

25. Meio Ambiente

Uso de areia de Resíduos de Construção e Demolição com adição de Bentonita Sódica para utilização em camadas de cobertura de aterros sanitários.

Caldas, Renan C. S.; Correia, Natália S.
renan.csc@hotmail.com; ncorreia@ufscar.br;
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Universidade Federal de São Carlos

Resumo

A utilização de resíduos tem ganhado cada vez mais visibilidade em obras da engenharia civil devido a necessidade ambiental de dar um destino útil aos resíduos, assim como pelas vantagens econômicas ao substituir o uso de materiais mais nobres. Em aterros sanitários, os resíduos de construção civil e demolição (RCD) podem ser triturados e utilizados em camada de cobertura, desde que apresentem determinadas características. Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), os solos ou materiais alternativos devem apresentar mais de 30% de finos, limite de liquidez $\geq 30\%$, índice de plasticidade $\geq 15\%$, pH ≥ 7 e permeabilidade $\leq 10^{-7}$ cm/s para utilização em barreiras impermeabilizantes de aterros sanitários, o que nem sempre é possível em materiais granulares, como o RCD. Dessa forma, pode-se adequar as características geotécnicas e viabilizar o uso da areia RCD como camada de cobertura com a adição de bentonita sódica, uma argila de baixa condutividade hidráulica e alta plasticidade, amplamente empregada na construção civil, principalmente para minimizar fluxo de líquidos. Nessa pesquisa, uma areia RCD de uma usina local teve a adição de uma bentonita sódica argentina em diferentes teores para verificar o teor mínimo que adequa essa mistura como camadas de aterros sanitários. Foram realizados os ensaios de laboratório geotécnicos de Análise Granulométrica, Limites de Atterberg, pH, Compactação e Condutividade Hidráulica. Os resultados mostraram que 20% de bentonita poderia adequar essa mistura para utilização como camada impermeabilizante e que com poucos teores a mistura teve acréscimos significativos e suficientes na plasticidade e liquidez para o uso como camadas diárias ou intermediárias em aterros sanitários.

Palavras-chave: Resíduo de Construção e Demolição, Bentonita, Aterro Sanitário, RCD, Camada Impermeabilizante.

Introdução

Barreiras impermeabilizantes de argilas compactadas ou mistura de solos com Bentonita são utilizadas para a contenção lateral dos fluídos, na base do aterro para reduzir a percolação de lixiviados do aterro sanitário ou na cobertura final para evitar infiltração de águas superficiais em aterros sanitários. Para Gueddouda et al. (2008), a eficiência com que as camadas impermeabilizantes de aterro sanitário atuam depende do comportamento hidromecânico do material compactado e também do comportamento químico, devido a necessidade de retenção e atenuação dos fluidos percolados contaminantes.

De acordo com Quissini (2009), as características geotécnicas mais relevantes para material de cobertura de aterros sanitários não são ainda muito claras na literatura, e aparecem como requisitos para camada de base, de cobertura ou impermeabilização (ROCCA et al., 1993; DANIEL, 1993 e QASIM e CHIANG; 1994; CETESB, 2004). A Tabela 1 resume as principais características geotécnicas indicadas na literatura.

Assim, quando o solo local não apresenta estas características necessárias, é comum a adição de alguns teores de Bentonita, um material altamente plástico e de baixa condutividade hidráulica. Diversos estudos apresentam resultados de efetiva redução da permeabilidade de solos arenosos após a adição de

Bentonita (Hoeks et al., 1987; Rowe, 2000; Lukiantchuki, 2007; Ameta e Wayal, 2008; Gueddouda et al., 2008; Jawad e Baqir, 2009).

Tabela 1: Referências e características necessárias para camada impermeabilizante de aterros sanitários.

Rocca et al. (1993) CETESB (2004)	Daniel (1993)	Qasim e Chiang (1994)
$k < 10^{-7}$ cm/s	$k < 10^{-7}$ cm/s	$k < 10^{-7}$ cm/s
Classificação SUCS (CL, CH, SC ou OH)	%Retido na #4 <30%	%Retido na #4 <50%
% Passante na #200 >30%	% Passante na #200 >20%	% Passante na #200 > 30%
LL>30%	-	-
IP>15%	IP>7%	IP 7% a 15%
pH>7	-	-

SUCS=Classificação Unificada dos solos; k = condutividade hidráulica; LL = Limite de liquidez; IP = Índice de plasticidade

Para Rowe (2000), adições de Bentonita em solos arenosos nos teores de 4 a 10% são suficientes para aumentar a plasticidade e reduzir significativamente a condutividade hidráulica do solo. A Bentonita, por ser um material expansivo, com índice de plasticidade extremamente alto (da ordem de 400%), é indicada quando se deseja evitar a formação de trincas, decorrentes do ressecamento das camadas de cobertura (Huse, 2007).

No contexto de materiais alternativos para camada de cobertura diária de aterros sanitários estão os resíduos de construção civil e demolição (RCD), os quais muitas vezes seguem para destinação nos aterros sanitários. Segundo o CONAMA 307/2002 o RCD

possui alto grau de reaproveitamento. Coelho et al. (2005) enfatiza que esses resíduos exercem adequadamente a função sanitária, evitando a proliferação de vetores, a exalação de odores e proporcionam boas condições para o tráfego de máquinas e veículos durante a operação do aterro.

Catapreta e Simões (2011) enfatizam que, a utilização de RCD como camada de cobertura em aterros, também contribui para que esses resíduos não sejam dispostos de forma irregular em áreas e lotes vagos, assim como em margens de rios e vias, contribuindo para a preservação ambiental. No entanto, isoladamente, os RCDs não atendem aos requisitos geotécnicos mínimos para camadas de cobertura.

Considerando a baixa plasticidade e elevada permeabilidade dos RCDs, e a necessidade do bom comportamento hidráulico e mecânico dos aterros sanitários, estes podem ser misturados com Bentonita com a finalidade de constituir um material com comportamento geotécnico adequado. No trabalho de Gutierrez (2015), misturas de RCD-Bentonita para camada impermeável em aterros sanitários mostraram que, para 14% de teor de Bentonita, houve uma redução da condutividade hidráulica de 1×10^{-4} cm/s para 1×10^{-7} cm/s, compatível com as recomendações da literatura.

Assim, esta pesquisa apresenta o estudo de propriedades geotécnicas de Areia

RCD-Bentonita para reuso como material alternativo em camada de cobertura de aterros sanitários. Serão investigadas alterações nas propriedades granulométricas, plasticidade, de compactação, na permeabilidade e no pH das misturas. A areia de RCD é produzida em usina na cidade de São Carlos-SP e nesta foram adicionados diferentes teores de Bentonita natural sódica Argentina, de forma a verificar os teores mínimos para enquadramento como material de camada de cobertura.

Objetivos

Essa pesquisa tem a finalidade de encontrar o mínimo teor de bentonita a ser adicionado em um agregado miúdo reciclado de resíduos de construção e demolição (RCD) de forma que se possa adequar essa mistura como camadas de cobertura em aterros sanitários.

Materiais e Métodos

A areia de resíduo de construção e demolição (areia-RCD) é um agregado miúdo resultante de um processo de trituração e peneiramento, realizado em empresa da cidade de São Carlos – SP (Figura 1). A curva de distribuição granulométrica da areia de RCD é apresentada na Figura 2, conforme as

especificações da NBR: 7181 (ABNT, 2016).



Figura 1. Usina de britagem da areia de RCD. Fonte: Próprio Autor (2018).

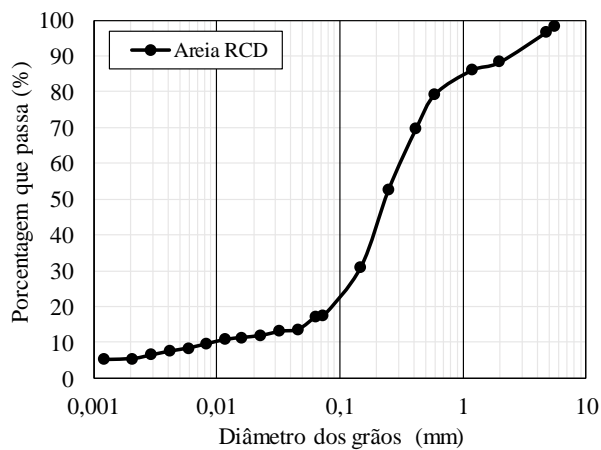


Figura 2. Distribuição granulométrica da areia de RCD. Fonte: Próprio Autor (2018).

A Bentonita utilizada nesta pesquisa é uma argila esmectítica sódica natural Argentina, comercializada como Bentonita Creme ARGEL CN 35. A Figura 3 apresenta a Bentonita, a areia RCD e um exemplo de mistura de areia RCD-Bentonita.

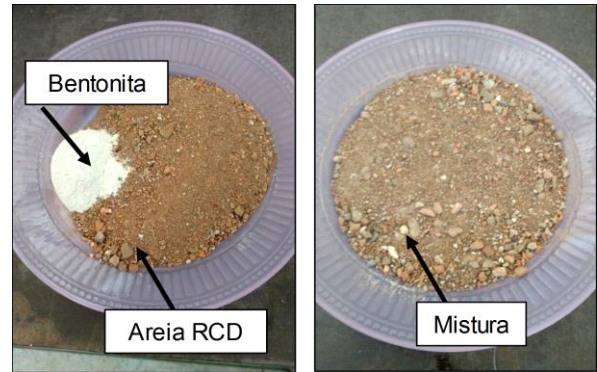


Figura 3. Materiais utilizados: (a) areia RCD e Bentonita Sódica Argentina; (b) mistura areia RCD-Bentonita. Fonte: Próprio Autor (2018).

Os teores de Bentonita foram adicionados a areia RCD, sendo de 2, 4, 8, 12 e 16%, em relação a massa seca da areia, até que a amostra apresentasse aspecto homogêneo. Nesta pesquisa, as misturas serão identificadas como: RCD+2%, RCD+4%, RCD+6%, RCD+8%, RCD+12% e RCD+16%.

De forma a identificar alterações na distribuição granulométrica conjunta das misturas, foram realizados ensaios conforme NBR: 7181 (ABNT, 2016). A determinação da massa específica dos sólidos, conforme NBR: 6458 (ABNT, 2017), foi utilizada no cálculo da granulometria por sedimentação.

Para as alterações na plasticidade da areia RCD após a adição de Bentonita, e verificações dos requisitos mínimos indicados na literatura, foram realizados ensaios de limite de liquidez (LL) e plasticidade (LP), respectivamente de acordo com NBR: 7180 (ABNT, 2016) e NBR: 6459 (ABNT, 2016).

Com a finalidade de se verificar alterações nos parâmetros ótimos de compactação da areia-RCD devido a adição de Bentonita, foram realizados ensaios de compactação na energia Proctor Normal de acordo com a NBR: 7182 (ABNT, 2016). Com os parâmetros ótimos, moldou-se os corpos-de-prova para os ensaios de permeabilidade.

A determinação da condutividade hidráulica para solos finos (baixa permeabilidade) foi obtida por meio de ensaios de permeabilidade de carga variável, conforme as especificações da NBR: 14545 (ABNT, 2000).

Uma investigação do pH das misturas areia de RCD-Bentonita também foi realizada, sendo este um importante indicativo de acidez ou alcalinidade das misturas, e um requisito para uso destas como material de camada de cobertura de aterros, conforme especificações de Rocca et al. (1993) e CETESB (2004).

Resultados e Discussão

A Figura 4 apresenta uma comparação da distribuição granulométrica das misturas areia RCD-Bentonita. Como esperado, a adição de Bentonita alterou a distribuição granulométrica, aumentando a fração fina das misturas. A Figura 5 apresenta o aumento na porcentagem de finos (#200) com a adição de Bentonita.

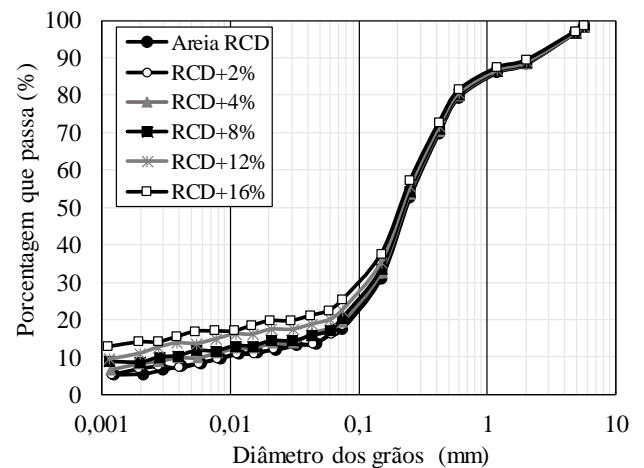


Figura 4. Distribuição granulométrica das misturas areia RCD-Bentonita. Fonte: Próprio Autor (2018).

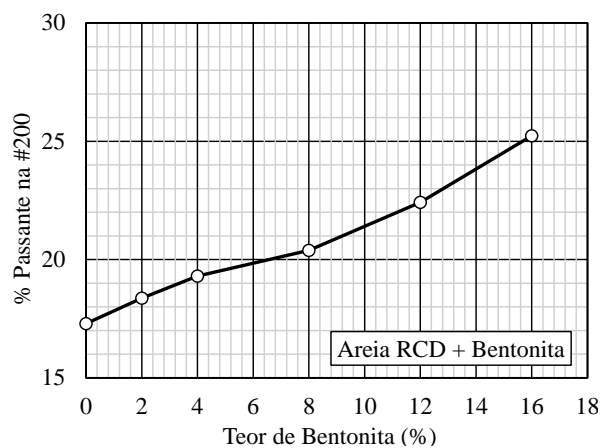


Figura 5. Porcentagem de finos (#200) das misturas areia RCD-Bentonita. Fonte: Próprio Autor (2018).

De acordo com a Figura 5, nenhuma das misturas atingiu o mínimo de 30% de finos recomendado por Rocca et al. (1993), CETESB (2004) e Qasim e Chiang (1994). Porém, pelas recomendações de Daniel (1993), o mínimo de 20% de finos foi atingido pela mistura com adição 8% de Bentonita.

A Figura 6 apresenta os resultados de massa específica dos sólidos para as misturas areia RCD-Bentonita. A adição de Bentonita apresentou um pequeno incremento na massa específica dos

sólidos da areia RCD, devido a massa específica da Bentonita ser maior do que a areia.

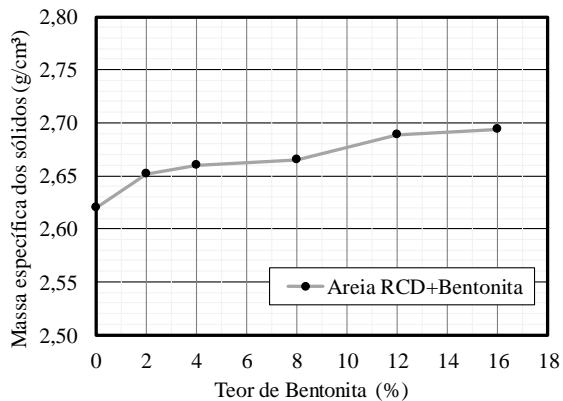


Figura 6. Resultados de massa específica dos sólidos das misturas areia RCD-Bentonita. Fonte: Próprio Autor (2018).

A Figura 7 apresenta os resultados dos ensaios de limites de Atterberg obtidos para as misturas areia RCD-Bentonita. Observam-se alterações significativas no limite de liquidez das misturas com poucos teores de Bentonita, atendendo as especificações de Rocca et al. (1993) e CETESB (2004) de LL > 30% com 2 a 4% de Bentonita. O limite de plasticidade não foi significativamente alterado, mas destacam-se as alterações nos índices de plasticidade (IP) das misturas. A areia RCD passou de não plástica (NP) para plástica com adição de 2% de Bentonita.

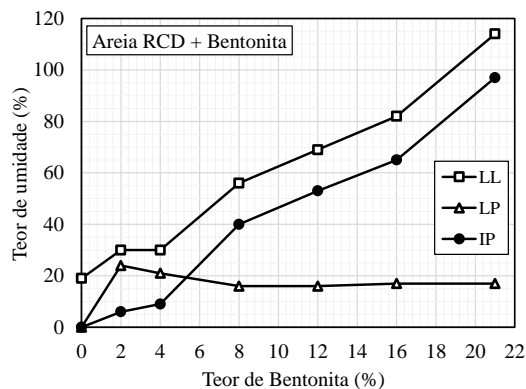


Figura 7. Resultados de limites de Atterberg das misturas areia RCD-Bentonita. Fonte: Próprio Autor (2018).

De acordo com Daniel (1993), que sugere $IP > 7\%$, este requisito seria atingido com 4% de Bentonita na areia RCD. Para Rocca et al. (1993) e CETESB (2004), que sugerem $IP > 15\%$, este requisito seria atingido com 8% de Bentonita.

A Figura 8 apresenta o efeito da adição de Bentonita nas propriedades de compactação da areia RCD. Verifica-se nos resultados que houve alteração significativa nos parâmetros ótimos (massa específica aparente seca e teor de umidade) da areia RCD após a adição de Bentonita.

A Figura 9 apresenta uma comparação dos resultados dos parâmetros ótimos de compactação para todas as misturas. Observa-se que com o aumento da adição da Bentonita houve um aumento no teor de umidade ótimo. De fato, era esperado comportamento crescente no teor de umidade, uma vez que a Bentonita tem partículas muito finas.

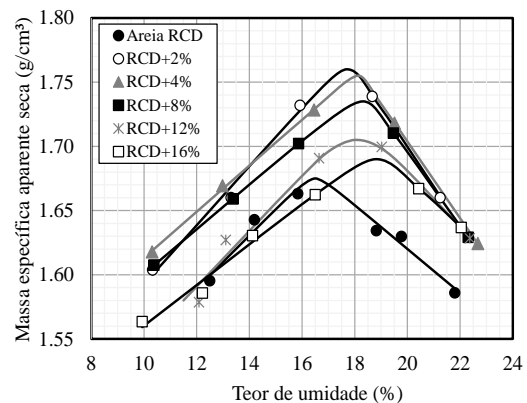


Figura 8. Resultados de compactação das misturas areia RCD-Bentonita. Fonte: Próprio Autor (2018).

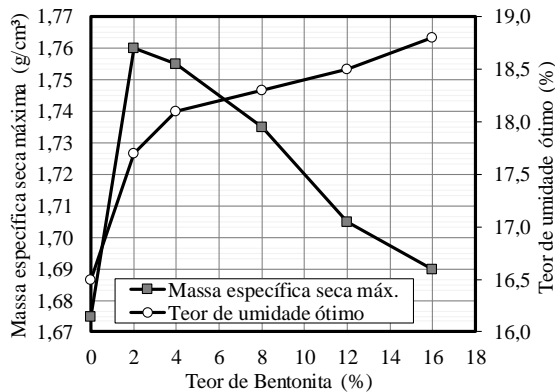


Figura 9. Parámetros ótimos de compactación das misturas areia RCD-Bentonita.

Ainda na Figura 9, os valores de massa específica aparente seca máxima aumentaram significativamente com poucos teores de Bentonita. Para os demais teores, o aumento não foi tão expressivo, uma vez que a Bentonita é um material argiloso e apresenta menor massa específica aparente seca máxima do que as areias. Estes dados são importantes, pois é necessário conhecer as propriedades de compactação para aplicação destes materiais no campo.

Conforme a Rocca (1993) e CETESB (2004), é necessário um valor de $\text{pH} > 7$ (em água) para a mistura se enquadrar como camada de cobertura em aterros sanitários. De acordo com os resultados da Figura 10, a adição de Bentonita não mostrou variação significativa no pH das misturas areia RCD-Bentonita, mantendo os valores acima dos indicados na literatura.

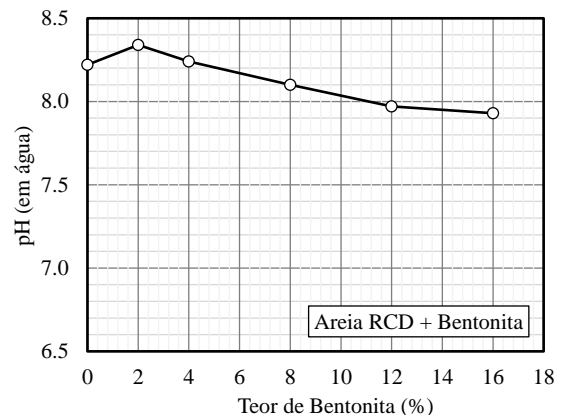


Figura 10. Resultados do pH das misturas areia RCD-Bentonita. Fonte: Próprio Autor (2018).

A Figura 11 apresenta os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade com carga variável para as misturas areia RCD-Bentonita. De modo a comparar os resultados de permeabilidade da areia RCD, foi realizado o ensaio de carga constante, conforme NBR:13292 (ABNT, 1995).

Verifica-se na Figura 11 que a condutividade hidráulica da areia RCD foi da ordem de 1×10^{-3} cm/s, e que as misturas com Bentonita atingiram valores de condutividade hidráulica significativamente menores.

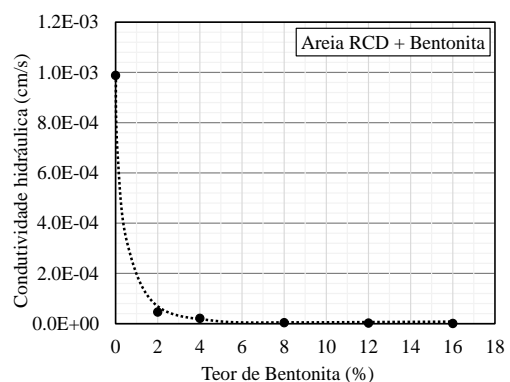


Figura 11. Resultados de condutividade hidráulica da areia RCD e das misturas areia RCD-Bentonita. Fonte: Próprio Autor (2018).

De modo a melhor visualizar os resultados de permeabilidade das misturas são apresentados na Figura 12 os valores de condutividade hidráulica nos teores de 2 a 16% de Bentonita. É interessante notar que os valores de condutividade hidráulica saíram da ordem de $4,5 \times 10^{-5}$ cm/s (2% de Bentonita) para $3,5 \times 10^{-7}$ cm/s (16% de Bentonita).

Com os dados, também pôde ser gerada uma função que descreve o comportamento da condutividade hidráulica das misturas, a qual pode ser usada para a determinação deste parâmetro para qualquer teor de Bentonita. Neste caso, de acordo com a função gerada, esta mistura de areia RCD-Bentonita atingiria a condutividade hidráulica de $1,0 \times 10^{-7}$ cm/s com 19,8% de Bentonita, tal como nas especificações da Tabela 1 para material impermeabilizante de aterros sanitários.

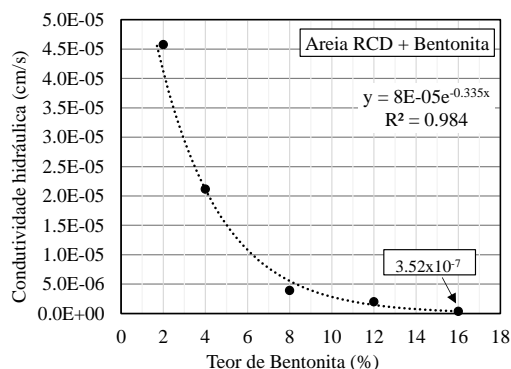


Figura 12. Resultados de condutividade hidráulica das misturas areia RCD-Bentonita. Fonte: Próprio Autor (2018).

Conclusões

Esta pesquisa apresenta um estudo das propriedades geotécnicas de uma areia de RCD misturada com diferentes teores de Bentonita para uso como material alternativo em camada de cobertura ou liner de aterros sanitários. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que:

- A adição de 8% Bentonita na areia RCD foi suficiente para atingir as recomendações mínimas de 20% de finos, conforme Daniel (1993). No entanto, as misturas não atingiram os 30% de finos estabelecido nas recomendações de Rocca et al. (1993) e CETESB (2004);
- Foram observadas alterações significativas no limite de liquidez (LL) das misturas com poucos teores de Bentonita, atendendo as especificações (LL>30%) com cerca de 2% de Bentonita. A areia RCD passou da condição não plástica para plástica com adição de 4% de Bentonita, também atendendo as especificações (IP>7%);
- Foi verificada uma alteração significativa nos parâmetros ótimos de compactação da areia RCD após a adição de Bentonita. Houve um aumento nos teores de umidade ótimos para todos os teores de Bentonita, e aumento da massa específica seca máxima com poucos teores de Bentonita;
- A adição de Bentonita não mostrou variação significativa nos valores de

pH da areia RCD, mantendo-se acima dos valores indicados na literatura ($\text{pH} > 7$).

A condutividade hidráulica da areia RCD da ordem de 1×10^{-3} cm/s atingiu valores de $4,5 \times 10^{-5}$ cm/s com 2% de Bentonita e $3,5 \times 10^{-7}$ cm/s com 16%. Foi possível gerar uma função que descreve a condutividade hidráulica da mistura, a qual indica que com cerca de 19 % de Bentonita, a mistura atinge 1×10^{-7} cm/s, conforme as especificações para material impermeabilizante de aterros sanitários.

Bibliografía

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6458 Versão corrigida 2 – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 6459 – Solo - Determinação Do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7180 – Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7182 – Solo - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7181 – Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 13292 – Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Metodo de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 14545 – Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro, 2000.

Catapreta, C. A. A.; Simões, G. F. (2011). Utilização de resíduos de construção e demolição para cobertura intermediária de resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários. In.: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 26.

CETESB (2004). Companhia de tecnologia e saneamento ambiental de São Paulo. Resíduos sólidos industriais.

Coelho, H. M. G, Lange, L. C., Simões, G. F., Ferreira, C. F. A., Viana, D. F. (2005) Avaliação do desempenho de camadas de cobertura intermediárias e finais em células experimentais de disposição de resíduos sólidos urbanos. In.: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23.

- CONAMA. (2002) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- EMBRAPA. (2011) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análises de Solo. 2*. Rio de Janeiro.
- Gueddouda, M. K.; Lamara, M. D.; Aboubaker, N.; Taibi, S. (2008) Hydraulic Conductivity and Shear Strength of Dune Sand–Bentonite Mixtures. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, January.
- Gutierrez, R., D. A. (2015) Análise do Processo de Ressecamento em Misturas de Resíduos de Construção Civil (RCC) e Bentonita para Aplicação em Camadas de Cobertura de Aterros de Resíduos Sólidos. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- Hoeks, J.; Glas, H.; Hofkramp, J.; Ryhiner, A. H. (1987) Bentonite Liners for Isolation of Waste Disposal Sites". *Waste Management & Research*, 5, pp. 93-105.
- Huse, K. (2007). Estudo da influência da adição de Bentonita em um solo areno-siltoso para uso como cobertura de aterros. 126p. Tese (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- Jawad, T. A.; Baqir, A. M. (2009) Improvement Of Sandy Soil Properties By Using Bentonite. *Kufa Journal of Engineering*, 1(1).
- Lukiantchuki, J. A. (2007) Influência do teor de Bentonita na condutividade hidráulica e na resistência ao cisalhamento de um solo arenoso utilizado como barreira impermeabilizante. 124p. Dissertação (Mestrado). EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Rowe, R. K. (2000) Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook, Kluwer Academic Publishers, 1088p.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao LabGEO UFSCar pelo apoio institucional e ao técnico Sidnei Muzetti pelo apoio durante a realização dos ensaios. Agradecimento as empresas Buntech – Tecnologia em Insumos e AMX Ambiental pelos materiais utilizados.