

## RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE MISTURAS DE SOLO RESIDUAL DE BASALTO COM RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

ISAQUE FERNANDES OLIVEIRA<sup>1,2\*</sup>, MAURO LEANDRO MENEGOTTO<sup>2,3</sup>

### 1 Introdução

Os resíduos de demolição e construção (RCD) são provenientes das diversas etapas de obras de construção civil ou geotécnica, incluindo aqueles resultantes de escavações e terraplanagem executadas no terreno. A Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição (ABRECON) estimou no ano de 2020 uma taxa de geração de RCD da ordem 100 milhões de toneladas anuais (ABRECON, 2020). Porém, a incorreta destinação final de RCD se torna um problema ambiental e de saúde pública, na medida em que ocorre a deterioração das paisagens e da qualidade ambiental e urbanística, além de favorecer a criação e proliferação de vetores de doenças e patógenos à saúde humana nas imediações de áreas em que são despejados e amontoados os entulhos.

A partir desta problemática, o presente estudo propõe avaliar a resistência ao cisalhamento de misturas de solo residual de basalto com diferentes teores de RCD, a fim de corroborar a hipótese de que o RCD misturado ao solo melhora a qualidade de seus parâmetros de resistência ao cisalhamento, indicando que o resíduo pode ser incorporado ao solo para reforçar sua estrutura.

Existem na literatura diversos estudos que investigaram o efeito da adição de RCD e outros resíduos na resistência ao cisalhamento do solo (Zornberg *et al.* 2004; Santos, 2007; Moreira *et al.* 2018; Silva *et al.* 2019), contudo verificou-se nestas investigações que as misturas solo-RCD são compostas geralmente por intervalos com baixa variação no teor de resíduo adicionado ao solo. O presente estudo, por sua vez, propõe a avaliação da resistência ao cisalhamento de misturas de solo residual de basalto com RCD nos teores de 0% (solo apenas), 20%, 40%, 60%, 80% e 100% (RCD apenas).

<sup>1</sup>Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Chapecó*, contato: isaquefoliveiraa@gmail.com

<sup>2</sup>Grupo de Pesquisa: Geotecnia e Recursos Hídricos

<sup>3</sup>Doutor em Geotecnia, EESC-USP, **Orientador(a)**.

## 2 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar a resistência ao cisalhamento de misturas de solo residual de basalto com uma ampla faixa de variação de teores de resíduos de demolição e construção (RCD).

## 3 Metodologia

O solo e RCD utilizados neste estudo foram coletados, respectivamente, na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Chapecó com localização geográfica 27° 07' 07,9" S e 52° 42' 25,7" W e em canteiros de obras em andamento no município de Chapecó. Trata-se de um solo argiloso residual de basalto, da Formação Serra Geral. O RCD é formado por materiais de alvenaria (argamassas e tijolos), de elementos estruturais (concreto) e de revestimento (cerâmica/porcelanato).

A execução dos ensaios de cisalhamento direto seguiu os procedimentos da norma ASTM D3080 (ASTM, 2011). Os ensaios foram executados em uma prensa de cisalhamento direto com motor para aplicação de carga cisalhante e um sistema eletrônico de aquisição de dados acoplados ao corpo da prensa. As medidas de deformação e cargas obtidas ao longo dos ensaios foram realizadas por transdutores de deslocamento horizontal e vertical (LVDT) e célula de carga, respectivamente.

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados em corpos de prova moldados nos valores de teor de umidade ótima determinados por Oliveira (2022) a partir das curvas de compactação do solo e RCD sem misturas, bem como de misturas solo-RCD com 20%, 40%, 60% e 80% de teor de RCD. Com uma antecedência mínima de 24 horas à realização dos ensaios de cisalhamento direto, fez-se a mistura das quantidades em massa em gramas de água, solo e RCD, depositadas então em cápsulas de porcelana seladas com plástico filme, para que não houvesse evaporação do conteúdo de água nas amostras. Os corpos de prova foram moldadas por compactação estática, com auxílio de uma prensa de Índice de Suporte Califórnia (ISC), em uma caixa de cisalhamento direto bipartida e quadrada com lado de 50 mm e altura de 20 mm. Nas partes inferior e superior da caixa de cisalhamento direto foram colocadas pedras porosas e placas ranhuradas, esta última em contato direto com o corpo de prova para melhorar sua estabilidade através do aumento no atrito do material ensaiado com cada partição da caixa de cisalhamento.

As tensões verticais impostas aos corpos de prova durante os ensaios de cisalhamento

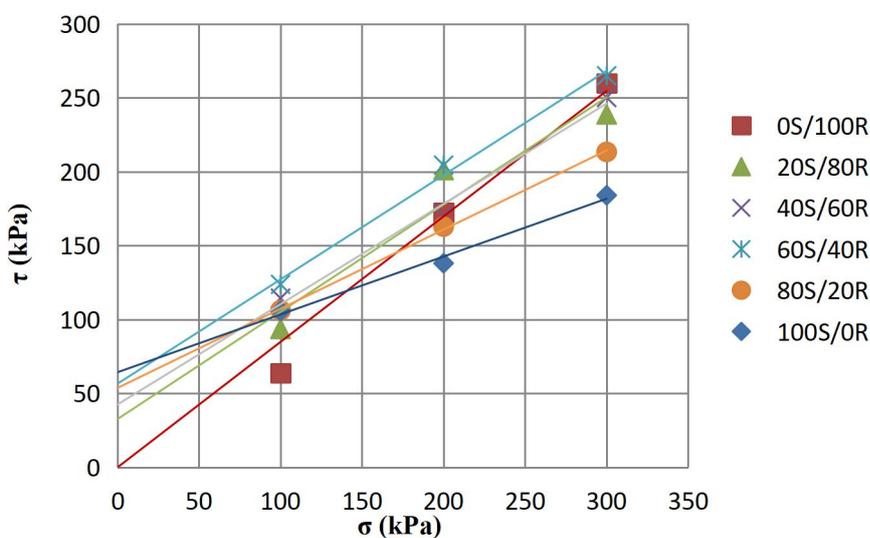
direto foram de 100 kPa, 200 kPa e 300 kPa. A velocidade adotada nos ensaios foi de 0,002 mm/min, o que permite um carregamento suficientemente lento, de modo que as poropressões desenvolvidas no corpo de prova sejam totalmente dissipadas. Além disto, o deslocamento horizontal máximo adotado foi de 6,0 mm. Nos ensaios de cisalhamento direto não houve reuso de amostra, nem repetição dos ensaios. Desta maneira, as envoltórias de resistência foram determinadas a partir dos resultados de três ensaios com corpos de prova diferentes submetidos às tensões verticais de 100 kPa, 200 kPa e 300 kPa.

#### 4 Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta as envoltórias de resistência determinadas a partir dos ensaios de cisalhamento direto em misturas de solo-RCD com teores de RCD de, 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%. Verifica-se, de modo geral, o aumento na resistência ao cisalhamento do solo com misturas, em relação à resistência do solo com 0% de teor RCD, além disto, há majoração no ângulo de atrito interno do solo e minoração do intercepto coesivo, à medida que aumenta o teor de RCD nas misturas. Isto ocorre devido ao aumento da fração de partículas granulares não coesivas nos corpos de prova (Silva *et al.* 2019).

Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Moreira (2018) que reportou diminuição de aproximadamente 53% da coesão e aumento de 13% do ângulo de atrito. Neste estudo os resultados mostram aumento do ângulo de atrito de até 88% e a diminuição da coesão até 50%.

Figura 1: Envoltórias de Resistência do solo e RCD puros e suas misturas



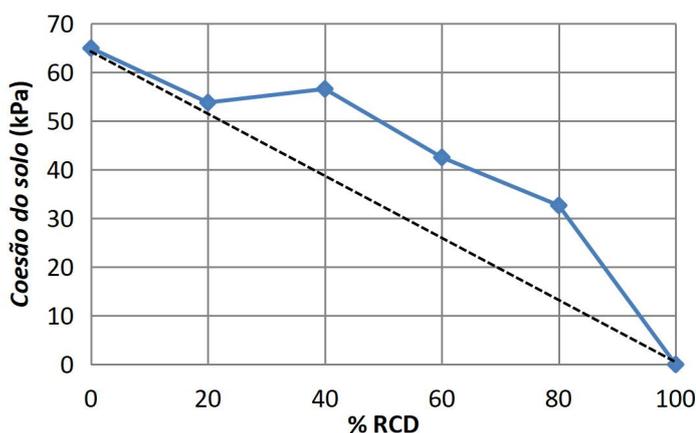
Legenda: S e R representam o teor em porcentagem de solo e RCD, respectivamente.

Fonte: Os Autores

Nas Figuras 2 e 3 observa-se o efeito da adição de RCD nos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo. Conforme proposto por Zornberg *et al.* (2004) a linha tracejada, que liga os teores de RCD de 0% e 100%, representa a mediana dos valores dos parâmetros de resistência do solo e resíduo sem adições. Os pontos acima da linha base indicam melhoria do parâmetro, com aumento da resistência ao cisalhamento do solo resultante da adição de RCD.

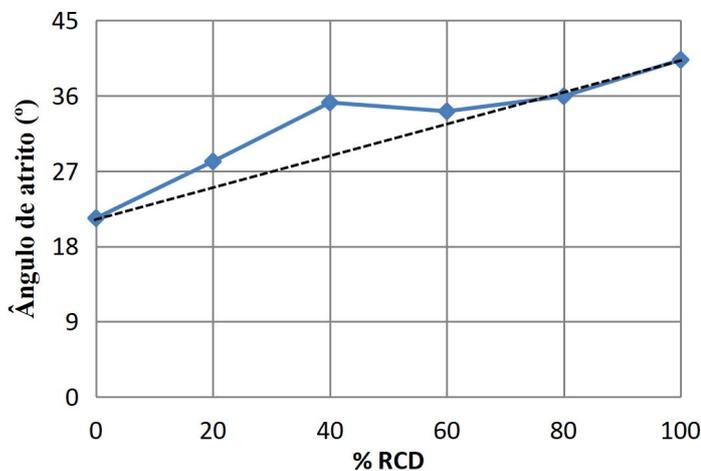
Verifica-se que a mistura solo-RCD cuja magnitude dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo apresenta-se mais distante da linha base é a com 40% de RCD. Ainda, a envoltória para este teor de RCD é a mais elevada em relação à envoltória do solo sem adição de resíduo e, portanto, esta mistura é a mais indicada para fins de melhoramento de solo.

Figura 2: Efeito da adição de RCD na coesão do solo.



Fonte: Os autores

Figura 3: Efeito da adição de RCD no ângulo de atrito interno do solo.



Fonte: Os autores

## 5 Conclusão

Os resultados obtidos dos ensaios de cisalhamento direto deste estudo mostram que a adição de RCD ao solo residual de basalto aumenta sua resistência ao cisalhamento, e a mistura que apresentou melhor resultado neste sentido foi aquela com 40% de teor de RCD. Portanto, essa é a mais indicada para substituir frações de solo em obras geotécnicas, como reforço do subleito, aterros em geral, reaterros em estruturas de contenção e em escavações de fundações rasas, entre outros.

Para futuras investigações acerca dos RCD é sugerida a avaliação ambiental deste tipo de resíduo e os impactos ambientais resultantes da interação solo-RCD-ambiente.

## Referências Bibliográficas

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição. **Pesquisa setorial ABRECON: A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil.** Organizadores S. C. Angulo; L.S. Oliveira, L. Machado. São Paulo: EPUSP, 2020. 104 p.

ASTM - American Society for Testing and Material. **ASTM D3080/D3080M: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.** West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM, 2011. 9 p.

MOREIRA, Eclesielter B. *et al.*, Efeito da adição de resíduos de construção na resistência ao cisalhamento de um solo argiloso na Formação Geológica Guabirotuba. In Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 19., 2018. Salvador – BA. **Anais [...]**. Paraná: ABSM - Associação Brasileira de Mecânica dos solos.

OLIVEIRA, Rodrigo F.; MENEGOTTO, Mauro L. **Avaliação de Misturas de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) com Solo Residual de Basalto Para Uso em Obras de Pavimentação.** 2022. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó. 22p.

SANTOS, E. C. G. (2007). **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, 168p.

SILVA, Aline C. *et al.* Caracterização Geotécnica de uma Mistura Solo-RCD com Ênfase na Resistência ao Cisalhamento. In Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEO), 9., 2019. São Carlos – SP. **Anais [...]**. ABSM – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos.

ZORNBERG, Jorge G. *et al.* **Behaviour of Tire Shred - Sand Mixtures.** Canadian Geotechnical Journal, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 227-241, 1 abr. 2004. Canadian Science Publishing.

**Palavras-chave:** Destinação de resíduos; Melhoramento de solo; Ensaio de cisalhamento direto; Sustentabilidade.

**Nº de Registro no sistema Prisma:** PES-2023-0189

**Financiamento:** Bolsa de pesquisa da Universidade Federal da Fronteira Sul