

III-336 – ESTUDOS PARA A CAMADA DE BASE E COBERTURA A SEREM UTILIZADAS EM RECOBRIMENTO DE ATERROS

Hosana Emília Abrantes Sarmiento Leite⁽¹⁾

Doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestre Engenharia Civil na área de geotecnia pela Universidade Federal de Campina Grande. Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba.

Lilyanne Rocha Garcez⁽²⁾

Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas. Mestre Engenharia Civil na área de engenharia sanitária e ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande. Engenheira Civil pela Universidade Federal do Amazonas.

Endereço⁽¹⁾: Rua Tenente João Cícero, nº 498, Ap. 503 - Boa Viagem - Recife - PE - CEP: 51020-190 - Brasil
- Tel: (83) 8848-9002 - e-mail: hosanaemilia@hotmail.com

RESUMO

Um aspecto importante relacionado a aterros sanitários é a impermeabilização das trincheiras e/ou células. Sua correta execução, somada a uma boa seleção da área concorrem para um projeto que causará o mínimo possível de quaisquer impactos ambientais. Nesse sentido, este trabalho apresentou estudos para a seleção da camada de base e cobertura de um biorreator de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em escala experimental, cujo material estudado foi um solo argiloso. O solo foi caracterizado através de ensaios de umidade, massa específica, granulometria, limite de plasticidade, limite de liquidez, coeficiente de permeabilidade e compactação. Entre os resultados encontrados observou-se que o solo possui um alto teor de finos e baixo coeficiente de permeabilidade. Concluiu-se que os resultados obtidos da análise do solo para utilização como camada de base e cobertura de aterros foram considerados satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Estudo de solos, camada de base em aterros, recobrimento de aterros, lisímetro.

INTRODUÇÃO

De maneira geral a produção e a composição dos resíduos sólidos é função das atividades humanas e industriais dentro de qualquer contextualização social. Os humanos sempre estiveram e permanecem associados diretamente aos resíduos por eles produzidos, podendo o resultado desta interação ser responsável por diversificadas escalas de agressões ambientais. Os problemas inerentes aos resíduos sólidos urbanos (RSU) envolvem questões de natureza social, econômica, política e cultural. Em países subdesenvolvidos os RSU têm se tornado um problema gravíssimo de saneamento básico e até mesmo de saúde pública.

Nessa conjuntura, torna-se fundamental o estudo de soluções para o problema. Além disso, somente abrigar resíduos em aterros sanitários não é a solução, mas buscar alternativas para diminuir a geração desses resíduos, entender os processos bioquímicos que acontecem no interior da massa de resíduos e apoiá-los em modelos matemáticos para maximizar a sua operação deve ser fundamental. Neste sentido o estudo de biorreatores em escala reduzida (lisímetro) poderá sugerir através de seu monitoramento os possíveis ajustes que poderão ser aplicados em escala real (Monteiro *et al.*, 2006). As pesquisas desenvolvidas em lisímetros envolvem a busca de alternativas tecnológicas que poderão ser adaptadas também para aterros de pequeno e médio porte. Esses aterros devem ser projetados com base em tecnologias apropriadas que associem a simplicidade operacional, baseada em procedimentos científicos, à flexibilidade necessária para compatibilizar o projeto, a operação, os requisitos ambientais e as potencialidades locais.

Um aspecto importante relacionado a aterros sanitários é a impermeabilização das trincheiras e/ou células, segundo Castilhos Jr *et al.* (2002) é a parte mais importante do aterro sustentável. Sua correta execução, somada a uma boa seleção da área concorrem para um projeto que causará o mínimo possível de quaisquer impactos ambientais. Essa impermeabilização é dividida em duas etapas: a primeira, durante a execução das trincheiras e/ou células, antes mesmo da colocação dos resíduos, dita: sistema de impermeabilização de laterais e fundo. A segunda, o sistema de cobertura, ocorre ao longo do preenchimento das trincheiras e/ou

células, no caso de haver cobertura intermediária, e ao final de sua vida útil, quando é realizado o seu fechamento com uma última compactação de solo (ou outro material).

De acordo com Jardim *et al.* (1995) o sistema de cobertura de aterros sanitários tem a função de proteger a superfície das células de resíduos sólidos (minimizando impactos ao meio ambiente), eliminar a proliferação de vetores, diminuir a taxa de formação de líquidos percolados, reduzir a exalação de odores, impedir a catação, permitir o tráfego de veículos coletores sobre o aterro e eliminar a queima de resíduos e a saída descontrolada do biogás. E o sistema de base deve evitar, principalmente, a percolação de resíduo ou lixiviado para as camadas inferiores de solo, atingindo a água subterrânea e superficial. Neste sentido, fica evidente a necessidade de avaliar a qualidade dos materiais que são utilizados para impermeabilizar as camadas de base e cobertura de aterros de resíduos sólidos urbanos.

OBJETIVO

Avaliar a viabilidade de um solo argiloso para utilização em base e cobertura de aterros sanitários, a partir da construção e monitoramento de um biorreator de RSU em escala experimental na cidade de Campina Grande-PB.

MATERIAIS E MÉTODOS

Campo experimental

A pesquisa foi desenvolvida através da construção e monitoramento de uma célula experimental (lisímetro), simulando uma célula de aterro sanitário. O lisímetro foi construído no campo experimental EXTRABES (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários), um núcleo de pesquisa pertencente à Universidade Federal de Campina Grande e Universidade Estadual da Paraíba, localizado em um terreno pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba – CAGEPA.

Construção do biorreator (lisímetro)

O lisímetro foi construído a partir da adaptação de duas manilhas em concreto armado com as seguintes dimensões: altura de 2,15m, diâmetro interno de 1,00m e volume aproximado de 1,70 m³ (Figura 1). A estrutura foi apoiada sobre uma base de concreto, fixada com auxílio de argamassa. Em suas camadas de base e cobertura foi empregado um solo que imprimisse características de impermeabilidade. A estrutura do lisímetro foi constituída de um sistema de drenagem que constou de um tubo de PVC apoiado sobre o solo compactado e sobre uma camada de pedra britada utilizada para promover a drenagem de toda a célula experimental. Foi dotado de uma instrumentação como sistema de drenagem de líquidos e gases, piezômetro para medição do nível de líquidos, placas circulares para medição de recalques superficiais e em profundidade e termopares para medição de temperatura em profundidade.

Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Objetivando uma amostra representativa dos RSU da cidade de Campina Grande, onde foi realizado o estudo, foram utilizados para o preenchimento do lisímetro resíduos provenientes de três bairros de classes sociais distintas. Esses resíduos foram devidamente homogeneizados e após a pesagem, lançados no lisímetro em camadas de 0,10m e compactado manualmente. Paralelamente a colocação dos resíduos foi instalada a instrumentação necessária ao monitoramento do lisímetro.

Camada de base e Cobertura

Como sistema de impermeabilização de base do lisímetro foi utilizado uma camada de solo que imprimisse características de impermeabilidade com altura média total de 0,25m. A camada foi executada por meio de compactação em camadas de, aproximadamente, 0,10m de espessura com auxílio de um soquete manual.

Como sistema de impermeabilização de cobertura do lisímetro foi utilizado uma camada de solo com o mesmo material empregado como sistema de impermeabilização de base do lisímetro, com altura média total de 0,15m. A camada foi executada por meio de compactação em estratos de, aproximadamente, 0,10m de espessura com auxílio de um soquete manual e uma enxada.

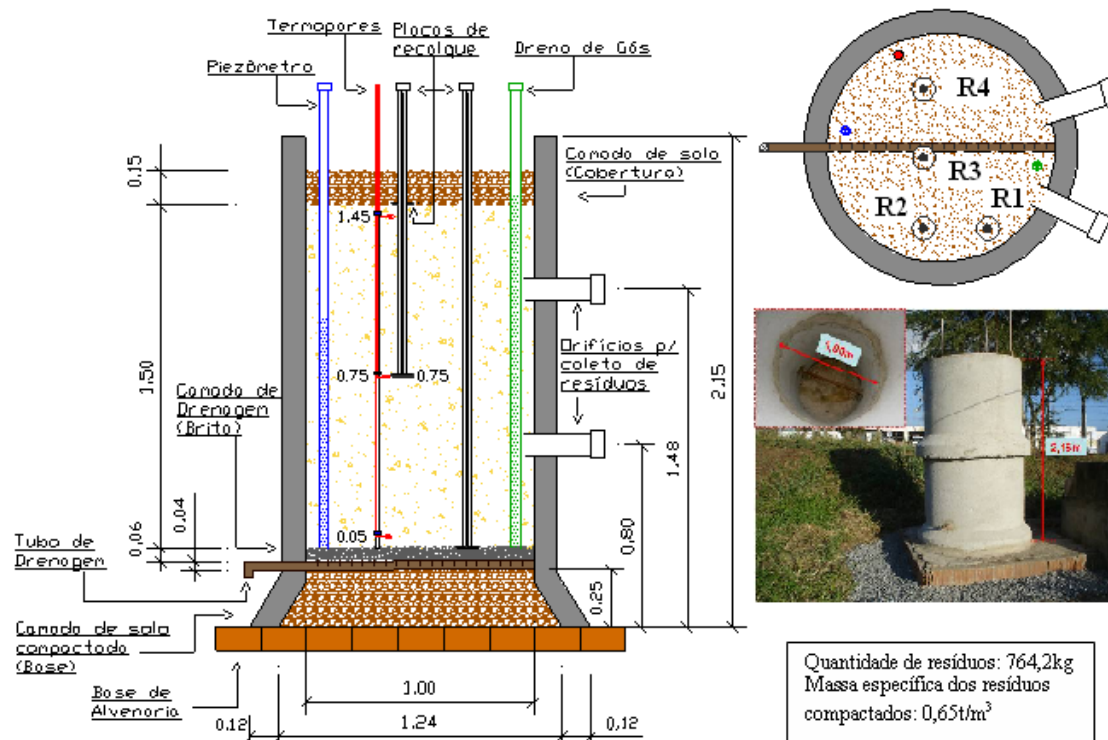


Figura 1: Desenho esquemático do lisímetro.

Escolha do solo e caracterização da camada de base e cobertura do lisímetro

O solo selecionado para avaliação foi coletado na jazida de uma antiga fábrica de cerâmica localizada na cidade de Lagoa Seca – PB, município próximo a Campina Grande. A cidade está situada na região do Agreste e Brejo Paraibano a 129 km da capital do Estado, João Pessoa. A escolha do local deu-se pela presença de uma jazida de material argiloso que, de um modo geral, são os mais utilizados para a cobertura e base de aterros sanitários devido às suas características de impermeabilidade.

A extração do solo foi feita baseada na metodologia para obtenção de uma amostra deformada. A coleta foi realizada com o auxílio de pá e picareta, as amostras foram transportadas para um laboratório de solos em sacos plásticos fechados para evitar a perda significativa de umidade. A camada superficial, $\pm 0,50\text{m}$, (horizonte A) da qual participam componentes orgânicos e elementos transportados, foi retirada antes da extração do solo. Durante a extração foram determinados “in situ” o teor de umidade (método do speedy) e massa específica aparente (método do frasco de areia) de acordo com as normas ME 052 (DNER, 1994) e NBR 7185 (ABNT, 1986c) respectivamente.

Em Laboratório, após preparação das amostras, foram realizados os ensaios de caracterização das amostras através da determinação do teor de umidade com secagem em estufa, determinação da massa específica dos grãos, granulometria, determinação do limite de plasticidade e liquidez, além da determinação do coeficiente de permeabilidade e o ensaio de compactação, conforme as normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER), apresentadas no Quadro 1. Todos os ensaios citados foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos I e II da Universidade Federal de Campina Grande.

O ensaio de compactação foi realizado para a energia Proctor Normal. A mesma energia foi aplicada para a execução do ensaio de permeabilidade. A ABNT (2000), por meio da NBR 14545, recomenda que o líquido a ser utilizado para os ensaios de permeabilidade deve ser o mesmo que percola o material em campo, porém para este estudo realizou-se o ensaio de permeabilidade utilizando como permeante a água. O ensaio de permeabilidade foi realizado com carga variável, saturando-se o corpo de prova antes do ensaio.

Quadro 1 - Descrição dos Ensaios de solos realizados no estudo e Norma correspondente.

ENSAIO	NORMA REFERENTE
Determinação da Umidade pelo Método Expedito do SPEEDY (Speedy Moisture Test)	ME 052 - Solos - Agregados Miúdos - Determinação da Umidade pelo Emprego do SPEEDY (DNER, 1994).
Massa Específica Aparente “in situ” - Método do Frasco de Areia	NBR 7185. Solo - Determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia - Método de ensaio (ABNT, 1986c).
Preparação das Amostras Determinação do Teor de Umidade com Secagem em Estufa	NBR 6457 - Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio (ABNT, 1986a).
Determinação da Massa Específica dos grãos	NBR-6508 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica – Método de ensaio (ABNT, 1984b).
Ensaio de Granulometria	NBR 7181 - Solo -Análise Granulométrica – Método de ensaio (ABNT, 1984d).
Determinação do Limite de Plasticidade	NBR 7180 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade - Método de ensaio (ABNT, 1984c).
Determinação do Limite de Liquidez	NBR 6459 - Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Método de ensaio (ABNT, 1984a).
Determinação do Coeficiente de Permeabilidade	NBR 14545 - Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável (ABNT, 2000).
Ensaio de Compactação	NBR 7182 - Solo - Ensaio de Compactação – Método de Ensaio (ABNT, 1986b).

RESULTADOS

Caracterização do solo “in situ”

Durante a extração do solo, foram obtidos os resultados do teor de umidade natural de 18,2% e massa específica aparente de 1300kg/m³. Observou-se um teor de umidade próximo a umidade ótima, não sendo necessária uma correção muito grande em campo para se atingir a umidade ótima obtida no ensaio de Proctor Normal.

Caracterização do solo em laboratório

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos pelos ensaios de caracterização do solo em laboratório.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de caracterização do solo em laboratório.

Ensaio	Resultado
Teor de umidade com secagem em estufa (h)	3,1%
Massa específica dos grãos (γ_s)	2900kg/m ³
Análise granulométrica*	
Argila (< 0,05mm)	27,5%
Silte (0,005 – 0,05mm)	31,0%
Areia fina (0,05 – 0,42mm)	33,4%
Areia média (0,42 – 2,0mm)	7,6%
Areia grossa (2,0 – 4,8mm)	0,4%
Pedregulho (4,8 – 75mm)	0,1%
Limite de Plasticidade (LP)	33,4%
Limite de Liquidez (LL)	51,6%
Índice de Plasticidade (IP)	18,2%

*Faixa Granulométrica da ABNT (1995) – NBR 6502.

A partir da análise da curva granulométrica do solo analisado (Figura 2), observa-se que, embora o solo seja de granulação fina, pode-se dizer que, de acordo com a forma da curva e os coeficientes de uniformidade ($C_u > 15$) e de curvatura ($C_c < 1$), trata-se de materiais de granulometria contínua, desuniformes e mal graduados, ou seja, não apresentam uma boa distribuição de grãos numa ampla faixa de valores.

A partir dos dados de caracterização, observa-se que o solo possui um alto teor de finos (mais de 50%, em peso, passando na peneira 200 – 0,075mm) e elevada plasticidade com limite de liquidez ($LL > 50$). De acordo com o Sistema de Classificação Unificado de solos para propósito da engenharia (ASTM, 1987 – ASTM D 2487 – 85), baseado nos limites de Atterberg e em dados da sua granulometria, esses materiais são classificados dentro do universo dos solos finos, grupo MH, sendo designados como silte arenoso.

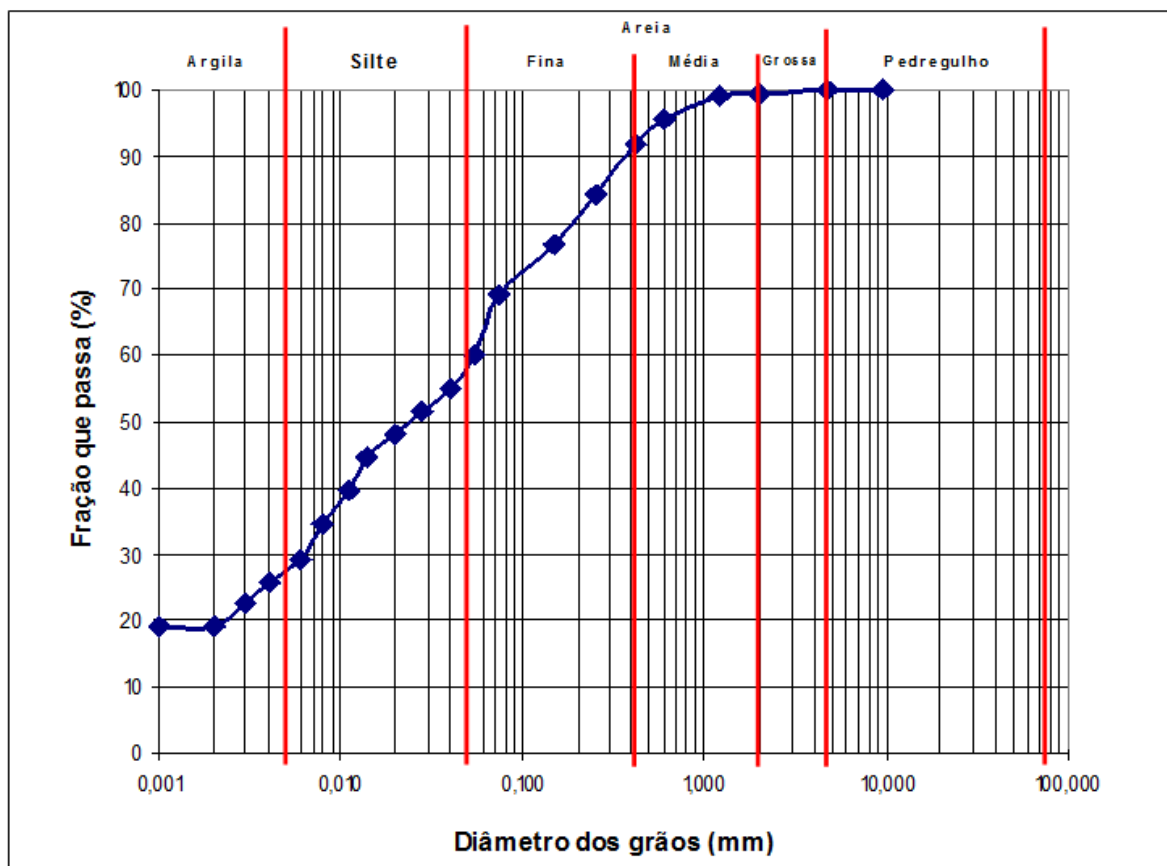


Figura 2 - Curva granulométrica do solo utilizado para base e cobertura do lisímetro.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de compactação em laboratório e em campo feito após a conclusão da camada de cobertura e permeabilidade do solo.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de compactação em laboratório e campo.

Ensaio	Resultado	
	Laboratório	Campo
Compactação		
Massa específica aparente seca máxima	1520kg/m ³	1410kg/m ³
Teor de umidade ótima	25,1%	23,6%
Coefficiente de permeabilidade	1,43 x 10 ⁻⁸ m/s	

A Figura 3 mostra a curva de compactação obtida para o solo estudado onde foi assinalado a massa específica aparente seca máxima, a umidade ótima e os valores correspondentes as coordenadas h e γ_s campo referentes à compactação em campo das camadas de base e cobertura do lisímetro. Uma representação ilustrativa da disposição das partículas no solo compactado abaixo (aleatória / floclada) e acima (dispersa) da umidade ótima também pode ser visualizada na Figura 3.

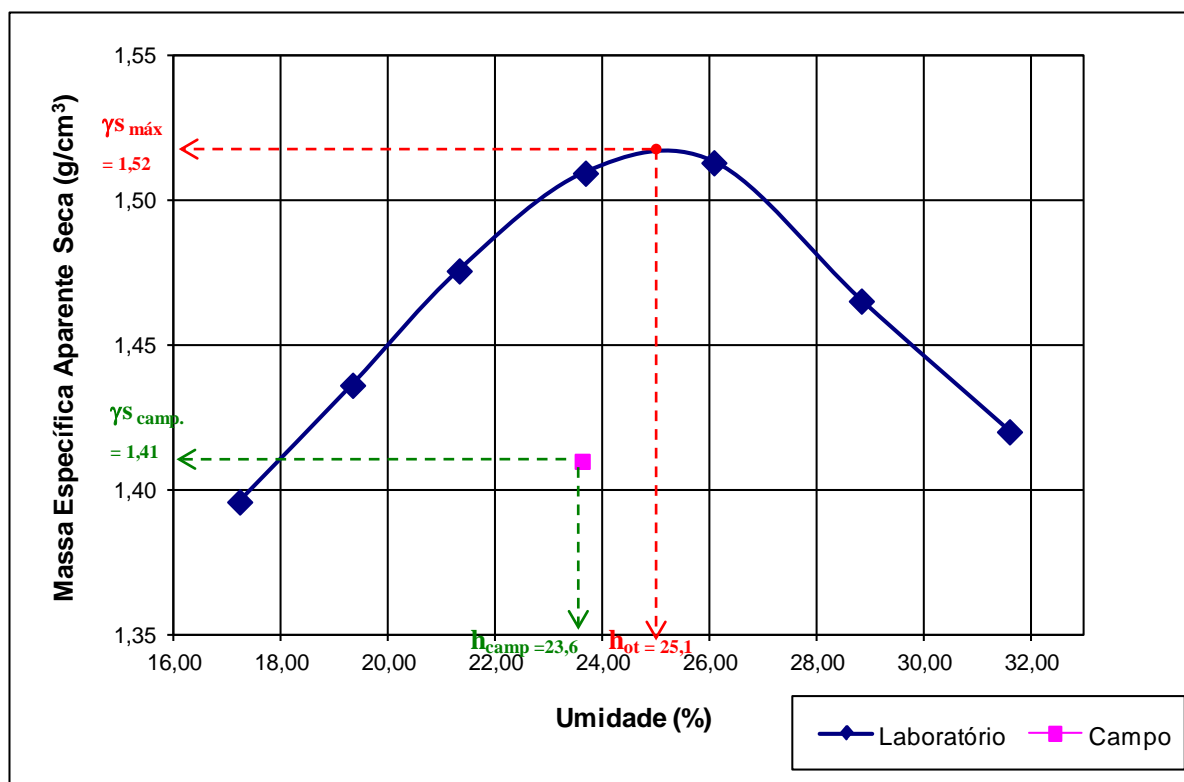


Figura 3 – Curva de variação da massa específica aparente seca em função da umidade referente ao ensaio de compactação Proctor normal.

Analisando o ponto correspondente a (h ; γ_s campo) nota-se que o solo foi compactado no ramo seco, com umidade abaixo da ótima. Segundo Pinto (2000) os solos quando compactados em condições abaixo da umidade ótima de compactação, ou seja, no ramo seco, a disposição das partículas estão floculadas, permitindo maior passagem de água do que quando compactada no ramo úmido (disposição dispersa), ainda com mesmo índice de vazios. Observa-se também valores de γ_s campo inferiores a γ_s máx, esse fato pode ser justificado por se tratar de compactação manual, na qual dificilmente atinge a mesma energia do ensaio, principalmente para umidades tão elevadas.

Por meio da relação entre os dados de campo e laboratório, foi obtido um grau de compactação (GC) de aproximadamente 93%, sendo considerado um valor satisfatório considerando a compactação manual. Em campo, na utilização em aterros como sistema impermeabilizante, o controle da compactação deve ser feito e aceito/rejeitado de acordo com as exigências do projeto nas especificações relacionadas à qualidade da compactação.

O ensaio de permeabilidade apresentou o coeficiente de $1,43 \times 10^{-8}$ m/s. Tendo em vista que a permeabilidade de um solo representa a medida de sua capacidade em permitir passagem de um fluido através de sua massa, a permeabilidade à água é um parâmetro importante para a análise do comportamento dessas camadas no que diz respeito à infiltração de água através da camada de cobertura, que, por conseguinte, vai influenciar na geração de lixiviado e na infiltração deste através da camada de base possibilitando a contaminação do solo e de água subterrânea. O coeficiente de permeabilidade encontrado pode ser considerado um valor baixo, fornecendo ao solo características impermeáveis. Contudo, de acordo com alguns autores para ser considerado adequado como material para a camada impermeabilizante de um aterro, o solo deve apresentar coeficiente de permeabilidade, após compactação, inferior a 10^{-9} m/s. Outros autores, porém, citam coeficientes de permeabilidades entre 10^{-7} e 10^{-11} m/s (MARIANO *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.*, 2006) para utilização de solos como camada de cobertura em aterros.

Como as camadas de cobertura de aterros de RSU envolvem o fluxo de água e gás, é indicada a determinação do coeficiente de permeabilidade do solo também ao ar, para avaliar a eficiência da camada, em relação à possibilidade de retenção dos gases gerados no aterro e sua emissão para a atmosfera.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos da análise do solo foram considerados satisfatórios, tendo em vista que o material selecionado apresentou características viáveis para aplicação em camadas de base e cobertura de aterros, em especial o alto teor de finos e o baixo coeficiente de permeabilidade. Contudo, pode-se, também, optar pela utilização de um sistema misto envolvendo geomembranas sintéticas. Essa junção na impermeabilização da camada de base do aterro sanitário representa uma garantia a mais caso o solo não apresente a permeabilidade estimada, devido a fatores no campo como a falta de controle da compactação.

Vale salientar que os ensaios de laboratório, mesmo realizado de forma cuidadosa, representam pequenos volumes de solo em pontos individuais de uma grande massa. Portanto, a validade de aplicação dos valores neles obtidos aos problemas de percolação e drenagem dependerá de como possam ser considerados representativos da massa de solo. Em projetos importantes justifica-se determinação da permeabilidade "in situ" através de ensaios de bombeamento, e por medição em furo de sondagens realizados no solo.

Como sugestão para outras pesquisas é importante que seja feito uma avaliação da camada de cobertura quanto à infiltração de líquidos e de gases a fim de relacioná-la a eficiência da degradabilidade da matéria orgânica, bem como a realização dos ensaios necessários para viabilizar sua utilização, incluindo ensaio de contração, sucção e permeabilidade ao ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986a. 9p
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - determinação do limite de liquidez – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984a. 6p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos – terminologia. Rio de Janeiro, 1995.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solo que passam na peneira 4,8mm - determinação da massa específica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984b. 8p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo - determinação do limite de plasticidade – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984c. 3p.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - análise granulométrica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984d. 13p.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo - ensaio de compactação – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986b. 10p.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185**: Solo – determinação da massa específica aparente, “in situ” com emprego do frasco de areia – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986c. 7p.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14545**: Solo – determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro, 2000. 12p.
10. ASTM. **D 2487 – 85**: Test methods for classification of soils for engineering purposes. USA: USCS, 1987.
11. CASTILHOS JR. A.B.; LANGE, L.C.; GOMES, L.P.; PESSIN, N. **Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades (coletânea de trabalhos técnicos)**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: RiMa, ABES. 2002.
12. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGENS. **ME 052**. Solos e Agregados Miúdos – Determinação da umidade com emprego do Speedy. Rio de Janeiro, 1994.
13. FERREIRA, M. A. S.; MAHLER, C.F. **Avaliação do Solo das Camadas de Cobertura Intermediárias e Finais Estudo de Caso**. 2006. p.1377-1382. In: COBRAMSEG 2006. v. 3.
14. JARDIM, N.S. *et al.* **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE). 1995.
15. MARIANO, M.O.H.; MACIEL, F.J.; FUCALÉ, J.F.T.J.; BRITO, A.R. **Estudo da composição dos RSU do projeto piloto para recuperação do biogás no Aterro da Muribeca/PE**. In: Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental. Recife – PE. 2007.
16. MONTEIRO, V.E.D. **Desenvolvimento e difusão de alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros**. Projeto CNPQ Universal. Campina Grande-PB. 2006.
17. PINTO, D. M. L. **Avaliação da Biodegradabilidade da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Domésticos**. Tese (Doutorado). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2000.