



Estudo do agregado reciclado com o uso de fibras de tamanhos variáveis para aplicações em obras geotécnicas

Thaís Ferreira Macedo¹; Kalinny Patrícia Vaz Lafayette²; Frederico José Barros Santos³

¹ Faculdade de Ciências Humanas – ESUDA (thaisa_197@hotmail.com)

² Escola Politécnica de Pernambuco - UPE (klafayette@gmail.com)

³ Escola Politécnica de Pernambuco - UPE (fjbs_pec@poli.br)

Resumo

O crescimento acelerado do setor da construção civil foi possível devido à facilidade de crédito que a população vem detendo, nos últimos anos. Tal desenvolvimento trouxeram outros problemas para esse setor, que foram os impactos ambientais originados da destinação incorreta e grande geração dos resíduos da construção civil. Com isso, surge a necessidade de estudar esse material, o agregado reciclado (AR), para que seja aplicável. O presente estudo tem como objetivo analisar através da caracterização física e mecânica do AR com adição de fibras de diferentes comprimentos para verificar sua viabilidade em aplicações de engenharia. Os resultados mostram que o AR com e sem fibras pode ser utilizado para reforço de subleito na pavimentação. Já os resultados de resistência ao cisalhamento mostraram que a medida que o comprimento da fibra aumenta os parâmetros de resistência também aumentam. Isso mostra que o agregado reciclado com a inclusão das fibras podem ser utilizados para solo reforçado.

Palavras-Chave: Agregado reciclado, Fibras, Solo reforçado.

Área Temática: Resíduos Sólidos

Study of the added recycled fibers with the use of variable sizes for applications in geotechnical

Abstract

The rapid growth of the construction industry was possible due to the credit facility that population is detaining in recent years. This development brought other problems for this sector, which were the environmental impacts arising from the improper disposal and greatest generation of construction waste. With that comes the need to study this material, the recycled aggregate (RA) to make it applicable. The present study aims to analyze through the physical and mechanical characterization of the RA with the addition of fibers of different lengths to verify their viability in engineering applications. The results show that the RA with and without fibers can be used for pavement subgrade reinforcement. As for the shear strength results showed that as the fiber length increases the strength parameters also increase. This shows that the recycled aggregate with the inclusion of fibers can be used for reinforced soil.

Keywords: recycled aggregate, fibers, reinforced soil.

Theme Area: Solid Waste



1 Introdução

A construção civil cresce de forma desenfreada, nesses últimos anos, devido ao crescimento da população e pela facilidade de crédito que o governo proporciona, aumentando assim o poder de consumo. Em contrapartida, tais acontecimentos vem acarretando em uma maior exploração de recursos naturais esgotáveis e, dessa forma, há uma geração muito grande de Resíduos da Construção e Demolição (RCD).

Esses RCD representam cerca da metade dos resíduos sólidos urbanos. No Brasil, sua geração anual corresponde a aproximadamente 68 milhões de toneladas. Para reduzir esses impactos ao meio ambiente provindos da disposição inadequada dos mesmos, podem ser realizados beneficiamentos na forma de agregados reciclados, GRUBBA (2009).

A importância do reaproveitamento de RCD deve-se basicamente a dois fatores: possibilidade de desenvolvimento de materiais de baixo custo e a interface direta do setor da Construção com a cadeia produtiva, (ROCHA e JOHN, 2003).

Tais atribuições tornam-se muito interessantes, pois a possibilidade de utilizar o RCD como material em obras com solo reforçado pode contribuir com o meio ambiente, de certa forma (SANTOS, 2007).

A partir de 2002 surge a Resolução nº 307 do CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente – em que estabelece que os resíduos não podem ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, áreas de bota-fora, encostas, corpos d’água, lotes vagos e áreas protegidas por lei. Desse modo, a reutilização dos resíduos ou de seus subprodutos, quando aplicados de forma correta, com um conhecimento prévio do processo, das unidades de geração e da identificação do potencial de aproveitamento, torna-se mais fácil a sua aplicação.

Considerando-se tais aspectos, desperta a necessidade de reaproveitar os materiais já existentes, de boa qualidade, para o uso na própria construção civil. Com esse intuito, o presente trabalho se propõe a demonstrar através de ensaios de laboratório, os ótimos resultados, visando a utilização do RCD para fins geotécnicos.

2 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo geral investigar o potencial do agregado reciclado gerado na fase de alvenaria de uma obra localizada na Região Metropolitana do Recife (RMR) como material a ser aplicado em obras de engenharia.

Os objetivos específicos desse trabalho são os seguintes:

- Caracterizar física e mecanicamente os resíduos da construção e demolição, gerados em canteiro de obra na fase de alvenaria;
- Analisar e verificar a resistência da amostra de RCD com adição de fibras em diferentes comprimentos e que poderão ser utilizadas em obras com solos reforçados.

3 Material de estudo

3.1 Resíduos da Construção Civil (RCC)

O RCD utilizado na presente pesquisa foi coletado em uma obra de edificação residencial de padrão médio, localizada da cidade do Recife, que se encontrava na fase de alvenaria. Essa amostra foi levada ao Laboratório de Mecânica dos Solos da Escola Politécnica de Pernambuco, para a realização da composição gravimétrica e posterior beneficiamento para em seguida o material ser submetido a ensaios de caracterização física e mecânica.



Figura 1 – Coleta de RCD na fase de alvenaria.



3.2 Fibras de polipropileno

O polipropileno é formado por um material polimérico (termoplástico) e, com isso, as fibras feitas desse material adquirem maior flexibilidade e tenacidade, proporcionando um aumento da resistência ao impacto dos materiais e na ductilidade do mesmo a que está sendo inclusa (SPECHT, 2000). A Figura 2 apresenta as fibras de polipropileno utilizadas para a realização dos ensaios mecânicos com o agregado reciclado (após o beneficiamento do RCD).

Essas fibras foram inseridas no agregado reciclado de forma aleatória, com teor de 0,5%, da massa seca da mistura e comprimentos de 20 mm, 40 mm e 60 mm. Foram escolhidas com base em algumas características como uniformidade, por serem quimicamente inertes, apresentarem baixo módulo de elasticidade, grande capacidade de deformação, boa resistência aos ácidos e serem encontradas facilmente no mercado. O Quadro 1 apresenta as características das fibras de polipropileno.

Figura 2 – Fibras de polipropileno.



Quadro 1 – Características das fibras de polipropileno.

Tipo	Lisa
Comprimento	20 mm
Peso específico	0,91 kg/dm ³
Módulo de elasticidade	3500-3600 N/mm ²
Resistência à tração	320-400 N/mm ²
Alongamento	Aprox. 25%
Módulo de Young	0,50x10 ³ ksi
Diâmetro	0,18 mm
Ponto de fusão	160-170°C

Fonte: Orpec Engenharia (2011).



4 Programa experimental

Os ensaios de laboratório seguiram as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Rodagens (DNIT) para Mecânica dos Solos.

a) Preparação das amostras

Antes da realização dos ensaios com o agregado reciclado houve uma preparação desses materiais utilizando a norma NBR 6457 (ABNT, 1986), em que foi possível deixar a amostra pronta para a caracterização do agregado reciclado de RCD e os outros ensaios.

b) Granulometria

Para a análise granulométrica, foi consultada a norma NBR 7181 (ABNT, 1984). Com isso, foi possível classificar o agregado reciclado, visando determinar as porcentagens em peso de cada fração existente na massa total ensaiada.

c) Densidade Real

A densidade real dos grãos apresenta as características do material em relação ao seu peso e volume real e para a realização desse ensaio, utilizou-se a norma NBR 6508 (ABNT, 1984), para grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm.

d) Limites de consistência

A norma NBR 6459 (ABNT, 1984) foi seguida para a determinação do Limite de Liquidez, e a norma NBR 7180 (ABNT, 1984) para a determinação do Limite de Plasticidade da amostra de agregado reciclado.

e) Compactação

Esse ensaio foi realizado com a energia de Proctor Normal, com reuso de material e suas etapas foram executadas de acordo com a norma NBR 7182 (ABNT, 1986), para a obtenção do peso específico aparente do solo e o teor de umidade da amostra analisada.

f) Índice de Suporte Califórnia (CBR)

Este ensaio baseou-se na norma NBR 9895 (ABNT, 1987) em que foi realizado na condição sem fibras e com fibras de 20mm para que houvesse uma comparação de resultados.

g) Ensaio de resistência ao cisalhamento direto

Esse ensaio foi realizado sem fibras e com a adição de fibras de diferentes comprimentos de 20 mm, 40 mm e 60 mm. As amostras foram ensaiadas sob tensões normais de 50kPa, 100kPa, 150kPa e 200kPa com velocidade de 0,24mm/min, para a obtenção de um conjunto de valores (σ , τ), que permite a construção de uma reta do sistema cartesiano.

5 Análise dos resultados

5.1 Caracterização física

Através da curva granulométrica da amostra de agregado reciclado (Figura 2) pode-se visualizar que esse material é composto, predominantemente, por materiais que se enquadram na faixa de areia, com 95,46%, tendo-se em menor proporção o correspondente a silte, 2,33% e a argila, 2,21%.

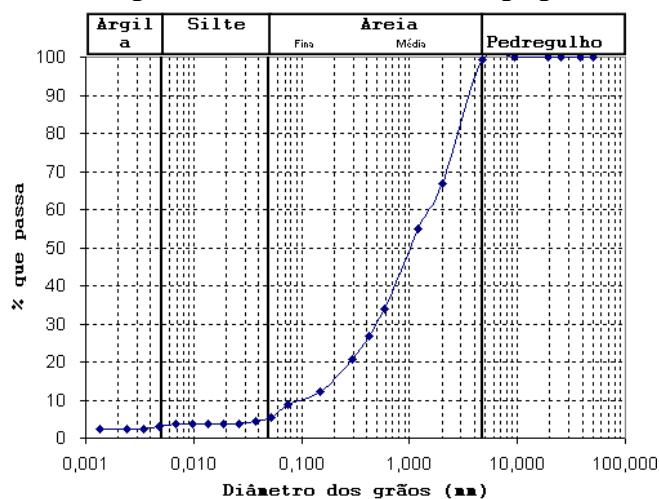
Também foi determinado o Diâmetro Efetivo (De) da amostra, que foi igual a 0,1mm. Já o Coeficiente de Não Uniformidade (CNU) foi 15, sendo desta forma um material com uniformidade média.

O ensaio de densidade real realizado conforme descrito no programa experimental possibilitou a determinação da densidade real dos grãos que foi de 2,64, sendo desta forma,



considerado como um material tipicamente arenoso. Tal como apresentado por Lira Jr. (2010), os quais foram de $2,63 \text{ g/cm}^3$ a $2,76 \text{ g/cm}^3$.

Figura 2 – Curva granulométrica da amostra de agregado reciclado.



A amostra de agregado reciclado não apresentou LL (limite de liquidez) e LP (limite de plasticidade) por se caracterizar como material tipo areia. Esse é um ponto positivo para a utilização de RCD como materiais a serem utilizados em obras de engenharia, segundo as recomendações das normas BS 8006, as quais sugerem o uso de materiais que não apresentam parcela de resistência coesiva.

5.2 Compactação

A curva de compactação (Figura 3) mostra que os valores da umidade ótima e do peso específico da amostra foram de aproximadamente 21% e $1,64 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

Após a compactação, utilizou-se o material para a realização da granulometria e realizar uma comparação das curvas granulométricas antes e após o ensaio de compactação, como mostra a Figura 4, com a intenção de verificar o comportamento dos grãos do RCD.

Verificou-se que, comparando as duas curvas granulométricas, não houve alteração significativa na granulometria dos materiais. Segundo Santos (2007), isto ocorre devido às várias etapas que o RCD é submetido durante o período da sua produção como: geração, transporte, disposição em áreas de triagem, transporte para o beneficiamento e transporte para disposição em áreas de armazenamento.

Figura 3 - Curva de compactação do agregado reciclado.

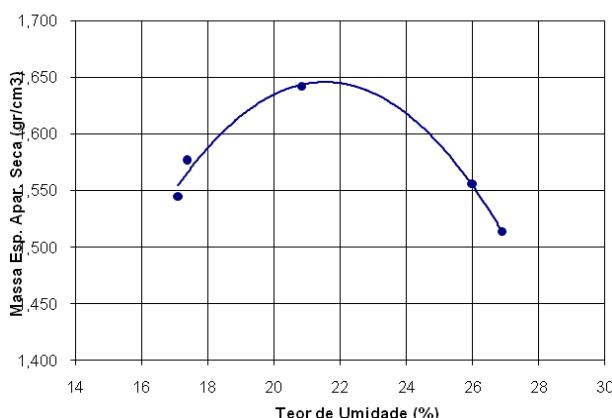
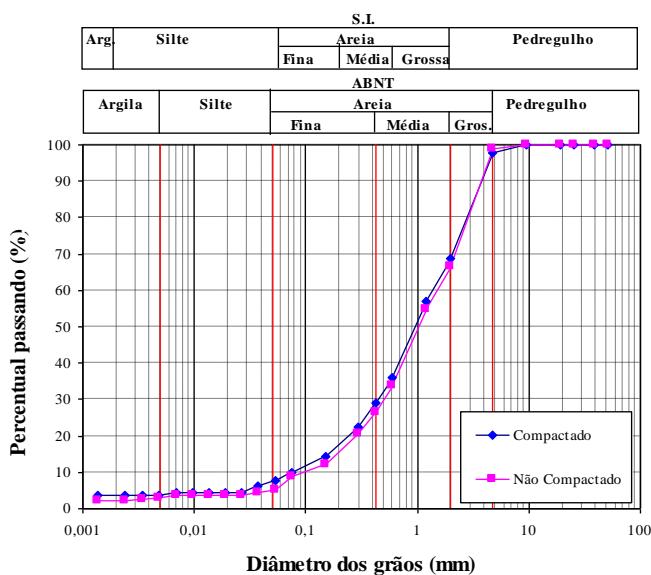




Figura 4 – Granulometria antes e após a compactação do agregado reciclado.



5.3 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Os resultados dos ensaios de CBR da amostra estudada sem fibras e com fibras de 20 mm estão expressos no Quadro 2. Segundo as normas NBR 15115 (ABNT, 2004) e NBR 15116 (ABNT, 2004) estes resíduos podem ser aplicados como material para execução de reforço de subleito, pois o valor exigido para o ISC foi superior a 12% e a expansão foi inferior a 1,0% para a energia de compactação normal, nas duas amostras.

Quadro 2 - Resumo dos resultados do ensaio de ISC.

Amostra	Valores do ISC (%)	Expansão (%)
RCD (sem fibra)	25	0,033
RCD (com fibra)	18	0,035

Os valores encontrados nessa pesquisa confirma o que já é praticado com o RCD como material para pavimentação, em contrapartida observou-se uma redução de 28% no valor do ISC do RCD com fibra, isto pode ter acontecido devido a percentagem das fibras, pois a partir de uma certa quantidade, a massa específica seca tende a diminuir em relação ao comportamento do RCD sem fibras.

5.4 Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento direto do agregado reciclado foi avaliada através dos ensaios de cisalhamento na condição natural (com e sem adição de fibras).

O acréscimo de resistência oriundo da inclusão das fibras de diferentes comprimentos foi visto através das envoltórias de ruptura e dos respectivos parâmetros de resistência ao cisalhamento, ângulo de atrito e intercepto coesivo. Os parâmetros do RCD encontram-se no Quadro 3 e esses valores mostram que houve um aumento de resistência, de acordo com a inserção das fibras e com o aumento do comprimento das mesmas, revelando boas propriedades mecânicas. Com isto, torna-se possível sugerir o uso do agregado reciclado juntamente com as fibras para estruturas de reforço de solo.



Quadro 3 – Parâmetros de resistência da Amostra de RCD.

Amostra RCD (alvenaria)	Coesão (kPa)	ϕ (°)
sem fibra	8,1	40,1
com fibra – 20mm	11,1	43,7
com fibra – 40mm	14,3	46,6
com fibra – 60mm	17,1	50,7

Silva, T. (2007) também realizou esse ensaio com agregado reciclado na fase de alvenaria e encontrou valores de ângulos de atrito de 22,4° e 20,51° muito inferiores aos encontrados na presente pesquisa. Isso pode ser explicado devido a heterogeneidade do RCD. Com isso, mostra que para utilizar o agregado reciclado em outros tipos de aplicações na engenharia devem ser realizados outros ensaios mais específicos, não descartando sua utilização para pavimentação.

6 CONCLUSÕES

De acordo com o presente trabalho, foi possível obter as seguintes considerações:

A partir da análise granulométrica, verificou-se que o agregado reciclado se inclui na faixa granulométrica da areia, sem liquidez e plasticidade. Com relação a densidade real, o agregado reciclado apresentou valor típico de material arenoso, confirmando o resultado obtido na análise granulométrica.

Com relação ao ensaio de compactação, notou-se que não houve alteração significativa dos grãos de RCD, após este ensaio, verificado através das curvas granulométricas dos materiais.

O ensaio de ISC foi necessário para constatar que tanto o agregado reciclado sem fibras e quanto o com fibras podem ser utilizados como reforço de subleito, confirmando a já praticada utilização desse material em pavimentação.

O agregado reciclado sem fibras apresentou valores de resistência ao cisalhamento inferiores aos obtidos com a adição de fibras de diferentes comprimentos, o que revela um bom desempenho mecânico, podendo promover o seu uso como material de construção em várias aplicações geotécnicas, além da utilização em estruturas com solo reforçado.

Para que haja um estudo mais aprofundado do RCD seria interessante realizar ensaios com amostras de diferentes fases e com porcentagens de fibras de quantidades variadas, para que houvesse uma comparação dos resultados.

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que o RCD na fase de alvenaria possui boas propriedades de resistência e comportamento mecânico com adição de fibras, que comprovam a sua utilização para aplicações em pavimentação e reforço de solo.

Referências

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

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

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



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

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

_____. **NBR 7182**: Solo - Ensaio de Compactação - Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 9895**: Solo – Índice de suporte Califórnia. 14p. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. 10p Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. 12p. Rio de Janeiro, 2004.

BRITISH STANDARS INSTITUTION (1995). BS 8006. **Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills**. London, UK.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução n° 307**. Brasília, 2002.

GRUBBA, D. C. R. P. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária**. Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

LIRA JR., E. A. de. **Uso de resíduos de construção e demolição (RCD) em estacas de compactação para melhoramento de solos**. Recife. UPE, 2010. 166f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife.

ORPEC ENGENHARIA. Disponível em: <http://www.orpecengenharia.com.br>. Acesso em: 03/04/2011.

ROCHA, J. C. & JOHN, V. M. (2003) **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**: ANTAC, Coleção Habitare, v.4, 72-93p., Porto Alegre.

SANTOS, E. C. G. dos. **Aplicação de Resíduos da Construção e Demolição reciclados (RCD-R) em Estruturas de solos Reforçados**. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVA, T. C. R. **Estudo da viabilidade de Resíduos de Construção e Demolição como agregado reciclado em Estacas de Compactação**. Relatório Final de pesquisa de iniciação científica da Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, 2007.

SPECHT, L. P. **Comportamento de misturas Solo-cimento-fibras submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos visando a pavimentação**. Porto Alegre, 2000. 132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), CPGE/UFRGS.