

Permeabilidade de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R): Efeito da Presença de Material Concretício e do Grau de Compactação

Douglas Moura Couto

Universidade de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, douglas.couto@live.com

Eder Carlos Guedes dos Santos

Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, Brasil, edersantos@ufg.br

RESUMO: Os resíduos de construção e demolição (RCD) representam uma considerável parcela dos resíduos gerados dentro dos grandes centros urbanos. Nesse cenário, a falta de uma destinação adequada para esses resíduos acaba repercutindo na geração de impactos ambientais, econômicos e sociais para toda a população. Algumas opções de reciclagem do RCD já estão consolidadas: i) o seu emprego como material de base e sub-base de estradas e ii) como agregado em concreto sem função estrutural. No entanto, essas duas propostas não são suficientes para empregar todo o volume de RCD gerado atualmente. Diante disso este estudo propõe a utilização de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em obras geotécnicas e, para tanto, avaliou experimentalmente a variação da permeabilidade desses materiais em função da presença de agregado reciclado de concreto (ARC) na sua composição e do grau de compactação. Os resultados mostraram a baixa variabilidade granulométrica entre as amostras de RCD-R e o seu comportamento não plástico. A partir dos ensaios de permeabilidade, verificou-se que a adição do ARC não influenciou significativamente os valores dos coeficientes de permeabilidade (k). No entanto, a variação do grau de compactação ocasionou variação relevante no valor de k , mas sem ultrapassar os valores usualmente encontrados para solos arenosos. Embora estudos mais específicos para cada aplicação seja recomendado, pode-se concluir que o uso de RCD-R misto e de misturas de RCD-R com ARC mostra-se viável em obras geotécnicas que demandem materiais com permeabilidade de solos arenosos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de construção e demolição, Reciclagem, Caracterização Geotécnica, Grau de compactação, Permeabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil (ICC) é apontada como a atividade com maior capacidade de elevar as taxas de crescimento da economia brasileira a curto e médio prazo. Além disso, essa indústria é reconhecida por ter um caráter dinâmico e mutável. Com o crescimento do setor e a necessidade de suprir as demandas do mercado, diariamente surgem novos empreendimentos e, conseqüentemente, a geração dos resíduos de construção e demolição (RCD).

Tais resíduos, usualmente são descartados de forma inapropriada, o que gera impactos ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, os impactos ambientais são causados, principalmente, pela inexistência de uma política eficiente no combate aos processos de degradação do meio ambiente decorrentes da exploração de recursos naturais e do descarte de resíduos.

Uma vez que a excessiva exploração dos recursos naturais mostra-se como um modelo insustentável, uma série de estudos tem sido realizada para investigar a viabilidade da

reciclagem do RCD e a sua aplicabilidade. Resultados de Santos (2007) demonstraram, a partir da caracterização das propriedades geotécnicas de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R), que estes materiais poderiam ser utilizados em diversas obras geotécnicas. Isso contribuiria para a redução da procura por novas áreas de exploração dos recursos naturais, minimizando o desmatamento de extensas áreas, a contaminação de rios, a exposição de aquíferos e a poluição do ar.

Nesse sentido, buscando uma maior aplicação de RCD-R na Engenharia Geotécnica, Affonso (2005) e Brandão (2011) examinaram a utilização de RCD-R em aterros de resíduos sólidos – Barros (2005) pesquisou sobre a aplicação deste produto como sistema de cobertura de aterro; enquanto que Silva (2013) pesquisou os fatores que influenciam na permeabilidade dos RCD-R.

2 OBJETIVO

Com o propósito de buscar novas possibilidades de uso para os RCD-R, este estudo avaliou experimentalmente a variação da permeabilidade desses materiais em função da presença de material concretício na sua composição e do grau de compactação, de forma a analisar a adequabilidade do seu uso em obras geotécnicas com enfoque hidráulico.

3 METODOLOGIA

3.1 Coleta dos RCD-R Misto

O material utilizado neste estudo foi coletado em uma usina de beneficiamento de RCD, localizada em Camaragibe-PE (FIGURA 1).

O material coletado trata-se de RCD-R misto – nomeado pela usina de beneficiamento como ‘pó-de-pedra’. A Tabela 1 fornece o plano de coleta das amostras realizado no estudo.

De modo a evitar os efeitos da heterogeneidade do material observada usualmente ao longo da altura da pilha, as amostras foram coletadas em sacos plásticos

posicionados diretamente abaixo da saída da esteira do britador (FIGURA 2).



Figura 1. Visão da usina de beneficiamento de RCD (Fonte: página na internet da Ciclo Ambiental. Disponível em: <https://www.cicloambientalrcc.com.br/site/galeria_fotos/exibe_galeria.php?id_galeria=1> Acesso em Mar. 2016).

Tabela 1. Plano de coleta do RCD-R.

Amostra	Data da Coleta	Quantidade (kg)
RCD-R 01	23/10/2014	58,74
RCD-R 02	06/11/2014	72,62
RCD-R 03	20/11/2014	73,82
RCD-R 04	04/12/2014	73,54
RCD-R 05	18/12/2014	78,24



Figura 2. Coleta de RCD-R misto (pó-de-pedra).

3.2 Preparação dos Agregados Reciclados de Concreto

Com o propósito de avaliar o efeito da presença do material concretício na permeabilidade do RCD-R, foram adicionadas a esse, diferentes proporções de agregado reciclado de concreto (ARC). O ARC foi produzido em laboratório, a partir da britagem de corpos de prova cilíndricos de concreto (100 mm x 200 mm) obtidos junto a uma empresa de controle

tecnológico de materiais de construção civil. A britagem do material foi realizada com um britador de mandíbulas (FIGURA 3). Posteriormente, o material britado foi peneirado com o objetivo de garantir que o ARC apresentasse tamanho máximo da partícula igual a 4,8mm.



Figura 3. Produção do ARC - britagem dos corpos de prova de concreto.

3.3 Preparação das misturas de RCD-R misto e ARC

Após a realização dos ensaios de caracterização geotécnica das 5 (cinco) amostras de RCD-R misto, foi realizada a preparação das misturas de RCD-R e ARC. Para isso, empregou-se apenas a amostra RCD-R 05 – utilizada por conter maior quantidade de material – e a adição de ARC nos percentuais de 25%, 50% e 75% da massa do RCD-R.

3.4 Ensaio de Compactação

Os ensaios de compactação foram realizados com energia de Proctor Intermediário, com reuso do material, seguindo as recomendações da NBR 7182/86. A ocorrência de eventuais quebras de grãos não foi investigada.

3.5 Ensaio de Permeabilidade

Para a realização dos ensaios de permeabilidade, empregou-se um permeâmetro

de carga constante e se seguiu as recomendações constantes na NBR 13292/95.

Além dos ensaios com as misturas – com percentuais de 25%, 50% e 75% de RCD-R –, realizou-se ensaios de permeabilidade com o material contendo 100% de RCD-R misto, totalizando 4 (quatro) amostras investigadas.

Para cada amostra, foram executados 3 (três) ensaios, variando o grau de compactação. Todas as amostras foram compactadas a seco, de modo a facilitar a execução de processo de compactação. A Figura 4 mostra o processo de compactação do RCD-R e misturas para o ensaio de permeabilidade.



Figura 4. Compactação do corpo de prova para o ensaio de permeabilidade.

Para a obtenção de diferentes valores de grau de compactação (GC), foram empregados três métodos de preparação das amostras (TABELA 2). O soquete usado na compactação das camadas possui massa igual a 4,32 kg.

Tabela 2. Métodos adotados na preparação dos ensaios de permeabilidade.

Método	Quant. de camadas	Altura da camada (mm)	Quant. de golpes ¹
I	01	195	N.A. ²
II	05	39	40
III	10	19,5	60

Notas: ¹ Quantidade de golpes por camada, com altura de queda de aproximadamente 30 mm; ² O material foi apenas depositado no permeâmetro.

4 RESULTADOS

4.1 Análise Granulométrica

A realização dos ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação, permitiu a construção das curvas granulométricas dos quatro materiais preparados para o estudo. A partir da análise das curvas granulométricas obtidas, verificou-se a baixa variabilidade entre as amostras preparadas para o estudo (FIGURA 5). Segundo a classificação da ABNT, todas as amostras em estudo foram classificadas com uma ‘areia pedregulhosa’.

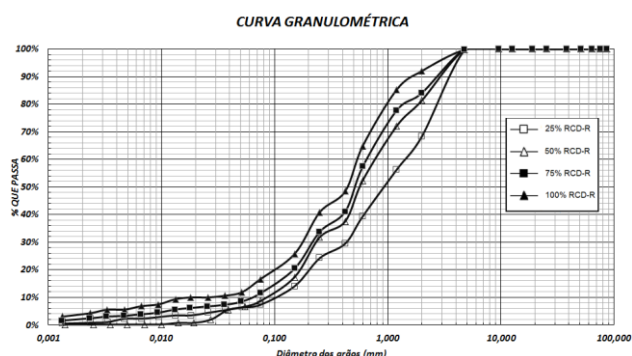


Figura 5. Curvas granulométricas

4.2 Limites de Consistência

Para todas as quatro amostras investigadas, observou-se resultados dos ensaios de limite de consistência semelhantes aos obtidos de materiais classificados como solos arenosos, visto o comportamento não líquido e não plástico.

4.3 Densidade Real

De modo a facilitar a análise dos dados obtidos nos ensaios de massa específica dos grãos (passantes na peneira de abertura 4,8 mm), a Tabela 3 apresenta os resultados para cada amostra ensaiada. Os valores obtidos para as quatro amostras variaram de 2,505 g/cm³ a 2,715 g/cm³.

4.4 Compactação

Os ensaios de compactação foram realizados com energia de Proctor Intermediário, com o

Tabela 3. Massa específica dos grãos passantes na peneira de abertura 4,8 mm.

Amostra	Massa específica dos grãos (g/cm ³)
25% RCD-R e 75% ARC	2,664
50% RCD-R e 50% ARC	2,505
75% RCD-R e 25% ARC	2,715
100% RCD-R	2,625

reúso do material, seguindo as recomendações da NBR 7182/86.

Os resultados dos ensaios de compactação revelaram que a adição de ARC resultou no aumento dos valores de umidade ótima (w_{ot}) e na redução dos valores de massa específica seca máxima ($\rho_{dMáx}$). A Figura 6 apresenta as curvas de compactação obtidas para as amostras ensaiadas.

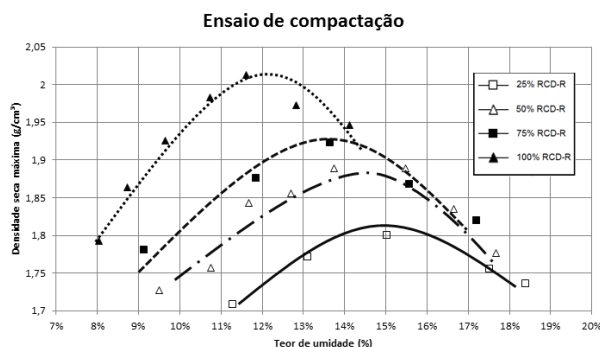


Figura 6. Curvas de Compactação

A partir dos resultados dos ensaios de compactação, verificou-se os valores de w_{ot} variando de 12,50% a 15,11% e valores de $\rho_{dMáx}$ variando de 1,797 g/cm³ a 2,021 g/cm³. A Tabela 4 apresenta um resumo dos resultados encontrados nos ensaios de compactação.

Tabela 4. Resumo dos resultados dos ensaios de compactação

Amostra	w_{ot} (%)	$\rho_{dMáx}$ (g/cm ³)
25% RCD-R	15,11	1,797
50% RCD-R	14,24	1,890
75% RCD-R	13,51	1,906
100% RCD-R	12,50	2,021

4.5 Permeabilidade à Carga Constante

Para a realização dos ensaios foram utilizados três métodos durante a montagem dos ensaios, de modo a alcançar diferentes graus de compactação.

Os resultados dos ensaios de permeabilidade (k) para as quatro amostras ensaiadas, com diferentes percentuais de ARC, juntamente com os valores de massa específica aparente seca e o índice de vazios obtidos de cada ensaio e seus respectivos graus de compactação, são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Coeficientes de permeabilidade (k) obtidos nos ensaios (Onde: GC – grau de compactação; e – índice de vazios).

Amostra	$P_{d\max}$ (g/cm ³)	GC (%)	e	$k_{20^\circ C}$ (cm/s)
25% RCD-R + 75% ARC	1,797	72,29	1,05	$7,99 \times 10^{-02}$
		85,59	0,73	$1,03 \times 10^{-03}$
		91,76	0,62	$1,69 \times 10^{-04}$
50% RCD-R + 50% ARC	1,890	66,08	1,01	$1,96 \times 10^{-01}$
		83,76	0,58	$1,14 \times 10^{-03}$
		88,10	0,51	$1,00 \times 10^{-04}$
75% RCD-R + 25% ARC	1,906	65,63	1,17	$6,66 \times 10^{-02}$
		79,12	0,80	$2,79 \times 10^{-03}$
		83,37	0,71	$7,58 \times 10^{-05}$
100% RCD-R	2,021	65,36	0,99	$1,22 \times 10^{-01}$
		72,04	0,80	$1,21 \times 10^{-02}$
		80,55	0,61	$1,48 \times 10^{-03}$

Todos os resultados de permeabilidade apresentaram-se coerentes, visto que estão dentro da faixa de valores usualmente obtidos para solos arenosos. A Figura 7 fornece a linha de tendência do coeficiente de permeabilidade (k) em função do índice de vazios (e).

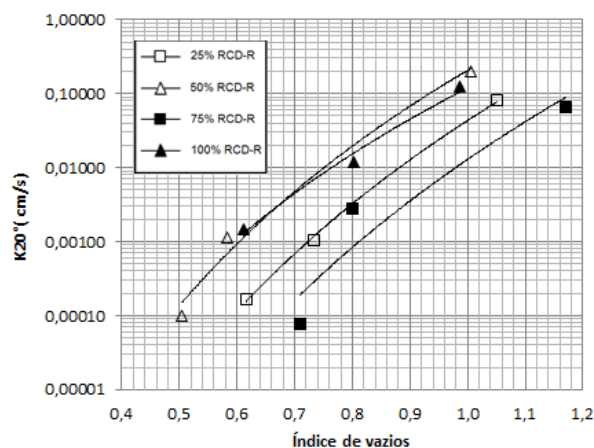


Figura 7. Variação do coeficiente de permeabilidade (k) das amostras de RCD-R em função da adição de ARC e do valor de índice de vazios (e).

A análise dos resultados dos ensaios realizados com as misturas (RCD-R misto + ARC) revelou que os valores de k não sofreram grandes variações entre os ensaios com mesmo método de preparação da amostra, mesmo que variando o percentual de adição de ARC. No entanto, a variação do grau de compactação ocasionou variação relevante no valor de k , mas sem ultrapassar os valores usualmente encontrados para solos arenosos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos no presente estudo, pode-se afirmar que a adição de ARC no RCD-R misto não alterou a granulometria desse de forma a inviabilizar a sua classificação como um material arenoso. Os ensaios de limite de consistência revelaram que todas as amostras apresentaram comportamento não líquido e não plástico.

Com os resultados obtidos a partir dos ensaios de permeabilidade, verificou-se que a adição do ARC não influenciou significativamente os valores dos coeficientes de permeabilidade (k). No entanto, a variação do grau de compactação (GC) ocasionou variação relevante no valor do coeficiente de permeabilidade, mas sem ultrapassar os valores usualmente encontrados para areias.

Embora estudos mais específicos para cada aplicação seja recomendado, pode-se concluir que o uso de RCD-R misto e de misturas de RCD-R com ARC mostram-se viável em obras geotécnicas que demandem materiais com permeabilidade de solos arenosos.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, F.J.A. *Caracterização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em camadas drenantes de aterros de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado). COPPE – UFRJ.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação*. 10p. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13292: Solo – Determinação do*

coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante. 8p. Rio de Janeiro, 1995.

BARROS, M.C. *Avaliação de um resíduo da construção civil beneficiado como material alternativo para sistema de cobertura*. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado). COPPE – UFRJ.

BRANDÃO, F. F. *Caracterização de resíduos sólidos da construção civil para sua utilização em camadas drenantes de aterros sanitários*. Viçosa, 2011. 124p. Dissertação (Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa.

http://cicloambientalrcc.com.br/site/galeria_fotos/exibe_galeria.php?id_galeria=1 > Acesso em Mar. 2016).

SANTOS, E.C.G. *Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) em Estruturas de Solo Reforçado*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007. 168p.

SILVA, E.P. *Fatores de Influência na Permeabilidade de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R)*. Relatório de Iniciação Científica, AMBITEC-Pesquisa e Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente, Universidade de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2013.