



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL - CAMPUS DE POMBAL - PB**

LEVI VIEIRA DA NÓBREGA FILHO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO
COMPOSTO SOLO-CIMENTO-RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO
E DEMOLIÇÃO PARA USO COMO TIJOLOS DE
ALVENARIA**

Pombal– PB

2016

LEVI VIEIRA DA NÓBREGA FILHO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO COMPOSTO
SOLO-CIMENTO-RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
PARA USO COMO TIJOLOS DE ALVENARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado aos membros da comissão examinadora da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque
COORIENTADOR: Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias

Pombal– PB

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

N754e Nóbrega Filho, Levi Vieira da.
Estudo do comportamento mecânico do composto solo-cimento-resíduo da construção e demolição para uso como tijolos de alvenaria / Levi Vieira da Nóbrega Filho. – Pombal, 2016.
44 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2016.
"Orientação: Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque e Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias".
Referências.

1. Reciclagem. 2. Desenvolvimento Sustentável. 3. Resistência à Compressão. 4. Absorção de Água. I. Albuquerque, Walker Gomes de. II. Farias, Camilo Allyson Simões de. III. Título.

CDU 502.174.1(043)

LEVI VIEIRA DA NÓBREGA FILHO

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO COMPOSTO SOLO-CIMENTO-RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA USO COMO TIJOLOS DE ALVENARIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado aos membros da comissão examinadora da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: __/__/____

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque
Orientador – UACTA/CCTA/UFCG

Prof. Dr. Saul Barbosa Guedes
Examinador Interno – UACTA/CCTA/UFCG

Ma. Elisângela Maria da Silva
Examinador Externo

Pombal– PB

2016

AGRADECIMENTOS

À toda minha família, em especial minha mãe, Maria do Socorro de Medeiros Morais, por todo amor, determinação e luta na minha formação. Ao meu pai, Levi Vieira da Nóbrega, que sempre esteve torcendo por mim.

À minha tia, Iracema Vieira, pelo apoio e incentivo.

À minha namorada Tainah Braga Camurça, que dedicou seu tempo corrigindo, formatando e, principalmente, me incentivando durante boa parte do curso de Engenharia Ambiental e no cansativo processo que é o desenvolvimento de uma monografia.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque e ao meu coorientador, Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias, por todo o tempo que dedicaram a me ajudar durante o processo de realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Saul Barbosa Guedes, a Prof. Dra. Lêda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena e ao Laboratório de Engenharia em Pavimentos (LEP), que cedeu espaço e tempo para o desenvolvimento de uma parte dos resultados deste trabalho.

Ao Emanuel Farias, técnico do Laboratório de Resíduos Sólidos do CCTA-UFCG, pelo grande auxílio na confecção dos componentes estudados e na execução dos ensaios.

Aos examinadores, Professor Pós-D. Sc Saul Barbosa Guedes e a Prof. Ma. Elisângela Maria da Silva, por terem aceitado de tão boa vontade o convite para compor a banca examinadora, apesar do curto tempo que tiveram para ler esta monografia.

Aos colegas e amigos que fiz durante todo o curso, em especial Felipe Travassos, Elan Ramalho, Janailson Costa e Alan Jonhns que, sem que eu previsse ou esperasse por isso, se tornaram minha família em Pombal-PB.

E a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho e para a minha graduação em Engenharia Ambiental.

NÓBREGA FILHO, L. V. **Estudo do comportamento mecânico do composto solo-cimento-resíduo da construção e demolição para uso como tijolos de alvenaria.** 2016. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2016

RESUMO

A exploração dos recursos naturais de forma insustentável é uma das principais causas das alterações indesejáveis ao meio ambiente, associada ao crescimento populacional e ao processo de urbanização, gerando uma grande quantidade de resíduos, entre eles, os da construção civil. Esses resíduos são responsáveis por impactos ambientais negativos, comprometendo a qualidade do ambiente e a paisagem local. A escassez dos recursos naturais, os altos custos da extração de matéria prima e os problemas causados pela deposição inadequada dos resíduos são algumas das razões para o desenvolvimento de estudos sobre a reciclagem nos mais variados setores. Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento mecânico do composto solo-cimento-resíduo da construção e demolição para determinar a possibilidade de confecção de tijolos de solo-cimento usando RCD, sendo esta uma alternativa prática de reciclagem. O procedimento básico consistiu na confecção de corpos de prova e na obtenção de suas características físicas e mecânicas, destacando a absorção de água e a resistência à compressão simples. Os ensaios de comportamento dos corpos de prova foram realizados para diferentes proporções do RCD (20%, 40%, 60%, 90%) em substituição ao solo, com o tempo de cura definido para 7 e 14 dias. Os resultados obtidos para os corpos de prova produzidos atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pelas normas brasileiras, sendo a reciclagem do RCD na fabricação de tijolos de solo-cimento uma prática ecologicamente correta, dispensando o processo de queima dos tijolos tradicionais e contribuindo na redução do volume do material que seria possivelmente descartado de maneira inadequada.

Palavras-chave: Reciclagem. Desenvolvimento sustentável. Resistência à compressão. Absorção de água.

NÓBREGA FILHO, L. V. **Analysis of mechanical behaviour of construction and demolition soil-cement-residue compound for use as masonry bricks.** 2016. 44 p. Work of course conclusion (Graduation in Environmental Engineering) – Federal University of Campina Grande, Pombal-PB. 2016

ABSTRACT

The exploitation of natural resources beyond sustainable levels is one of the main causes of undesirable alterations in the environment, associated with population growth and urbanization process, which generates an enormous quantity of waste, among them the civil construction waste. This huge quantity of waste causes many negative impacts, which compromises the quality of the environment. Scarcity of natural resources, high cost of raw materials extraction and problems caused by improper waste disposal are some of the reasons that lead to the development of studies on recycling in several different areas. The present work aims to analyse the mechanical behaviour of construction and demolition soil-cement-residue compound to determine the possibility of manufacturing soil-cement bricks from construction and demolition waste (CDW), as a practical alternative for recycling. The basic procedure consisted in manufacturing soil-cement bricks and obtaining their physical and mechanical characteristics, highlighting water absorption percentage and resistance to simple compression. The essays were performed for different CDW proportions (20%, 40%, 60% 90%) to replace soil, with the healing time set for 7 and 14 days. The results reached the minimum requirements according to the Brazilian standards. CDW recycling in the manufacture of soil-cement bricks is a sustainable development approach, considering it does not require the burning process used in traditional bricks production and it contributes in reducing waste that would probably be disposed of improperly.

Key-words: Recycling. Sustainable development. Resistance to simple compression. Water absorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Origem dos RCD nos municípios	16
Figura 2: Solo coletado	21
Figura 3: Cimento utilizado.....	22
Figura 4: Deposição irregular dos RCD	22
Figura 5: Fracionamento dos resíduos de construção e demolição	24
Figura 6: Britador de mandíbula	24
Figura 7: RCD britado e peneirado	25
Figura 8: Solo peneirado	26
Figura 9: Teste prático do teor de umidade	28
Figura 10: Corpo de prova desmoldado	29
Figura 11: Processo de cura dos corpos de prova	29
Figura 12: Capeamento do corpo de prova	30
Figura 13: Resistência à compressão simples	30
Figura 14: Ensaio de absorção de água	31
Figura 15: Gráfico da composição granulométrica do RCD.....	32
Figura 16: Gráfico da Análise gravimétrica detalhada.....	32
Figura 17: Gráfico da curva granulométrica do solo.....	34
Figura 20: Resistência média dos corpos de prova para o tempo de cura de 9 dias	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faixas granulométricas recomendadas para solo-cimento	18
Tabela 2: Critérios para escolha do solo.....	19
Tabela 3: Dosagens de solo-cimento.....	27
Tabela 4: Escala granulométrica	34
Tabela 5: Dimensões das partículas	36
Tabela 6: Absorção dos corpos de prova para o tempo de cura de 14 dias.....	36
Tabela 7: Absorção dos corpos de prova para o tempo de cura de 7 dias.....	37
Tabela 8: Resistência média dos corpos de prova de 9 dias de cura	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Geral	13
2.2 Específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Resíduos da Construção e Demolição (RCD)	14
3.1.1 Breve histórico e classificação	14
3.1.2 Geração dos resíduos da construção e demolição	15
3.1.3 Composição dos resíduos gerados na construção civil	16
3.1.4 Impactos ambientais gerados pelo RCD	16
3.2 Solo-cimento	17
3.2.1 Escolha do solo.....	18
3.2.2 Tijolo de solo-cimento	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Materiais utilizados	21
4.1.1 Solo.....	21
4.1.2 Cimento	21
4.1.3 Resíduos da construção e demolição.....	22
4.1.4 Água	23
4.2 Fluxograma das etapas para confecção e avaliação dos corpos de prova de solo-cimento-resíduo da construção e demolição	23
4.3 Caracterização do RCD	23
4.3.1 Composição gravimétrica do RCD	23
4.3.2 Britagem e peneiramento do RCD	24
4.3.3 Análise granulométrica do RCD	25
4.4 Características do solo	25
4.4.1 Análise granulométrica do solo.....	25

4.4.2 Limites de consistência	26
4.5 Dosagem dos traços e preparação da mistura	26
4.6 Determinação do teor de umidade	27
4.7 Confeções dos corpos de prova	28
4.8 Processo de cura e capeamento dos corpos de prova	29
4.9 Ensaio de resistência à compressão simples	30
4.10 Ensaio de absorção de água	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 Composição gravimétrica do RCD	32
5.2 Caracterização do solo.....	33
5.2.1 Limites de consistência	33
5.2.2 Análise granulométrica	33
5.3 Teor de umidade	35
5.4 Análise granulométrica do RCD	35
5.5 Ensaio de absorção de água	36
5.6 Ensaio de resistência à compressão simples	38
6 CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Desde a Pré-História, o Homem vem modificando o ambiente em que vive. Essa situação se intensificou nos séculos XVIII e XIX, com a Revolução Industrial, e vem se potencializando cada vez mais com o advento da tecnologia moderna. Os seres humanos vêm explorando a natureza como uma fonte inesgotável de recursos naturais, o que acarreta diversas alterações indesejáveis ao meio ambiente. O crescimento populacional e o desordenado processo de urbanização, associados à ineficiência de políticas públicas específicas, ocasionam uma série de problemas urbanos, entre eles, a intensa geração de resíduos da construção civil (PIMENTEL, 2013).

Os resíduos da construção e demolição (RCD) são constituídos dos seguintes materiais: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, madeiras e compensados, argamassa, gesso, entre outros. De acordo com a resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), são classificados em quatro classes: Classe A: RCD recicláveis ou reutilizáveis como agregados; Classe B: RCD recicláveis para outras destinações (papel, plásticos, metal, entre outros); Classe C: RCD sem tecnologia disponível para reciclagem e aproveitamento; Classe D: RCD perigosos ou prejudiciais à saúde, como tinta, solventes, óleos, entre outros (BRASIL, 2002).

Os resíduos da construção civil causam impactos ambientais negativos significativos, como o consumo desnecessário de recursos naturais, a degradação ambiental, os problemas de saúde pública e o impacto na drenagem urbana, sendo este um dos mais extensos, ocorrendo desde a drenagem superficial até a obstrução de córregos. Os impactos são notórios, comprometendo a qualidade do ambiente e a paisagem local, e dificilmente podem ser quantificados ou seu custo historiado (PINTO, 1999; PIMENTEL, 2013).

Um estudo feito por Pinto (1999) mostrou que os resíduos de construção e demolição podem corresponder a mais de 50% da massa dos resíduos sólidos dos municípios do Brasil. A crescente necessidade de preservação ambiental e o aumento da escassez dos recursos naturais incentivam a construção civil a buscar adquirir novos conceitos, visando a soluções técnicas sustentáveis para suas atividades. Nesse seguimento, o reaproveitamento dos resíduos da construção e demolição é uma alternativa viável, buscando valorizar os materiais que são descartados na indústria da construção civil, tornando-os aproveitáveis (PINTO, 1999)

No Brasil, as primeiras pesquisas científicas envolvendo o uso de agregados reciclados de resíduos da construção civil começaram no final da década de 80, com os estudos realizados por Pinto (1986) em argamassas, Bodi (1997) em pavimentos, Levy (1997) em argamassas e Zordan (1997) em concretos.

O aproveitamento dos resíduos da construção e demolição na própria construção, em algumas situações, trazem vantagens técnicas e reduções de custos, como é o caso da utilização dos resíduos na confecção de tijolos de solo-cimento. As vantagens do solo-cimento vão desde a sua fabricação até a sua utilização. Os tijolos são fabricados com equipamentos simples e de baixo custo, possibilitando a operação no próprio canteiro de obras. Além dessas vantagens, o tijolo de solo-cimento é benéfico, do ponto de vista ecológico, pois não é necessário o processo de queima, o qual precisa de grandes quantidades de madeira ou de óleo combustível (SOUZA, 2006).

Na prática, qualquer tipo de solo pode ser utilizado, entretanto a proporção da fração fina (silte e argila) e da fração arenosa (areia e pedregulhos) influenciam nas características e propriedades de resistência do tijolo (SUPERTOR, apud SILVA, 2005). Segundo Pinto (1999), o solo propício deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho. Quando o solo não apresenta essas características, pode ser feita a correção da granulometria, na qual é adicionada areia grossa, com a finalidade de deixá-lo adequado tecnicamente (FERRAZ, 2004).

O resíduo da construção e demolição, quando triturado, apresenta uma granulometria semelhante à de areia grossa, podendo ser utilizado para corrigir os solos que não são adequados, de modo a torná-los mais viáveis para a confecção do tijolo de solo-cimento. (SOUZA et. al., 2008).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Estudar o comportamento mecânico do composto solo-cimento-resíduo da construção e demolição para determinar a possibilidade de confecção de tijolos de solo-cimento usando RCD, sendo esta uma alternativa prática de reciclagem.

2.2 Específicos

- Caracterizar o solo e o RCD utilizados na confecção dos corpos de prova;
- Confeccionar os corpos de prova com diferentes composições de RCD em substituição ao solo;
- Analisar a absorção de água e a resistência à compressão simples dos corpos de prova para diferentes tempos de cura e teores de RCD.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Resíduos da Construção e Demolição (RCD)

3.1.1 Breve histórico e classificação

A partir do ano 2000, começaram a ser desenvolvidas pesquisas relacionadas ao uso do RCD como variabilidade dos agregados. Pouco se conhece sobre a variabilidade dos agregados, porém é sabido que a reciclagem é um processo viável tecnicamente e economicamente, melhorando significativamente a qualidade ambiental (ANGULO, 2000).

A resolução nº 307/2002 do CONAMA, a qual dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil, define que estes resíduos:

São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, dentre outros, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da *NBR 10.004/04 – Resíduos Sólidos – Classificação*, classifica os RCD em Resíduos Classe II B (não perigosos e inertes). Alguns estudos concluem que os resíduos de construção civil podem ser classificados, também, como resíduos Classe II A (não perigosos e não inertes), pois o concreto mineraliza a água e altera o solo (OLIVEIRA, 2002). Hansen (1992) menciona em sua pesquisa que os RCD podem conter componentes que são considerados tóxicos, do ponto de vista ambiental.

A resolução nº 307/2002 do CONAMA classifica os resíduos da construção civil em 4 classes:

-Classe A: são os resíduos considerados reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

- Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.

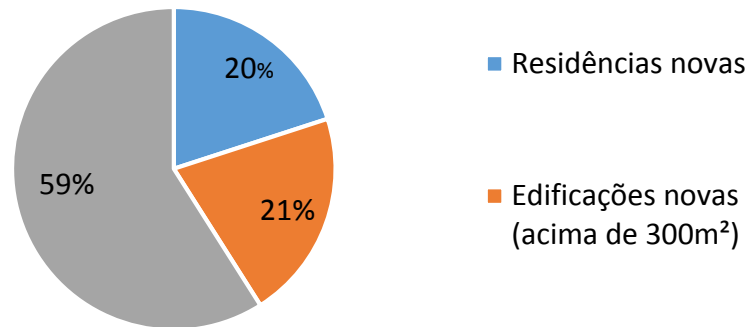
- Classe C: Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem e recuperação.

- Classe D: São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

3.1.2 Geração dos resíduos da construção e demolição

A indústria da construção civil ainda guarda fortes traços artesanais, contribuindo para a geração de resíduos (SANTOS, 2007). Os resíduos popularmente chamados de entulho necessitam de uma gestão adequada para redução de custos sociais, financeiros e ambientais, devendo ser gerenciados do projeto à sua destinação final, para que os impactos ambientais sejam evitados ou mitigados (MATOS, 2013). Segundo Angulo (2000), os resíduos das novas construções são originados, basicamente, por perdas físicas no canteiro de obras e há também uma parcela da perda que permanece incorporada na estrutura.

Um estudo feito por Pinto (1999), estimou a geração média, *per capita*, anual dos resíduos da construção civil e mostrou que o Brasil produz, em média, 230 a 760 kg/hab.ano. O município de Pombal-PB gera cerca de 2.340 toneladas por mês, sendo assim, aproximadamente 875 kg/hab.ano (PMSBP, apud FERNANDES, 2016). Existe uma grande variação na taxa de geração entre países, sugerindo que essa disparidade seja pelo tipo de material usado nas construções e outras peculiaridades relativas ao local e ao momento (PIMENTEL, 2013). O resíduo da construção pode ser gerado em fases diferentes do ciclo de vida das construções, são elas: fase de construção (canteiro), fase de manutenção e reformas e fase de demolição (JONH et al., 2016). De acordo com Miranda et al. (2009), a principal origem dos resíduos da construção civil nos municípios brasileiros são os de reformas, de ampliações e de demolições.

Figura 1: Origem dos RCD nos municípios

Fonte: Miranda et al., 2009

Os resíduos de construção divergem parcialmente dos resíduos da demolição, pois aqueles são mais limpos, em razão de não terem sido submetidos a processos de pintura ou misturados a outras substâncias que podem contaminar o solo (OLIVEIRA, 2002).

3.1.3 Composição dos resíduos gerados na construção civil

A composição do RCD também é variável em função da região geográfica, da época do ano, do tipo de obra, dentre outros fatores. Em um estudo feito por Pinto (1999), foi observado que nos canteiros de obras brasileiros acontece um processo de aproveitamento de grande parte dos materiais como papel, madeira, vidro, metal e plásticos, que têm valor comercial e por esse motivo serão encontrados em menores quantidades. Nas obras de demolição, as características também variam com o tipo de estrutura a ser demolida e da técnica. De maneira geral, os resíduos de demolição consistem em um alto percentual de matéria inerte, como tijolos, areia, concreto, entre outros (POON et al., 2001).

Os resíduos da construção são constituídos de uma grande variabilidade de componentes. Além disso, a proporção de cada material em diferentes amostras é bastante diversa e de alta heterogeneidade. Por esses motivos, a utilização dos agregados reciclados ainda é pequena (SILVA, 2009; JOHN et al., 2016).

3.1.4 Impactos ambientais gerados pelo RCD

O termo impacto ambiental, segundo a Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986 é definido como: “*Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas*

do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.”

Os impactos negativos causados pelos RCD estão relacionados à numerosa quantidade de resíduos gerada e ao descarte destes de maneira irregular e aleatória. Devido a pouca preocupação com a deposição do entulho, são formados aterros clandestinos nos centros urbanos. Os impactos dessa situação são plenamente visíveis e ocasionam entupimento de bueiros e galerias e assoreamento de córregos. (ANGULO, 2005; PINTO, 1999)

Melo (2006) listou os principais impactos causados pelos RCD, dentre os quais estão: “assoreamento de rios e córregos, ocupação de vias e logradouros públicos com resíduos, diminuição da vida útil do aterro sanitário, atração de vetores causadores de doenças, comprometimento da saúde pública, degradação da paisagem urbana, obstrução dos canais de drenagem, enchentes, entre outros”.

3.2 Solo-cimento

Desde as primeiras aplicações, o solo-cimento vem sendo utilizado principalmente na pavimentação. No ano de 1935, a *Portland Cement Association* (PCA) deu início às pesquisas e estudos sobre os teores de cimento para cada espécie de solo, com o objetivo de assegurar a durabilidade do produto acabado. O Brasil teve sua primeira aplicação de solo-cimento na pista de circulação do aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro em 1940 (PITTA, 1980).

Segundo a *Associação Brasileira de Cimentos Portland* (1986), o solo-cimento é o produto resultante da mistura de solo, cimento e água. Essa mistura proporciona boa resistência à compressão, durabilidade e impermeabilidade, além de baixa retração volumétrica.

Segundo Ferraz (2004), o solo-cimento é classificado em duas categorias: solo-cimento compactado (SCC) e solo-cimento plástico (SCP). No caso no SCC, a água deve ser adicionada em quantidade suficiente para a obtenção da compactação máxima e que favoreça as reações de hidratação. No caso do SCP, a água é adicionada para que se obtenha um produto de consistência plástica, de aspecto similar ao de uma argamassa.

Conforme Pitta (1980), os usos da estabilização do solo com cimento são vários, dentre os quais as principais aplicações são: “tijolos, blocos, painéis para construção de moradias; base ou sub-base de pavimentos em estradas, vias urbanas, pátios industriais, estacionamentos e aeroportos; revestimento de barragens, canais, diques e reservatórios; revestimento e impermeabilização de túneis; estabilização de taludes e encostas”.

3.2.1 Escolha do solo

De acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995), solo pode ser definido como “material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não conter matéria orgânica”.

Existe uma grande diversidade de tipos de solos, porém, não são todos que podem ser usados em construções de solo-cimento. De acordo com Silva (2005), os solos compostos principalmente de argila e silte não são indicados, pois solos desse tipo podem sofrer fissuras, trincas e rachaduras depois de secos, em consequência da retração. Segundo o catálogo de solo-cimento da Sahara (2001), não é indicado a presença de matéria orgânica no solo, e o mesmo deve ter uma coloração avermelhada para obtenção de um tijolo de boa qualidade.

A resistência inicial do solo-cimento é devida à coesão das partículas finas presente no solo. Estudos têm mostrado que os solos que apresentam um teor de silte mais argila inferior a 20% não conseguem uma resistência inicial para a compactação (SEGANTINI, 2000).

Tabela 1: Faixas granulométricas recomendadas para solo-cimento

Autores	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Silte + Argila (%)
CEPED (1984)	45 – 90	-	< 20	10 – 55
PCA (1969)	65	-	-	10 – 35
SAHARA (2001)	70	-	-	30

Fonte: Adaptado de SEGANTINI, 2000.

Os limites de consistência (liquidez e plasticidade) são as variáveis que expressam as condições de trabalhabilidade do solo. O destorroamento, a mistura e a secagem ficam mais complicados com o aumento desses limites. Os solos mais adequados para a estabilização com cimento são os arenosos (NEVES apud CEPED 1984). A NBR 10833 (ABNT, 2012) instrui

que o solo da fabricação do tijolo de solo-cimento deve atender às seguintes características apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2: Critérios para escolha do solo

Características	Requisitos (%)
% passando na peneira ABNT 4,8 mm	100
% passando na peneira ABNT 0,075 mm	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

Fonte: NBR 10833 (ABNT, 2012).

3.2.2 Tijolo de solo-cimento

O tijolo de solo-cimento é uma das alternativas para a construção de alvenaria em habitações e em outras edificações, sendo utilizados como matéria-prima o solo, o cimento e a água. A confecção do tijolo se baseia em prensagem ou compactação, em moldes específicos, dispensando a necessidade de queima, favorecendo o meio ambiente (SOUZA, 2006). O princípio da confecção do tijolo de solo-cimento consiste em submeter à mistura de solo, cimento e água a pressões elevadas dentro de moldes metálicos, o que resulta em tijolos com formas e dimensões desejadas. Após 7 dias de tempo de cura, o tijolo de solo-cimento apresenta resistência à compressão similar à do bloco cerâmico (SOUZA et.al., 2008).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2000) citou algumas vantagens que os tijolos de solo-cimento apresentam, das quais se destacam:

- Utilização de solo do próprio local, reduzindo ou eliminando o custo do transporte;
- Manutenção da regularidade de suas formas com faces lisas e planas, implicando menor consumo da argamassa de assentamento e revestimento;
- Dispensa do revestimento do tijolo, quando a parede estiver devidamente protegida da ação direta da água;
- Redução do consumo de energia e, conseqüentemente, de danos ambientais, por não ser necessário o cozimento do tijolo;
- Dispensa a mão de obra especializada.

Carneiro et al. (2001) destacaram a possibilidade de incorporar outros materiais na sua fabricação, como por exemplo, agregados produzidos com resíduos da construção e demolição.

A necessidade da construção de moradias, especialmente as chamadas de habitações populares, aumenta em todos os países. A dificuldade de solucionar os problemas do déficit habitacional por meio das construções convencionais proporciona o surgimento de novas tecnologias de construção, sendo capazes de atender a população mais carente (SOUZA et.al., 2008).

O uso do tijolo de solo-cimento com o aproveitamento dos resíduos da construção e demolição é um exemplo dessas novas tecnologias, o solo é uma matéria-prima abundante e os RCD serão destinados de uma forma correta, possibilitando uma redução nos custos da obra e uma melhoria na qualidade ambiental (FERRAZ, 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Resíduos Sólidos (LABRES) da Universidade Federal de Campina Grande, do campus Pombal-PB. Foram estabelecidos traços para determinar qual o teor ótimo de adição do RCD nos corpos de prova de solo-cimento, com a finalidade de obter os melhores resultados das propriedades mecânicas no mesmo.

4.1 Materiais utilizados

4.1.1 Solo

O solo é o componente de maior proporção na mistura. O solo utilizado na composição do solo-cimento foi coletado em um terreno próximo ao Campus da UFCG no município de Pombal-PB, no qual um trator removeu a camada de solo com maior quantidade de matéria orgânica. O solo foi destorroado e posteriormente peneirado na peneira de 4,8 mm.

Figura 2: Solo coletado



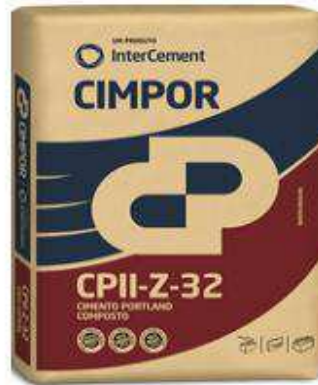
Fonte: Autoria própria, 2016

4.1.2 Cimento

Foi utilizado o cimento CP II-Z-32 da marca CIMPOR (Figura 3), que é bastante utilizado na região, sendo facilmente encontrado no comércio local de Pombal-PB. De acordo

com informações do fabricante, é um cimento de qualidade que apresenta secagem rápida e resistência inicial mais elevada.

Figura 3: Cimento utilizado



Fonte: http://brasil.intercement.com/ProdutosServicos/detalhes_cimento/9, 2016.

4.1.3 Resíduos da construção e demolição

O RCD utilizado foi coletado em um terreno no qual se encontrava uma quantidade considerável de resíduo, devido à deposição irregular de diversas obras de construção civil nas proximidades do local (Figura 4).

Figura 4: Deposição irregular dos RCD

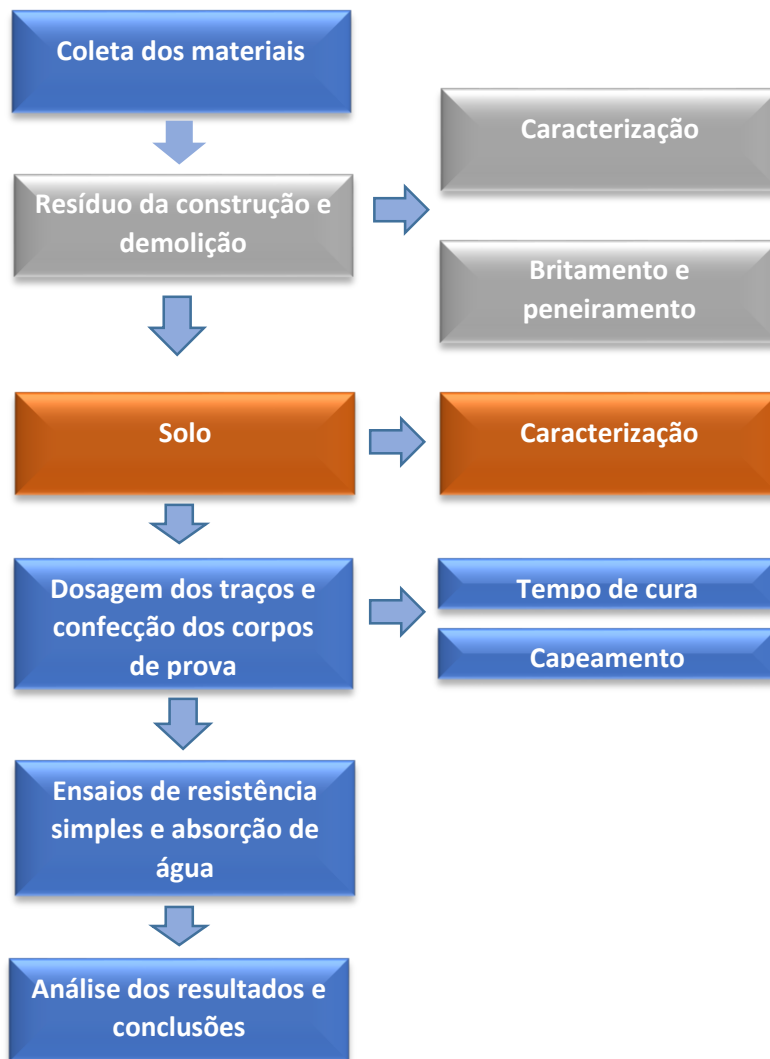


Fonte: Autoria própria, 2016.

4.1.4 Água

A água utilizada foi proveniente do sistema de abastecimento da cidade de Pombal-PB.

4.2 Fluxograma das etapas para confecção e avaliação dos corpos de prova de solo-cimento-resíduo da construção e demolição



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Caracterização do RCD

4.3.1 Composição gravimétrica do RCD

Logo após a coleta dos resíduos, foi feita a pesagem dos mesmos de modo a se obter a massa total. Com a finalidade de discriminar os materiais constituintes, foi realizado um ensaio de composição gravimétrica. Para este trabalho foi utilizado o material reciclado da Classe A, considerado pela resolução CONAMA nº 307/2002. A separação dos materiais foi feita na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Pombal-PB, conforme ilustra a figura 5:

Figura 5: Fracionamento dos resíduos de construção e demolição



Fonte: Autoria própria, 2016.

4.3.2 Britagem e peneiramento do RCD

Os resíduos foram britados em um britador de mandíbulas mostrado na figura 6 e posteriormente passados na peneira ABNT de 4,8 mm, a fim de se obter um material com dimensões semelhantes ao solo utilizado.

Figura 6: Britador de mandíbula



Fonte: Autoria própria, 2016.

4.3.3 Análise granulométrica do RCD

Foi utilizada a NBR 7181 (ABNT, 1984), pois o resíduo reciclado empregado na pesquisa é composto por vários tipos de agregados e foi britado e peneirado para se assemelhar ao solo e, posteriormente, incorporado à mistura de solo-cimento (Figura 7).

Figura 7: RCD britado e peneirado



Fonte: Autoria própria, 2016.

4.4 Características do solo

Para a preparação das amostras de solo para os ensaios de análise granulométrica e limites de consistência foi utilizada a NBR 6457 (ABNT, 1986).

4.4.1 Análise granulométrica do solo

O ensaio para a determinação da composição granulométrica do solo (Figura 8) foi realizado seguindo as prescrições da NBR 7181 (ABNT, 1984).

Figura 8: Solo peneirado



Fonte: Autoria própria, 2016.

4.4.2 Limites de consistência

Consistem na determinação de teores limite de umidade entre os estados de consistência líquido, plástico, semissólido e sólido. Os limites, conforme Silva (2005), são divididos em:

- Limite de Liquidez (LL): limita a umidade entre o estado líquido e o estado plástico;
- Limite de Plasticidade (LP): limita a umidade entre o estado plástico e o estado semissólido;
- Limite de Contração (LC): limita a umidade entre o estado semissólido e o estado sólido.

Por falta de equipamento para a realização desses ensaios no campus de Pombal-PB, a amostra de solo foi enviada para a UFCG, campus de Campina Grande, onde foram determinados os limites de liquidez e plasticidade, seguindo as normas técnicas da NBR 6459 (ABNT, 1984) para o limite de liquidez e NBR 7180 (ABNT, 1984) para o limite de plasticidade.

4.5 Dosagem dos traços e preparação da mistura

De acordo com a (ABCP, 1986) a dosagem de solo-cimento é a sequência de ensaios realizados com uma determinada mistura de solo, cimento e água. No caso deste trabalho, o RCD reciclado foi adicionado junto ao solo.

Foi utilizado 10% de cimento sobre a massa total, em todos os traços. A quantidade de cimento requerida para a mistura foi calculada proporcionalmente à massa do solo seco ao ar. A quantidade de água foi definida em relação à soma das massas de solo seco ao ar, RCD reciclado e cimento (Tabela3).

Tabela 3: Dosagens de solo-cimento

Traços	Solo (%)	Cimento (%)	RDC (%)
SCR-0	90	10	0
SCR-20	70	10	20
SCR-40	50	10	40
SCR-60	30	10	60
SCR-90	0	10	90

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.6 Determinação do teor de umidade

Por falta de equipamentos para determinação da umidade ótima, o teor de umidade utilizado na confecção da mistura de solo-cimento foi estabelecido por meio de testes com variações da quantidade de água. A quantidade de água foi definida em relação à soma das massas de solo e cimento. Também foi empregado um teste, de precisão razoável, sugerido pela ABCP (2000). O procedimento é feito da seguinte forma prática:

- Toma-se uma quantidade da mistura e aperta-se energicamente entre os dedos e a palma da mão; ao se abrir a mão, a massa deverá ter a marca deixada pelos dedos (Figura 9).

Figura 9: Teste prático do teor de umidade



Fonte: Autoria própria, 2016.

- Deixando a massa cair de uma altura aproximada de 1 metro, sobre uma superfície dura; ela deverá se esfarelar ao chocar-se com a superfície; se isto não ocorrer, a mistura estará muito úmida.

4.7 Confeções dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados em um cilindro de 10 cm de comprimento por 4,5 cm de diâmetro. Devido a falta de equipamentos foi adotada uma metodologia adaptada, o processo de compactação foi feito de forma manual, com a utilização de um soquete, com 6 a 8 golpes de uma altura de aproximadamente 10 centímetros. A compactação do corpo de prova foi dividida em 3 camadas de aproximadamente 3-4 cm cada, no ligamento entre as camadas foi feito uma escarificação para melhorar a compactação (Figura 10).

Figura 10: Corpo de prova desmoldado



Fonte: Autoria própria, 2016.

4.8 Processo de cura e capeamento dos corpos de prova

A cura dos corpos de prova foi realizada de acordo com a ABCP (2000), e, após seis horas da moldagem e durante os 7 primeiros dias, os corpos de provas foram umedecidos de três a quatro vezes por dia com um borrifador de água, a fim de garantir a cura necessária (Figura 11).

Figura 11: Processo de cura dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria, 2016.

O capeamento foi feito nos corpos de prova destinados ao ensaio de compressão simples, com a finalidade de proporcionar uma superfície lisa, sem irregularidades que pudessem afetar no resultado final da resistência (Figura 12).

Figura 12: Capeamento do corpo de prova



Fonte: Autoria própria, 2016.

4.9 Ensaio de resistência à compressão simples

O ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP), da UFCG campus de Campina Grande-PB, sendo utilizada uma máquina Servopulser da marca Shimadzu (Figura 13). O ensaio foi feito de acordo com a NBR 12025 (ABNT, 1990), a velocidade de ruptura foi de 1mm/min. Para realização deste ensaio foram confeccionados 6 corpos de prova, para cada dosagem dos traços. Sendo um total de 30 corpos de prova.

Figura 13: Resistência à compressão simples



Fonte: Autoria própria, 2016.

4.10 Ensaio de absorção de água

O ensaio foi feito no laboratório de resíduos sólidos (LABRES) da UFCG campus Pombal-PB, de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 1984). Foram confeccionados 6 corpos de prova de cada traço para servir de repetição na realização desse ensaio (Figura 14).

Figura 14: Ensaio de absorção de água



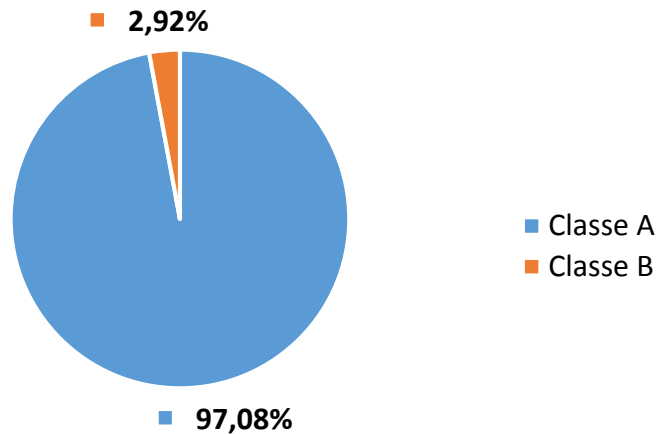
Fonte: Autoria própria, 2016.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição gravimétrica do RCD

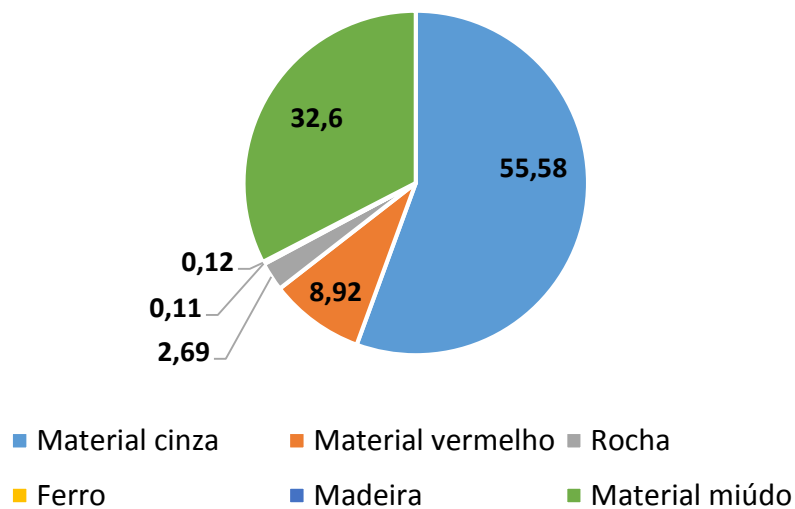
A variabilidade do RCD pode ocorrer por diversos fatores, entre eles, em obras novas, em manutenções e por utilização de diferentes tecnologias construtivas. Na Figura 15 apresenta-se a composição dos resíduos coletados no município de Pombal-PB; já o detalhamento dos materiais contidos na Classe A é mostrado na Figura 16. A classificação dos resíduos foi feita com base na resolução do CONAMA nº 307/2002.

Figura 15: Gráfico da composição granulométrica do RCD



Fonte: Elaborado pelo o autor.

Figura 16: Gráfico da Análise gravimétrica detalhada



Fonte: Elaborado pelo autor.

O material utilizado na mistura de solo-cimento foi o da Classe A, sendo a soma do material cinza (argamassa e concreto), do material vermelho (cerâmica, tijolo e telha) e do material miúdo, o qual é composto por solo, material cinza e material vermelho, porém apresenta-se em uma granulometria fina, dificultando a diferenciação do material.

A ausência dos resíduos como madeira, vidro, plástico, ferro pode ser explicada por um estudo feito por Pinto (1999), no qual foi observado que, nos resíduos das construções e demolições do Brasil, ocorre o reaproveitamento desses resíduos, os quais têm um certo valor comercial. No resíduo coletado, há uma grande quantidade de material cinza, miúdo e vermelho, sendo eles, os principais componentes para a incorporação do RCD em substituição ao solo.

5.2 Caracterização do solo

5.2.1 Limites de consistência

O solo utilizado neste trabalho apresentou um limite de liquidez (LL) de 23,18% e limite de plasticidade (LP) de 15,84%. Sendo assim, um solo dentro dos parâmetros para a confecção de solo-cimento. O índice de plasticidade (IP) é definido como sendo a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, portanto, temos:

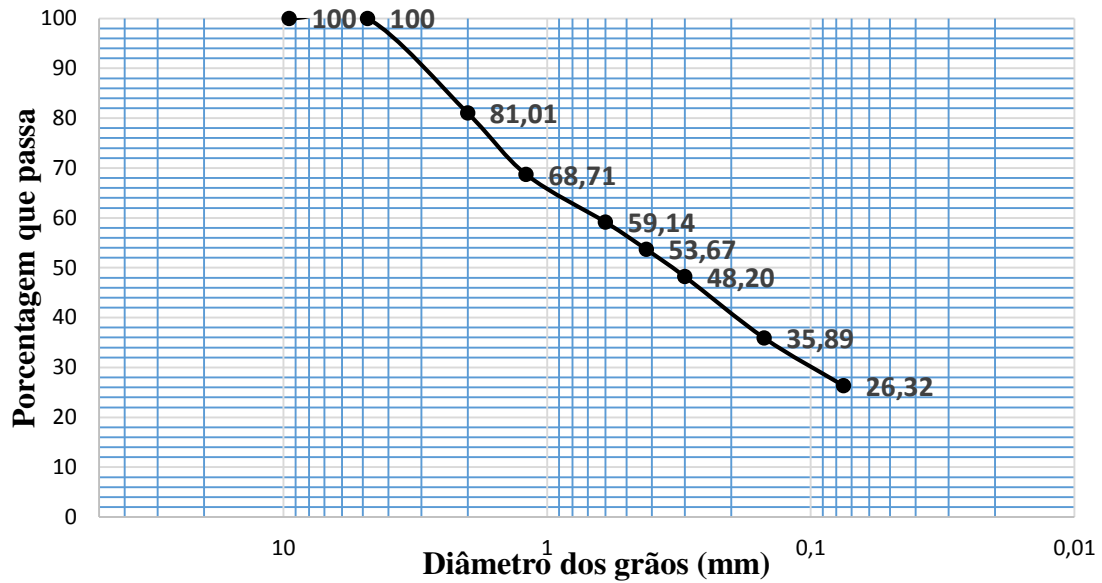
$$IP = LL - LP$$

$$IP = 7,84 \%$$

5.2.2 Análise granulométrica

Solos bem graduados, com uma ampla gama de tamanho das partículas, apresentam melhor comportamento em termos de resistência e compressibilidade do que solos que possuem granulometria uniforme. Foi observado a partir da análise da Figura 17 e da Tabela 4, que o solo utilizado para a confecção do solo-cimento enquadra-se na composição granulométrica ideal para os seguintes autores: PCA (1969), SAHARA (2001) e a NBR 10833 (ABNT, 2012).

Figura 17: Gráfico da curva granulométrica do solo



Pedregulho	Areia		Silte + Argila
	Areia Grossa	Areia fina	
60	2	0,42	0,075

mm

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4: Escala granulométrica

Tamanho dos grãos (mm)	Fração	%
60 – 2,0	Pedregulho	19
2,0 – 0,42	Areia Grossa	27
0,42 – 0,075	Areia Fina	28
< 0,075	Silte + Argila	26

Fonte: Classificação AASHTO.

De acordo com a classificação *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), o solo adotado no estudo tem classificação A-2-4, tendo areia e areia siltosa ou argilosa como materiais predominantes no solo (Tabela 4).

Cálculo do índice de grupo (IG):

$$IG = 0,2 \cdot 0 + 0,005 \cdot 0 \cdot 0 + 0,01 \cdot 11,32 \cdot 0$$

Eq. 1

$$\text{Índice de grupo} = 0$$

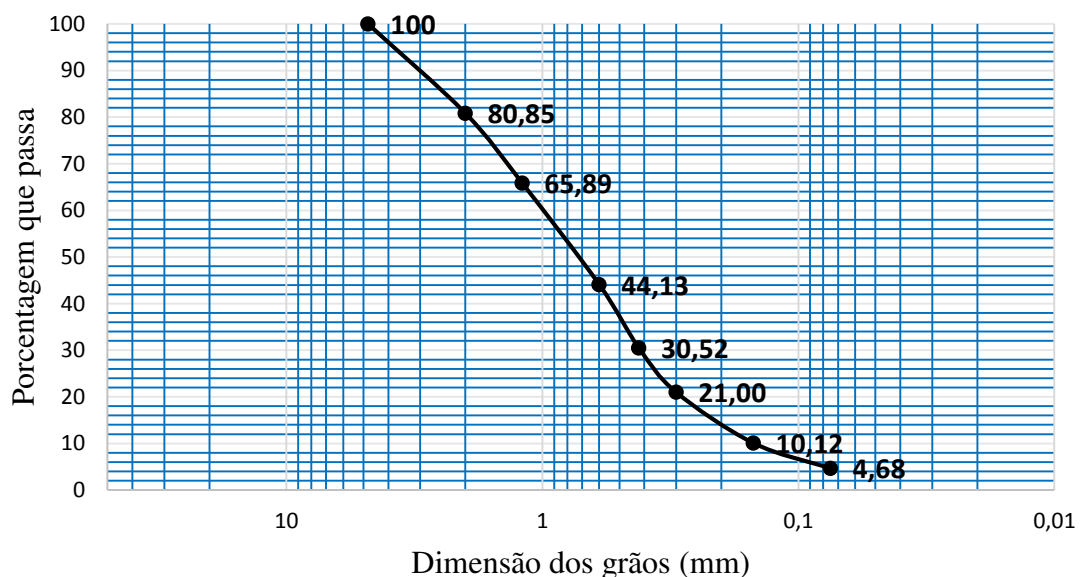
5.3 Teor de umidade

Foi realizado um experimento com três variações do teor de umidade: 100, 150 e 200 ml, sendo a proporção água/massa total da mistura de solo-cimento de 8, 12 e 17%, respectivamente. Após um período de cura de 7 dias dos corpos de prova, foi observado e adotado o teor de umidade de 12% de água sobre a massa total da mistura. Souza (2006) e Segantini (2000) realizaram o ensaio de compactação para a mistura de solo-cimento e para a mistura de solo e cimento e agregados de concreto (40% de resíduo da construção civil), chegando aos resultados de 13 e 11% de umidade, respectivamente.

5.4 Análise granulométrica do RCD

Com a análise granulométrica do resíduo da construção e demolição (Figura 20), foi possível perceber que 95% do material é composto de areia, e apenas 5% do material passou na peneira de 0,075 mm. Assim, o RCD reciclado mostrou-se uma ótima alternativa para a correção de um solo argiloso para emprego na mistura de solo-cimento.

Figura 18: Gráfico da análise granulométrica do RCD



Pedregulho	Areia		Silte + Argila
	Areia Grossa	Areia Fina	
60	2	0,42	0,075
			mm

Tabela 5: Dimensões das partículas

Tamanho dos grãos (mm)	Fração	%
60 – 2,0	Pedregulho	19
2,0 – 0,42	Areia Grossa	50
0,42 – 0,075	Areia Fina	26
< 0,075	Silte + Argila	5

Fonte: Classificação AASHTO.

Segantini (2011) estudou o RCD constituído por restos de argamassa, concreto, agregado, solo, tijolo e telha. Chegando ao resultado que o RCD utilizado em sua pesquisa, 92% do material é composto pela fração areia.

5.5 Ensaio de absorção de água

Nas Tabelas 6 e 7 são apresentados os valores obtidos no ensaio de absorção de água dos corpos de prova. O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 1984), sendo os corpos de prova previamente secos em estufa até a consistência de massa e, então, pesados. Em seguida, foram imersos em um recipiente com água por 24 horas. Passado esse período, foram retirados e pesados novamente. Os valores apresentados abaixo são a média dos resultados de absorção de água das seis repetições feitas com cada traço (SCR-0, SCR-1, SCR-2, SCR-3 e SCR-4).

Tabela 6: Absorção dos corpos de prova para o tempo de cura de 14 dias

Tempo de cura de 14 dias	Absorção média de água (%)
90% de solo + 10% de cimento (SCR-0)	8,3
70% de solo + 20 % de RCD e 10% de cimento (SCR-1)	9,8
50% de solo + 40 % de RCD e 10% de cimento (SCR-2)	11,2
30% de solo + 60 % de RCD e 10% de cimento (SCR-3)	12,6
90 % de RCD e 10% de cimento (SCR-4)	17,3

Tabela 7: Absorção dos corpos de prova para o tempo de cura de 7 dias

Tempo de cura de 7 dias	Absorção média de água (%)
90% de solo + 10% de cimento (SCR-0)	10,9
70% de solo + 20 % de RCD e 10% de cimento (SCR-1)	11,7
50% de solo + 40 % de RCD e 10% de cimento (SCR-2)	13,1
30% de solo + 60 % de RCD e 10% de cimento (SCR-3)	14,7
90 % de RCD e 10% de cimento (SCR-4)	18,8

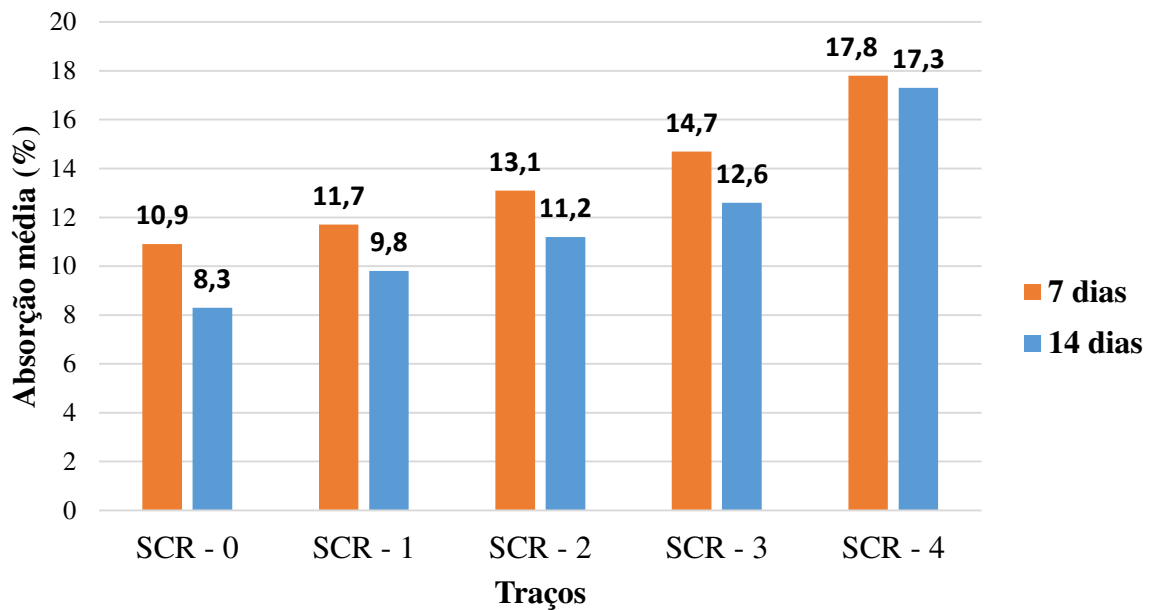
Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme os resultados do ensaio (Figura 21), é notável a diferença de absorção de água entre os períodos de cura. O tempo de cura de 14 dias mostrou-se superior ao tempo de cura de 7 dias, principalmente nos traços que contêm solo (SCR-0, SCR-1, SCR-2 e SCR-3), posto que o maior tempo de cura reduziu consideravelmente a absorção de água.

Também é possível perceber que, à medida que o RCD reciclado substitui o solo na mistura de solo-cimento, a absorção de água aumenta. Esse acontecimento pode ser explicado por Dias (2004), que concluiu em seu estudo que os materiais compostos por cerâmicas vermelhas, como os tijolos e telhas, frequentemente apresentam porosidade interna aberta e afinidade com a água, o que lhes confere absorção mais elevada se comparados às rochas naturais.

Souza (2006) observou, em seu estudo sobre a incorporação de resíduo de concreto nos tijolos de solo-cimento, que há uma diminuição da absorção de água à medida que é adicionado o resíduo de concreto. Ferraz (2004) também notou uma redução dos valores de absorção de água quando utilizou resíduos de argamassa de cimento como material para substituir o solo da mistura solo-cimento.

Mesmo com o nível de absorção de água mais elevado obtido neste estudo, o qual resultou do ensaio do traço SCR-4 (90% do resíduo da construção civil reciclado), todos os traços ainda estão de acordo com a NBR 8491 (ABNT, 1984) que determina que os valores não devem apresentar média de absorção de água maior do que 20%, nem valores individuais superiores a 22%.

Figura 19: Absorção média de água

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.6 Ensaio de resistência à compressão simples

Devido à dificuldade no deslocamento e ao fato de o ensaio ter sido realizado na UFCG Campus de Campina Grande-PB, os corpos de prova tiveram o tempo de cura prolongados em 2 dias. Na Tabela 8 mostra-se os resultados da resistência média de cada dosagem de solo-cimento.

Tabela 8: Resistência média dos corpos de prova de 9 dias de cura

Tempo de cura de 9 dias	Resistência média (Mpa)
90% de solo + 10% de cimento (SCR-0)	2,76
70% de solo + 20 % de RCD e 10% de cimento (SCR-1)	2,82
50% de solo + 40 % de RCD e 10% de cimento (SCR-2)	2,58
30% de solo + 60 % de RCD e 10% de cimento (SCR-3)	2,98
90 % de RCD e 10% de cimento (SCR-4)	2,03

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Figura 22, as resistências médias progrediram com a substituição do solo pelo resíduo da construção e demolição, alcançando uma resistência de 2,98 MPa para o traço com 60% de resíduo reciclado. O traço SCR-2 apresentou um resultado

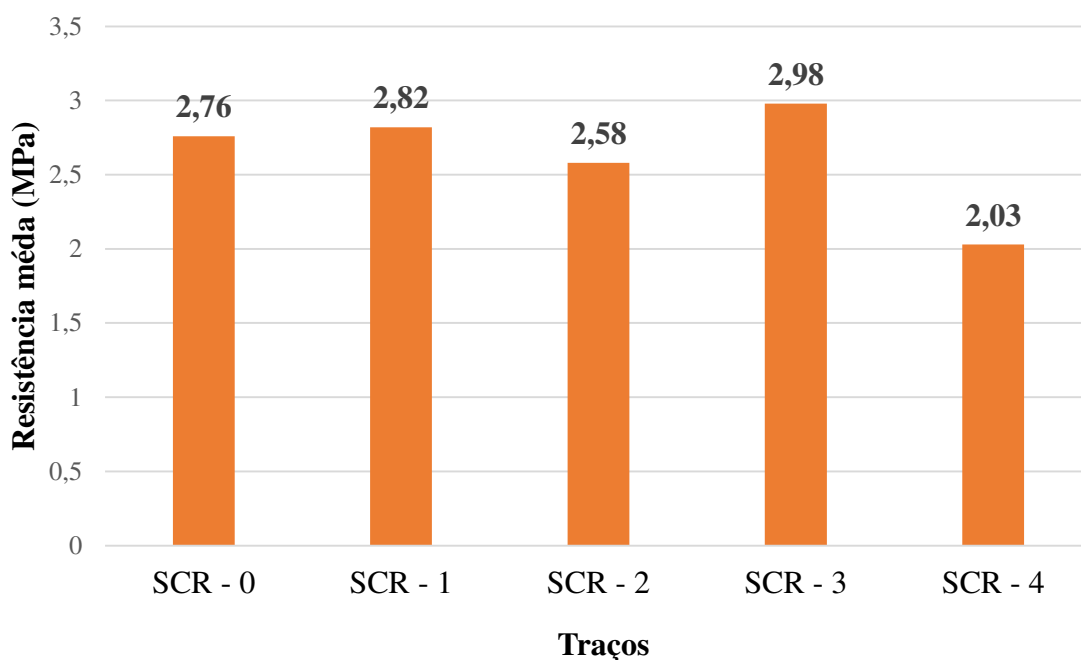
que não segue o padrão. Esse resultado pode ser justificado pela dificuldade da realização deste trabalho. A ausência de equipamento para a realização do ensaio que determina a umidade ótima para a compactação de cada dosagem de solo/resíduo/cimento pode ter modificado o resultado esperado. A força exercida também pode ser um fator de interferência no resultado, posto que a compactação foi feita de forma manual, e os corpos de prova, conseqüentemente, não foram compactados utilizando uma força igual para todos. Além disso, o transporte até a cidade de Campina Grande-PB pode ter danificado algum corpo de prova ao longo do trajeto.

No trabalho de Souza (2006), no qual foi adicionado resíduo de concreto em substituição ao solo, observou que a adição dos resíduos promoveu uma elevação nos valores de resistência à compressão simples, sendo o traço com 60% de resíduo o mais resistente na idade de 7 dias. Também percebe-se que a resistência cresce em função do tempo de cura.

Os resultados que foram obtidos por Segantini (2011) mostraram que a melhor dosagem para 10% de cimento é a incorporação de 20% de resíduo da construção e demolição reciclado.

O traço SCR-4, que compreende apenas RCD reciclado e 10% de cimento, obteve um valor médio de resistência menor do que os que continham solo na mistura, além de apresentar valores individuais menores que 1,7 MPa. Segantini (2011) encontrou valores superiores de resistência à compressão em traços de resíduo reciclado com menores quantidade de cimento.

Figura 180: Resistência média dos corpos de prova para o tempo de cura de 9 dias



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os traços (SCR-0, SCR-1, SCR-2 e SCR-3) atingiram as condições específicas requeridas pela NBR 8491 (ABNT, 1984), valor médio de resistência à compressão maior do que 2,0 MPa nem valor individual inferior a 1,7 MPa com idade mínima de 7 dias.

6 CONCLUSÕES

- Os resíduos da construção e demolição classificados pelo CONAMA n° 307/2002 como sendo da classe A são uma excelente alternativa para melhorar as características do solo, visando sua aplicação na produção de solo-cimento, pois sua granulometria apresenta 95% de fração areia.
- Ocorreu uma predisposição dos compostos de solo/RCD/cimento estudados a diminuir a capacidade de absorção de água dado ao incremento na resistência dos corpos de prova devido a cura do cimento utilizado na mistura.
- A incorporação do RCD reciclado nos corpos de prova tiveram uma melhoria no que se refere à resistência à compressão, os traços que apresentam solo na sua composição (SCR-0, SCR-1, SCR-2 e SCR-3) atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pelas normas brasileiras. O melhor resultado foi obtido para a mistura de 60% de RCD reciclado.
- O traço SCR-4 (90 % de RCD e 10% de cimento), não atingiu os requisitos estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 1984), pois apresentou valores individuais menores do que 1,7 MPa.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com a utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 3p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12025: Solo-cimento – Ensaio de compressão simples dos corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 2p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 9p

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 6p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6502: Rochas e Solos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 3p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984e. 4p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e absorção d'água.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984e. 5p.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos.** 2005. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** 2000. 155 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaios. 3.ed.atual.revisada pelo Eng. Márcio Rocha Pitta. São Paulo, 1986. 57p. (ET-35).

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

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução 001, de 23/janeiro/1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.** Publicada no DOU nº136, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, pgs 2548-2549. Brasília, 1986

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução 307, de 05/julho/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Publicada no DOU nº136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, pgs 95-96. Brasília, 2002.

BODI , J. **Experiência Brasileira com Entulho Reciclado na Pavimentação.** In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA A PROTEÇÃO AMBIENTAL, 29., São Paulo, 1997. Anais... São Paulo: Núcleo de Desenvolvimento de Pesquisas POLI /UPE, 1997. p. 56-63

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção.** Salvador: EDUFAB, 2001.

Catálogo SAHARA: Tecnologia Máquinas e Equipamentos Ltda. Brick e Brickito. **O solo-cimento na fabricação de tijolo modular.** 2001. Sahara, São Paulo, s/d, 30 p.

CEPED – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. **Manual de construção com solo-cimento.** Camaçari: CEPED, 1984. 116f.

DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas de cerâmica vermelha para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo.** 2004. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

FERNANDES, D. L. **Proposição de alternativas e ações para universalização dos serviços de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos no municípios de Pombal-PB.** 2016. 70 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal.

FERRAZ, A. L. N. **Análise de adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento.** 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira. 2004

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

HANSEN, T. C. **Recycled of demolished concrete and masonry.** London: Chapman & Hall, 1992. 316p. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160. (RILEM TC Report 6).

InterCement Brasil. Disponível em: http://brasil.intercement.com/ProdutosServicos/detalhes_cimento/9. Acesso em: 10/09/2016.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da USP (PCC USP), São Paulo, p. 13, 2016.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado. 1997, 146 p.

MATTOS, Bernardo Bandeira de Mello. **Estudo do Reuso, Reciclagem e Destinação Final da Construção Civil na cidade do Rio de Janeiro**. Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

MELO, T. M. **Sistema de gestão sustentável de resíduos de construção e demolição**. Seminário de gestão de resíduos sólidos – Goiás, 2006.

MIRANDA, L. F. R., ANGULO, S. C., CARELI, E. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986 – 2008**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, jan./mar. 2009.

NEVES, C. M. M., CARNEIRO, A. P., COSTA, D. B. **Uso do agregado reciclado em tijolos de solo estabilizado com cimento**. p. 230-261. Capítulo 7.

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. 2002. 191 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

PCA – Porlant Cement Association. **Soil-cement construction handbook**. Illinois, 1969. 42p.

PIMENTEL, U. H. O. **Análise da geração de resíduos da construção civil da cidade de João Pessoa-PB**. 2013. 188 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – UFBA-UFPB, João Pessoa. 2013.

PINTO, T. P. P. **Metodologia para a gestão diferenciada dos resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

PINTO, T. P. P. **Utilização de Resíduos de Construção: estudo do uso em argamassas**. São Paulo, 1986. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PITTA, M. R. **Características tecnológicas dos solos estabilizados com o cimento**. São Paulo, ABCP, 1980.

POON, C.S. et al. **On site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong**. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 32, p. 157-172, 2001.

SANTOS, E. C. G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado.** 2007. 168 f. Dissertação (Mestre em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.

SEGANTINI, A. A. S.; WADA, P. H. **Estudo da dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição.** Acta Scientiarum, Technology Maringá, v. 33, n. 2, p. 179-183, 2011.

SEGANTINI, A. A. S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP.** Campinas: UNICAMP, 2000. 176p. Tese Doutorado.

SILVA, M. B. L. **Novo materiais à base de resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos de produção de cal (RPC) para uso na construção civil.** 2014. 73 f. Dissertação (Mestre em Engenharia e Ciência dos materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, A.B. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas, Amazonas, p. 109-114, 2009.

SILVA, S.R. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira.** 2005. 198 f. Dissertação (Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, M. A. S.; PEREIRA, J. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.12, n.2, p.205–212, 2008.

SOUZA, M. I. B. **Análise de adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** 2006. 117 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira.

ZORDAN, S. E. **A Utilização do Entulho como Agregado na Confeção do Concreto.** Campinas: Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação (Mestrado), 1997.