



ANÁLISE DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM MELHORAMENTO DE SOLOS

Andréa B. Farias (1); Stela P. Fucale (2); Alexandre D. Gusmão (3)

(1) Departamento de Engenharia Civil – Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco, Brasil – e-mail: deinhabf@hotmail.com

(2) Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco, Brasil – e-mail: sfucale@yahoo.com.br

(3) Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco, Brasil – e-mail: gusmao.alex@ig.com.br

RESUMO

A grande geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) tem provocado preocupação sócio-ambiental, causada pela exploração de recursos naturais, pelos descartes clandestinos e pela proliferação de vetores de doenças. Perante isto surgiu, em 2002, a Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº. 307 que determina a não geração, redução e reciclagem do RCD. Nesta pesquisa, busca-se uma alternativa para o entulho gerado pela Construção Civil, por meio da comparação das características físicas e mecânicas do agregado reciclado de RCD e do agregado natural (pó-de-pedra), comumente usado na composição de estacas de compactação para melhoramento de solos em obras de fundação na cidade de Recife/PE. Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização e compactação em laboratório e sondagem SPT e prova de carga em placa em campo, ressaltando a qualidade dos materiais e suas potencialidades. Os resultados laboratoriais mostraram comportamentos semelhantes entre as amostras investigadas (reciclada e natural). Já os dados obtidos em campo, por exemplo, em prova de carga em placa apresentaram a estaca constituída de material reciclado com desempenho melhor, uma vez que esta suportou uma pressão aproximadamente 3505,65 kPa. Dessa forma, o presente trabalho espera contribuir para a adequação da indústria da construção civil ao contexto de responsabilidade ambiental e desenvolvimento sustentável por meio da nova aplicação proposta.

Palavras-chave: Resíduos da Construção e Demolição, Reciclagem, Melhoramento de Solos.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Origem e Impactos Gerados pelos Resíduos da Construção e Demolição (RCD)

Apesar da indústria da construção civil ser garantia de desenvolvimento de um país, visto que os investimentos no setor passaram de R\$ 168 bilhões em 2005 para R\$ 259 bilhões em 2008, os empregos aumentaram cerca de 20% nestes anos e o PIB teve um crescimento de 27% em termos reais (ABRAMAT, 2010), a grande problemática enfrentada pela mesma encontra-se na elevada geração de RCD, representando 40 a 60% dos resíduos sólidos urbanos, e na sua destinação final, enfrentada pelo setor de limpeza urbana (SIQUEIRA, 2005).

De acordo com Gusmão (2008), considerando-se as diversas fases de uma construção, a geração de resíduos encontra-se como um processo inerente a todas as atividades, sendo alguns exemplos:

- A construção, na qual os RCD se originam, na grande maioria, por motivo de desperdício de materiais devido à aplicação de técnicas e procedimentos rudimentares já consagrados no setor.
- As manutenções e/ou reformas, os mesmos surgem por motivos de mudanças arquitetônicas e decorativas desejáveis pelos proprietários nos imóveis visando à modernização, ou por problemas técnicos que possa aparecer devido ao processo construtivo executado de forma precária.
- As demolições, que também se apresentam como uma fonte geradora, uma vez que, de um modo geral, vêm sendo realizadas sem processos racionalizados e sem qualquer tipo de segregação, que são ações facilitadoras do aproveitamento de RCD.

De acordo com SINDUSCON-SP (2005), a falta de efetividade ou, em alguns casos, a inexistência de políticas públicas que disciplinam e ordenam os fluxos de destinação dos resíduos da construção civil nas cidades, associada ao descompromisso dos geradores no manejo e, principalmente, na destinação dos resíduos, provoca impactos ambientais como: degradação das áreas de manancial e de proteção permanente; proliferação de agentes transmissores de doenças; assoreamento de rios e córregos; obstrução de sistemas de drenagem, tais como piscinões, galerias, sarjetas, entre outros; ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos, com prejuízo à circulação de pessoas e veículos, além da própria degradação da paisagem urbana; existência e acúmulo de resíduos que podem gerar risco por sua periculosidade.

Além disso, a construção civil é responsável por um elevado consumo de recursos naturais, segundo Sjöström (1996) *apud* Schneider (2003), estima-se que ela consome algo entre 20 e 50% de todos os recursos naturais disponíveis, renováveis e não renováveis.

1.2 Legislação nacional e normas técnicas

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou, em 5 de julho de 2002, a Resolução nº 307, primeira que trata dos RCD e tem como princípio a não geração de resíduos, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final. De acordo com o § 1º do art.4º, os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei.

A partir desta resolução surge o princípio de poluidor-pagador, que define o gerador de resíduo como responsável pelos impactos ambientais, sendo considerados cúmplices destes crimes empresas coletoras e transportadores envolvidos.

De acordo com Carneiro (2005), com o despertar da sociedade para a importância da questão dos resíduos provenientes de atividades de construção e a consequente percepção da ineficácia dos modelos de gestão normalmente adotados pelos municípios, houve a necessidade de adoção de novas práticas nas cidades brasileiras. Por isso, em 2004, foram elaboradas as primeiras normas técnicas relacionadas aos RCD.

1.3 Reciclagem dos RCD

Nos últimos anos, a construção civil tem avançado na redução dos desperdícios, obtido principalmente por meio de programas de redução de perdas e implantação de sistemas de gestão da qualidade. O

aproveitamento de RCD deve ser uma das práticas a serem adotadas na produção de edificações, visando um processo sustentável ao longo dos anos, proporcionando economia de recursos naturais e minimizando o impacto ao meio-ambiente. O potencial de reaproveitamento e reciclagem de RCD é significativo, e a exigência da incorporação destes resíduos em determinados produtos tende a ser benéfica, já que proporciona economia de matéria-prima e energia (SANTOS, 2008).

Segundo Silva (2009), a possibilidade de reciclagem dos resíduos gerados na obra está diretamente ligada à fabricação em pequena escala de “cocadas” e “blocos mestrados” para utilização na própria obra. Para reciclagem de RCD em grande escala, outras possibilidades já foram estudadas e resultados satisfatórios foram alcançados, como o emprego de agregado reciclado de RCD em pavimentação, blocos de concreto sem função estrutural, estruturas de solos reforçados, entre outras.

Além disto, a construção civil é potencialmente uma grande consumidora resíduos provenientes de outras indústrias (RECICLAGEM, 2010). Atualmente, a escória granulada de alto forno e cinza volante é considerada um sub-produto por ter sua utilização consagrada no setor, já que são incorporados rotineiramente nas construções.

1.4 Melhoramento de Solos com Estacas de Compactação

É prática corrente, em cidades do litoral nordestino, o uso de estacas de compactação, executadas pela técnica de vibro-deslocamento, como método de melhoria do terreno arenoso, no caso de fundações rasas por sapata. A execução das estacas de compactação aumenta a capacidade de carga do solo e diminui os recalques da fundação, de modo que a opção por fundações diretas seja viável técnica e economicamente (SOARES, 2002).

O procedimento de cravação de estacas de areia e brita, por exemplo, é feito através da introdução nas camadas superficiais do solo de um tubo metálico com uma bucha seca na ponta até a camada que se deseja compactar. Em seguida, a bucha é retirada e areia e brita são introduzidas no tubo. Posteriormente, ocorre aplicação de energia dinâmica devido à queda livre do pilão até a compactadez desejada. O tubo é, então, levantado e executa-se progressivamente a técnica para as camadas superiores até ser atingido o nível do terreno (Figura 1).

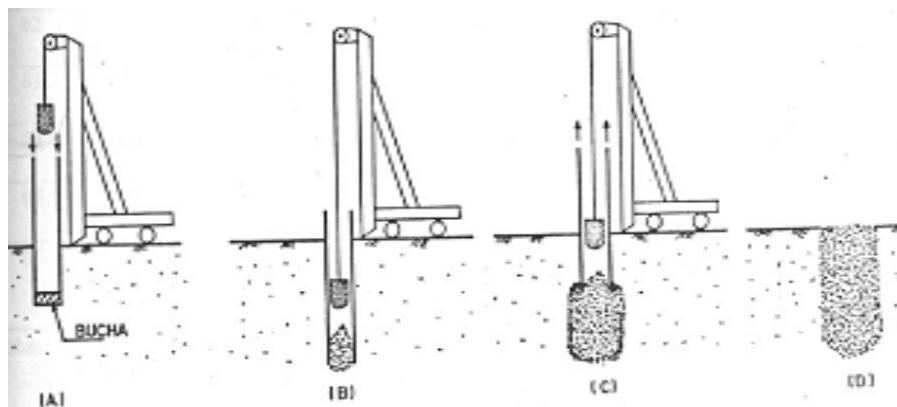


Figura 1 – Processo executivo das estacas de areia e brita (GUSMÃO FILHO, 1998)

2 OBJETIVO

Esta pesquisa objetiva analisar a viabilidade técnica do uso de agregados reciclados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como material de composição de estacas de compactação para melhoramento de solos em obras de fundação, visando reduzir os impactos ambientais gerados pela indústria da construção civil.

3 METODOLOGIA

A primeira etapa experimental da pesquisa consistiu na execução de ensaios de laboratório, envolvendo estudos sobre a composição gravimétrica, granulometria, limites de consistência, densidade real, compactação e cisalhamento direto do agregado miúdo natural, pó-de-pedra, e do agregado reciclado procedente do beneficiamento de RCD. Na segunda etapa, foram realizados ensaios de campo, ou seja, sondagem à percussão (SPT), dentro e fora do local onde houve o processo de estaqueamento, em terreno localizado na cidade de Recife/PE, e prova de carga em placa em estacas de compactação, executadas com agregado reciclado de RCD, localizadas em uma malha experimental do terreno investigado.

3.1 Coleta de amostras

A amostra de RCD foi recolhida em um canteiro de obras que possuía coleta seletiva, ou seja, segregação de certos materiais como metais, papel e plástico, estando o mesmo em fase de acabamento e alvenaria interna com reformulação estrutural de viga. Após a coleta, realizou-se a separação tático-visual deste material, ou seja, a composição gravimétrica, seguida pelo beneficiamento, tornando possível a redução do tamanho dos grãos ($\varnothing \leq 4,8\text{mm}$). Já o agregado natural foi adquirido em uma obra que estava executando a técnica de estacas de compactação para melhoramento de solo.

3.2 Ensaios de laboratório

3.2.1 Ensaios de caracterização e compactação

Os ensaios de caracterização dos agregados naturais e reciclados (RCD) seguiram a metodologia recomendada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas: Preparação para Ensaios de Compactação e Caracterização - NBR 6457/86; Análise Granulométrica - NBR 7181/84; Determinação do Limite de Liquidez - NBR 6459/84; Determinação do Limite de Plasticidade - NBR 7180/84; Determinação do Limite de Contração - NBR 7183/82; Ensaio de Compactação - NBR 7182/86.

O ensaio de densidade real nos agregados miúdos foi realizado de acordo com a norma do Departamento Nacional de Estradas e Rodagens: Determinação da Densidade Real – DNER/ME 093/94.

3.3 Ensaios de campo

Para o reconhecimento da disposição, da natureza e da espessura das camadas de solo; da resistência à penetração; da compressibilidade; do recalque foram realizadas sondagens a percussão (SPT), dentro e fora da malha experimental, além de provas de carga em placa, utilizando os procedimentos prescritos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.3.1 Ensaio de SPT dentro e fora da malha

A sondagem a percussão foi feita como disciplina a NBR 6484/80, já a classificação das camadas fundamentou-se na NBR 7250/82.

Para avaliar a viabilidade técnica do uso de RCD “in situ” foi implantada uma malha experimental com 25 estacas no terreno, das quais 19 eram convencionais, ou seja, com pó-de-pedra, e 6 eram de material reciclado (RCD), com profundidade entre 3,5 e 5m (Figura 2).

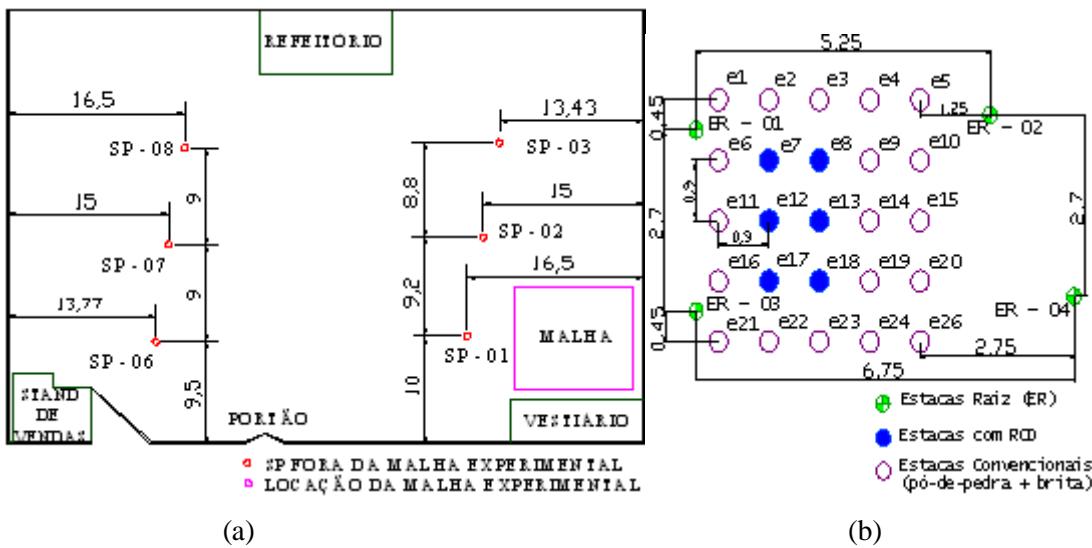


Figura 2 – Planta baixa do terreno (a) e da malha experimental e estacas raiz (b)

Os furos analisados nos ensaios SPT fora da malha, porém próximos à mesma, foram SP 01, SP 02 e SP 03. E, locados dentro da malha, analisou-se os furos SP 04 e SP 05.

Vale ressaltar que o furo SP 05 foi executado entre estacas de compactação constituída de material reciclado (e_{12} , e_{13} , e_{17} e e_{18}), já o furo SP 04, entre as estacas e_8 , e_9 , e_{13} , e e_{14} , duas compostas por RCD e duas por agregado natural.

3.3.2 Ensaio de prova de carga em placa

Este ensaio baseou-se na NBR 12131/05 que prescreve o método de ensaio para executar prova de carga (PC) em estaca visando fornecer elementos para avaliar seu comportamento carga x deslocamento, bem como estimar suas características de capacidade de carga.

Através da técnica de concretagem submersa foram feitas 4 estacas raiz, para compor o sistema de reação, necessárias para realização do ensaio.

Em suma, foram executadas 15 provas de carga, sendo quatro delas analisadas neste trabalho. As estacas selecionadas foram a e_7 e a e_8 , denominadas respectivamente de PC 10 e PC 09, compostas por material reciclado (RCD), e a e_9 , nomeada de PC 08, convencional. Fez-se, ainda, uma análise no solo virgem fora da malha, PC 11. Todos os ensaios foram do tipo rápido, com leituras aos 0, 2 e 5 minutos e com utilização de placas de 300 mm de diâmetro.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Composição gravimétrica

Após a segregação tático-visual e a pesagem foi possível determinar a composição gravimétrica da amostra de RCD investigada (Gráfico 1).

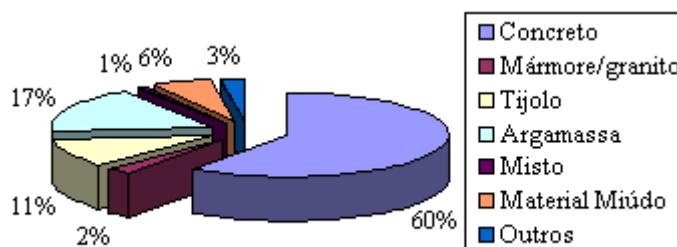


Gráfico 1 – Composição gravimétrica dos constituintes da amostra estudada

Analizando o Gráfico 1, é possível notar a predominância do concreto (60%) em relação aos outros constituintes, justificado pelo fato de durante a coleta deste material estava ocorrendo à reformulação de uma viga. Este percentual geralmente é diagnosticado na fase de estrutura, como Carneiro (2005) que obteve 53% de concreto.

Também pode ser observada a presença de materiais Classe B, como madeira e papelão, denominado de “outros” neste estudo, posteriormente segregados, visto que esta pesquisa se detém a resíduos Classe A. Notou-se, ainda, a presença de material miúdo (material passante na peneira N° 4 ou 4,8 mm), ou seja, 6% de solo.

4.2 Caracterização

4.2.1 Granulometria

A realização deste ensaio possibilitou a construção das curvas granulométricas da amostra beneficiada de RCD e do agregado natural (Gráfico 2). Nota-se que as amostras estudadas são constituídas, principalmente, de materiais classificados como areia, apresentando também uma pequena porcentagem correspondente a silte e a argila.

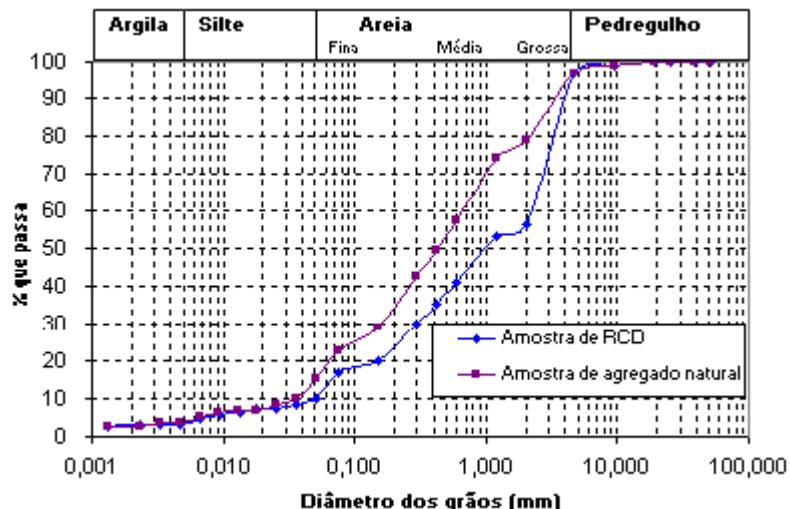


Gráfico 2 – Curvas granulométricas

A percentagem de cada material das duas amostras investigadas está indicada na Tabela 1.

Tabela 1 – Percentagem correspondente a argila, silte e areia nas amostras investigadas

Material	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
Agregado Reciclado	0,66	6,51	87,95
Agregado natural (pó-de-pedra)	0,92	11,60	81,92

4.2.2 Densidade real

Com base no ensaio de densidade real, encontrou-se semelhança entre os dois materiais estudados, apresentando os seguintes valores para o agregado natural e para a amostra de RCD, respectivamente, 2,69 e 2,67. Tais valores são típicos de materiais arenosos.

4.2.3 Limites de consistência

No que se refere aos ensaios de limites de consistência, a amostra de RCD e o agregado natural não apresentaram LL, LP e LC.

4.3 Compactação

A partir do ensaio, determinaram-se as curvas de compactação, tanto para a amostra beneficiada de RCD como para o agregado natural (Gráfico 3).

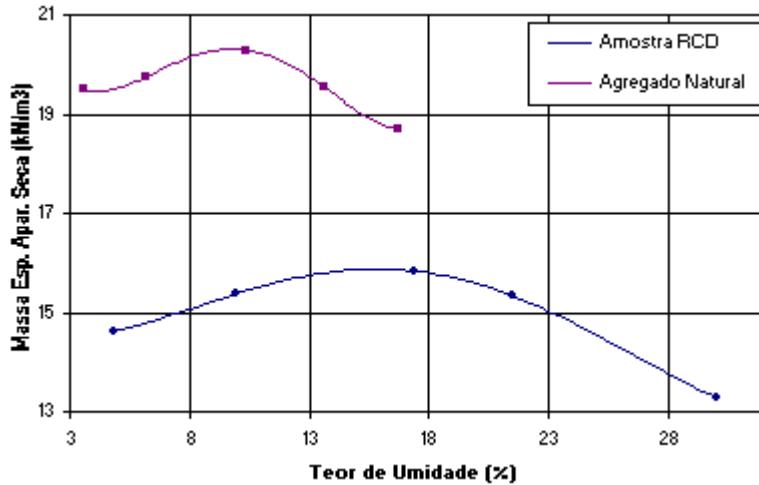


Gráfico 3 – Curvas de compactação da amostra de RCD e do agregado natural

De posse dos resultados do ensaio de compactação, obteve-se as umidades ótimas 17,5% e 9,8% e massa específica aparente seca máxima de 15,8 e 20,3 kN/m³, respectivamente para o material reciclado e o pó-de-pedra. Nos estudos realizados por Medeiros (2008) e Silva (2007), os valores encontrados para massa específica aparente seca do RCD de acordo com as suas composições gravimétricas foram, nesta seqüência, 17,5 e 16,6 kN/m³. Em análise comparativa foi percebida a semelhança entre os dados obtidos nesta pesquisa e em investigações feitas anteriormente.

4.4 Sondagem a percussão (SPT)

A realização do SPT fora da malha experimental permitiu a determinação do perfil típico do subsolo da área investigada (Figura 3).

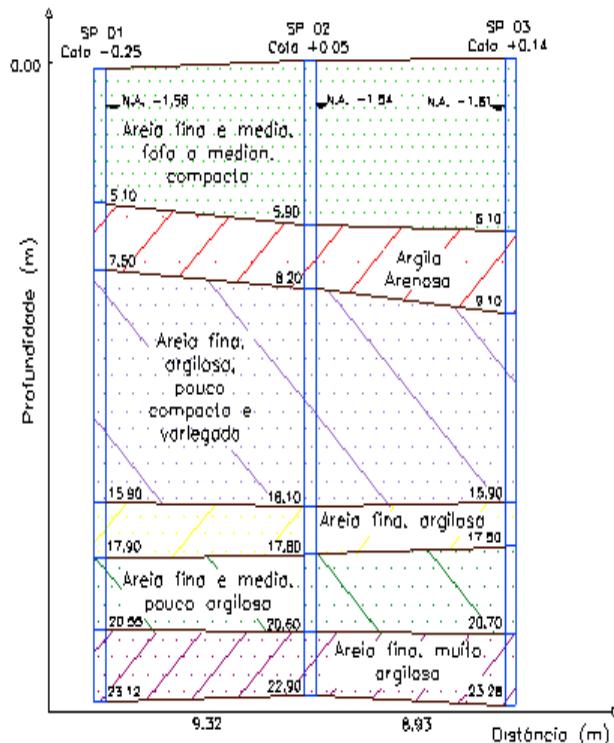


Figura 3 – Perfil do subsolo

Segundo a Figura 3, a profundidade atingida pelos ensaios foi aproximadamente 23m. Até os cinco (5,0) primeiros metros, encontra-se areia fina e média. Em profundidades superiores, as camadas são constituídas principalmente por areia fina argilosa, apresentando também uma camada de argila com 2,5m de espessura em média. O nível d'água (NA) localiza-se a cerca 1,57m da superfície. Nota-se,

ainda, que as camadas de areia existentes possuem características variando, de fofa a pouco compacta.

As sondagens executadas fora da malha possuíram profundidade da ordem de 23m, para tornar possível o conhecimento do perfil e resistência do terreno. Após o estaqueamento, foram realizadas outras sondagens para determinar o ganho de resistência dentro da malha.

Fez-se uma compilação dos dados para comparação das resistências dentro e fora da malha experimental (Gráfico 4).

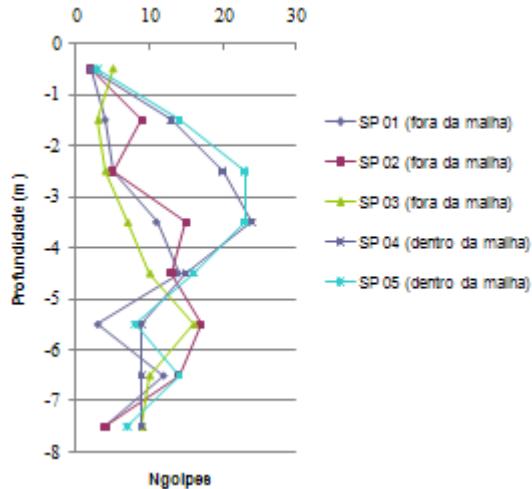


Gráfico 4 – Resistência do terreno dentro e fora da malha experimental

Através do Gráfico 4, pode-se perceber que o golpe máximo atingido nas três sondagens locadas fora da malha foram, respectivamente, 14, 17 e 16, enquanto dentro da mesma foi de 24 e 23 para o SP 04 e SP 05.

Comparando o SP 03 (fora da malha) com o SP 05 (dentro da malha), a uma profundidade de 2,5 m, pode-se notar um acréscimo de resistência de 475%. É importante destacar que o SP 05 foi executado entre estacas de compactação, como explicitado no item 3.3.1.

4.5 Prova de carga

A fim de comprovar o comportamento da estaca de material reciclado (RCD) e determinar os recalques sucessivos, carregou-se progressivamente as estacas e₇ e e₈, além da e₉ e do solo virgem.

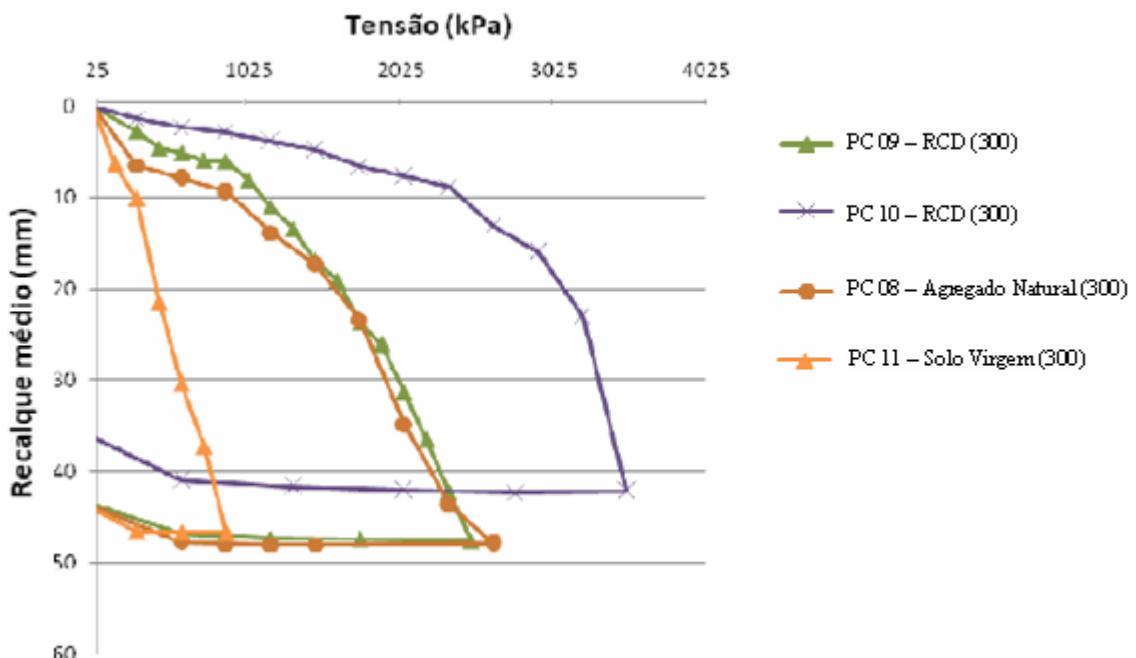


Gráfico 5 – Comparaçao de ensaios rápidos de prova de carga

De posse dos resultados obtidos na prova de carga, observou-se o bom desempenho das estacas de RCD, das convencionais (com agregado natural) em relação ao solo virgem fora da malha. Os valores máximos atingidos nas provas de carga PC 08, PC 09, PC 10 e PC 11, nomeados de acordo com o item 3.3.2, foram, respectivamente 2628,53 kPa; 2482,82 kPa; 3505,65 kPa, 877,12 kPa.

Destaca-se o comportamento da prova de carga PC 10, que atingiu maior valor de tensão, 3505,65 kPa, e um recalque de menor magnitude quando comparada as demais, 42,08 mm. Nota-se, ainda, a compatibilização de desempenho entre as outras duas provas de carga realizadas PC 08 e PC 09.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi exposto ao longo desta pesquisa, conclui-se que há semelhança, do ponto de vista técnico, nas características dos resíduos Classe A gerados em canteiros de obras (RCD) e do agregado natural (pó-de-pedra). Tal comportamento também foi evidenciado por outros autores, como Medeiros Junior (2008) e Silva (2009), em RCD obtidos em canteiro de obras nas diferentes fases (estrutura, alvenaria, acabamento e demolição).

Resultados muito positivos foram alcançados tanto nos ensaios de laboratório quanto em campo, os quais apresentaram a grande potencialidade da utilização do RCD reciclado como material alternativo para compor as estacas de compactação utilizadas em obras de fundação para melhoramento de solos.

Em suma, este estudo aponta mais uma possibilidade de aproveitamento do RCD pela indústria da construção civil, auxiliando na adequação desta ao contexto ambiental e a conformação ao desenvolvimento sustentável por meio da reciclagem, diminuindo a proliferação de vetores, o descarte em locais clandestinos e a poluição do meio ambiente.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457, Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181, Solo - Análise Granulométrica - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7183, Solo - Determinação do Limite de Contração - Procedimento. Rio de Janeiro, 1982.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459, Solo - Determinação do Limite de Liquidez - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180, Solo - Determinação do Limite de Plasticidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182, Solo - Ensaio de Compactação - Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12131, Estacas – Prova de Carga Estática – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7250, Identificação e Descrição de Amostras de Solo Obtidas em Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos. Rio de Janeiro, 1982.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6484, Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos. Rio de Janeiro, 1980.
- ABRAMAT. Abramat e FGV/Projetos demonstram a importância do setor para o Brasil e os reais impactos da crise sobre a atividade. Disponível em <http://www.abramat.org.br/files/090914_NotaTecnica_CadeiaProdutiva.pdf>. Acesso em 03 de maio de 2010.

CARNEIRO, F. P. Diagnóstico e Ações da Atual Situação dos Resíduos de Construção e Demolição na Cidade do Recife. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, 2005.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n.307 de 5 de julho de 2002. Estabelece Diretrizes, Critérios e Procedimentos para a Gestão dos Resíduos da Construção. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. ME 093, Solo – Determinação da Densidade Real - Método de Ensaio, 1994.

GUSMÃO, A. D. Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil. Recife/PE. Gráfica Editora, 2008.

GUSMÃO FILHO, J. A. Fundações do Conhecimento Geológico à Prática da Engenharia. Editora Universitária, UFPE, Recife, 1998.

MEDEIROS JUNIOR, R. A. Aproveitamento de Agregado Reciclado de Resíduos da Construção Civil para Produção de Argamassa com Uso em Estacas de Compactação. Relatório de Iniciação Científica Pibic/UPE, Recife/PE, 2008.

RECICLAGEM. Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar. Disponível em: http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des_sustentavel.htm. Acesso em: 05 de maio de 2010.

SANTOS, A. N. **Diagnóstico da Situação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Município de Petrolina (PE).** Dissertação (Mestrado), Universidade Católica de Pernambuco, Recife/PE, 2008.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo.** Dissertação (Mestrado), Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2003.

SINDUSCON-SP. Disponível em <http://www.gerenciamento.ufba.br>. Acesso em: 23 de agosto de 2009.

SILVA, T. C. R. **Estudo de Viabilidade Técnica de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Reciclado em Estacas de Compactação.** Relatório de Iniciação Científica Pibic/Poli, Recife/PE, 2007.

SILVA, T. C. R. **Aplicação de Resíduos da Construção Civil como Material de Preenchimento de Estacas de Compactação.** Universidade de Pernambuco, Trabalho de Conclusão de Curso, Recife/PE, 2009.

SIQUEIRA, M. S. **Análise da Situação Ambiental dos Resíduos de Construção na Cidade do Recife.** Relatório de Iniciação Científica Pibic/Poli, Recife, 2005.

SOARES, W. C. **Estacas de Compactação para Melhoria de Solo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação da escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao grupo AMBITEC – Grupo de Pesquisa em Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente – da Escola Politécnica de Pernambuco/Universidade de Pernambuco, ao NPEC – Núcleo de Pesquisa em Engenharia Civil – que proporciona o espaço físico para a realização de pesquisas, e ao CNPq, por financiar esta pesquisa.