XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/101

Influência da granulometria no pH de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R)

Priscila Fernanda Silva de Oliveira
Doutoranda, UFG, Goiânia, Brasil, priscilafso@discente.ufg.br

Eder Carlos Guedes dos Santos
Professor em tempo integral, KUST, Kunming, China, jw2023008@kust.edu.cn

Maurício Martines Sales
Professor Titular, UFG, Goiânia, Brasil, mmartines@ufg.br

RESUMO: Os resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) têm se apresentado como uma alternativa sustentável e tecnicamente viável em diferentes aplicações geotécnicas. Entretanto, para o uso eficiente e seguro dos RCD-R, torna-se fundamental compreender as suas propriedades físicas, mecânicas e químicas, assim como a variabilidade inerente ao material. Dentre as propriedades químicas, o pH pode ser uma forma simples e direta para estimar a interação entre os RCD-R e outros materiais com os quais venham a ser empregados em conjunto e, consequentemente, a durabilidade das estruturas a longo prazo. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da granulometria no pH de um RCD-R beneficiado em usina de reciclagem. Para tanto, foram realizadas a caracterização gravimétrica do material, a fim de identificar seus principais constituintes e verificar a representatividade dos diferentes componentes que compõem o resíduo. Foram conduzidos ensaios de pH em distintas faixas granulométricas, com o intuito de investigar a influência do tamanho das partículas nos valores de pH do material. A análise dos resultados obtidos e a comparação com os de estudos anteriores revelaram que as partículas de menor granulometria exercem maior influência sobre o comportamento químico do material, sendo determinantes no valor do pH dos resíduos reciclados.

PALAVRAS-CHAVE: Análise granulométrica, Reciclagem, Composição química, Durabilidade, Sustentabilidade.

ABSTRACT: Recycled construction and demolition waste (RCDW) has been pointed out as an eco-friendly and technically viable alternative for several geotechnical applications. However, the efficient and safe use of RCDW demands a comprehensive understanding of its physical, mechanical, and chemical properties, as well as the inherent variability of the material. Among the chemical properties, pH may serve as a simple and direct parameter to estimate the interaction between RCDW and other materials with which it may be used and, consequently, the long-term durability of structures. This study aims to evaluate the influence of particle size distribution on the pH of RCDW processed at a recycling plant. To this, a gravimetric characterization of the material was carried out to identify its main constituents and verify the representativeness of the different components that compose the waste. pH tests were performed on different particle size ranges to investigate the influence of particle size on the pH values of the RCDW. Analyses of the results, as well as their comparison with previous studies, revealed that finer particles exert a greater influence on the chemical behavior of the material, playing a decisive role in the pH values of recycled waste.

KEYWORDS: Grain size analysis, Recycling, Chemical composition, Durability, Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é bastante antiga, entretanto ainda apresenta marcantes características artesanais, o que contribui para a elevada geração dos chamados resíduos de construção e demolição – RCD (Santos, 2007). Segundo a ABREMA (2025), no Brasil, aproximadamente 276.359 toneladas/dia de RCD foram coletadas em lugares públicos em 2024, isso representou 100,8 milhões de toneladas em um ano.

Os RCD caracterizam-se por sua natureza intrinsecamente heterogênea, em virtude de serem constituídos por uma ampla gama de materiais provenientes de edificações e obras de infraestrutura, gerados nas etapas de construção, reconstrução, ampliação, reforma, manutenção e demolição (Soibelman, 1993; Di Maria *et al.*, 2018; Rosado *et al*., 2019). Desse modo, sua composição está diretamente associada à diversidade de processos construtivos, técnicas executivas e sistemas empregados no setor da construção civil. Vários estudos (Angulo, 2000; Lai *et al*, 2016; Di Maria *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2019) observaram que a composição majoritária do RCD consiste em: i) concreto e argamassa (fragmentos de estruturas e revestimentos), ii) cerâmicos (tijolos, blocos, telhas) e iii) materiais pétreos/naturais (areia, brita, solo).

A reciclagem dos RCD apresenta-se como uma alternativa para diminuir a utilização de matérias-primas e atenuar impactos adversos ao meio ambiente. Nesse contexto, os resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R), na forma de agregados, podem ser empregados em diversas obras geotécnicas: i) obras de pavimentação (Motta, 2005; Lima, 2008; Barbosa, 2017); ii) aterros sanitários (Affonso, 2005; Dias, 2014); iii) estruturas de drenagem (Roque *et al*., 2022); e iv) estruturas de solo reforçada com geossintéticos (Santos *et al.*, 2013; Vieira *et al.*, 2020).

De acordo com a NBR 10006 (ABNT, 2004), o resíduo é considerado inerte quando nenhum de seus constituintes solubilizados apresentam concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água. Entretanto, alguns estudos classificaram os RCD-R como não inertes devido à liberação de substâncias que alteraram o pH e/ou sofrem reações químicas quando em meio aquoso (Townsend *et al*., 1999; Ramos, 2007; Barbudo *et al.*, 2012). Além disso, os RCD-R interagem com outros materiais com os quais venham a ser empregados em conjunto (por exemplo, geossintéticos, asfalto) e, consequentemente, podem interferir na durabilidade das estruturas a longo prazo.

Nesse contexto, para uma aplicação segura desse material, faz-se necessário avaliar as suas propriedades químicas (Lima e Cabral, 2013). Entre as propriedades químicas dos agregados reciclados, o potencial hidrogeniônico (pH) tem sido abordado por diversos autores (Townsend *et al*., 1999; Santos 2007; Lima e Cabral, 2013; Silvestre *et al*., 2020, Chen *et al.* 2024). Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é determinar o pH dos RCD-R em diferentes granulometrias.

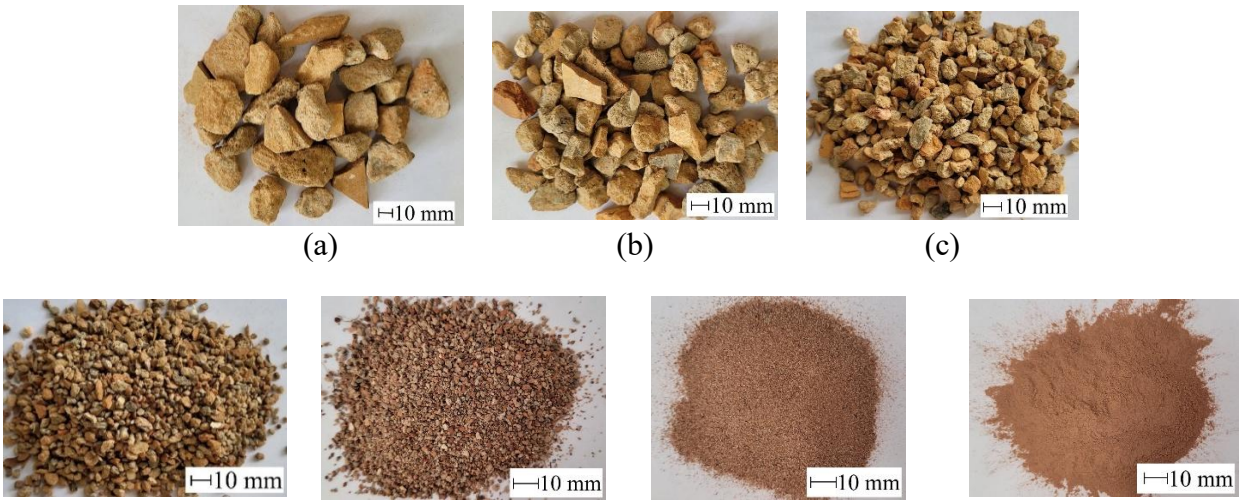
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado um material produzido por uma usina de beneficiamento de RCD, localizada em Senador Canedo-GO (região metropolitana de Goiânia-GO). O material denominado pela empresa como BGS (brita graduada simples) é composto por: brita 2 (25%), brita 1 (25%), brita 0 (25%) e pó de entulho (25%). De acordo com Fleury *et al.* (2017), o BGS é um dos materiais mais requisitados das usinas de reciclagem na região metropolitana de Goiânia-GO.

Foram investigadas 4 (quatro) frações fabricadas pela usina: i) brita 2 (25 mm > d > 19 mm); ii) brita 1 (19 mm < d < 9,5 mm); iii) brita 0 (9,5 mm < d < 4,8 mm); e iv) pó de entulho (d < 4,8 mm). Entretanto, para a realização dessse trabalho, o pó de entulho foi dividido em faixas de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): i) areia grossa (4,8 mm > d > 2,0mm), ii) areia média (2,0 mm > d > 0,42 mm), iii) areia fina (0,42 mm > d > 0,075 mm), e iv) silte e argila (d < 0,075mm). A Figura 1 apresenta imagens dos materiais testados.

Inicialmente, foi realizada a caracterização gravimétrica seguindo o procedimento realizado por Santos (2011). Assim, aproximadamente 10 kg de BGS foi peneirado numa malha de abertura 4,8 mm; em seguida, o material retido foi lavado em água corrente; e, finalmente, com o material seco, foi realizada a separação manual dos diferentes tipos de materiais contidos nessa fração (d > 4,8 mm). O material passante na peneira de abertura 4,8 mm (durante o peneiramento e lavagem) foi classificado como “solo”.

De modo a verificar a influência da granulometria do RCD-R no pH, os materiais das diferentes faixas granulométricas foram solubilizadas por 7 (sete) dias. A obtenção do extrato solubilizado foi realizada seguindo as orientações da NBR 10006/2004. Para a solubilização, foi realizada a preparação, em um recipiente adequado e limpo, de 500 g de material e 500 ml de água destilada. Para cada intervalo granulométrico foram separadas 3 (três) amostras e após o período de solubilização em temperatura ambiente foi utilizado um phmetro de bancada, devidamente calibrado, para a realização da leitura do pH.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f) (g)

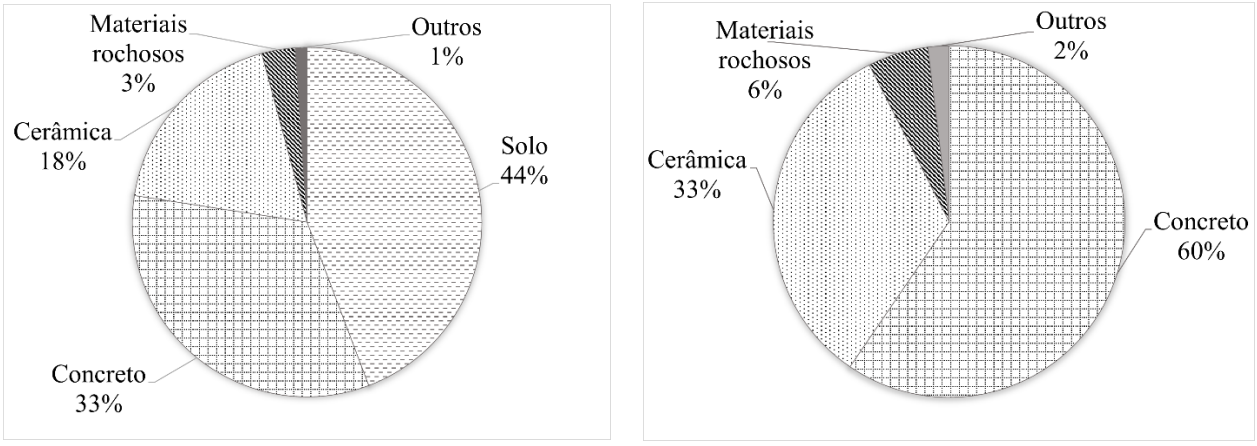
Figura 1. Faixas granulométricas do RCD: a) brita 2 (25 mm > *d* > 19 mm), b) brita 1 (19 mm < *d* < 9,5 mm), c) brita 0 (9,5 mm > *d* > 4,8 mm), d) areia grossa (4,8 mm > *d* > 2,0mm), e) areia média (2,0 mm > *d* > 0,42 mm), f) areia fina (0,42 mm > *d* > 0,075 mm), e g) silte e argila (*d* < 0,075mm).

3 RESULTADOS

3.1 Gravimetria

Por meio do ensaio de gravimetria foi possível identificar que o BGS é composto predominante por "solo" (44%) . Outros materiais observados foram: i) cerâmica, ii) concreto, iii) materiais rochosos e iv) outros (plástico, madeira, papel) – Figura 2a. No entanto, segundo observado por Santos (2007, 2011), mesmo a porção classificada como "solo" – considerando essa a de granulometria inferior a 4,8 mm – ainda é constituída de concreto, cerâmica, tijolo, madeira, plástico, vidro, betume, solo, gesso e outros resíduos de construção.

Considerando apenas as partículas da fração *d* > 4,8 mm, ou seja, eliminando a fração "solo", cerca de 60% das partículas são compostas por concreto e 33% por material cerâmico. De acordo com a NBR 15116 (2021), os agregados reciclados mistos (ARM) são "compostos com menos de 90% em massa de fragmento à base de cimento Portland e rochas", isso classifica esse material como um ARM. Isso, representa que esse material pode ser influenciado quimicamente pelos constituintes dos materiais concretícios e cerâmicos que compõem as amostras.



(a) (b)

Figura 2. Composição gravimétrica: a) BGS e b) Fração do BGS com *d* > 4,8mm.

3.2 Potencial hidrogeniônico - pH

Por meio de uma avaliação visual, verificou-se que essas amostras apresentaram quantidade maior de resíduos concretícios, conforme moostra a Figura 3. Segundo verificado por Ulsen *et al.* (2019), as partículas maiores apresentam maiores quantidades de pasta de cimento aderidos ao grão. Assim, houve um maior contato da superfície cimentícia com a água destilada, o que pode ter influenciado no pH encontrado.



Figura 3. Amostra do RCD-R com d > 2,0mm.

Os resultados dos ensaios de pH revelaram a alcalinidade das britas (d > 4,8 mm), com um valor de pH médio de 9,27 (Figura 4). As partículas com d < 4,8mm apresentaram uma redução dos valores de pH numa relação direta com as dimensões das partículas, apresentando um valor médio de 8,94. Esse resultado pode ser explicado pela redução da presença de partículas concretícias e, consequentemente, a influência desses materiais. Townsend *et al*. (1999), observaram que os resíduos que ficaram solubilizados em um determinado tempo, apresentaram nos 10 primeiros dias: i) pH variando entre 11 e 12, para resíduos concretícios e ii) pH variando entre 7 e 9, para resíduos mistos.

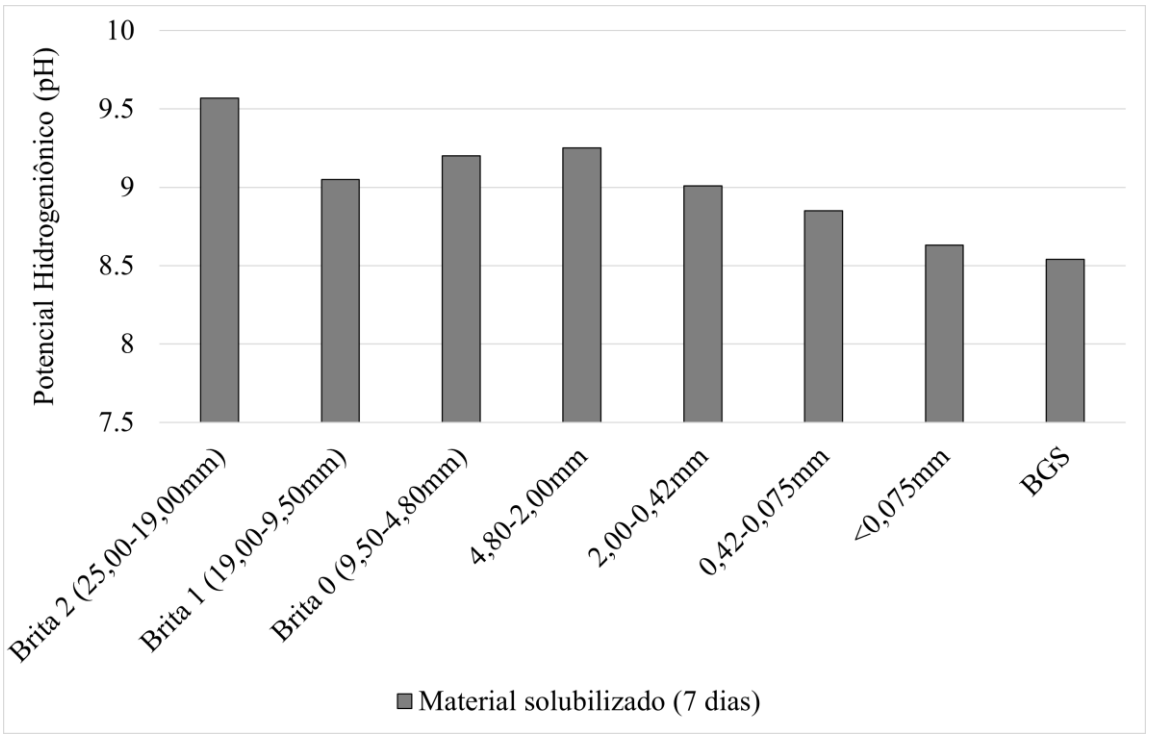


Figura 4. Valores médios do pH das granulometrias analisadas.

Verificou-se que o BGS pode ter sido influenciado pela parcela fina, pois apresentou um pH de 8,54, valor inferior quando comparado ao da parcela $d > 4{,}8$mm (pH médio igual a 9,27). Entretanto, Silvestre *et al.* (2020) observaram que em alguns casos a parcela fina ($d < 2{,}0$ mm) pode apresentar significativa presença dos materiais encontrados nas partículas maiores. Vale ressaltar que, como não houve uma variação expressiva entre o pH das diferentes faixas granulométricas, pode-se afirmar que o processo de reciclagem (britagem + peneiramento) na usina não segrega materiais de uma dada natureza.

O solo típico da região do Cerrado caracteriza-se por apresentar pH ácido, com valor médio em torno de 5,0 (Lopes, 1984). Na fração mais fina do BGS, pode haver a presença de solo da região, o que pode contribuir para a redução do pH quando comparado à fração puramente granular que compõe o material.

4 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos por meio da análise gravimétrica e de pH, é possível destacar que:

- O pH para as diferentes faixas granulométricas apresentaram pequena variação, o que demonstra certa homogeneidade desses resíduos durante o beneficiamento na usina;
- As amostras de RCD-R mostraram-se constituídas principalmente por partículas cimentícias (concreto e argamassa), o que contribuiu para os valores de pH alcalinos encontrados;
- A presença de materiais de solo na parcela fina da amostra de RCD-R pode ter contribuído para que não apresentasse valores de pH de alta alcalinidade.

Conclui-se que, apesar da distinção apresentada nos intervalos granulométricos, o material disponível na usina de beneficiamento não apresentou um pH que inviabilize o seu emprego em obras geotécnicas. Contudo, essa constatação pode ser importante para especificação de outros materiais com os quais os RCD-R venham a ser usados em contato e/ou associados, de modo que possam ser aplicados de maneira adequada e segura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) da Universidade Federal de Goiás (UFG) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo apoio para desenvolvimento da pesquisa. Os autores também agradecem a parceria da empresa EcoEntulho, pelo fornecimento do resíduo reciclado e apoio logístico para a realização do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Affonso, F. J. A. (2005). *Caracterização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em camadas drenantes de aterros de resíduos sólidos*. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 161 p.

Angulo, S. C. (2000). *Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.* Dissertação de Mestrado, Curso de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, 155 p.

Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente – ABREMA (2025*). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2025*.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 10006. *Procedimento para obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos.* Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 15116. *Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios*. Rio de Janeiro.

Barbosa, K. R. M. (2017). *Degradação de geogrelhas em estradas não pavimentadas executadas com resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R).* Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, 121 p.

Barbudo, A.; Galvín, A. P.; Agrela, F.; Ayuso, J.; Jiménez, J. R. (2012). Correlation analysis between sulphate content and leaching of sulphates in recycled aggregates from construction and demolition wastes. *Waste Management*, 32. p.1229-1335.

Chen, B.; Huang, T.; Geng, X.; Zhou, T.; Zhao, Y. (2024). Highly efficient activation of peroxymonosulfate by calcinated construction & demolition waste powder with free radical generation for organic pollutant degradation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 159.

Di Maria, A.; Eyckmans, J.; Van Acker, K. (2018). Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. *Waste Management*, 75, p.3-21.

Dias, M. C. C. (2014). *Viabilidade do uso de solo tropical e resíduo de construção civil em sistemas de cobertura de aterro sanitário.* 2014. 111 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, 111 p.

Fleury, M. P.; Siqueira Neto, N.; Santos, E. C. G. (2017). Reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) na região metropolitana de Goiânia-GO. In: IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro Oeste, Goiânia. *Anais*...GEOCENTRO.

Lai, Y.-Y.; Yeh, L.-H.; Chen, P.-F.; Sung, P.-H.; Lee, Y.-M. (2016). Management and Recycling of Construction Waste in Taiwan. *Procedia Environmental Sciences*, 35, p. 723–730.

Lima, J. H. C. (2008). *Utilização de Resíduos de Construção e Demolição para Pavimentos Urbanos da Região Metropolitana de Fortaleza*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 162 p.

Lima, A. S.; Cabral, A. E. B. (2013) Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). *Eng. Sanit. Ambient*., 18 (2), p.169-176.

Lopes, A.S. (1984). *Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo.* 2 ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 162p.

Motta, R. S. (2005). *Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego.* Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica / USP, 134 p.

Ramos, B. F. (2007). *Indicadores De Qualidade Dos Resíduos Da Construção Civil Do Município De Vitória-ES.* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

Roque, A.J.; Silva, P.F.; Almeida, R.P.M. (2022). Recycling of crushed concrete and steel slag in drainage structures of geotechnical works and road pavements. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24, p. 2385–2400.

Rosado, L. P.; Vitale, P.; Penteado, C. S. G.; Arena, U. (2019). Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil. *Waste Management*, 85, p. 477–489.

Santos, E. C. G. (2007). *Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado.* 2007. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 168 p.

Santos, E. C. G. (2011). *Avaliação Experimental de Muros Reforçados Executados com Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) e Solo Fino.* 2011.Tese de Doutorado, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Distrito Federal, 214 p.

Santos, E. C. G.; Palmeira, E. M.; Bathurst, R. J. (2013). Behaviour of a geogrid reinforced wall built with recycled construction and demolition waste backfill on a collapsible foundation. *Geotextiles and Geomembranes*, 39, p. 9–19.

Silvestre, G. R.; Oliveira, P. F. S.; Domiciano, M. L.; Santos, E. C. G. (2020) Influência da parcela fina no pH de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) e de escavação. In: XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo. *Anais...* COBRAMSEG.

Soibelman, L. (1993). *As perdas de materiais na construção de edifícios: sua incidência e controle.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 127 p.

Townsend, T. G.; Jang, Y.; Thurn, L. G. (1999). Simulation of Construction and Demolition Waste Leachate. *Journal of Enviromental Engineering*.

Ulsen, C.; Tseng, E.; Angulo, S. C.; Landmann, M.; Contessotto, R.; Baldo, J. T.; Kahn, H. (2019). Concrete aggregates properties crushed by jaw and impact secondary crushing. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (1), p. 494-502.

Vieira, C.S.; Pereira, P.; Ferreira, F.; Lopes, M. D. L. (2020). Pullout Behaviour of Geogrids Embedded in a Recycled Construction and Demolition Material. Effects of Specimen Size and Displacement Rate. *Sustainability*, 12 (9).

Wu, H.; Zuo, J.; Zillante, G.; Wang, J.; Yuan, H. (2019). Status quo and future directions of construction and demolition waste research: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 240.

Wu, H.; Zuo, J.; Zillante, G.; Wang, J.; Yuan, H. (2019) Status quo and future directions of construction and demolition waste research: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 240.