e determinar a massa específica aparente máxima associada a umidade ótima. É uma técnica de estabilização de solos realizada por emprego de energia, seja por vibração ou por impacto. A consequência dessa energia atribui ao solo um acréscimo de seu peso específico e resistência ao cisalhamento, e uma redução do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade.

Os resultados da umidade ótima e da massa específica aparente seca máxima das composições de solo, solo-cimento e solo-RCD-cimento moldadas, estabelecidas pelos ensaios de compactação, encontram-se dispostas na Tabela 2.3 e o gráfico dos resultados na Figura 2.6.

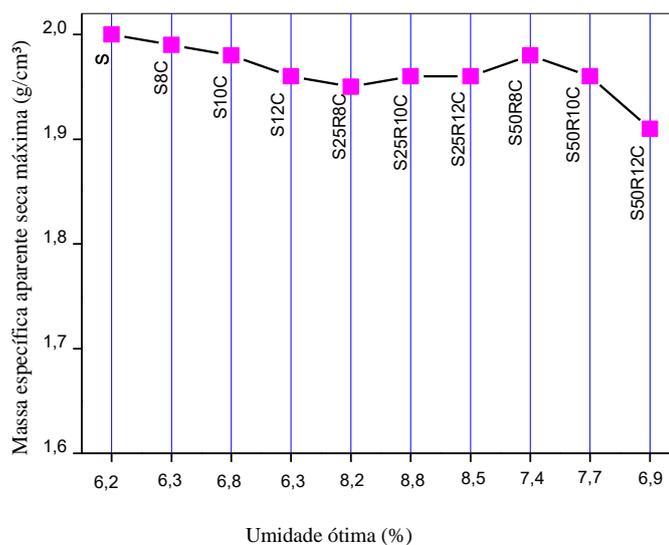
Em comparação à composição de compactação apenas de solo, os demais apresentaram maior umidade ótima e menor massa específica aparente seca máxima pois, conforme Ay & Ünal (2000), o resíduo cerâmico, proveniente das olarias e da construção civil, pode ser utilizado como estabilizante do solo.

Tabela 2.3 – Umidade ótima e massa específica aparente seca máxima.

Composições	H _{ot} (%)	γ _s máx (g/cm ³)
S	6,2	2,00
S8C	6,3	1,99
S10C	6,8	1,98
S12C	6,3	1,96
S25R8C	8,2	1,95
S25R10C	8,8	1,96
S25R12C	8,5	1,96
S50R8C	7,4	1,98
S50R10C	7,7	1,96
S50R12C	6,9	1,91

Fonte: Autor (2016).

Figura 2.6 – Gráfico de compactação das composições.



Fonte: Autor (2016).

De acordo com Souza, Segantini & Pereira (2008), a adição de cimento ao solo, pela maior quantidade de finos, normalmente tende a aumentar o valor da umidade ótima. Apesar disso, os resultados foram não lineares entre as composições que utilizaram 12% de cimento, apresentando valores menores do que as composições com 10% de cimento.

2.3.1.4 Limite de liquidez e limite de plasticidade

Ao realizar-se o ensaio de limite de liquidez, seguindo os preceitos da NBR 6459:2016, o fechamento da ranhura ocorreu com apenas 8 golpes, logo, a amostra não apresentou limite de liquidez (NL – Não Líquido). A norma especifica que é preciso ocorrer o fechamento da ranhura com mais de 25 golpes.

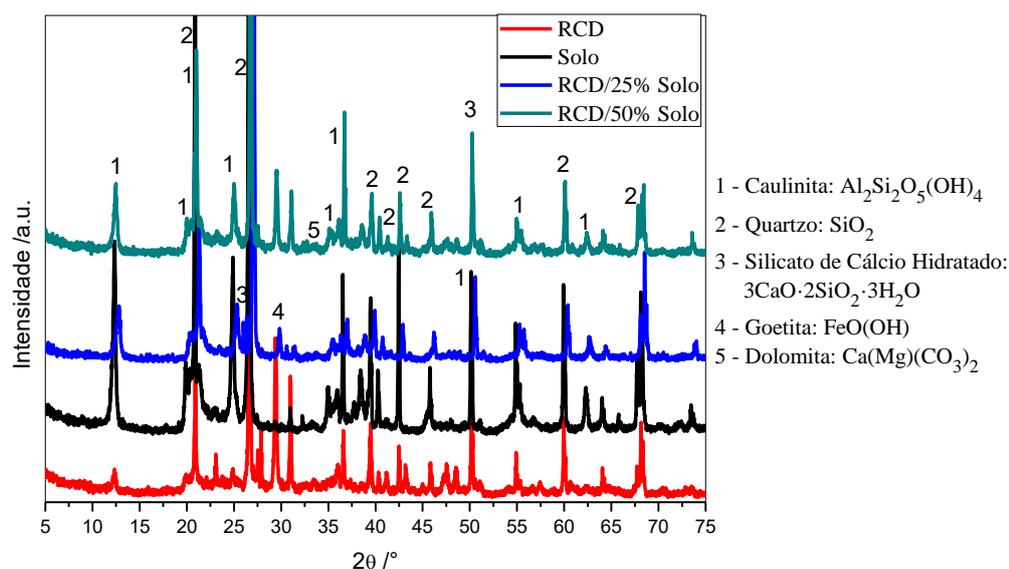
Em relação ao limite de plasticidade, a NBR 7180:2016 determina que se obtenha um cilindro com 3 mm de diâmetro, porém, a amostra de solo não permitiu a formação desse cilindro. Considera-se, então, que a amostra não apresentou limite de plasticidade (NP – Não Plástico).

Com base nos resultados, em que não foi possível determinar os limites de liquidez e plasticidade, chamados de NL e NP, obteve-se que o índice de plasticidade (IP), foi considerado não plástico (NP). O fato do solo não apresentar características plásticas é corroborado pelo resultado do ensaio de textura, que apresentou menor quantidade de silte e maior quantidade de areia, conforme ocorreu com o solo utilizado por Ferrari *et al.* (2014), Castro *et al.* (2016), da Silva Milani & Barboza (2016) e Faria, Battistelle & Neves (2016).

2.3.1.5 Análise mineralógica e química dos materiais

O solo, o RCD e as misturas de solo-RCD utilizados no trabalho foram submetidos a ensaios de difração de raios x e fluorescência de raios x. Os resultados encontra-se nas Figuras 2.7 e 2.8.

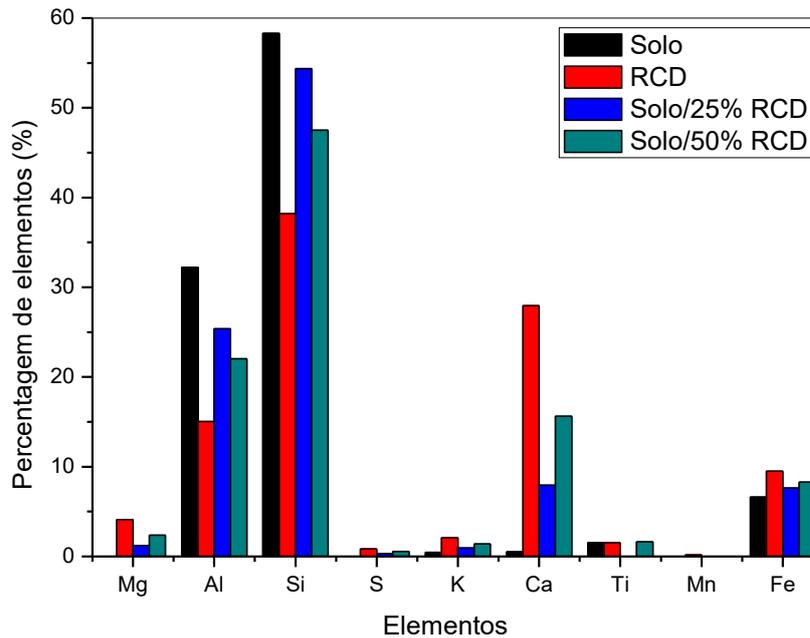
Figura 2.7 – Difração de raios x do solo, RCD e solo-RCD.



Fonte: Autor (2016).

Conforme a Figura 2.7, é possível observar que o solo é composto de caulinita ($2\theta \cong 12,5^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 36^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 62^\circ$) e quartzo ($2\theta \cong 21^\circ, 26^\circ, 38^\circ, 41^\circ, 42,5^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 67,5^\circ$), enquanto o RCD é composto majoritariamente por caulinita ($2\theta \cong 12,5^\circ, 21^\circ$), quartzo ($2\theta \cong 21^\circ, 26^\circ$ e 60°), silicato de cálcio hidratado ($2\theta \cong 26^\circ, 50^\circ$), goetita ($2\theta \cong 29^\circ$) e uma pequena intensidade de dolomita. As misturas de solo-RCD têm a presença de caulinita, quartzo, silicato de cálcio hidratado, goetita e dolomita ($2\theta \cong 33^\circ$), corroborado pela análise de elementos feita por FRX (Figura 2.8).

Figura 2.8 – Fluorescência de raios x do solo, RCD e solo-RCD.



Fonte: Autor (2016).

Analisando os resultados obtidos na Figura 2.8, verifica-se que o solo apresenta elevados teores de silício (58,30%) e alumínio (32,21%), o que indica uma forte presença dos minerais quartzo e caulinita.

No RCD, tem a maior presença de silício (38,23%), cálcio (27,93%), alumínio (15,04%), ferro (9,50%) e magnésio (4,09%), determinando a presença dos minerais calcita, quartzo, silicato de cálcio hidratado e goetita.

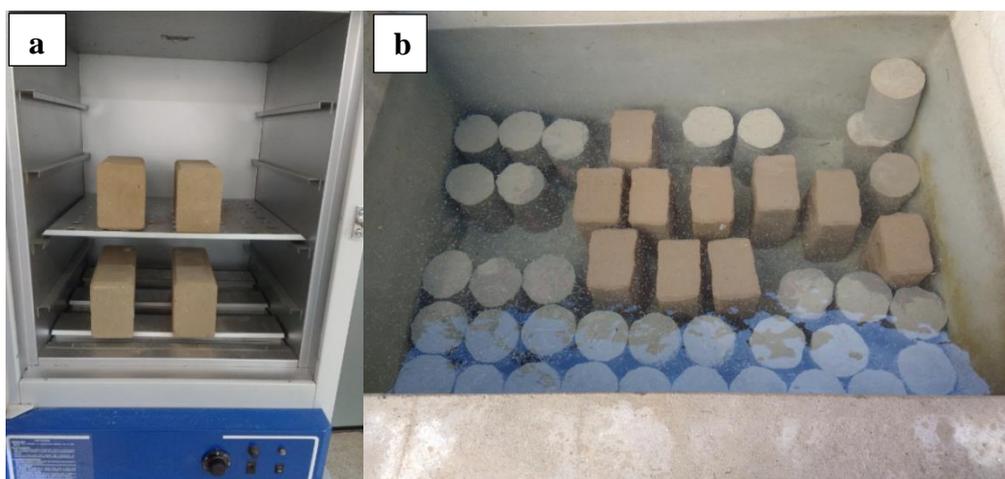
A mistura de solo e 25% de RCD contém silício (54,35%), alumínio (25,38%), cálcio (7,92%), ferro (7,61%) e magnésio (1,22%), enquanto a mistura de solo e 50% de RCD contém silício (47,54%), alumínio (22,02%), cálcio (15,61%), ferro (8,28%) e magnésio (2,35%).

2.3.2 Caracterização dos tijolos

2.3.2.1 Absorção de água dos tijolos

A realização dos ensaios de absorção de água nos tijolos fabricados ocorreu de acordo com a NBR 8492:2012 e é demonstrado na Figura 2.9 (a e b). Os resultados alcançados pelas composições estão relatados na Tabela 2.4 e na Figura 2.10.

Figura 2.9 – a) Secagem dos tijolos em estufa; b) Tijolos imersos em tanque com água.



Fonte: Autor (2016).

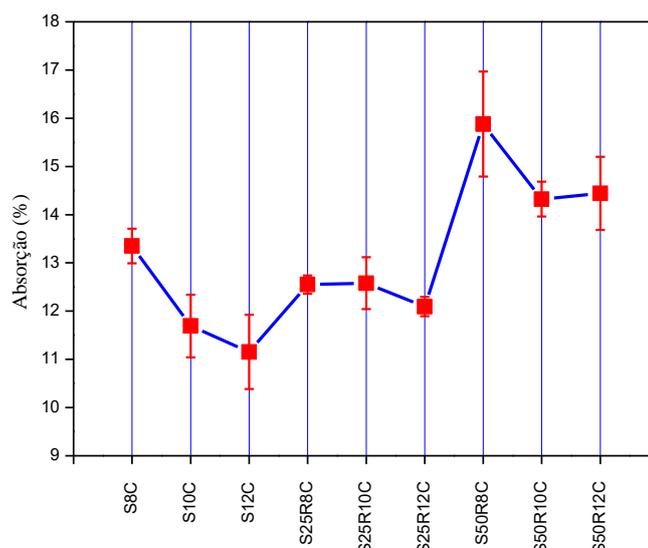
Durante a moldagem dos tijolos, não é aplicada tanta energia quanto na compactação, provocando um aumento na porosidade das misturas solo-cimento usadas na confecção dos tijolos e aumento no teor de absorção de água dos mesmos. Como previsto pela norma, todos os tijolos ensaiados foram aprovados, pois os resultados indicaram índices individuais abaixo do valor máximo permitido de 22%, bem como índices médios abaixo de 20%.

Tabela 2.4 – Absorção de água dos tijolos.

Composições	Absorção (%)
S8C	13,35 ± 0,36
S10C	11,69 ± 0,65
S12C	11,15 ± 0,77
S25R8C	12,55 ± 0,19
S25R10C	12,58 ± 0,54
S25R12C	12,09 ± 0,20
S50R8C	15,88 ± 1,09
S50R10C	14,32 ± 0,36
S50R12C	14,44 ± 0,76

Fonte: Autor (2017).

Figura 2.10 – Absorção de água de tijolos



Fonte: Autor (2017).

Teoricamente, ao aumentar o teor de cimento, como os grãos são mais finos, diminuem os poros vazios e diminui a absorção. Nos tijolos das composições S8C, S10C e S12C a absorção reduziu com o aumento do teor de cimento, fato semelhante ocorreu nas composições com 25% e 50% de RCD. Os tijolos com RCD, S25R8C e S25R10C têm praticamente o mesmo valor de absorção. Em S50R12C, a absorção é um pouco maior do que S50R10C.

2.3.2.2 Resistência à compressão simples dos tijolos

Os ensaios para determinação da resistência à compressão simples dos tijolos solo-cimento e solo-RCD-cimento foram executados de acordo com a NBR 8492:2012, aos 14, 28 e 56 dias. Os resultados alcançados estão dispostos na Tabela 2.5 e na Figuras 2.11.

Tabela 2.5 – Resistência dos tijolos.

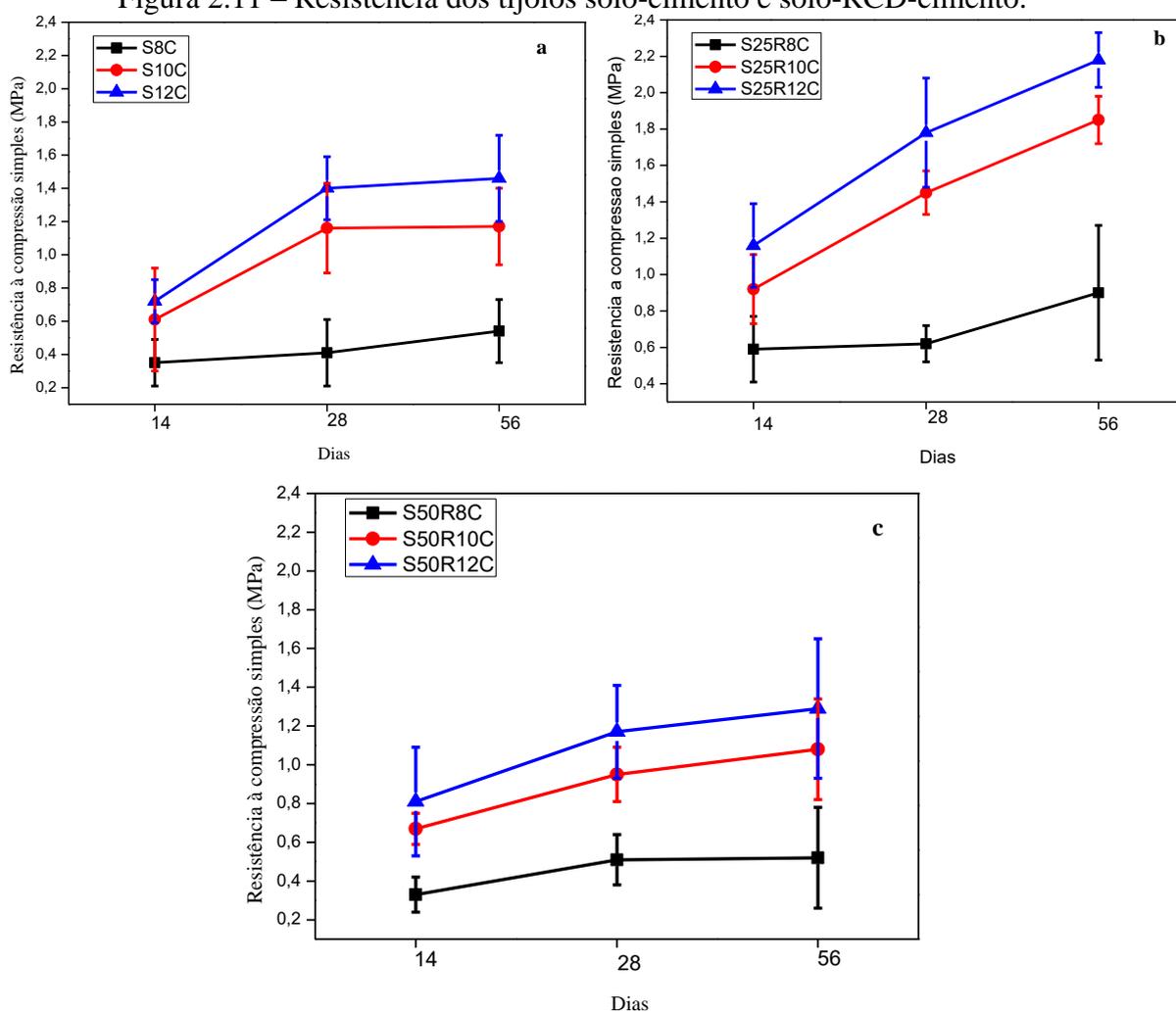
Composições	Resistência à compressão simples (MPa)		
	14 dias	28 dias	56 dias
S8C	0,35 ± 0,14	0,61 ± 0,31	0,72 ± 0,13
S10C	0,41 ± 0,20	1,16 ± 0,27	1,40 ± 0,19
S12C	0,54 ± 0,19	1,17 ± 0,23	1,46 ± 0,26
S25R8C	0,59 ± 0,18	0,92 ± 0,19	1,16 ± 0,23
S25R10C	0,62 ± 0,10	1,45 ± 0,12	1,78 ± 0,30
S25R12C	0,90 ± 0,37	1,85 ± 0,13	2,18 ± 0,15
S50R8C	0,33 ± 0,09	0,67 ± 0,08	0,81 ± 0,28
S50R10C	0,51 ± 0,13	0,95 ± 0,14	1,17 ± 0,24
S50R12C	0,52 ± 0,26	1,08 ± 0,26	1,29 ± 0,36

Fonte: Autor (2017).

Conforme apresentado na Tabela 2.5, observa-se que ao aumentar o teor de cimento, as resistências aumentaram, para cada percentual de RCD (0%, 25% e 50%). As composições que utilizaram 25% de RCD apontaram os melhores resultados, até em relação às composições que utilizaram apenas solo e cimento. Os resultados obtidos nos ensaios aos 14 e 28 dias não alcançaram a resistência média determinada pela Norma 8491:2012, que é de 2,0

MPa aos 07 dias. A composição S25R12C foi a que atingiu a melhor média de resistência aos 28 dias, de 1,85 Mpa (Figura 2.11b), porém, apenas aos 56 dias, essa composição atendeu integralmente aos parâmetros estabelecidos pela norma, com resistências na média de 2,18 Mpa (Figura 2.11b). Esse valor está de acordo com os resultados de Góis (2012), nos quais os tijolos atingiram resistência especificada pela norma apenas aos 56 dias.

Figura 2.11 – Resistência dos tijolos solo-cimento e solo-RCD-cimento.

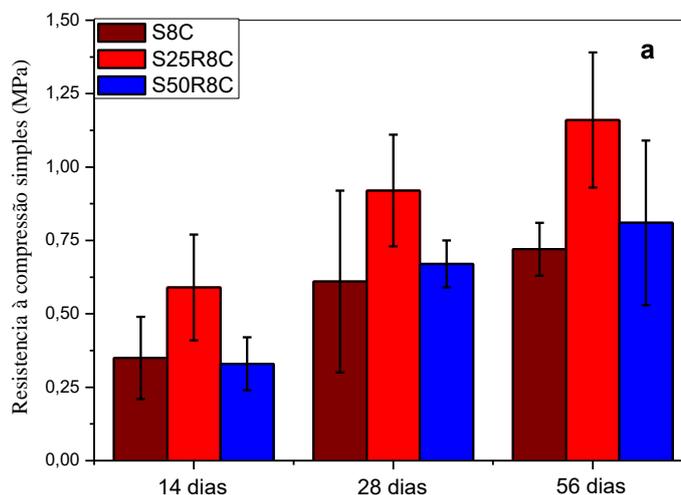


Fonte: Autor (2017).

Para que ocorra elevação da resistência à compressão dos tijolos aos níveis exigidos pela norma, faz-se necessário ter um maior período de tempo para que ocorra a reação pozolânica, o que foi demonstrado pelos dados obtidos aos 56 dias, ou se aumentar o teor de cimento em relação à quantidade de solo, pois com 12% de cimento não se alcança a resistência necessária com 14 dias (Figura 2.11).

Os gráficos da resistência à compressão dos tijolos que utilizaram 8% de cimento estão na Figura 2.12a. Aos 14 dias, S8C atingiu resistência média de 0,35 MPa, enquanto S50R8C chegou a 0,33 MPa. Aos 28 dias, S8C chegou a 0,61 Mpa e S50R8C a 0,67 MPa e aos 56 dias S8C obteve 0,72 MPa e S50R8C 0,81 MPa, demonstrando que a substituição de solo por RCD alcança resistência aproximada ou até melhor que a amostra de solo-cimento. Todos os ensaios da composição com 25% de RCD apresentaram resultados mais satisfatórios que as demais.

Figura 2.12a – Comparativo das resistências com o mesmo percentual de cimento.

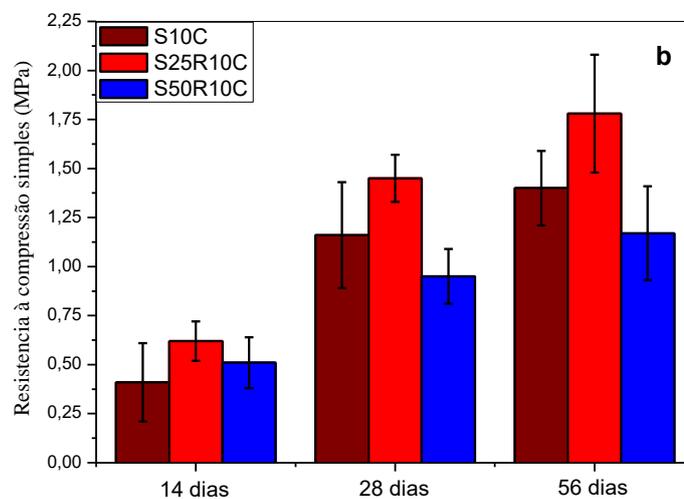


Fonte: Autor (2017).

Na Figura 2.12b estão os resultados das resistências que utilizaram 10% de cimento na composição dos tijolos. Aos 14 dias, S10C adquiriu resistência média de 0,41 MPa, S25R10C

0,62 Mpa e S50R10C 0,51MPa. Nos resultados aos 28 dias, S10C atingiu 1,16 MPa, S25R10C 1,45 MPa, S50R10C 0,95 MPa e aos 56 dias, S10C chegou a 1,40 MPa, S25R10C a 1,78 MPa e S50R10C 1,17MPa, comprovando que todos os ensaios da mistura com 25% de RCD e apenas o ensaio aos 14 dias da mistura com 50% de RCD alcançaram resultados melhores do que as de solo-cimento.

Figura 2.12b – Comparativo das resistências com o mesmo percentual de cimento.



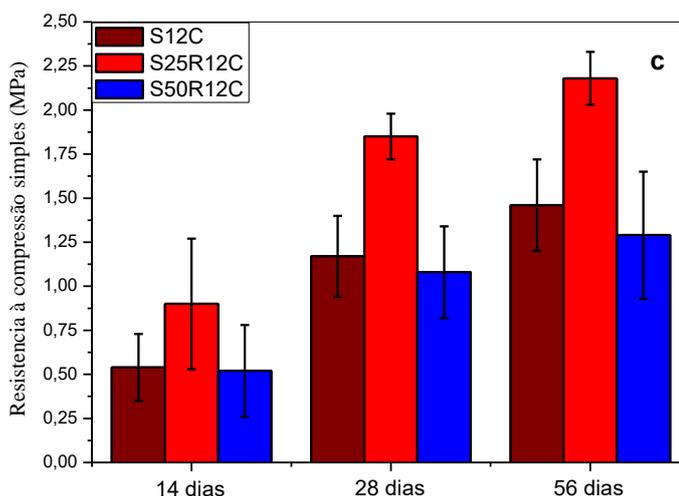
Fonte: Autor (2017).

As composições que utilizaram 12% de cimento (Figura 2.12c) obtiveram comparações de resultados semelhantes aos feitos na Figura 2.12b. S12C, aos 14 dias, chegou a resistência média de 0,54 MPa, enquanto S25R12C a 0,90 MPa e S50R12C a 0,52 MPa. Nos ensaios aos 28 dias, S12C alcançou 1,17 MPa, S25R12C a 1,85 MPa e S50R12C a 1,08 MPa. Por fim, aos 56 dias, S12C chegou a 1,46 MPa, S25R12C a 2,18 MPa e S50R12C a 1,29 MPa.

Conforme comparativo feito entre os mesmos percentuais de cimento (Figura 2.12), as resistências das composições que adotaram apenas solo-cimento foram bem aproximados das composições que utilizaram 50% de RCD e foram menores do que os resultados das

composições com 25% de RCD, comprovando que o resíduo pode substituir o solo nas misturas, proporcionando benefícios na resistência e na sustentabilidade do meio ambiente.

Figura 2.12c – Comparativo das resistências com o mesmo percentual de cimento.



Fonte: Autor (2017).

O RCD contém material proveniente de concreto, reboco, entre outros que possui cimento na composição que, ao longo do tempo, adquire maior reação pozolânica e melhora a resistência dos tijolos. O RCD reduz a quantidade de solo utilizada nos tijolos, além de possuir granulometria semelhante à do solo.

As misturas S8C, S10C e S12C são parâmetros de referência para comparar com os resultados das misturas que contêm RCD. A composição S8C é o mesmo percentual de mistura utilizado pela fábrica de tijolos de solo-cimento da Associação de Moradores do Bairro Poti Velho, na cidade de Teresina-PI. Pegou-se uma amostra de sete tijolos fabricados pela Associação que estavam com 56 dias e realizou-se o ensaio de resistência à compressão simples. O resultado médio foi de 0,73 MPa, enquanto a composição S8C da pesquisa que possui o mesmo traço utilizado pela fábrica da Associação atingiu 0,72 MPa. Ambos os

resultados não atingiram o mínimo normatizado. Essa baixa resistência dos tijolos de solo-cimento é corroborada pelo ensaio de FRX, que determinou alta presença de Silício nas amostras de solo (58,30%).

2.4 CONCLUSÃO

Com base nas informações obtidas a partir das caracterizações dos materiais e dos tijolos, pode-se concluir que a inclusão de RCD nas misturas das composições dos tijolos proporciona benefícios, tanto na redução do excessivo volume de material descartado em obra, quanto na melhora da resistência do material produzido e na questão ambiental de sustentabilidade.

O solo utilizado na pesquisa, apesar de existir em abundância no meio ambiente, faz-se necessário reduzir sua utilização na produção de materiais construtivos. Classificado como franco-arenoso, o solo necessita de correções granulométricas que podem ser realizadas com a utilização de resíduos da construção, dentre eles, o cerâmico. Com base nos resultados verificados nos ensaios de resistência, verificou-se que a substituição do solo por RCD traz bons resultados comparativos.

Todos os tijolos fabricados com 25% de RCD atingiram resultados de resistência à compressão simples mais satisfatórios do que os tijolos produzidos apenas com solo-cimento. Como a resistência aumenta ao longo do tempo, os valores obtidos nos ensaios aos 56 dias apresentaram as melhores médias de resultado, dentre eles, a composição S25R12C, alcançou as exigências das normas técnicas vigentes para uso em alvenaria sem fins estruturais, com resistência à compressão de 2,18 MPa.

Apesar das composições com 50% de RCD não atingirem a resistência determinada em norma, foi possível comprovar que seus resultados foram semelhantes às resistências das

misturas que possuem apenas solo e cimento. Aos 14 dias, as composições de solo-cimento com 8%, 10% e 12% de cimento obtiveram as resistências de 0,35 MPa, 0,41 MPa e 0,54 MPa respectivamente. Nessa mesma data de rompimento e com os mesmos percentuais de cimento, as composições de solo-RCD-cimento com 50% de RCD obtiveram as resistências de 0,33 MPa, 0,51 MPa e 0,52 MPa respectivamente.

Por fim, pela caracterização dos tijolos a partir dos ensaios de resistência realizados pode-se concluir que os tijolos de solo-RCD-cimento fabricados possuem maior qualidade que o tijolo fabricado pela Associação dos Moradores do Bairro Poti Velho, pois as resistências apresentaram maiores valores ao longo dos dias.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Boletim Técnico – Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. 3. ed. Rev. atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16 p. (Boletim Técnico 111).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Dosagem das misturas de solo-cimento; Normas de dosagem e métodos de ensaios. 3.ed. Revisada pelo Eng. Márcio Rocha Pitta. São Paulo, ABCP, 1986. 57p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: Tijolo de solo-cimento — Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 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. NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12023: Solo-cimento — Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2012. 7 p.

Araujo, F. P., Almeida, L. R., Silva Filho, E. C., Souza, J. S. N., Osajima, J. A. e Furtini, M. B. (2016). A Study of the Chemical and Physical Characteristics of the Soils from the South of Piauí for Soil-Cement Brick Production". *Materials Science Forum*, 869, 112-115.

Ashour, T., Korjenic, A., & Korjenic, S. (2015). Equilibrium moisture content of earth bricks biocomposites stabilized with cement and gypsum. *Cement and Concrete Composites*, 59, 18-25.

Ay, N.; Ünal, M. (2000). The use of waste ceramic tile in cement production. *Cement and Concrete Research*, v.30, 497-499.

Behera, M., Bhattacharyya, S. K., Minocha, A. K., Deoliya, R., and Maiti, S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete—A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. *Construction and building materials*, 68, 501-516.

Brasileiro, L. L. (2013). Utilização de Agregados Reciclados Provenientes de RCD em Substituição ao Agregado Natural do Concreto Asfáltico. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Piauí.

Castro, M. A. M., da Costa, F. G., Borba, S. C., Neto, E. F., & Rabelo, A. A. (2016). Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos. *Revista Matéria*, 21 (3), 666-676.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2002). Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 08 de junho de 2016.

Contreras, M., Teixeira, S. R., Lucas, M. C., Lima, L. C. N., Cardoso, D. S. L., da Silva, G. A. C., dos Santos, A. (2016). Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). *Construction and Building Materials*, 123, 594-600.

da Silva Milani, A. P., & Barboza, C. S. (2016). Contribuição ao estudo de propriedades do solo-cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas. *Ambiente Construído*, 16(4), 143-153.

dos Reis, G. D., Negreiros, N. F., & Canetomi, T. H. (2016). Uso de resíduos da construção civil na fabricação de tijolos solo-cimento. *Revista Científica ANAP Brasil*, 9(16), 45-56.

Ecomáquinas. Site. Disponível em: <<http://ecomaquinas.com.br/porque-tijolo-ecologico>>. Acesso em: 25 de junho de 2016.

Eko, R. M., Offa, E. D., Ngatcha, T. Y., & Minsili, L. S. (2012). Potential of salvaged steel fibers for reinforcement of unfired earth blocks. *Construction and Building Materials*, 35, 340-346.

Faria, O. B., Battistelle, R. A. G., & Neves, C. (2016). Influence of the addition of "synthetic termite saliva" in the compressive strength and water absorption of compacted soil-cement. *Ambiente Construído*, 16(3), 127-136.

Ferrari, V. J., Souza, A. H. C., Baltazar, H. P., Dotto, W., & Vieira Neto, J. G. (2014). Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná. *Ambiente Construído*, 14(3), 131-148.

Fraga, Y. S. B., Barbosa, A. Q., Santos, L. H. P., Mota, W. V., & Dortas, I. S. (2016). Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT*, 3(3), 11.

Góis, L. C. D. (2012). Estudo da incorporação da cal em composições binárias de solo-cimento para produção de tijolos maciços. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Kormann, A. C. M.. *Ensaio de Compactação e Caracterização*. Curitiba: UFPR, 1996. v. 1. 28p.

Lima, T. V. (2006). Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Magdaleno, A. C. R. M., & da Nóbrega, M. D. J. R. (2016). Metodologias para qualificação de obras civis sustentáveis. *Revista Augustus*, 20(40), 70-83.

Medina, H.P. (1975). Constituição física. In: MONIZ, A.C. (coord) *Elementos de Pedologia*. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos, 1-20.

Motta, J. C. S. S., Morais, P. W. P., Rocha, G. N., da Costa Tavares, J., Gonçalves, G. C., Chagas, M. A., Chagas, M. A., Mageste, J. L. e Lucas, T. D. P. B. (2014). Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. *E-xacta*, 7(1), 13-26.

Paschoalin Filho, J. A., de Lima Duarte, E. B., e de Faria, A. C. (2016). Geração e manejo dos resíduos de construção civil nas obras de edifício comercial na cidade de São Paulo. *Revista Espacios Vol. 37 (Nº 06)*.

Perpétuo, M. D. M. M. M., Lima, F. M. D. R. D. S., e Alvarado, L. M. T. (2015). Análise do impacto ambiental do gerenciamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) na demolição seletiva através de sistemas dinâmicos. *Jornada de Iniciação Científica*.

Prado, H. (2017). Textura do solo. Disponível em:

<<http://www.pedologiafacil.com.br/textura.php>>. Acesso em 14 de maio de 2017.

Segantini, A. A. S.; Wada, P. H. (2011). Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, 33 (2), 179-183.

Silva, A. P. (2017). Textura do solo. Disponível em:

<www.ccta.ufcg.edu.br/admin.files.action.php?action=download&id=1841>. Acesso em 14 de maio de 2017.

Silva, V. A.; Fernandes, A. L. T. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. *Sociedade e Natureza*, Uberlândia, ano 24, n. 2, p.333-344, 2012.

Siqueira, F. B., & Holanda, J. N. F. (2013). Reuse of grits waste for the production of soil-cement bricks. *Journal of environmental management*, 131, 1-6.

Sherwood, P.T. Soil stabilization with cement and lime: state of the art review. London: HMSO, 1993. 153p.

Souza, M. I., Segantini, A. A., e Pereira, J. A. (2008). Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 205-212.

Zhang, L. (2013). Production of bricks from waste materials—A review. *Construction and building materials*, 47, 643-655.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do artigo de revisão bibliográfica comprovou-se a necessidade da reutilização dos resíduos da construção e demolição, reduzindo o seu acúmulo em áreas regularizadas de aterro sanitário e em áreas clandestinas de bota-fora. Os maiores geradores de resíduos necessitam implementar um eficiente gerenciamento baseado nos princípios da redução, reciclagem e reutilização. É preciso que o mundo exerça atividades sociais e econômicas considerando a sustentabilidade.

Nos países desenvolvidos, os elevados índices relacionados a reciclagem e reutilização dos RCD na construção civil proporcionam pesquisas e estudos com o intuito de garantir a qualidade dos produtos e serviços que empregam matéria-prima reciclada, além de incentivar o mercado brasileiro e os governos para esta realidade. As atividades do setor da construção civil, no Brasil, necessitam conhecer com premência a destinação dos seus resíduos, para que possam investir em programas mais sustentáveis.

A pesquisa comprovou a viabilidade técnica da utilização parcial do RCD para a fabricação de tijolos de solo-cimento, bem como a inestimável viabilidade do ponto de vista ambiental.

PERSPECTIVAS FUTURAS

- Confeccionar e submeter artigo;
- Utilizar a mesma metodologia deste trabalho para novas composições de solo, RCD e cimento;
- Fabricar tijolos de solo-cimento utilizando outro tipo de material, além do RCD;
- Pelo fato de Teresina não possuir usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição, surge a necessidade de uma parceria entre as construtoras e as fábricas de tijolos de solo-cimento, de modo a destinar adequadamente os RCD das obras para britagem e que as construtoras fiquem responsáveis pelos custos dos serviços e transportes, como forma de beneficiar o meio ambiente.