

Aspectos sobre o uso de geotêxteis em sistemas filtro-drenantes em aterros sanitários

Fernando Henrique Martins Portelinha
Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, fportelinha@ufscar.br

Thiago Villas Bôas Zanon
Solví Soluções para a Vida, São Paulo, Brasil, tzanon@solvi.com

Paulo Eduardo Oliveira da Rocha
Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, paulo.rocha@geosolucoes.com

RESUMO: Utilizar ou não usar geotêxteis em sistemas de drenagem tem sido uma questão importante em projetos de aterros sanitários no Brasil, onde não há consenso nas comunidades técnica e científica quanto à utilização. Dentre as preocupações estão: diminuição progressiva da vazão pela obstrução da camada drenante de rachão e a qualidade do lixiviado extraído do aterro ao não se usar sistema filtrante; e, no outro lado, a eventual colmatção e consequente diminuição da vazão do conjunto ao se aplicar um geotêxtil de filtração. Assim, neste contexto, este trabalho realizou uma ampla revisão bibliográfica e entrevistas com profissionais de atuação na operação de aterros sanitários no Brasil. Com base nos trabalhos revisados e nas experiências dos autores e dos profissionais entrevistados, pode-se concluir que geotêxteis foram e estão sendo aplicados com sucesso. Por outro lado, deve-se também atentar aos insucessos devido às colmatções evidenciadas. O problema está nas ferramentas de análises e testes para a especificação que dependem das características do lixiviado, do material de drenagem e da operação. É natural que geotêxteis sofram perda de permeabilidade devido à formação do *cake*, mas estes fornecem essencial proteção à camada granular de drenagem subjacente. A opção de não usar geotêxteis pode gerar intrusão física na camada de drenagem devido ao contato com o resíduo além de gerar lixiviados com elevada carga biológica e química, perceptível na forma de lodo. Nesse contexto, os geotêxteis tem demonstrado reduzir tais cargas facilitando o tratamento do lixiviado. Conclui-se que geotêxteis adotados em sistemas filtro-drenantes de aterros sanitários devem conter grande abertura de filtração para desempenhar adequadamente a função de separação e filtração a longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário, lixiviado, geotêxtil, drenagem, filtração, resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT: Whether or not using geotextiles in drainage systems has been a controversial aspect involving landfill designs in Brazil. The progressive decrease in flow rate due to contamination of the drainage layer and the high biological and chemical charges of leachate collected are the main concerns when a filtering system is not used. On the other hand, the potential clogging and consequent reduction in flow of the system when a filtration geotextile is applied has also been a controversial argument. Therefore, to address this discussion, the present study conducted a comprehensive literature review, as well as a series of interviews with professionals involved in Brazilian landfill operations. Based on the reviewed literature and the experiences of the authors and interviewed professionals, it can be concluded that geotextiles have been successfully applied. However, attention should also be given to cases of failure due to clogging, which have also been documented. The issue lies in the precise prediction and testing for specification, which depend on the characteristics of leachate, drainage material, and landfill operation. It is expected that geotextiles experience permeability loss due to cake formation, but they provide essential protection to the underlying granular drainage layer. In contrast, the option of not using geotextiles filters may result in physical intrusion into the drainage layer due to contact with waste, as well as generating leachate with very high biological and chemical loads, noticeable in the form of sludge. In this context, geotextiles have been shown to reduce such loads, facilitating leachate treatment. Finally, it is concluded that the geotextiles to be adopted in the design of landfill drainage systems should contain large filtration opening size to perform adequately a long-term separation and filtration function.

KEYWORDS: Sanitary landfill, leachate, geotextile, drainage, filtration, municipal solid waste.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de drenagem de lixiviados e biogás possuem papel fundamental para o bom funcionamento de aterros sanitários em diferentes aspectos. Um sistema que não funcione pode gerar pressões neutras excessivas no maciço de resíduos, com redução na estabilidade geotécnica, e em casos mais extremos a ruptura de taludes. Normalmente, sistemas de drenagem são compostos por uma camada drenante com materiais pétreos - rachão tipicamente - que permitem coletar o lixiviado e biogás produzidos. Sobre a camada de material pétreo utilizou-se, por muitos anos, sistemas filtrantes compostos por materiais naturais, tais como brita e areia, de transição granulométrica adequada para separar os resíduos sólidos urbanos (RSU) da camada drenante, bem como para filtrar partículas que pudessem obstruir a drenagem. Em muitos relatos, essa técnica se mostrou eficiente, enquanto em outras ocasiões a colmatagem, que é a obstrução do filtro por elementos sólidos associados a formação de colônias biológicas, foi presenciada, o que reduzia significativamente a capacidade drenante do sistema como um todo. A execução de sistemas filtrantes com uso de materiais naturais pode, em alguns casos, ser improdutivo, de custo elevado e não sustentável ambientalmente.

Com o avanço tecnológico dos geossintéticos, os geotêxteis passaram também a cumprir o papel de filtração como alternativa aos materiais naturais. O requisito central em seu emprego está no seu desempenho a longo prazo quando aplicado na drenagem interna de aterros sanitários. Diversos relatos mostram que geotêxteis podem funcionar adequadamente desde que devidamente selecionados para as condições específicas dos constituintes e propriedades do lixiviado de cada aterro. Por outro lado, existe ainda muita relutância com relação ao uso de geotêxteis por várias experiências negativas. Nem todo geotêxtil funcionará como filtro e vários aspectos devem ser levados em consideração ao selecioná-lo.

Prever o comportamento de filtração em sistemas de drenagem que envolvem especificamente a retenção de partículas, tais como sistemas de drenagem de água, pode ser entendido como uma tarefa menos complexa em relação ao sistema de drenagem de lixiviados de aterros sanitários, pelo fato dos lixiviados apresentarem características físicas, químicas e biológicas mais complexas do que a água. Logo, usar ou não usar um geotêxtil para filtração de lixiviados em sistemas de drenagem tem sido uma questão dentro do contexto de projetos de aterros sanitários. O geotêxtil em drenagem de aterros sanitários tem a dupla função de separar o resíduo sólido dos grandes poros existentes em camadas de drenagem e filtrar partículas carregadas pelo fluxo de lixiviado do corpo do aterro para a camada drenante (Koerner e Koerner 1992).

Os lixiviados consistem num líquido com características dependentes, principalmente, do balanço hídrico no aterro, e das características dos resíduos e do solo da cobertura. Tais líquidos possuem elevada concentração de sólidos em suspensão (SS), elevados teores de matéria orgânica e presença de substâncias inscrusantes (como sulfatos e alguns tipos de carbonatos). O teor de SS geralmente é inferior a 1.000 mg/L e a demanda biológica de oxigênio (DBO) com ordem de grandeza de 2.500 mg/L. Essas características conjuntas fazem com que o projeto de sistemas filtrantes em aterros sanitários seja extremamente complexo, principalmente pelas contribuições dos agentes físicos, biológicos e químicos envolvidos na colmatagem. Há, portanto, dificuldade em estabelecer ferramentas racionais para especificação de geotêxteis em tal aplicação.

O presente artigo visa compilar informações a respeito do desempenho de geotêxteis em sistemas de drenagem de aterros sanitários. O estudo traz uma abordagem sobre a aplicação e projeto desses sistemas com base na experiência dos autores, bem como uma compilação bibliográfica e casos que envolvam o uso de geotêxteis. Será mostrado que há uma série de variáveis que devem ser consideradas ao selecionar geotêxteis para cumprir a função de filtração, incluindo elementos que compõem sistemas filtrantes para lixiviados.

2 A UTILIZAÇÃO DE FILTROS NAS DRENAGENS INTERNAS DE ATERROS SANITÁRIOS

A disposição de resíduos em aterros sanitários tem como subproduto a geração de biogás e lixiviados, os quais necessitam ser coletados para que não ocorram emissões descontroladas para o meio ambiente e por questões envolvendo a estabilidade geotécnica, como mencionado anteriormente. Para realizar a coleta de biogás e lixiviados, são projetados e construídos durante as fases de implantação e operação dos aterros uma robusta rede de drenagem interna interligada, formada por drenos de base, drenos verticais, drenos horizontais e drenos de pé de talude, conforme ilustrado na Figura 1.

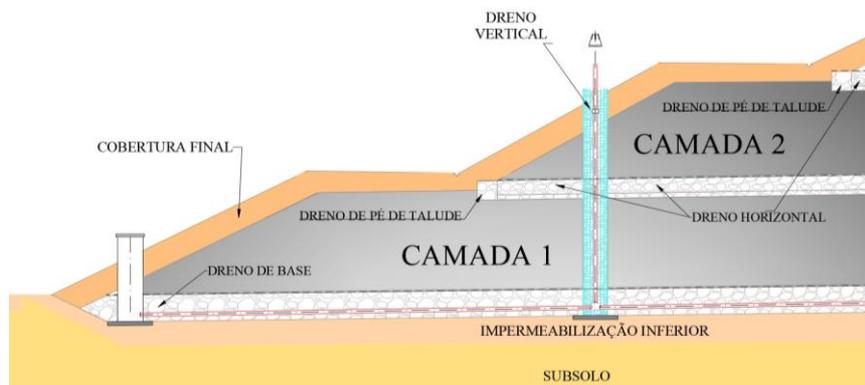


Figura 1. Esquema típico da rede de drenagem interna de lixiviado e biogás de aterros sanitários.

Cada tipo de drenagem interna pode ter diversas concepções, todas contendo materiais pétreos e algumas delas alguns tipos de tubos (de polietileno de alta densidade - PEAD ou de concreto armado), ilustradas na Figura 2. No caso dos materiais pétreos, os mais utilizados são as pedras rachão, com granulometria na faixa de 125 a 450 mm, sendo pré-requisito que seja previamente lavada, de forma a não ter finos que poderiam comprometer a capacidade drenante e colmatar as drenagens (incluindo os tubos utilizados).



Figura 2. Imagens típicas de alguns tipos de drenagem interna de aterros sanitários: (a) Drenagem de base (no formato de espinha de peixe); (b) Drenagem vertical; (c) Drenagem horizontal (cortesia: Celso da Silva/CRVR); (d) Drenagem de pé de talude.

Uma das soluções para minimizar o potencial de colmatação de tais drenagens é a utilização de geotêxteis entre a rede de drenagem e os materiais envoltórios (os RSU dispostos e o solo utilizado na operação). No Brasil, não há consenso nas comunidades técnica e científica quanto ao uso de geotêxtil, nem padrões técnicos normativos, situação semelhante em âmbito internacional. O geotêxtil, quando usado na drenagem interna de aterros, “envelopa” parcial ou totalmente externamente a drenagem, ou seja, é posicionado para estar entre a drenagem e a massa de resíduos ou o solo. No Brasil há experiências de muitos anos com utilização de geotêxtil, sendo elas (i) geotêxtil não-tecido de baixa gramatura de Poliéster – PET ou de polipropileno - PP, geralmente na faixa de 150 g/m² (ou seja, de baixa gramatura considerando que quanto menor a gramatura, menor é a espessura e a consequente possibilidade de colmatação do geotêxtil), com abertura de filtração (O₉₅) (ASTM D4751; ASTM D6767) na faixa de 0,100 a 0,200 mm; ou (ii) geotêxtil

tecido de PP com O_{95} (NF G38-017) mínima de 0,400 mm. Mais recentemente, decorrente do entendimento na comunidade técnica que os geotêxteis típicos citados possuíam pequena abertura entre os filamentos e, por consequência, seriam mais susceptíveis à colmatação, passou-se a especificar como o requisito a dimensão mínima do tamanho da abertura entre os filamentos, além da necessidade do geotêxtil ser de PP, por ser uma resina com adequada resistência a ácidos, bases e à maioria dos solventes (Lotti & Lavoie 2015).

Independente da utilização de geotêxtil em drenagens internas de aterros, é recomendação padrão de projetos evitar que solos, resíduos com grande presença de finos e resíduos antigos (como aqueles da escavação das trincheiras para as drenagens) sejam colocados em contato com drenagens ou com geotêxteis aplicados como filtro, minimizando a possibilidade de colmatação tanto das drenagens como dos geotêxteis.

3. RELATOS DA LITERATURA SOBRE O USO DE FILTROS EM ATERROS SANITÁRIOS

Dada a complexidade do lixiviado, é comum não se optar pelo uso de filtros em sistemas de drenagem interna de aterros. A grande preocupação está na eventual colmatação e perda de vazão ao usar geotêxtil ou filtro natural sobre a camada drenante. Ensaios em valas conduzidos por Fleming & Rowe (2004) permitiram avaliar a permeação de lixiviado num sistema de drenagem de base composto por rachão em taxas de fluxo representativas das condições de campo. Uma das valas foi encerrada após 20 meses de operação e o entupimento da camada de rachão após essa breve exposição é mostrado na Figura 3, podendo-se notar a impregnação de material biológico na drenagem pela ausência de sistemas filtrantes. De forma similar, McIsaac & Rowe (2006) demonstraram que o material granular de base de 38 mm teve um desempenho muito melhor (ou seja, menos entupimento) ao longo de 12,5 anos do que um material granular de 19 mm durante um período de 6 anos sob condições semelhantes. Tal fato dá suporte à prática de muitos projetistas de usar rachão com dimensão mínima de 125 mm. No que tange ao efeito da carga do lixiviado, em sistemas drenantes sem camadas filtrantes, Brune et al. (1991) relataram que houve pouca colmatação quando o lixiviado que permeia, considerado "pouco carregado", tinha baixas concentrações de ácidos orgânicos e cátions (como cálcio), mas a colmatação significativa ocorreu quando a concentração de ácidos orgânicos e cátions era alta; ainda, a colmatação foi significativa com material granular de base com diâmetro médio inferior a 16 mm. Rowe et al. (2002) demonstraram que drenagens permeadas com lixiviado sintético com quantidades insignificantes de SS experimentaram menos colmatação do que aquelas permeadas com lixiviado real com muito mais SS. Assim, a composição do lixiviado (como ácidos orgânicos, cátions inorgânicos e concentrações de SS) que entra na drenagem pode ter um efeito crítico na taxa de colmatação.



Figura 3. Camada drenante de base de aterro sanitário que não usou sistemas filtrantes em rachão (Fleming & Rowe 2004).

Drenagens internas de aterros sanitários com ou sem a utilização de sistemas filtrantes podem funcionar a longo prazo a depender das características do lixiviado, trazendo benefícios adicionais aos já mencionados. O filtro pode proporcionar, devido ao processo de filtração, melhoria da qualidade do lixiviado. Junqueira et al. (2006) mostraram a alteração das propriedades químicas do lixiviado ao longo de 5 anos, incluindo redução na DBO ao usar filtros geotêxteis e areia. Resultados similares foram observados por Koenig (1996). Silva et al. (2002) mostraram que filtros geotêxteis reduziram a DBO do lixiviado em 42%.

Existe uma premissa importante dentro dos mecanismos de filtração em filtros naturais e geossintéticos que é base para projetos: o filtro forma sua própria rede de filtração, também chamado de "pré-filtro" no caso de filtro de solos, ou *cake* no caso de lixiviado. Basicamente, durante o fluxo, o filtro bloqueia partículas maiores que formam arranjos permeáveis com partículas médias e finas estabelecendo o pré-filtro (Koerner &

Koerner 1997). Se essa camada não se formar, toda a porção fina do material a ser filtrado penetra dentro da estrutura do filtro (prejudicando a drenagem) ou passa pelo filtro (podendo prejudicar os sistemas de drenagem subsequentes). Logo, o comportamento de um filtro geotêxtil vai depender da formação do *cake*. Se o *cake* formado for de baixa permeabilidade, o aterro poderá sofrer consequência pelo acúmulo de lixiviado. Em caso de lixiviados de aterros sanitários, deve-se considerar, inclusive, a contribuição biológica ao longo do tempo de operação. Koerner & Koerner (1992) sugerem o uso de retorno pressurizado de lixiviado como uma forma de remediação de colmatagem de filtros geotêxteis. Esse processo de colmatagem não é um problema específico de geotêxteis e existem muitos relatos de ocorrência de colmatagem em filtros granulares. Rowe et al. (1995, 2004) relatam um caso em que uma camada filtrante de areia de 0,3 m de espessura sofreu uma significativa colmatagem em menos de 4 anos. Estudos de campo em aterros sanitários na Alemanha (Brune et al. 1991) demonstrou que a colmatagem do dreno foi acelerada quando o lixiviado tinha uma elevada carga de ácidos orgânicos e substâncias inorgânicas. Eles também indicam que o modo de operação do aterro, em particular a respeito da taxa de preenchimento, pode ter efeito substancial nas características do lixiviado e, portanto, na taxa de colmatagem induzida no sistema de filtração.

Usando permeômetros em laboratório, Koerner & Koerner (1997) avaliaram o efeito de diferentes lixiviados dos EUA por meio de ensaios em geotêxteis tecidos de PP e não-tecidos agulhados e termoligados de PP e PET, com aberturas de filtração de, respectivamente, 0,21 a 0,15 mm. Tentou-se também usar camada de areia acima dos geotêxteis. Basicamente, conclui-se que o uso da areia sobre os geotêxteis proporcionou maior colmatagem do que não usá-la, onde 23% do valor da permeabilidade foi mantida ao usar a areia, enquanto que 34% foi mantida usando somente o geotêxtil. Dentre os geotêxteis avaliados, os geotêxteis mais abertos e de menor gramatura foram os que apresentaram melhor desempenho (38% da permeabilidade foi mantida). Os geotêxteis tecidos e os não-tecidos termoligados foram o que demonstraram pior desempenho, com 31% e 10% da permeabilidade mantida, respectivamente. Ao usar um lixiviado com 17.000 mg/L de DBO e 27.000 mg/L de sólidos totais, os filtros geotêxteis foram bastante prejudicados, alcançando somente 14% da permeabilidade inicial do sistema drenante. Os autores concluíram que os geotêxteis a serem selecionados em sistemas de drenagem de aterros de RSU devem ser suficientemente abertos para permitirem a passagem de sedimentos e microorganismos para a camada drenante. Na Figura 4 são apresentadas imagens dos geotêxteis após ensaios de colmatagem conduzidos por Koerner & Koerner (2015).

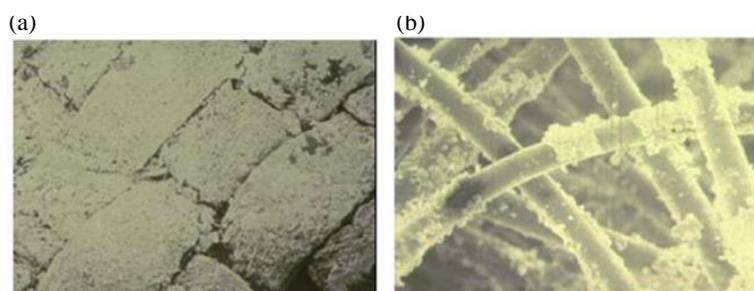


Figura 4 – Deposição biológica em geotêxteis aplicados em camadas drenantes de aterros sanitários botidas via microscopia: (a) geotêxtil tecido; (b) geotêxtil não tecido (Koerner e Koerner, 2015).

Quanto a lixiviados de aterros, Koerner & Koerner (2015) observaram elevados níveis de colmatagem biológica e relatam que essa pode ocorrer rapidamente em geotêxteis tecidos e não-tecidos convencionais. Os autores concluíram que tais geotêxteis são sensíveis à lixiviados com SS e/ou DBO em níveis superiores a 2.500 mg/L. Em amostras exumadas do campo, Corcoran & Bhatia (1996) observaram a colmatagem significativa de geotêxteis não-tecidos termoligados usados como filtros em lixiviados com DBO entre 3.000 e 20.000 mg/L. Fleming et al. (1999) relatam a falha de sistema de drenagem de um aterro após três anos de operação, sendo que tal sistema consistia num tubo dreno corrugado de PEAD encamisado com geotêxtil não-tecido termoligado de baixa gramatura. O problema foi relatado ter se iniciado pela oxidação e precipitação do lixiviado rico em ferro que já foi motivo para aumento do nível de lixiviado no interior do aterro. Posteriormente, o material passou a ser colmatado pela contribuição das atividades microbiológicas. Semelhantemente, Koerner & Koerner (1992) observaram, após exumação, significativa colmatagem de um geotêxtil usado na filtração em tubos drenos, ocorrendo redução na permeabilidade do geotêxtil de 1.000 vezes. Outros problemas de colmatagem de geotêxteis foram observados por Cazuffi et al. (1991), a maioria associada à inadequada especificação para lixiviados com altos valores de DBO ou aspectos químicos específicos.

Ensaio de filtração de larga escala de geotêxteis submetidos a fluxo de lixiviado foram conduzidos por Colmanetti & Palmeira (2001). Foram testados sistemas de drenagem com e sem uso de geotêxteis e, ainda, usando camada filtrante de areia natural. Os geotêxteis não-tecidos testados tinham gramatura de 300 e 600 g/m², e O₉₅ inferior a 0,11 e 0,17 mm, respectivamente. Passados 6 meses, o lixiviado apresentou DBO de 120.000 mg/L e nenhum dos sistemas apresentou alteração significativa na vazão, embora algumas alterações na vazão foram observadas em ensaios após exumação. Com base em ensaios de permeabilidade a longo prazo de geotêxteis em lixiviado, Palmeira et al. (2008) mostraram uma significativa redução da permeabilidade devido a parcela biológica do lixiviado, incluindo geotêxteis com, respectivamente, O₉₅ de 0,15 e 0,06 mm e gramatura de 100 e 600 g/m², respectivamente.

Com base na exumação de parte do colchão drenante no aterro sanitário do Vale de Keele (McIsaac & Rowe 2006) observou-se que a colmatação de um geotêxtil tecido não foi significativa. Por outro lado, foi observada alguma colmatação biológica em geotêxtil não-tecido dentro de sua estrutura fibrosa, o que não foi observado no geotêxtil tecido. Mesmo assim, a redução da condutividade hidráulica para o geotêxtil não-tecido foi inferior ao tecido e não foi observado nenhum tipo de colmatação significativa em 6 anos de operação. O geotêxtil não-tecido filtrava partículas e tratava passivamente o lixiviado, reduzindo assim o entupimento da camada drenante subjacente. No caso de um filtro granular graduado, toda a camada superior de areia foi cimentada devido ao acúmulo de massa de entupimento e foi observada uma zona permeável reduzida dentro do componente de areia do filtro granular graduado. De todos os experimentos realizados por McIsaac e Rowe (2006), a maior eficiência em termos de permeabilidade a longo prazo foi obtida ao utilizar um geotêxtil de grande abertura (maior que 0,6 mm). Deve-se entender que um geossintético pode vir a ter duas funções em um sistema de drenagem de aterro sanitário: uma delas é a filtração, bastante discutida no presente artigo, a outra é a separação, que visa evitar a introdução de frações do RSU no interior dos poros do material drenante.

4. FATORES DE REDUÇÃO EM PROJETOS DE FILTROS DE ATERROS SANITÁRIOS

Embora o funcionamento adequado de filtros geotêxteis está diretamente associado a seu correto dimensionamento, devido aos resultados dispersos, e algumas vezes até contraditórios listados neste trabalho, a escolha dos critérios a serem analisados no projeto dos sistemas filtro-drenantes em aterros sanitários diverge entre projetistas e acadêmicos. De acordo com Aguiar & Vertematti (2015), geotêxteis atendem aos critérios de retenção quando são capazes de bloquear a passagem das partículas do solo sob ação de um fluxo de água, ou de compressões estáticas e dinâmicas, e aos critérios de permeabilidade, quando permitem o livre escoamento dos fluídos sem elevações significativas na perda de carga.

Enquanto critérios de espessura e porosidade garantem que as propriedades físicas e hidráulicas de geotêxteis sejam suficientes para atendimento às solicitações de projeto, mesmo quando estes estejam submetidos a tensões e cargas elevadas, critérios de sobrevivência avaliam a capacidade em perdurar frente aos danos das mais diversas naturezas que irão sofrer durante sua instalação e funcionamento. Alguns dos danos devem ser analisados com maior cuidado em aterros sanitários. Aguiar & Vertematti (2015) alertam que, embora o risco de degradação biológica não exista com polímeros e, conseqüentemente, com geotêxteis, os filtros formados por tais materiais podem sofrer colmatação biológica, como relatado neste presente artigo.

Uma das formas de manter-se o desempenho necessário dos geossintéticos a longo prazo, mesmo frente a fenômenos como colmatação, seja ela física, química ou biológica, é a adoção de fatores de redução (FR) no dimensionamento com o intuito de garantir o atendimento às solicitações de projeto, mesmo com a diminuição gradativa da capacidade do material utilizado. Koerner (1997) apresenta FR recomendados para geotêxteis em aplicações associadas a fluxo através e/ou pelo corpo do geossintético, como sistemas de filtração e drenagem (Tabela 1), devendo tais FR serem aplicados aos resultados obtidos nas análises dos critérios de permeabilidade, retenção e durabilidade, majorando valores como, por exemplo, resistência à tração, permeabilidade e abertura aparente necessárias para o atendimento do projeto. Destaca-se que os FR recomendados por Koerner (1997), apresentados na Tabela 1, são considerados bastante elevados, uma vez que quando de fabricação do geotêxtil suas propriedades serão majoradas de quarenta e cinco vezes (condição mais conservadora) até trezentas e sessenta vezes (em condições de maiores solicitações e agressividade) em relação as propriedades nominais do geotêxtil.

Tabela 1. Fatores de redução recomendados para filtros geotêxteis em aterros sanitários (Koerner 1997).

Colmatação física	Redução das aberturas por fluência	Intrusão das aberturas	Colmatação química	Colmatação biológica
5,0 a 10,0	1,5 a 2,0	1,0 a 1,2	1,2 a 1,5	5,0 a 10,0

É possível exemplificar a utilização dos FR apresentados na Tabela 1 através da determinação da taxa de fluxo admissível de um geotêxtil (q_{adm}), calculada através da divisão da taxa de fluxo característica (q_{char} , determinada em ensaio laboratorial) pelo produto dos FR adotados, conforme ilustra a Equação 1:

$$q_{adm} = \frac{q_{char}}{FR_{CF} \times FR_{FI} \times FR_{IN} \times FR_{CQ} \times FR_{CB}} \quad (1)$$

5. RELATOS PRÁTICOS DO USO DE FILTROS EM ATERROS SANITÁRIOS

Para compor o presente artigo, entrevistas foram realizadas com 10 profissionais que atuam diretamente na operação de aterros sanitários no Brasil, sendo 09 engenheiros e 01 encarregado - que já atuaram em aterros das mais diversas faixas de volume de recebimento diário de RSU, com diferentes composições gravimétricas de RSU, em alguns aterros havendo co-disposição com outros resíduos. Algumas constatações e opiniões a respeito da utilização de geotêxteis como filtros em drenagens interna em aterros valem ser destacadas, baseadas na experiência dos profissionais muitas vezes quando da manutenção corretiva de tais drenagens: (i) sete dos dez profissionais relataram não constatar a colmatação de drenagens em situações com ou sem utilização de geotêxtil; (ii) três dos dez profissionais constatarem vestígio de colmatação, principalmente em drenagens de pé de talude (pela facilidade de acesso a tal drenagem, comparada com as demais drenagens internas); (iii) sete dos dez profissionais mostraram-se favoráveis quanto à utilização de geotêxteis, principalmente o tecido, opinião esta baseada no fato que tais geotêxteis utilizados no Brasil possuem O_{95} superior ao não-tecido, sendo que os tecidos aumentam de tamanho também devido a serem submetidos a condições de tração após serem posicionados sobre a drenagem; e (iv) três dos dez profissionais relataram a ocorrência de lodos escuros em contato com geotêxtil ou diretamente com a drenagem interna.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos trabalhos e nas experiências citados pode-se concluir que: ao não usar sistemas de filtração, tanto camadas de drenagem de areia quanto de material pétreo estão sujeitas a colmatação, mas materiais com faixas granulométricas superiores levam mais tempo para entupir que aqueles com faixas inferiores quando não se aplica geotêxtil ou filtro natural. Ainda, há intrusão física do material de resíduo e a alta carga biológica do lixiviado que podem se depositar nos poros da drenagem, podendo ser prejudicial a longo prazo. No entanto, a depender das características do lixiviado, a camada drenante pode ser uma alternativa técnica eficiente mesmo sem a presença do geotêxtil de filtração a depender da carga de lixiviado, porém gerando um lixiviado com altíssimas cargas biológica e química, dificultando o transporte e o tratamento.

O estudo mostrou que geotêxteis podem colmatar e prejudicar o desempenho de drenagem. No entanto, é destaca-se que a filtração com uso de camadas de areia também colmatam e, segundo alguns trabalhos, até mais antecipadamente que geotêxteis. Ao se usar geotêxteis como camada filtro-separadora, estes podem sofrer perda de permeabilidade devido a colmatação parcial, mas fornecem proteção à camada granular de drenagem subjacente garantindo o comportamento a longo prazo, desde que o *cake* seja devidamente formado.

A especificação do geotêxtil é uma tarefa complexa e depende do tipo de lixiviado, composição granulométrica da camada drenante e da operação do aterro, dentre outros fatores. É importante observar que as características do lixiviado gerado diretamente, geralmente, não são representativas do lixiviado extraído do aterro, uma vez que foi "tratado" ao longo do escoamento pela drenagem. De modo geral, a colmatação biológica afeta mais significativamente quando o teor de SS é também elevado. A DBO e o teor de SS são parâmetros do lixiviado variáveis cuja literatura tem indicado como representativos dos efeitos de colmatação. No entanto, deve-se atentar aos fenômenos químicos que possam se desenvolver no processo.

As principais implicações práticas com relação à adoção de geotêxteis são: usar geotêxteis evita a

intrusão física de material de resíduos e cegamento da camada de drenagem, prolongando assim a vida útil de tal camada; é essencial que os geotêxteis, sejam tecidos e não tecidos, a serem considerados no projeto dos sistemas filtro-drenantes tenham grandes aberturas de filtração para serem capazes de manter maior eficiência a longo prazo; a especificação do geotêxtil precisa ser criteriosa, com vistas à operação do aterro, tipo de lixiviado (o que depende do tipo de resíduo) e tipo de camada de drenagem a ser adotada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, P.R.; VERTEMATTI, J.C. (2015) *Aplicações em Filtração*. In: VERTEMATTI, J.C. (Org). Manual brasileiro de geossintéticos, 2. ed., Blucher, São Paulo.
- Brune, M., Ramke, H.G., Collins, H.J., Hanert, H.H. (1991) Encrustation processes in drainage systems of sanitary landfill. In: 3rd International Landfill Symposium, Sardinia. *Proceedings...* pp. 999-1035.
- Cazuffi, D., Cossu, R., Ferruti, L., Lavagnolo, C. (1991) Efficiency of geotextiles and geocomposites in landfill drainage systems. In: 3rd International Landfill Symposium, Sardinia. *Proceedings...* pp. 759-780.
- Colmanetti, J.P., Palmeira, E.M. (2002) A study on geotextile-leachate interaction in large laboratory tests. In: 7th International Conference on Geosynthetics, Nice, *Proceedings...* v. 2, pp. 749-752.
- Corcoran, B.W., Bhatia, S.K. (1996) Evaluation of geotextile filter in a collection system at Fresh Kills landfill. In: Bhatia, S.S., Suits, L.D. (Eds.), *Recent Developments in Geotextile Filters and Prefabricated Drainage Geocomposites*. American Society for Testing and Materials, ASTM STP 1281, p. 182-195.
- Fleming, I.R., Rowe, R.K., Cullimore D.R. (1999) Field Observations of Clogging in a Landfill Leachate Collection System, *Canadian Geotechnical Journal*, 36 (4), p. 685-707.
- Fleming, I.R., Rowe, R.K. (2004) Laboratory studies of clogging of landfill leachate collection & drainage systems. *Canadian Geotechnical Journal*, 41 (1), p. 134-153.
- Junqueira, F.F., Silva, A.R.L., Palmeira, E.M. (2006) Performance of drainage systems incorporating geosynthetics and their effects on leachate properties. *Geotextiles and Geomembranes*, 24 (5), p. 311-324.
- Koenig, R.W. (1996) Hazardous Waste Landfill Liners. Term Paper for CE361, Rose-Hulman Institute of Technology, Nov, 93. Koenig
- Koerner, G.R., Koerner, R.M. (1992). Leachate flow rate behavior through geotextile and soil filters and possible remediation methods. *Geotextiles and Geomembranes*, 11(4-6), p. 401-430.
- Koerner, G.R., Koerner, R.M. (1997). *Designing with Geosynthetics*. 4o. ed. New Jersey: Prentice Hall.
- Koerner, R.M., & Koerner, G.R. (2015). Lessons learned from geotextile filter failures under challenging field conditions. *Geotextiles and Geomembranes*, 43(3), p. 272-281.
- Lotti, C.L., Lavoie, F.L. (2015) Avaliação comparativa da resistência química e ao punção de geotêxteis não tecidos de PP e PET. *Revista Fundações e Obras Geotécnicas*, 5, p. 100-104.
- McIsaac, R., Rowe, R.K. (2006) Change in leachate chemistry and porosity as leachate permeates through tire shreds and gravel. *Canadian Geotechnical Journal*, 42 (4), p. 1173-1188.
- Palmeira, E.M., Remigio, A.F., Ramos, M.L., Bernardes, R.S. (2008) A study on biological clogging of nonwoven geotextiles under leachate flow. *Geotextiles and Geomembranes*, 26(3), p. 205-219.
- Rowe, R.K., Quigley, R.M., Booker, J.R. (1995) *Clayey Barrier Systems for Waste Disposal Facilities*, Spon Editors, London, UK, 390 p.
- Rowe, R.K., Quigley, R.M., Brachman, R.W.I., Booker, J.R. (2004) *Barrier Systems for Waste Disposal Facilities*. Spon Editors, London, UK, 587 p.
- Rowe, R.K., VanGulck, J.F., and Millward, S. (2002) Biologically Induced Clogging of a Granular Media Permeated with Synthetic Leachate. *Canadian Journal of Environmental Engineering and Science*, 1(2): 135-156.
- Silva, A.R.L., Palmeira, E.M., Vieira, G.R. (2002). Large filtration tests on drainage systems using leachate. In: Fourth International Congress on Environmental Geotechnics, Rio de Janeiro, Brazil, v.1, pp. 125-128.