

## Avaliação Experimental de Barreira Capilar com RCD Para Coberturas Finais de Aterros

Thays Car Feliciano de Oliveira

Graduada em Engenharia Civil na Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), UNILA, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, thayscarf@gmail.com

Julio Cesar Bizarreta Ortega

Docente Mestre em Engenharia Civil-Geotecnia, UNILA, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, julio.ortega@unila.edu.br

**RESUMO:** As coberturas finais de aterros sanitários são determinantes para controle da quantidade dos lixiviados produzidos, no entanto a técnica convencional (cobertura monolítica de baixa permeabilidade) apresenta deficiências, motivo pelo qual buscam-se alternativas, sendo uma delas a aplicação de resíduos de construção e demolição (RCD) em cobertura do tipo barreira capilar (BC). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo a avaliação experimental de sistema de BC composto por RCD em conjunto com o solo da região de estudo. Para tanto os materiais foram caracterizados quanto a propriedades físicas e hidráulicas e realizaram-se ensaios de coluna em aparato transparente variando-se o teor de finos do RCD, de forma a verificar a ocorrência de BC entre os materiais estudados. Os resultados indicam que os materiais são compatíveis para aplicação conjunta em coberturas do tipo BC, pois apresentam contraste granulométrico e de capacidade de retenção de água. Nos testes de coluna de fato observou-se formação da barreira, bem como relação inversa entre teor de finos presente na amostra de RCD com o desempenho da BC.

**PALAVRAS-CHAVE:** RCD, Barreira Capilar, Aterros, Percolação, Camada de Bloqueio.

**ABSTRACT:** The final cover of landfills is essential to control the amount of produced leachate, however the conventional technique (monolithic covers of low permeability) presents deficiencies, reason why alternatives have been sought, being one of them the application of construction and demolition waste (CDW) in capillary barrier (CB). In this sense, the present work aims to experimentally evaluate a CB system composed by CDW combined with the local soil. Hence, materials were characterized for physical and hydraulic properties and column tests in transparent apparatus were performed varying the fines content, to verify occurrence of CB between studied materials. Results indicate that studied materials are compatible for application in CB covers, due to their granulometric contrast and difference in water retention capacity. In the column testes the CB formation was indeed observed, as well as an inverse relation between CDW fines content and CB performance.

**KEYWORDS:** CDW, Capillary Barrier, Landfills, Percolation, Capillary Block.

### 1 Coberturas Finais de Aterros Sanitários

O sistema de cobertura final de aterros de resíduos sólidos urbanos (ARSU) é fundamental para minimizar a infiltração e percolação de água da chuva para os resíduos e, consequentemente, evitar a produção excessiva de lixiviados. Por este motivo, usualmente são empregadas camadas de baixíssima permeabilidade ( $k_{sat} < 1E-7$  cm/s), tais como as coberturas monolíticas de solo argiloso (Stark; et al., 2012; Izzo; et al., 2013). No entanto, esta técnica apresenta algumas problemáticas como altos custos de compactação para que o solo atinja a permeabilidade requerida; manifestação de trincas de contração diante de ciclos de molhagem e secagem, o que afeta o desempenho esperado do sistema de cobertura final (Stark; et al., 2012); e, em alguns casos, indisponibilidade de jazidas de solos adequados nas proximidades dos aterros (resultando em elevados custos de transporte) associada a degradação do meio ambiente quando de fato é realizada extração do material natural (Andreas; et al., 2014).

Em paralelo, identifica-se também nos meios urbanos a elevada produção de RCD e dificuldade de destinação destes resíduos. Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

(ABRELPE) indicam que a coleta de RCD pelo poder público apresentou aumento de 41,2 % nos últimos 10 anos no país, de 72,6 ton/dia em 2007 para 123,4 ton/dia em 2017 (ABRELPE, 2007; 2017), motivo pelo qual diversos pesquisadores buscam alternativas de reincorporação destes resíduos à indústria, como em concretos, sistemas de pavimentação e nos próprios componentes de aterros sanitários (Affonso, 2005; Cardoso; et al., 2016; Mendoza; et al., 2017).

No local onde o trabalho foi desenvolvido, Foz do Iguaçu-PR, dados fornecidos por Duarte (2018), indicavam que a produção média mensal de RCD no município era de aproximadamente 7000 toneladas no ano de 2018, valor este equivalente à produção dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados na cidade, caracterizando assim um problema considerável para gestão de resíduos do município. Ademais, cabe ressaltar que na cidade os RCD não são dispostos em aterros de inertes, conforme recomendado pelas regulamentações ambientais, mas sim no próprio aterro de resíduos sólidos urbanos (ARSU). Tal fato é extremamente prejudicial no caso de aterros sanitários, uma vez que o lixiviado do RCD pode colmatar o sistema de filtros de base do aterro, impedindo a coleta do lixiviado e causando seu acúmulo na massa de resíduos, o que pode resultar na instabilização do aterro sanitário.

Desta forma, em vista das problemáticas apresentadas somadas às condições do município de Foz do Iguaçu, onde também verifica-se utilização de coberturas do tipo monolíticas no ARSU, o presente trabalho visou avaliar a aplicação de RCD como componente de sistema de cobertura final em aterros. A proposta do trabalho corresponde ao emprego da fração miúda de RCD ( $<4,8$  mm) como camada de bloqueio em coberturas com sistema de barreira capilar (SBC), sendo este material aplicado em conjunto com o solo da região como camada capilar. A técnica proposta no trabalho, dos SBC, explora propriedades não saturadas do solo ao invés de sua impermeabilização, por este motivo alguns conceitos são discutivos brevemente na sequência.

## 2 Fluxo Não Saturado do Solo e Barreiras Capilares

Uma barreira capilar corresponde a um sistema formado por duas camadas sobrepostas, sendo a superior (denominada capilar) de granulometria mais fina que a inferior (denominada camada de bloqueio), ambas com acentuado contraste de sucção e de condutividade hidráulica (Bizarreta; Campos, 2017; Izzo; et al., 2013). O fluxo através destas camadas é descrito pelo regime de fluxo não saturado, que depende principalmente do teor de água no solo (i.e., umidade) e a força com que esta é armazenada (seu potencial), que basicamente corresponde aos componentes matricial (sucção) e gravitacional. É comum representar graficamente estes dois parâmetros de maior influência para o fluxo não saturado (potencial e umidade) por meio das denominadas curvas características (ou de retenção) (Weil; Brady, 2017).

Em suma, quando a água se move em regime de fluxo não saturado ocorre um efeito de impedimento da percolação no sentido vertical diante de uma mudança abrupta na dimensão dos poros do solo. Os macroporos da camada de bloqueio (a inferior) da BC oferecem menor “atratividade” para a água do que os microporos do material da própria camada capilar. Isto porque a camada inferior apresenta maior potencial (energia) e, assim, o fluxo tende para as zonas de menor potencial, neste caso, representado pelos microporos da própria camada capilar. Por este motivo, a frente de umedecimento não ocorre diretamente para a camada de bloqueio. O fluxo avança nesse sentido apenas após um determinado período, pelo qual a água esteve acumulando-se na interface entre os materiais, de maneira a saturar a camada inicial, ou seja, fazendo com que o potencial matricial do solo neste substrato aproxime-se de zero (aumenta) e o fluxo passe para a camada subjacente (Weil; Brady, 2017), quebrando o efeito de barreira capilar.

Izzo et al. (2013) complementam que o teor de umidade se difere consideravelmente entre os dois substratos do SBC, sendo mais elevado na camada capilar, de modo que sua permeabilidade hidráulica não saturada também é maior. Isso significa que pode ocorrer um fluxo de água nesta camada, mesmo que na camada de bloqueio não haja nenhum fluxo.

Relatos da literatura (Bizarreta; Campos, 2017; Barros, 2005) indicam o potencial dos RCD como componente de sistema de barreira capilar (SBC) do ponto de vista da caracterização geotécnica do material, no entanto carecem estudos quanto ao funcionamento do sistema como um todo (i.e., do fluxo no SBC), sendo este um dos objetos do presente trabalho.

### 3 Metodologia

O presente trabalho foi dividido em três etapas principais: (1) obtenção dos materiais utilizados para a pesquisa, sendo estes o solo da região utilizado no ARSU e a fração fina ( $< 4,8$  mm) de resíduos de construção e demolição (RCD); (2) realização de ensaios de caracterização dos parâmetros hidráulicos e físicos dos materiais; e, (3) realização de testes de coluna, para verificação da influência do teor de finos do RCD no funcionamento da barreira capilar.

#### 3.1 Coleta dos materiais

Os materiais utilizados para o trabalho foram coletados no ARSU de Foz do Iguaçu-PR em bolsas de tecido. O solo residual da região é o mesmo utilizado nos procedimentos de coberturas diárias e final do aterro e foi coletado diretamente do local. O RCD, por outro lado, é disposto sem separação entre a fração graúda e a fina, motivo pelo qual o material foi retirado de pontos estratégicos (com maior concentração de material fino), sendo estes nas regiões mais baixas das pilhas de disposição do resíduo, por onde provavelmente ocorre a passagem dos caminhões caçamba, ocasionando trituração do material.

Além disso, fez-se necessária a realização de peneiramento *in loco* para coleta do RCD, em peneira de malha #4 (4,8 mm). Por fim, coletou-se uma bolsa extra de RCD (sem peneiramento, i.e, incluindo a fração graúda), para caracterização do material quanto à granulometria completa e à gravimetria por meio de procedimento visual. Após transporte dos materiais para o laboratório estes passaram por processo de homogeneização, de maneira a evitar variações nos resultados dos ensaios. Assim, o conteúdo de todas as bolsas (de solo ou RCD) foi mesclado. O solo foi destorroado até que todos os grãos passassem na peneira #4 (4,8 mm) e, do RCD também tomou-se a fração passante na #4 (caracterizando fração fina). Em seguida, o material foi armazenado com umidade higroscópica em cestos de plástico e bolsas em câmara climatizada, com temperatura de 20 a 24°C.

#### 3.2 Caracterização dos materiais

Para caracterização dos materiais foram seguidos os procedimentos normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), bem como recomendações encontradas na literatura consultada, conforme resumido no Quadro 1.

Quadro 1. Ensaios de caracterização realizados.

Ensaio	Metodologia
Composição gravimétrica (RCD)	NBR 15116 (ABNT, 2004)
Massa específica dos grãos	NBR 16605 (ABNT, 2017)
Granulometria	NBR 7181 (ABNT, 2016a)
Compactação	NBR 7182 (ABNT, 2016b)
Permeabilidade	Solo: NBR 14545 (ABNT, 2000) RCD: NBR 13292 (ABNT 1995)
Curva de Retenção	Villar (2002); Bizarreta (2009)

Ressalta-se que as amostras para ensaios de massa específica dos grãos, granulometria, compactação e permeabilidade foram preparadas de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016c).

#### 3.2 Ensaios de Coluna

Os ensaios de coluna foram realizados a fim de avaliar a influência do teor de finos dos RCD no funcionamento de barreira capilar composta por solo da região como campada capilar e RCD como camada de bloqueio. No ensaio foi possível registrar a velocidade de percolação do fluxo em cada uma das camadas e seu tempo de permanência na interface dos materiais, até quebra da barreira capilar formada entre eles.

Para tanto, utilizou-se permeâmetro de acrílico transparente, o qual permite a visualização do fluxo de água, com graduação feita com caneta permanente a cada 2 cm. Inicialmente, foram dispostos tela metálica, geotêxtil e papel filtro na base do permeâmetro, com posterior preenchimento por RCD e solo, respectivamente, em camadas de mesma dimensão (10 cm cada). Sobre os materiais novamente dispôs-se o conjunto de papel filtro, geotêxtil e tela metálica e, por fim, a tampa do permeâmetro, ligada a um reservatório de água por meio de uma mangueira. Para funcionamento do sistema, os registros do reservatório, da tampa e da base do permeâmetro foram mantidos abertos, para garantir passagem do fluxo de água, enquanto os registros da coluna transparente de acrílico foram fechados. Para evitar obstrução dos registros da coluna por partículas de solo ou RCD, estes foram protegidos com maço de algodão. Durante todo o ensaio manteve-se uma carga hidráulica constante por meio de lâmina d'água de 2 cm acima da camada capilar (i.e., do solo). Um esquema da montagem do experimento pode ser observado na Figura 1.

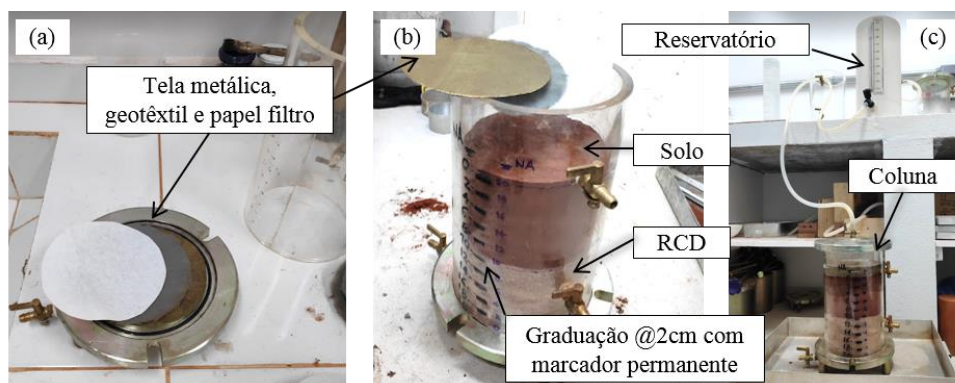


Figura 1. Montagem do ensaio de coluna. (a) Tela metálica, geotêxtil e papel filtro. (b) Disposição dos materiais (solo e RCD) para SBC. (d) Reservatório d'água ligado por mangueira ao permeâmetro (coluna).  
 Fonte: Acervo do autor.

Para todos os ensaios o solo foi compactado visando-se GC de 80% do Proctor normal, em acórdância com a literatura consultada (Costa; et al., 2018; Maciel; Jucá, 2011). Por outro lado, o RCD recebeu diferentes tipos de tratamento para cada ensaio, conforme pode-se observar no Quadro 2.

Quadro 2. Resumo das características dos materiais dos ensaios de coluna.

Ensaio	Solo	RCD
1	GC=80% do Proctor normal	Umidade higroscópica ( $\approx 2,2\%$ ); Sem extração de finos; Compactação manual, sem controle da energia.
2	GC=80% do Proctor normal	Umidade higroscópica ( $\approx 2,2\%$ ); Extração de 10% de material por peneiramento (material passante na #50=0,3 mm); Compactação manual, sem controle da energia.
3	GC=80% do Proctor normal	Umidade higroscópica ( $\approx 2,2\%$ ); Extração de 20% de material por peneiramento (material passante na #50=0,3 mm); Compactação manual, sem controle da energia.

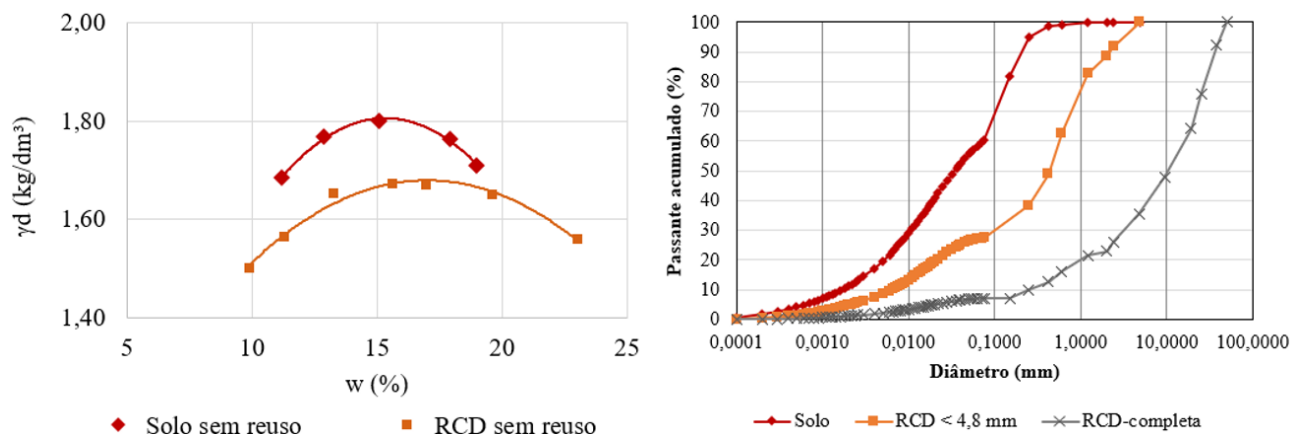
Após realização de cada um dos ensaios foram coletadas amostras em cápsulas de alumínio de volume conhecido, para cálculo da densidade seca e, conseqüentemente, do grau de compactação atingido.



## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Caracterização

Os resultados de caracterização indicam que o solo apresenta comportamento semelhante às argilas enquanto o RCD aproxima-se das areias, indicando potencial aplicabilidade dos materiais em conjunto para compor um sistema de barreira capilar (SBC). Tal observação pode ser visualizada nos resultados de compactação e de granulometria (Figura 2).



Nas curvas de compactação observa-se formato de sino para o solo (característica de solos argilosos), enquanto para o RCD os parâmetros de densidade seca máxima e umidade ótima assemelham-se a resultados para areias (Das; Sobhan, 2017). Na análise granulométrica, por sua vez, é possível notar o contraste entre os dois materiais estudados em termos de dimensão das partículas, podendo este ser um indicativo para formação de BC entre solo e RCD. Por outro lado, identificou-se um teor de material fino (passante na #200) considerável para o RCD de cerca de 27%, o que poderia desfavorecer o uso conjunto dos dois materiais em SBC, fator melhor analisado a partir dos ensaios de coluna, descritos no item 4.2.

Quanto às curvas de retenção dos materiais (Figura 3), nota-se que o solo possui maior capacidade de retenção de água quando comparado ao RCD, pois para umidade volumétrica ( $\theta$ ) de 10, por exemplo, sua sucção ( $\psi$ ) é de aproximadamente 20000 kPa versus 2000 kPa para o RCD, o que indica a potencial formação de barreira capilar entre os dois materiais (considerando uso de solo como camada capilar e RCD como bloqueio), pois em condições não saturadas o fluxo seria favorecido na camada de solo (a capilar), devido à menor energia no material. Ressalta-se que a amostra de RCD utilizada neste ensaio corresponde ao tratamento com 20% de peneiramento em malha #50 (mesmo tratamento do E3 do ensaio de coluna).

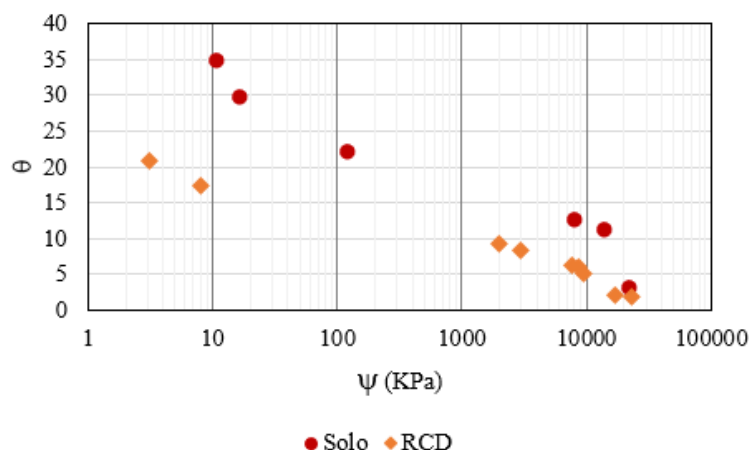


Figura 3. Curvas de retenção do solo e do RCD.  
Fonte: Acervo do autor.

Os resultados de coeficiente de permeabilidade, por sua vez, evidenciam a problemática da utilização das coberturas finais do tipo monolíticas para aterros sanitários, uma vez que as permeabilidades requeridas são menores a  $1\text{E-}07\text{ cm/s}$  e, para a amostra de solo deste trabalho, o valor obtido ficou na ordem de  $1\text{E-}04\text{ cm/s}$  (para  $\text{GC}=80\%$ ). Os resultados deste ensaio, em conjunto com as demais caracterizações realizadas neste trabalho são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados de massa específica dos grãos ( $\rho$ ), coeficiente de permeabilidade a  $20^\circ\text{C}$  ( $K_{20}$ ) e gravimetria.

	$\rho\text{ (g/cm}^3\text{)}$	$K_{20}\text{ (cm/s)}$	Gravimetria
Solo	2,71	$1,64\text{E-}04$	-
RCD miúdo	2,70	$1,85\text{E-}02$	Cerâmico: 64% Concreto: 36%

Cabe salientar a grande variação observada na literatura consultada (Bizarreta; Campos, 2017; Silva Junior, 2012; Bernardes; et al., 2008) em relação aos resultados para o RCD (de compactação, granulometria, gravimetria, permeabilidade), conforme local de obtenção e forma de processamento do material, sendo este um limitante para uso deste material sem um controle tecnológico rigoroso.

## 4.2 Ensaios de Coluna

A partir dos ensaios de coluna de fato foi possível constatar a formação de barreira capilar entre os materiais estudados, havendo uma relação inversa entre a porcentagem de finos do RCD e o tempo de permanência do fluxo na BC. Além disso, observou-se que a velocidade de percolação do fluxo através do solo foi mais elevada (cerca de 12 vezes maior) quando comparada a do RCD, fenômeno esperado para BCs quando os substratos encontram-se em condição não saturada (sucção do solo é muito maior do que do RCD). Os resultados do ensaio podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de coluna.

	Vel. perc. (cm/s)		Permanência	$\gamma_d\text{ (kg/dm}^3\text{)}$		GC
	solo	RCD	na BC (s)	solo	RCD	solo
E1	$2,98\text{E-}02$	$3,07\text{E-}03$	112	1,496	1,320	83,1%
E2	$3,86\text{E-}02$	$2,09\text{E-}03$	166	1,412	1,447	78,4%
E3	$2,39\text{E-}02$	$2,09\text{E-}03$	219	1,419	1,245	78,8%

Considerando o tempo de permanência do fluxo na interface dos materiais (solo e RCD) os resultados indicam que quanto menor a quantidade de partículas mais finas no RCD, melhor o funcionamento da barreira capilar. Para o RCD sem tratamento (E1) o tempo na BC foi de somente 112 s e ao remover 10% (E2) e 20% (E3) das partículas passantes na #50 esse tempo aumentou cerca de 50% e 95%, respectivamente, em relação ao material de referência (E1), o que indica que quanto menor a quantidade de partículas mais finas no RCD, maior o tempo de permanência do fluxo na barreira capilar. Tal fato está de acordo com o esperado, em que o funcionamento adequado das BC depende do contraste granulométrico entre os materiais utilizados.

Ressalta-se que a opção pela peneira #50 no tratamento dos RCD dos ensaios de coluna deu-se devido à presença de argila em torrões nos resíduos, que somente são eliminados diante do processo de lavagem. Assim, ao realizar o ensaio de granulometria detectou-se presença de 27% de material passante na #200 no RCD, porém não seria possível remover tal quantidade de material por peneiramento nesta mesma malha (#200), pois as partículas encontram-se aglomeradas. Portanto o estudo da influência de argila em torrões nos RCD que compõem barreiras capilares seria um aspecto de interesse para futuras pesquisas.

## 5 Considerações Finais

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que os materiais estudados (solo da região e RCD) são compatíveis para aplicação conjunta em sistemas de barreira capilar, tendo em vista seu contraste granulométrico e sua diferença de capacidade de retenção de água, o que foi confirmado por meio dos ensaios de coluna.

Apesar da viabilidade técnica da solução proposta, o presente trabalho possui caráter exploratório e muitos aspectos todavia devem ser estudados para verificar sua adequação em coberturas finais de ARSU, como a simulação do SBC com RCD em modelos reduzidos inclinados, análises de microestrutura do RCD e definição de faixas de valores mais compatíveis dos parâmetros físicos e hidráulicos requeridos no material para melhor funcionamento de um SBC.

Por fim, cabe salientar que a aplicação de RCD para coberturas como sistemas de barreiras capilares é de amplo interesse, pois além deste material tratar-se de uma alternativa de viés sustentável, por diminuir a utilização de matéria-prima natural, também possui ampla disponibilidade em centros urbanos, uma vez que sua disposição final ainda é dificultosa e sua produção é elevada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). NBR 13292. *Determinação do coeficiente de solos granulares à carga constante*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000). NBR 14545. *Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 15116. *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016a). NBR 7181. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016b). NBR 7182. *Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016c). NBR 6457. *Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 16605. *Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro.
- ABRELPE. (2007) *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2007*. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_edicoes.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm)>. Acesso em: 20 abr. 2018.

- ABRELPE. (2017) *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2007*. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_edicoes.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm)>. Acesso em: 20 jun. 2018.
- Affonso, F. A. (2005) *Caracterização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) para uso em camadas drenantes de aterros de resíduos sólidos*. Dissertação de Mestrado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia / UFRJ, 161 p.
- Andreas, L., Diener, S., Lagerkvist, A. (2014) Steel slags in a landfill top cover – Experiences from a full-scale experiment. *Waste Management*, 34, p.692-701.
- Barros, M. C. (2005) *Avaliação de um resíduo da construção civil beneficiado como material alternativo para sistema de cobertura*. Dissertação de Mestrado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia / UFRJ, 96 p.
- Bernardes, A., Thomé, A., Prietto, P. D. M., Abreu, Á. G. (2008) Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. *Ambiente Construído*, 8 (3), p.65-76.
- Bizarreta, J. C. O. (2009) *Avaliação do potencial de uso de um resíduo da indústria de papel em sistemas de barreiras capilares*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil / PUC-RJ, 108 p.
- Bizarreta, J. C. O., Campos, T. P. (2017) Caracterização geotécnica de um RCD e uma argila visando sua utilização como barreira capilar. In: Cardozo, E. L. *Geologia Ambiental: Tecnologias para o desenvolvimento sustentável – vol. 2*, Atena, Ponta Grossa, p.19-33.
- Cardoso, R., Silva, R. V., Brito, J., Dhir, R. (2016) Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: a literature review. *Waste Management*, 49, p.131-145.
- Costa, M. D., Mariano, M. O. H., Araujo, L. B., Jucá, J. F. T. (2018) Estudos laboratoriais para avaliação do desempenho de camadas de cobertura de aterros sanitários em relação à redução de emissões de gases e infiltrações. *Eng Sanit Ambient*, 23 (1), p.77-90.
- Das, B. M., Sobhan, K. (2017) *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*, 8 ed., Cengage Learning, São Paulo, SP, BR, 612 p.
- Duarte, E. R. (2018) *Entrevista concedida à Thays C. F. Oliveira*, Foz do Iguaçu, 11 jun. 2018.
- Izzo, R. L. S., Mahler, C. F., Rose, L. (2013) Barreira capilar construída com resíduo pré-tratado mecânica e biologicamente. *Eng Sanit e Ambient*, 18 (4), p.303-312.
- Maciel, F. J., Jucá, J. F. T. (2011) Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large-scale experimental cell in Brazil. *Waste Management*, 31, p.966-977.
- Mendoza, F. J. C., Altabella, B., Izquierdo, G. (2017) Application of inert wastes in the construction operation and closure of landfills: calculation tool. *Waste Management*, 59, p.276-285.
- Stark, T. D., Choi, H., Lee, C., Queen, B. (2012) Compacted soil liner interface strength importance. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138 (4), p.544-550.
- Silva Junior, M. A. B. (2010) *Avaliação da potencialidade dos RCD's visando sua aplicação em cobertura final de aterros*. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica de Pernambuco/ UFPE.
- Villar, L. F. S. (2002) *Estudo do adensamento e ressecamento de resíduos de mineração e processamento de bauxita*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/ PUC-RJ, 461 p.
- Weil, R. R., Brady, N. C. (2017) *The nature and property of soils*, 15 ed., Pearson, Harlow, USA.