

Uma breve visão sobre geossintéticos aplicados a aterros sanitários

Paulo César Lodi

plodi@dec.feis.unesp.br
Universidade Estadual
Paulista (UNESP)

Jorge Gabriel Zornberg

zornberg@mail.utexas.edu
University of Texas
(UT-TEXAS)

Benedito de Souza Bueno

bsbueno@sc.usp.br
Universidade de São Paulo
(EESC-USP)

Resumo

Os liners são barreiras impermeáveis utilizadas em aterros sanitários para impedir ou diminuir o fluxo de resíduos líquidos gerados protegendo, dessa forma, o meio ambiente. Diversas formas de barreiras impermeáveis são utilizadas: solos com baixa condutividade hidráulica, solos compactados, materiais sintéticos como geomembranas, geotêxteis, geocompostos argilosos e/ou uma combinação de todos estes. Esse artigo apresenta algumas considerações sobre os aterros sanitários e sobre o uso geossintéticos na composição dos liners em sistemas de cobertura e em sistemas basais para a manutenção da estanqueidade do fluxo percolado.

Palavras-chave: Aterro sanitário. Liner. Geossintéticos.

Abstract

Liners are impermeable barriers used in landfills to avoid or decrease the flux of leachate to protect, by the way, the environmental. Many ways of barriers are used: soil with low hydraulic conductivity, compacted soils, synthetic materials like geomembranes, geotextiles, geosynthetics clay liners and/or a combination from all those. This paper presents some considerations about landfills and the use of geosynthetics in the composition of the liners which are used in both cover and basal systems to maintenance of the flux.

Keywords: Landfill. Liner. Geosynthetics.

1 Introdução

A produção de resíduos sólidos urbanos tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas, dificultando o seu armazenamento e disposição. Os aterros sanitários têm se mostrado a forma mais eficiente e mais utilizada mesmo em países mais desenvolvidos. No caso específico do Brasil, essa solução é a mais adequada do ponto de vista técnico e econômico. Dados estatísticos revelam que cerca de 76% do lixo urbano gerado é disposto a céu aberto e apenas 24% recebem disposição adequada (IPT, 1995).

As alternativas para disposição dos resíduos, seja em aterros sanitários, industriais ou lagoas de efluentes, baseiam-se em normas específicas, cuja finalidade é permitir o confinamento seguro dos resíduos e efluentes no solo, contribuindo para minimizar os impactos ambientais. Um componente desses sistemas é a barreira impermeável, também denominada de liner, que é constituída de elementos com baixa condutividade hidráulica. Pode ser aplicada no sistema de cobertura para proteger as células de resíduos e diminuir a taxa de infiltração para o interior do maciço e no sistema de impermeabilização basal, que se destina a reter os líquidos percolados de tal maneira que não atinjam o subsolo e as águas subterrâneas e superficiais. As barreiras impermeáveis podem ser constituídas por solos naturais de baixa condutividade hidráulica, por solos compactados e materiais sintéticos, como geomembranas e geocompostos argilosos para barreiras. Outra forma de composição destas consiste na combinação de solos argilosos compactados e materiais sintéticos segundo diferentes combinações, formando barreiras compostas.

Este artigo apresenta algumas considerações sobre os aterros sanitários, as normas e o uso de geossintéticos na composição dos liners para sistemas de cobertura ou para manutenção da estanqueidade do fluxo percolado pela base.

2 Aterros sanitários

Face ao crescimento desordenado urbano, a quantidade de resíduo gerado vem aumentando exponencialmente com o tempo, acarretando a redução da capacidade do meio ambiente de assimilá-lo, o que acaba resultando em impactos ambientais. Dessa forma, a disposição adequada de resíduos apresenta-se como um desafio para a sociedade mundial. Os Estados Unidos (EUA) lideram a produção de resíduo no mundo. De acordo com a EPA (Environmental Protection Agency) a produção diária é de 1,63 kg/dia de lixo por habitante, totalizando duzentos milhões de toneladas de resíduo por ano. Deste total, cerca de 66% vão para os aterros, 16% é incinerado e o restante é separado e encaminhado para a reciclagem (IPT, 1995). Em São Paulo, por exemplo, são produzidos 15 mil toneladas de detritos de lixo diariamente (1,5 kg de lixo por habitante).

Schalch (1992), com base na NBR 10.004/87 (Resíduos Sólidos - Classificação), classificou os resíduos sólidos quanto à sua origem em: industriais (não perigosos, tóxicos e perigosos), de serviços de saúde ou hospitalares, radioativos (lixo atômico), agrícolas e urbanos. É importante destacar a existência de outras classificações para resíduos, as quais estão associadas ao estado físico do resíduo (gasoso, líquido, sólido), grau de periculosidade (classe I, II e III) e fonte geradora.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são constituídos pelos resíduos domiciliares, comerciais, de varrição e pelos resíduos de serviços de feiras livres, capina e poda. A composição deste resíduo é um reflexo dos hábitos culturais e de consumo da sociedade, do nível de renda e avanços tecnológicos (PRESA, 1982). No Brasil, segundo o Manual de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal (IPT, 1995), cerca de 76% das 242.000 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos produzidas são dispostas a céu aberto (lixões) e, apenas 24% restantes recebem uma disposição mais adequada. Destas, 13% vão para os aterros controlados, 10% para aterros sanitários, 0,9% para as usinas de compostagem e 0,1% para as usinas de incineração.

Wojanrowicz *et al.* (1998) afirmam que apesar de surgirem técnicas alternativas como métodos de incineração e reciclagem para a disposição dos RSU, o aterro sanitário ainda será, por um largo período de tempo, o principal método de disposição.

A ABNT - NBR 8419 classifica o aterro sanitário da seguinte forma: “*Aterro Sanitário é um método de disposição de resíduos sólidos no solo, sem provocar prejuízos ou ameaças à saúde e à segurança, utilizando-se princípios de engenharia, de tal modo, a confinar o lixo no menor volume possível, cobrindo-o com uma camada de terra, ao fim do trabalho de cada dia, ou mais frequentemente, conforme o necessário*”.

Leite (1991) afirma que o aterro sanitário deve ser executado de tal forma que não comprometa a qualidade das águas subsuperficiais e do solo contendo os seguintes elementos: (a) conjunto de células recobertas, diariamente, por uma camada de solo para evitar a proliferação de vetores e espalhamento de papéis e poeira, pelo vento; (b) sistema de drenagem de gás e de líquido percolado; (c) sistema de tratamento dos líquidos percolados; (d) sistema de drenagem de águas superficiais e nascentes e; (e) liner de fundo etc.

Carvalho (1999) apresenta os fatores necessários para o estudo, implantação e execução dos aterros sanitários. Basicamente, os aterros sanitários têm como elementos estruturais básicos os componentes ilustrados na Fig. 1.

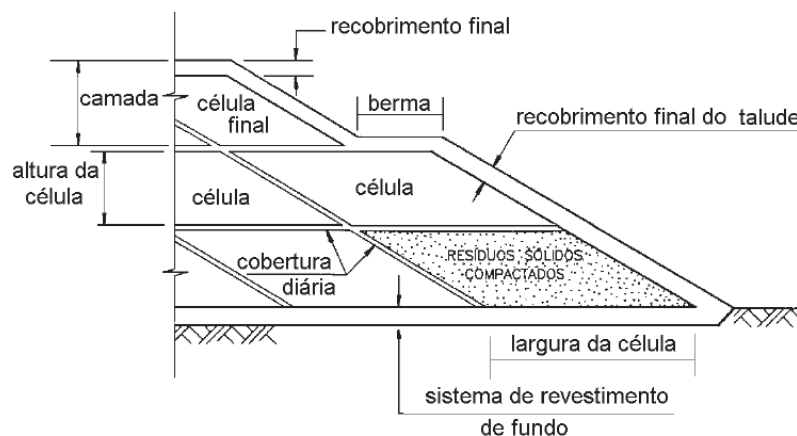


Figura 1: Estrutura de um aterro sanitário.

Fonte: ENGEORPS (1996).

Estes componentes são descritos brevemente a seguir (MAIA, 2001):

- Células de resíduos: volume de resíduos depositados, num período que compreende, geralmente, 24 horas, incluindo o material de recobrimento.
- Tratamento de Fundação: tem a função de proteger o subsolo e aquíferos adjacentes da contaminação pela migração de percolados e/ou dos gases provenientes do aterro, através de sistemas de captação e drenagem de todas as nascentes e cursos d'água que existam na área e da impermeabilização do terreno de fundação. Dentre os materiais comumente empregados em tratamento de fundação de aterros, destacam-se as argilas compactadas, os GCLs e as geomembranas, utilizados de forma isolada ou combinadamente.
- Drenagem de líquidos e gases percolados: estes sistemas de drenagem devem permitir a dissipação dos gases e a remoção, captação e condução dos líquidos percolados aos sistemas de reservação e tratamento. São usados para isso drenos de fundação, drenos horizontais e drenos verticais.
- Recobrimento diário: corresponde ao recobrimento das células durante as operações executivas com solo ou matérias alternativos, com o objetivo de evitar o espalhamento do resíduo, o aparecimento de vetores, como mosca, insetos etc, que possam causar problemas de saúde pública e, de controlar a entrada de água no maciço.
- Sistemas de impermeabilização da cobertura dos aterros: esgotada a capacidade do aterro deve-se efetuar a impermeabilização da cobertura com a função de diminuir a formação de percolado através da camada de superfície, controlar a saída de gases e servir de suporte para eventuais construções no local.
- Drenagem e proteção superficial: a drenagem superficial das águas provenientes de precipitação direta sobre o aterro, bem como as de escoamentos superficiais das áreas adjacentes, são fundamentais para minimizar a geração de percolado e evitar que processos erosivos provoquem instabilidade nos taludes e descobrimento dos resíduos. São geralmente constituídos de canaletas, bermas e descidas d'água no talude e são constituídas por elementos flexíveis como mantas, gabião, brita, rachão etc, separadas da camada de recobrimento por geotêxteis.

3 Sistemas de impermeabilização (liners)

Os liners são dispositivos utilizados quando se deseja reter ao máximo possível a percolação de um líquido, de forma que ele não atinja as águas e solo natural. Assim, devem apresentar estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica, resistência a intempéries e compatibilidade com os resíduos a serem aterrados. Existem vários tipos de liners, dentre eles destacam-se os naturais, os de argila compactada, as geomembranas e, ainda, uma mistura de todos esses elementos. A escolha de um ou de outro tipo é influenciada pelo uso a que se destina, pelo ambiente físico, pela química do percolado e pela taxa de infiltração (CARVALHO, 1999).

Os liners naturais são normalmente compostos por solos argilosos com condutividade hidráulica na faixa de 10^{-6} a 10^{-7} cm/s e devem fornecer a base protetora quase ideal para algumas situações, onde a argila pode atenuar alguns contaminantes por processos de sorção e precipitação (DANIEL, 1993; LEITE, 1995). Apesar da eficiência dos liners de argila compactada e de sua resistência adequada em longo prazo, estes podem apresentar contração das camadas argilosas, resultando em trincas e, conseqüentemente, diminuição de sua eficiência.

Em face disso, sistemas de impermeabilização de aterros sanitários têm sido empregados associando-se materiais sintéticos a solos naturais que procuram minimizar a percolação dos líquidos e gases provenientes do aterro, evitando que estes atinjam o solo e águas subterrâneas. Esses liners podem ser constituídos por geomembrana intercalada nas camadas de argila compactada, formando estruturas compostas, onde cada camada tem uma finalidade (drenagem, proteção, impermeabilização).

A Figura 2 apresenta alguns sistemas de liners de base para aterros de resíduos sólidos urbanos propostos segundo regulamentações e recomendações de diferentes países. Nesta figura pode ser observado que os diversos países adotam diferentes sistemas de liners de fundo para aterros sanitários e pode-se observar também uma clara tendência de emprego de liners compostos (argila compactada/geomembrana).

As barreiras sintéticas possuem materiais poliméricos que apresentam condutividade hidráulica extremamente baixa, elevadas resistências química e física, sendo utilizadas no revestimento de aterros. Bouazza *et al.* (2002) ressaltam a existência de vários tipos de barreiras impermeáveis para a contenção de resíduos, assim como sua grande complexidade.

Importante ressaltar que as geomembranas não são utilizadas isoladas, devido a problemas de puncionamento, rasgos, imperfeições e/ou defeitos que possam apresentar, resultando em aumento de fluxo e diminuição da eficiência do liner. Barreiras compostas são mais efetivas contra o processo de migração da lixívia e, de acordo com Bouazza *et al.*

(2002), esse sistema de barreira corresponde ao mais utilizado na impermeabilização de aterros. A sua principal vantagem é que apresenta baixa permeabilidade (menor que 10^{-9} cm/s).

Os sistemas compostos são formados por uma camada de argila compactada, geomembrana e camada de proteção. Esta camada de proteção é constituída de uma camada drenante de pedregulhos grossos ou pedra britada de aproximadamente 32mm de diâmetro cuja função é prevenir pressões de lixiviação de resíduos sobre as camadas de impermeabilização e da camada de proteção propriamente dita, para evitar danos mecânicos na geomembrana, que pode também ser realizada com geotêxteis.

Segundo Gartung (1996), o sistema de cobertura tem a função de proteger a superfície das células de resíduos, minimizando impactos ao meio ambiente, visando a eliminação da proliferação de vetores, a diminuição da taxa de formação de percolados, a redução da exalação de odores e formação de poeiras a partir dos resíduos, impedir a catação, emissão descontrolada de gases e permitir o tráfego de veículos coletores sobre o aterro. Sharma & Lewis (1994) enfatizam que esse sistema é diferente do sistema de impermeabilização da base do aterro, necessitando de resistência química inferior à requerida para este último. Entretanto, existem preocupações quanto a sua durabilidade e exposição, devendo ser resistente a processos erosivos e adequado à futura utilização da área.

O projeto de um sistema de cobertura, por vezes, pode ser mais complexo que o de impermeabilização de uma base. Isso porque diversos tipos de sollicitação podem ocorrer como ciclos de umedecimento e secagem, pressões de gás devido à decomposição dos resíduos, erosões por ação da chuva e do vento, ação de roedores, recalques elevados como em aterros de lixo urbano, ação de raízes e deslizamento do solo de cobertura (BUENO *et al.*, 2004).

As Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, algumas configurações típicas para cobertura e as possíveis formas de barreiras impermeabilizantes basais.

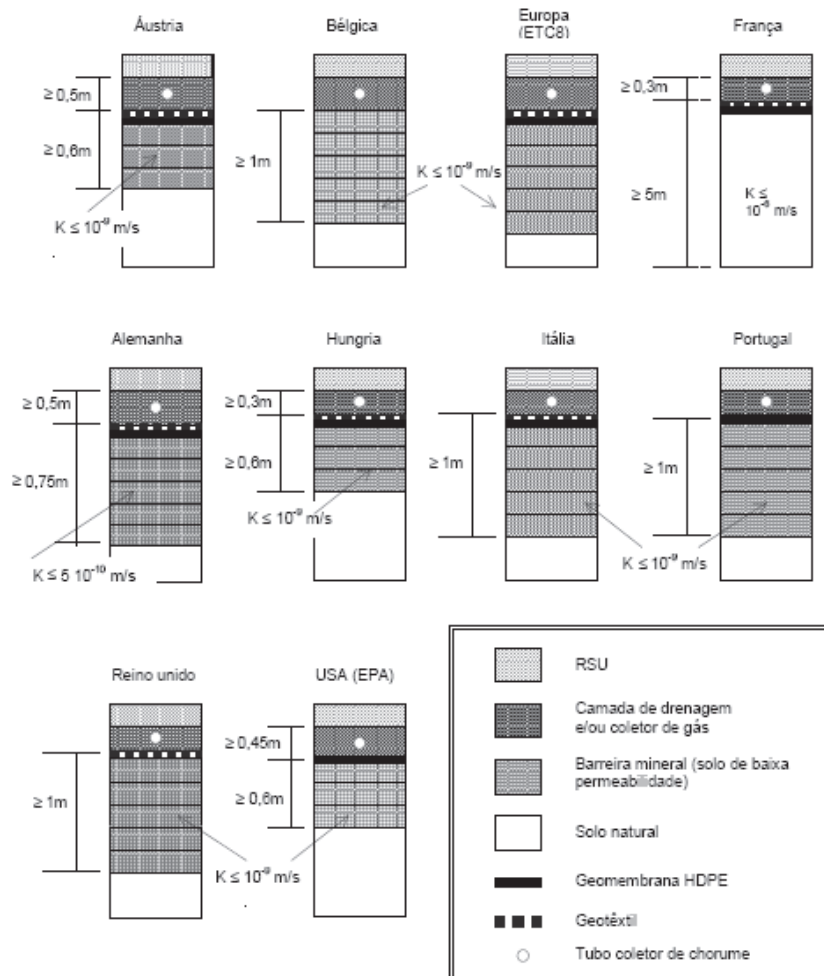


Figura 2: Sistemas de liners de base para aterros de resíduos sólidos urbanos segundo recomendações de alguns países.

Fonte: apud CARVALHO (1999).

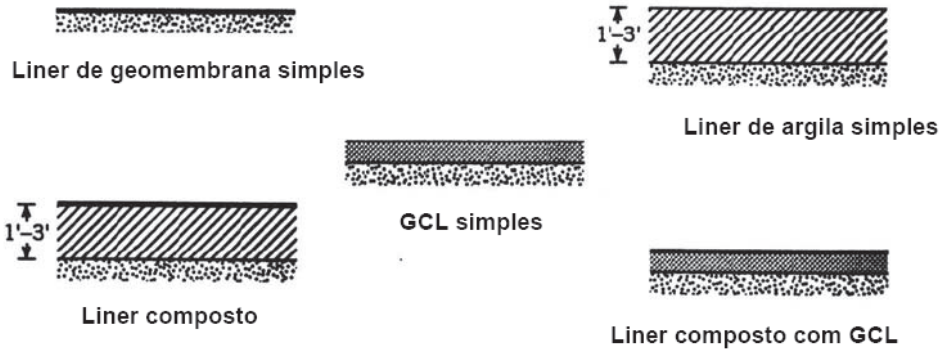


Figura 3: Configuração do sistema de cobertura.

Fonte: apud REBELO (2003).

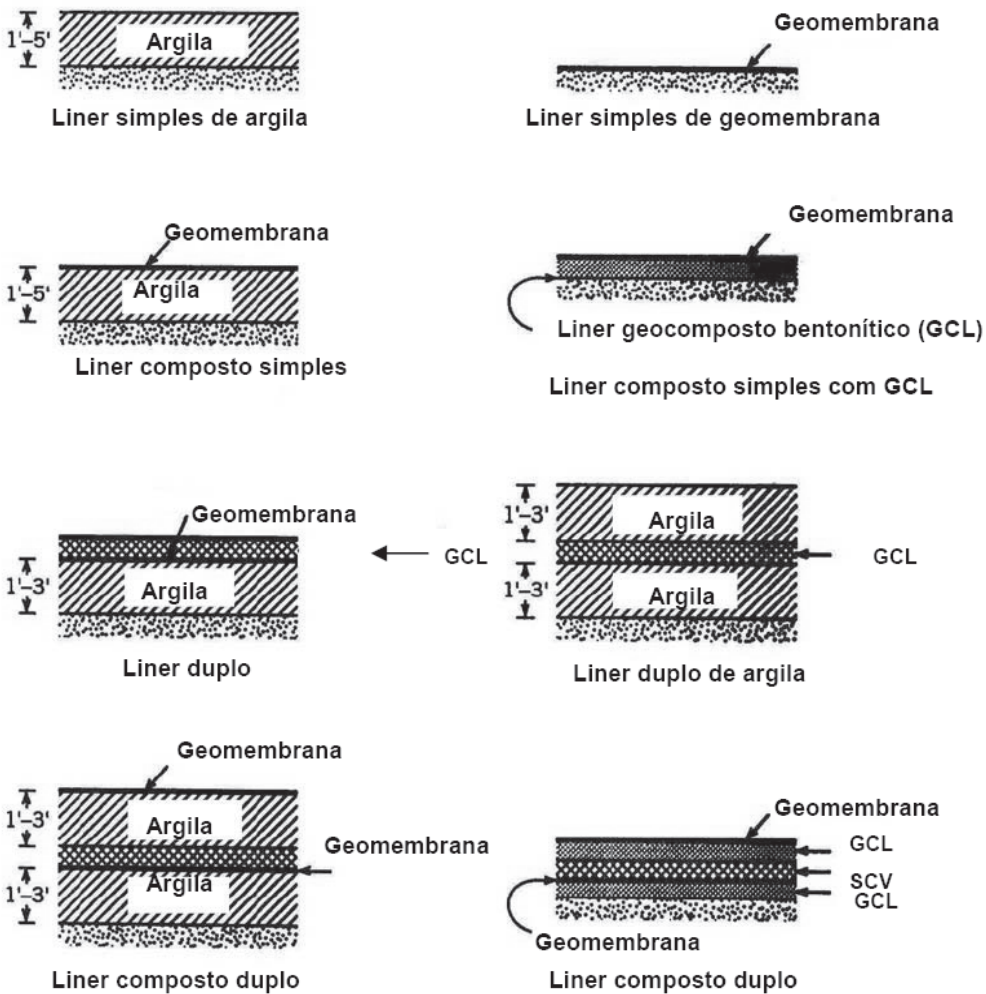


Figura 4: Configuração do sistema basal.

Fonte: apud REBELO (2003).

Note-se que nas seções apresentadas estão omitidas as camadas drenantes no topo da barreira, eventuais camadas de proteção e separação.

Nos Estados Unidos, a agência de proteção ambiental (USEPA) define os requisitos mínimos para os sistemas de impermeabilização em função do tipo de resíduo. A classificação do resíduo é feita em função do tipo de percolado específico do local, do tipo de substância química presente no resíduo (existem listas com aproximadamente 800 tipos diferentes

de substâncias químicas) e em função da concentração de substâncias químicas. Os sistemas de impermeabilização recomendados pela USEPA estão ilustrados na Figura 5. Observa-se no esquema (Fig. 5a) a recomendação mínima da USEPA para resíduos sólidos não perigosos. É um sistema de impermeabilização simples: geomembrana (GM)/camada de 600 mm de argila compactada (CCL), sob um sistema drenante para coleta de percolado. Este órgão considera sistemas simples aqueles constituídos de pelo menos uma geomembrana associada a uma camada de solo compactado.

As possíveis substituições, em termos de utilização de materiais geossintéticos, são:

- Geocomposto argiloso (GCL) por solo argiloso compactado (CCL);
- Georredes (GN) no lugar de camada de areia para detecção de infiltrações; e
- Geotêxteis (GT) por areia para filtro.

A Figura (5b) apresenta a recomendação mínima da USEPA para resíduos sólidos perigosos: sistema de impermeabilização duplo composto por duas geomembranas e camada argilosa de 900 mm completado por uma camada de detecção de infiltração e por um sistema de coleta de percolado acima da geomembrana principal.

As possíveis substituições por materiais geossintéticos estão apresentadas abaixo:

- Camada de argila compactada (CCL) por Geocomposto argiloso (GCL) na segunda barreira impermeabilizante;
- Georrede (GN) no lugar da camada de areia para detecção de infiltração; e
- Geotêxteis (GT) por areia para filtro.

Finalmente, a Fig. (5c) ilustra um sistema de impermeabilização duplo com ampla utilização de geossintéticos. A barreira inferior é composta por GM/CCL e a barreira superior é composta por GM/CCL. As camadas de detecção de infiltração e de drenagem de percolado são ambas compostas por GN/GT. Ressalta-se que todos os materiais acima da camada de CCL são geossintéticos. Este tipo de seção é muito usado no caso de aterros onde a estabilidade das camadas de pedregulho e areia para coleta do percolado estão em questão. Na base do aterro, camadas de pedregulho e areia (ou GT) são usadas como drenos de percolado, onde se recomenda a instalação de geotubos para garantir uma rápida transmissão e condução do percolado até o poço de recepção (MAIA, 2001; KOERNER & FAHMY, 1995; KOERNER, 1996; KOERNER, 1998).

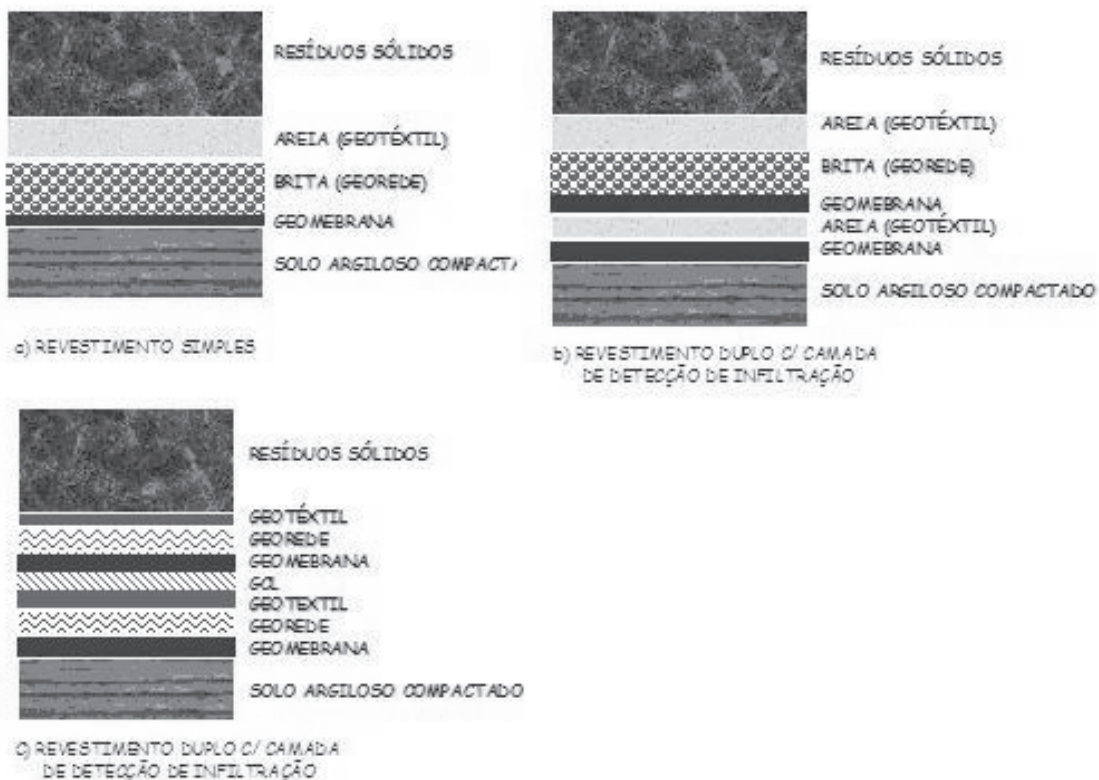


Figura 5: Sistema de impermeabilização recomendado pela USEPA.
Fonte: apud MAIA (2001).

As Figuras seguintes ilustram de forma mais clara os geossintéticos utilizados para contenção de resíduos sólidos não perigosos e resíduos sólidos perigosos.

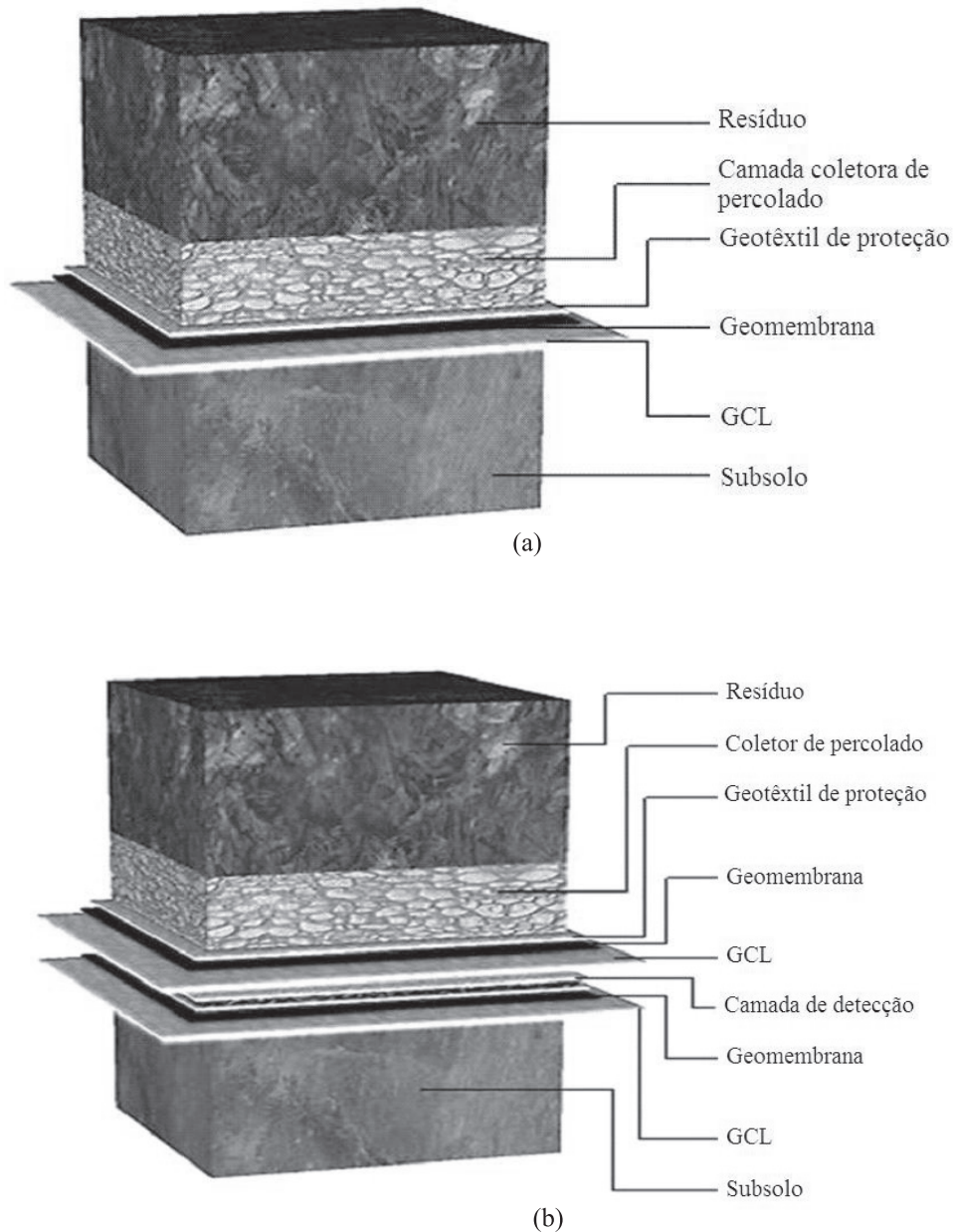


Figura 6: Sistemas de contenção de resíduos (a) não perigosos (b) perigosos.

Fonte: apud PIMENTEL (2008).

Para ilustrar o uso de geossintéticos em sistemas de contenção veja-se, por exemplo, o esquema mostrado na Fig. 7. Diversos geossintéticos são utilizados em um aterro de resíduos sólidos, tanto na base como na cobertura das barreiras utilizadas. Evidente que nem todos esses materiais estarão presentes em todo e qualquer aterro, porém, nota-se que cada vez mais que os geossintéticos ganham espaço e importância dentro dos sistemas de disposição de resíduos.

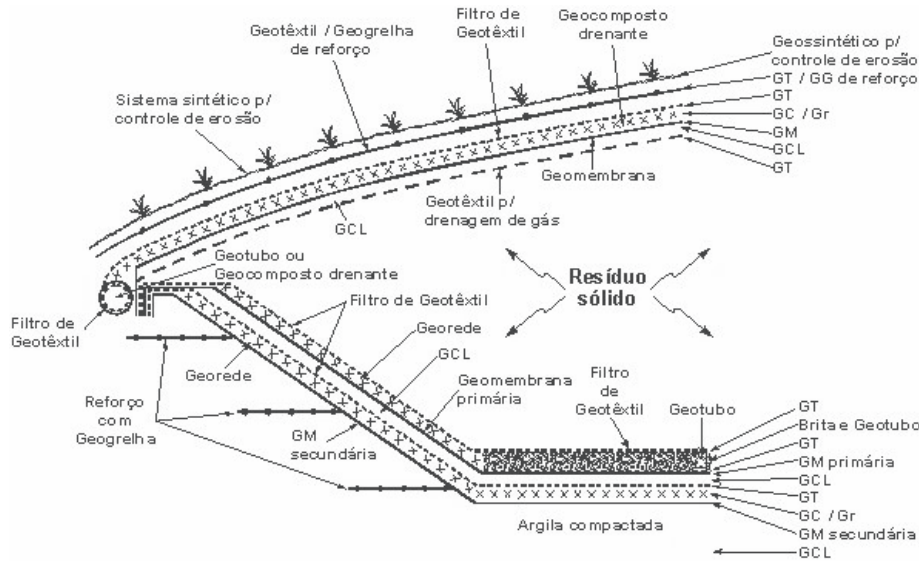


Figura 7: Geossintéticos aplicados em aterro de resíduos.

Fonte: modificado de KOERNER (1998).

Nessa Figura observa-se que existe uma disposição lógica para os geossintéticos. Veja-se, por exemplo, que as georredes são utilizadas nas laterais e na base justamente para drenagem dos líquidos. Para separar o resíduo e o meio drenante (georrede ou material granular) são utilizados os geotêxteis. As geomembranas (primária e secundária) servem para proteger o solo de fundação e para evitar que os resíduos líquidos gerados possam atingir o solo e os lençóis de água próximos ao aterro. Subjacente à geomembrana primária encontra-se outra camada impermeabilizante construída com geocomposto argiloso (GCL), seguida por outra camada drenante, destinada a servir de camada de detecção de possíveis vazamentos do corpo do aterro e, finalmente, a geomembrana secundária assentada diretamente sobre o solo de fundação, no caso, uma argila compactada. Essa configuração compõe uma barreira impermeabilizante dupla, com sistema de detecção de vazamentos e é comumente utilizada para a contenção de resíduos perigosos.

Na cobertura do aterro aparecem a geomembrana e o GCL para impedirem a entrada de água por infiltração e também para evitar que se aumente o volume de líquidos percolados. Note-se que se ocorrer a formação de gases dentro do maciço, essa cobertura também servirá para controlar a migração destes para a atmosfera, o que pode ser feito também com a ajuda de um geotêxtil ou de um geocomposto drenante capaz de coletar esses gases e conduzi-los a um sistema de captação e de tratamento para uso posterior.

Quando se utilizam barreiras impermeáveis, é de uso comum construírem-se drenos, seja na forma de colchões ou trincheiras sobre e sob estas. De acordo com Bueno *et al.* (2004) esses drenos podem cumprir as seguintes funções: (a) quando internos aos efluentes e resíduos, visam captar os gases e percolados gerados para evacuá-los e prevenir o desenvolvimento de subpressões que iriam instabilizar a obra (b) quando instalados sob o sistema de impermeabilização podem ser destinados a controlar o lençol freático ou a proteger o meio ambiente contra eventuais falhas e fugas de efluentes contaminantes e, (c) quando instalados sobre os efluentes ou resíduos, em suas coberturas, visam captar as águas pluviais, impedi-las de penetrar nos resíduos e aliviar o peso da própria cobertura.

4 Conclusões

Este artigo apresentou considerações sobre os aterros sanitários, liners tradicionais e geossintéticos na composição de sistemas de cobertura e sistemas basais. Algumas considerações sobre o uso dos geossintéticos nos aterros sanitários foram apresentadas, ressaltando-se a grande aplicação e vantagens destes sobre as demais formas tradicionais de impermeabilização. Alguns geossintéticos como as geomembranas e os geocompostos argilosos são mais amplamente utilizados devido às suas funções impermeabilizantes. Os geotêxteis aparecem como elementos de proteção e drenagem.

De forma geral, os geossintéticos constituem atualmente uma solução racional, econômica e prática na configuração dos aterros sanitários. Podem, evidentemente, ser utilizados de diversas maneiras e combinações a depender da função a que se destina a contenção dos resíduos líquidos e/ou sólidos.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419*: apresentação de projetos de aterros de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004*: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 1987.
- BOUAZZA, A.; VAN IMPE, W. F.; HAEGEMAN, W. Quality control of dynamic compaction in Municipal Solid Waste Fills. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNICS, 2., 1996, Osaka. *Proceedings...* Osaka: A.A.Balkema, 1996. v.2, p. 635-640.
- BUENO, B. S.; BENVENUTO, C. E VILAR, O. M. Aplicações em barreira impermeabilizantes. In: MANUAL Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo: PINI, 2004. p. 335-379.
- CARVALHO, M. F. *Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos*. 1999. 300 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- DANIEL, D. E. Clays liners. In: GEOTECHNICAL practice for waste disposal. London: Chapman & Hall, 1993. Chap. 7.
- ENGEORPS. *Rel: 064-SSO-NOD-B173*: estado da arte dos aterros sanitários: parte II. São Paulo, 1996. 233 p.
- GARTUNG, E. *Landfill liners and covers*. In: DE GROOT, M. B.; DEN HOEDT, G.; TERMAAT, R. J. (Ed.). *Geosynthetics: applications, design and construction*. Amsterdam: [s.n.], 1996. p. 55-70.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Manual de gerenciamento integrado do lixo municipal*. São Paulo, 1995. 278 p.
- KOERNER, R. M. *Designing with geosynthetics*. 4th ed. PrentiUpper Saddle River: Prentice Hall, 1998. 761 p.
- KOERNER, R. M. *First Germany/USA Geomembrane Workshop*. *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, Kingston, v. 14. p. 648-652, 1996. Special Issue.
- KOERNER, R. M.; FAHMY, R. W. Geosynthetics for geoenvironmental applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE THE GEOENVIRONMENT 2000, New York, 1995. *Proceedings....* New York: ASCE, 1995. p. 872-898. (Special Publication 46).
- LEITE, J. C. *Metodologia para elaboração da carta de susceptibilidade à contaminação e poluição das águas subsuperficiais*. 1995. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- LEITE, W. C. A. *Estudo do comportamento da temperatura, pH e teor de umidade na decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários*. São Paulo, 1991. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.
- MAIA, I. S. *Avaliação da degradação de propriedades mecânicas de geomembranas de PEAD e PVC*. 2001. 175 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- PIMENTEL, V. E. *Avaliação da resistência ao cisalhamento em GCLs: uma nova metodologia de ensaio*. 2008. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Carlos, 2008.
- PRESA, E. P. *La Compressibilidad de los vertederos sanitários controlados*. Espanha, 1982. In: SEMINÁRIO - ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS, 1982, Madrid. Anais... Madrid: Universidad Politecnica de Madrid, 1982. 1 CD-ROM.
- REBELO, K. M. W. *Resistência de interfaces entre geomembranas e solos através do ensaio de ring shear*. 2003. 194 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- SCHALCH, V. *Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia*. São Paulo, 1992. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

SHARMA, H. D.; LEWIS, S. P. *Waste containment system, waste stabilization and landfills: design and evaluation*. New York: John Wiley & Sons, 1994.

WOJNAROWICZ, M.; KNOCHENMUS, G.; VAN IMPE, W. Géotechnique de l'environnement – activités de L'ICSMFE (TC5). *Revue Française de Géotechnique*, Paris, n. 83, p. 1-16, 1998.

SOBRE OS AUTORES

Paulo César Lodi

Engenheiro Civil (UNESP, 1995). Mestrado em Geotecnia (USP, 1998). Doutorado em Geotecnia (USP, 2003). Pós-Doutorado em Geotecnia (USP, 2008). Pós-Doutorado em Geotecnia (UT – Texas, 2008). Professor Doutor da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Departamento de Engenharia Civil, Ilha Solteira (SP).

Jorge Gabriel Zornberg

Engenheiro Civil (Universidade Nacional de Córdoba, Argentina). Mestrado em Geotecnia (PUC-RIO). Doutorado (University of Califórnia at Berkeley, 1994). Flúor Centennial Associate Professor at the University of Texas at Austin (Professor Associado da Universidade do Texas em Austin).

Benedito de Souza Bueno

Engenheiro Civil (USP, 1975). Mestrado em Geotecnia (USP, 1979). Doutorado em Geotecnia (University of Leeds, 1987). Livre-Docência (USP, 1996). Professor Titular (USP, 2005). Professor Titular da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP), São Carlos – SP, Brasil.

Recebido em: 13.06.2009

Aceito em: 18.09.2009

Revisado em: 20.10.2009