

III-294 - ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DA COBERTURA FINAL DO ATERRO SANITÁRIO DE BELO HORIZONTE

Cícero Antonio Antunes Catapreta ⁽¹⁾

Eng. Civil, Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Engenheiro Sanitarista da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil.

Gustavo Ferreira Simões

Eng. Civil (UFMG), Mestre e Doutor em Engenharia Civil (PUC-Rio), Professor Associado do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Heuder Pascele Batista

Eng. Civil, Mestre em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Gerente do Depto. de Trat. e Disposição Final de Resíduos da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil.

Endereço ⁽¹⁾: Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte – SLU/BH. Departamento de Tratamento e Disposição Final de Resíduos. Rodovia BR 040 – Km 531 – Jardim Filadélfia - Belo Horizonte – MG. Brasil - Tel: (31) 3277-9808 – e-mail: catapret@pbh.gov.br

RESUMO

A implantação de camadas de cobertura final em aterros sanitários é um dos elementos mais importantes a ser executado após o encerramento das atividades de disposição de resíduos e tem como objetivo controlar a infiltração de água e ar, minimizar a migração de gás para fora do aterro, servir como elemento de redução de odores, vetores de doenças e outros inconvenientes, servir como sistema de controle de águas superficiais e facilitar a recomposição da paisagem. Este trabalho teve como objetivo avaliar as características geotécnicas dos materiais empregados na implantação da camada de cobertura final do aterro sanitário de Belo Horizonte e o processo de execução e monitoramento da mesma. Os resultados indicam que os procedimentos operacionais empregados foram adequados, porém a baixa capacidade de suporte dos resíduos apresentou grande influência na execução das camadas de cobertura final do aterro sanitário, fazendo com que as permeabilidades obtidas não fossem satisfatórias, indicando que a permeabilidade de 1×10^{-7} cm/s geralmente sugerida em projetos e por algumas normas técnicas é de difícil obtenção.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos, Aterro Sanitário, Cobertura Final, Monitoramento.

INTRODUÇÃO

Quando os aterros sanitários atingem sua capacidade de recebimento de resíduos, os mesmos devem ser descomissionados, devendo ser desenvolvidas diversas atividades que garantam a estabilidade e segurança dos maciços de resíduos e facilitem a sua manutenção.

Uma das principais medidas a serem adotadas quando do encerramento de um aterro sanitário, é a implantação de um sistema de cobertura final, ou selamento, que tenha como principais funções: **i)** controlar a infiltração de água e ar; **ii)** minimizar a migração de gases para fora do aterro; **iii)** servir como elemento de redução de odores, vetores de doenças e outros inconvenientes, **iv)** servir como sistema de controle de águas superficiais e **v)** facilitar a recomposição da paisagem.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (ABNT, 1997), o sistema de cobertura final de aterros deve minimizar a infiltração de água no aterro, exigir pouca manutenção, promover a drenagem, não estar sujeito a erosões, acomodar recalques sem ruptura e possuir um coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do aterro. Deve-se também indicar o tipo de impermeabilização adotado e os materiais empregados, com suas especificações e características segundo as correspondentes normas brasileiras.

Os sistemas de cobertura de aterros sanitários, geralmente implantados diretamente sobre a camada de resíduos compactados, são compostos de: uma camada de cobertura de topo, ou cobertura vegetal, para controle de erosões; uma camada drenante, para o caso de infiltração de águas de chuva; uma barreira hidráulica, para

impedir que as eventuais águas de chuva que não sejam drenadas na camada de drenagem, infiltrem nos maciços de resíduos; e uma camada para drenagem de biogás, incluindo o sistema de queima.

Os tipos de camada de cobertura mais referenciados na literatura são: cobertura convencional (ou resistiva) e coberturas evapotranspirativas (monolíticas ou barreiras capilares). Nas barreiras resistivas, tem-se que a geração de líquidos é reduzida por meio da construção de uma camada de solo com baixa condutividade hidráulica saturada, tipicamente 10^{-9} m/s ou inferior (Zornberg *et al.*, 2003). Já as coberturas evapotranspirativas utilizam processos naturais para controlar a infiltração de águas pela superfície do aterro. Este sistema geralmente é composto por um sistema de camadas de solo que tem o objetivo de armazenar água, que é eliminada posteriormente por meio da evapotranspiração, pelo próprio solo e pelas espécies vegetais presentes na camada de cobertura. Na Figura 1 pode ser observado balanço hídrico em camadas de cobertura convencional (ou resistiva) e evapotranspirativa.



Figura 1 - Balanço Hídrico em uma cobertura convencional (a) e cobertura evapotranspirativa (b) (McCartney & Zornberg, 2004)

As características geotécnicas dos materiais a serem utilizados na cobertura de aterros de resíduos sólidos urbanos são fundamentais para o seu adequado funcionamento (Marinho & Souza, 2010). Dentre essas características, podem-se citar os limites de consistência, granulometria, teor de umidade, grau de saturação, densidade e capacidade de retenção, permeabilidade à água e ao ar.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar as características geotécnicas dos materiais empregados na implantação da camada de cobertura final do aterro sanitário de Belo Horizonte e os processos de execução e monitoramento do desempenho da mesma.

MATERIAL E MÉTODOS

ATERRO SANITÁRIO DE BELO HORIZONTE

Belo Horizonte é a capital do Estado de Minas Gerais, o qual se localiza na região sudeste do Brasil, e estende-se por uma área de 1483 km². A cidade é a 6ª mais populosa do país, configurando também como a 3ª maior região metropolitana do Brasil. Belo Horizonte tem uma população de mais de 2,4 milhões de habitantes, atingindo quase 5,4 milhões de habitantes na Região Metropolitana.

Os resíduos gerados pela população foram dispostos no aterro sanitário do município, que se encontra localizado na região noroeste da cidade. Esse aterro teve suas atividades de operação iniciadas em 1975, tendo sido encerrado e descomissionado em 2007, após de 32 anos de funcionamento.

O aterro ocupa uma área de 144 hectares, sendo 65 hectares subdivididos em 7 áreas (células), que foram utilizados para a disposição dos RSU, e possui 65 m de altura no ponto mais elevado. Aproximadamente 23 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram dispostos neste aterro durante sua operação. Os resíduos depositados incluem resíduos domésticos, como restos alimentares, papel, plástico, vidros, metais, papelão, têxteis, borracha, couro, matéria orgânica e resíduos de construção e demolição (areia, tijolos, blocos de concreto etc). Na Figura 2 pode ser observado o *lay-out* final do aterro sanitário de Belo Horizonte.

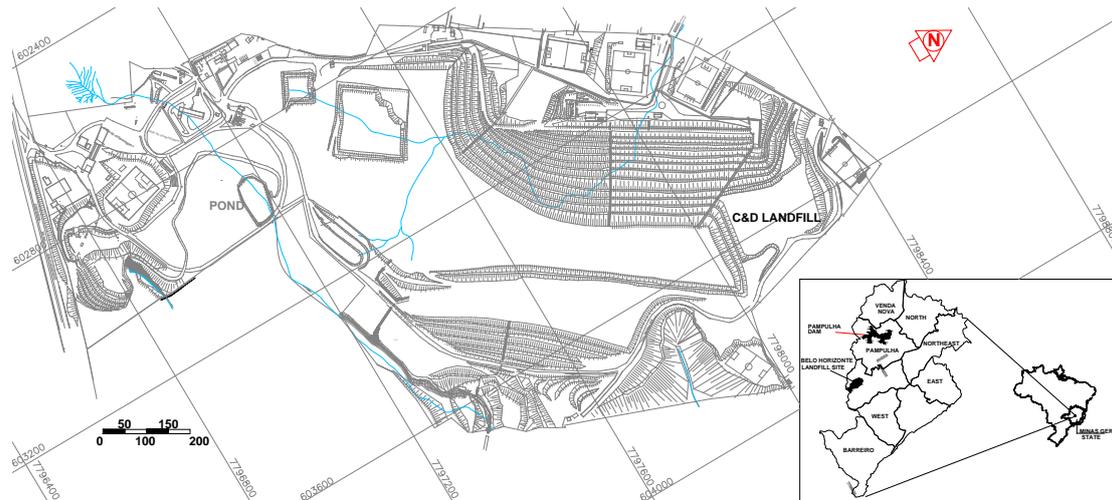


Figura 2 – Aterro Sanitário de Belo Horizonte – Lay-out

COBERTURA FINAL DOS RESÍDUOS

Para a cobertura final da massa de resíduos sólidos urbanos dispostos no aterro sanitário de Belo Horizonte foram empregados resíduos de construção e demolição (camada de regularização/fundação ou cobertura primária) sobrepostos com uma camada de argila compactada (barreira hidráulica). Sobre esta camada foi aplicada uma camada de solo orgânico (camada de controle de erosões ou *top soil*) para facilitar o plantio e o desenvolvimento da cobertura vegetal dos taludes. O topo do aterro não recebeu esta última camada, uma vez que o mesmo deve passar por manutenções constantes, devido aos recalques que deverão ocorrer. Esta configuração de camada de cobertura apresenta características similares à uma barreira capilar.

Entre a camada de fundação e a barreira hidráulica, foi colocado um geotêxtil, cujo objetivo foi o de promover a separação física entre essas camadas, atuando como filtro, assim como elemento auxiliar na drenagem de gases e eventual infiltração de águas de chuva.

A camada de cobertura final no topo também foi executada visando o escoamento de águas pluviais e, para isso, foi proporcionada uma declividade de 1,0%, com os fluxos direcionados para o sistema de drenagem de águas pluviais (escadas e canais de escoamento).

COLETA DE AMOSTRAS

As coletas de amostras de solo, que permitiram a sua caracterização e acompanhamento da execução dos trabalhos, ocorreram em conformidade com as Normas Técnicas da ABNT.

ENSAIOS

Foram realizados ensaios de campo e laboratório para garantir o controle da execução e, posteriormente, da manutenção da camada de cobertura do aterro sanitário. Em relação aos ensaios de campo, destaca-se que o controle de compactação das camadas foi realizado utilizando o frasco de areia e cilindro biselado, para a determinação da massa específica, e a frigideira para a determinação do teor de umidade.

Em laboratório foram realizados os ensaios descritos na Tabela 1, cujo objetivo foi o de caracterizar geotecnicamente e conhecer as propriedades hidráulicas dos materiais empregados na execução da barreira hidráulica.

Tabela 1 – Métodos utilizados para análise dos solos empregados na cobertura final

Ensaio	Método
Limites físicos (Limites de <i>Atterberg</i>)	NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez e Ensaio de Queda de Cone. NBR 7180 - Solo - Determinação do limite de plasticidade.
Análise Granulométrica (peneiramento)	NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica
Permeabilidade de Carga Variável	NBR 14545 - Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável
Ensaio de Compactação	NBR 7182 - Solo - Ensaio de compactação
Índice Suporte Califórnia – ISC ou <i>California Bearing Ratio</i> - CBR	NBR 9895 – Solo – Índice de Suporte Califórnia

Para a classificação dos solos, foi empregada a classificação HRB - *Highway Research Board* – Sistema Rodoviário de Classificação, recomendada pela AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*, cuja classificação dos solos se baseia em dois grandes grupos: os materiais granulares (% passante na peneira nº 200 \leq 35%), ou materiais silto-argilosos (% passante na peneira nº 200 $>$ 35%).

MONITORAMENTOS

Mesmo considerando que a cobertura final do aterro sanitário de Belo Horizonte foi concebida e implantada para funcionar com o mínimo de manutenção possível, há necessidade de que seja executado um plano de manutenção e acompanhamento que inclui:

- Medição de vazão de líquidos lixiviados em diversos pontos, por meio da qual se pode avaliar a integridade e eficiência do sistema de drenagem de líquidos. Este acompanhamento é realizado diariamente;
- Medição diária de precipitações pluviométricas;
- Inspeções visando avaliar o sistema de cobertura, buscando identificar a ocorrência de migrações de líquidos lixiviados pelos taludes, a ocorrência de trincas e erosões, porções do aterro em que houve recalques excessivos e áreas decapadas que necessitam ser recompostas. Estas inspeções são realizadas diariamente;
- Inspeções visando avaliar a integridade e eficiência do sistema de drenagem superficial e de biogás, principalmente no período chuvoso, buscando avaliar danos aos mesmos, que podem ser causados pelas precipitações pluviométricas ou recalques diferenciais no maciço de resíduos. No período de chuvas, esse monitoramento é diário e, nos períodos secos, o monitoramento é quinzenal;
- Análise de estabilidade de taludes, visando avaliar a integridade geral do aterro sanitário. Esta análise é realizada anualmente.

COBERTURA VEGETAL

Como mencionado, acima da barreira hidráulica, foi executada uma camada para controle de erosões (*top soil*), composta de uma camada de solo orgânico, onde foi implantada a cobertura vegetal. O principal elemento utilizado para a cobertura vegetal dos taludes, foi a grama batatais (*Paspalum notatum*), cuja escolha se deveu principalmente ao formato do seu sistema radicular e ao fato de que esta espécie de grama é nativa do Brasil e, conseqüentemente, bastante competitiva em relação às plantas invasoras.

Deve-se destacar também que o projeto de implantação da cobertura vegetal das áreas de disposição de resíduos teve como objetivo a requalificação dessas áreas, visando promover processos de sucessão que levem à recuperação da vegetação autóctone arbórea, assim como proporcionar alimento, abrigo e refúgio para a fauna silvestre e contribuir para a melhoria do micro clima da região e reduzir o impacto visual para as comunidades vizinhas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

EXECUÇÃO

A execução da camada de cobertura final do aterro sanitário de Belo Horizonte foi realizada em conformidade com o proposto no projeto, com lançamentos de camadas de solo solto (espessura de 0,30 m), seguidas de umedecimento com água para correção do teor de umidade, por meio de caminhões pipa, e revolvimento para homogeneização. As camadas foram levadas ao teor de umidade mais próximo possível da umidade ótima obtida em laboratório de forma a atender os critérios de projeto. Feito isto, com a camada de solo preparada, efetuou-se a compactação com rolos pé-de-carneiro. A espessura final média da camada de cobertura foi de 60 cm e o volume total de solo empregado foi aproximadamente 160.000 m³ (compactado).

Pelo sistema HRB, os solos foram classificados como solos siltosos (Grupos A-7-4, A-7-5) e argilosos (Grupo A-7-6), sendo a fração argilosa a mais significativa. Na Figura 2 são apresentadas as curvas granulométricas das amostras de solo avaliadas.

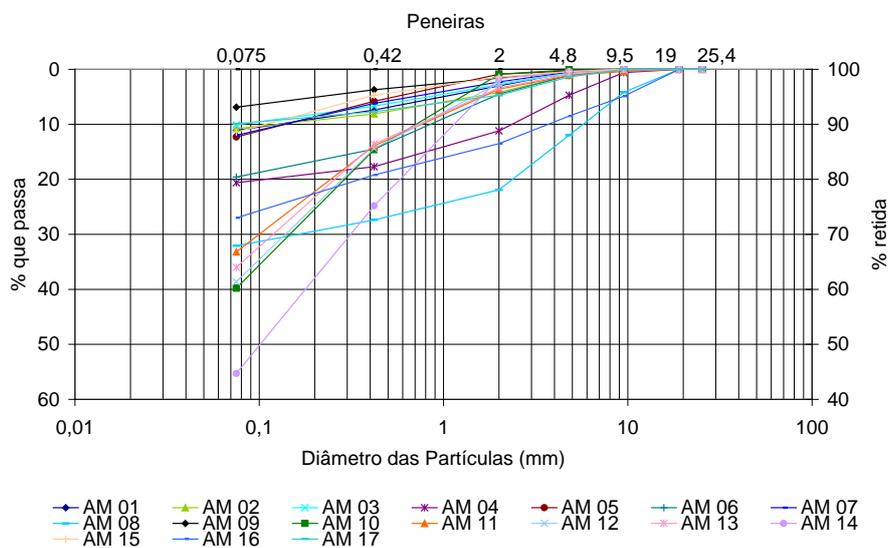


Figura 2 – Curvas granulométricas dos solos empregados na camada de cobertura do aterro sanitário

Os coeficientes de permeabilidade encontrados em amostras retiradas no campo após a compactação variaram entre $2,3 \times 10^{-3}$ e $5,9 \times 10^{-3}$ cm/s, sendo inferiores aos obtidos nas condições ótimas de compactação, cujos resultados variaram entre $6,6 \times 10^{-5}$ cm/s a $1,9 \times 10^{-8}$ cm/s.

Uma possível explicação para a não obtenção de valores mais baixos na condição de campo, pode estar relacionada à baixa capacidade de suporte dos resíduos dispostos, uma vez que a densidade dos mesmos é em torno de 9 kN/m^3 (Simões *et al.*, 2009), enquanto que de solos naturais varia entre 14 e 20 kN/m^3 . Os resíduos não oferecem o suporte necessário, dificultando a obtenção de valores altos da massa específica da camada compactada e, conseqüentemente, gerando valores de permeabilidade mais altos.

Observou-se também que o grau de compactação ficou abaixo do esperado, que seria no mínimo de 95% do Proctor Normal. Os valores observados ficaram em média, próximos a 90%. Os desvios de umidade ficaram dentro do esperado.

Após a implantação da camada de cobertura final do aterro sanitário, foi executada a implantação da cobertura vegetal nos taludes do aterro, com aplicação de uma camada de solo vegetal de espessura de 0,10 m e sobre a mesma, foram plantados 292.000 m² de grama batatais (*Paspalum notatum*).

Na Figura 3 podem ser observadas algumas etapas da implantação da camada de cobertura final do aterro sanitário de Belo Horizonte.

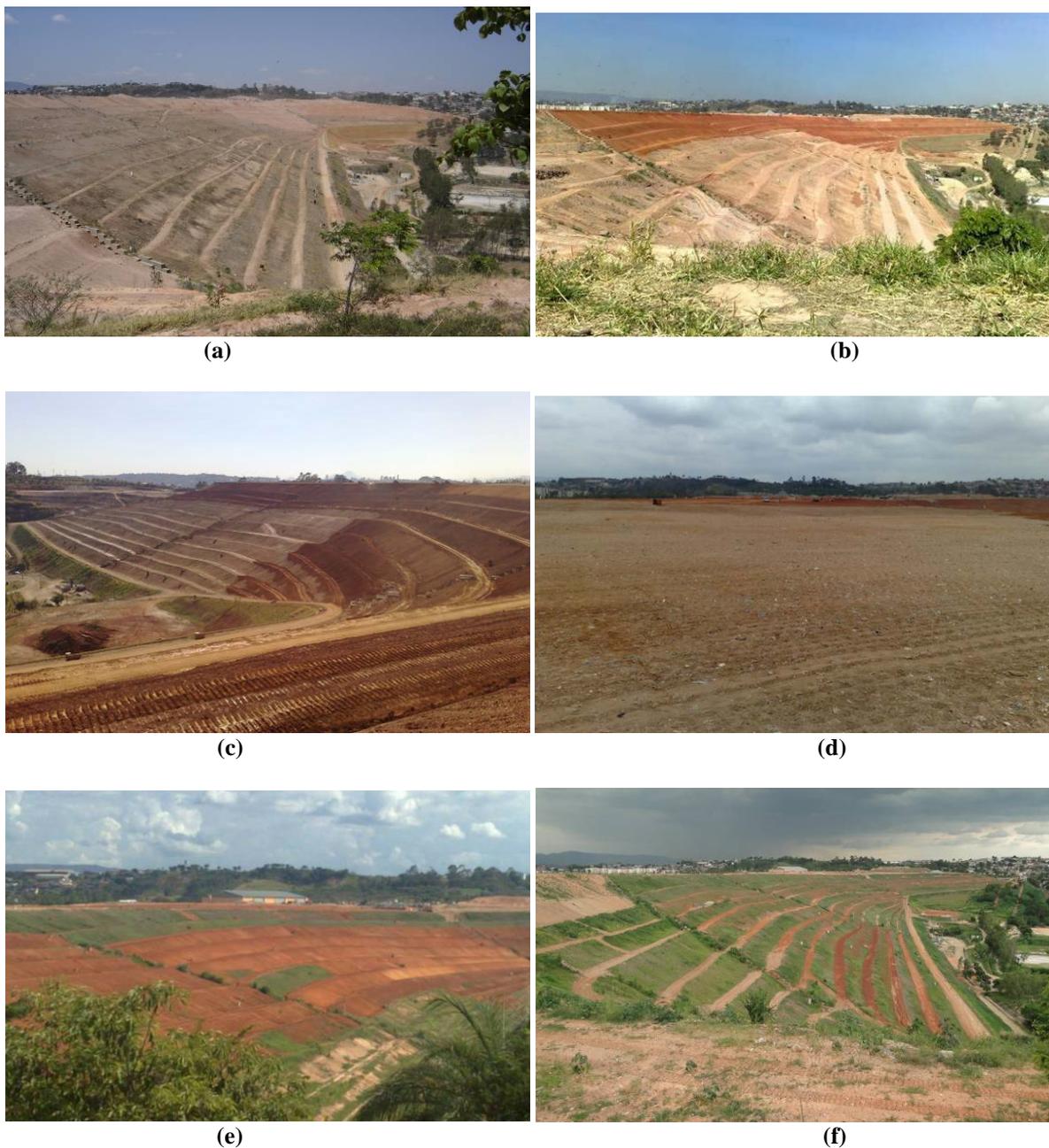


Figura 3 – Etapas da execução da camada de cobertura

Destaca-se que durante os trabalhos de recomposição vegetal da área do aterro sanitário de Belo Horizonte, foi empregado o composto orgânico que é produzido na Unidade de Compostagem existente na mesma área. Este composto, ou adubo orgânico, é produzido a partir de restos alimentares coletados em supermercados, os quais são misturados com podas de árvores trituradas, e submetidos ao processo de compostagem simplificada. O composto orgânico foi utilizado essencialmente na composição do substrato que foi colocado sobre as áreas de plantio de grama. Nas superfícies gramadas foi aplicado composto a lanço numa proporção de 5 litros/m².

Em relação à manutenção, as áreas de aterro cobertas com grama recebem um tratamento inicial de arranquio manual das espécies invasoras, seguido de roçada mecânica. Um ano após o plantio, as áreas gramadas receberam um aporte de matéria orgânica através da inoculação de substrato (composto orgânico + terra vegetal) aplicado a lanço. A previsão é de repetição deste procedimento a cada dois anos.

MONITORAMENTO DO DESEMPENHO

a) Precipitações pluviométricas e vazão

As precipitações pluviométricas e vazões de líquidos lixiviados vêm sendo medidas em 8 pontos distribuídos pelo aterro sanitário. Como pode ser observado na Figura 4, após o encerramento das atividades do aterro sanitário e execução de sua camada de cobertura final, houve redução das vazões, sugerindo a bom desempenho dessa camada. Verifica-se apenas uma pequena influência do período chuvoso.

Na Figura 5, observa-se que a maioria dos resultados da relação entre chuva e vazão de líquidos lixiviados era inferior a 0,25 durante a operação do aterro sanitário, enquanto que após a execução da cobertura final, essa relação passou a ser inferior a 0,12. Esses resultados sugerem que pouca água de chuva vem infiltrando no aterro sanitário, o que acaba por contribuir para sua estabilidade.

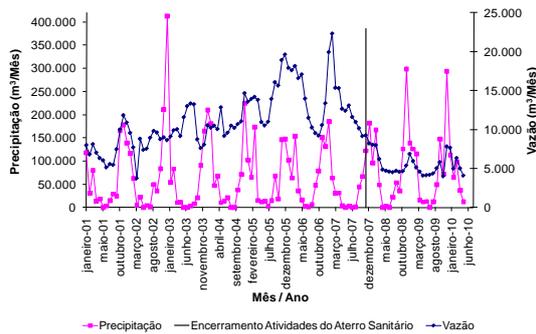


Figura 4 – Variação das vazões precipitações entre 2001 e 2010

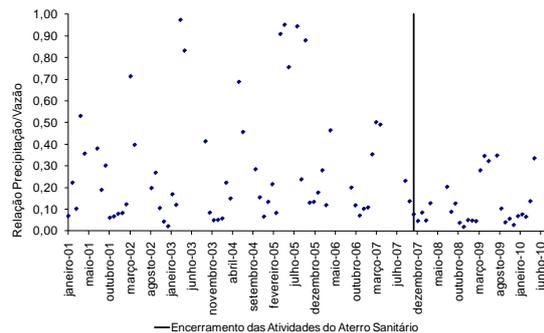


Figura 5 – Relação chuva-vazão de líquidos lixiviados entre 2001 e 2010

b) Surgências de líquidos pelas faces dos taludes

Desde antes do encerramento das atividades de disposição de RSU não era observada a ocorrência de surgências de líquidos lixiviados pelas faces dos taludes do aterro sanitário, o que pode ser indicativo de que o sistema de drenagem desses líquidos executado ao longo do período de sua operação foram implantados de forma adequada. O mesmo pode-se dizer do sistema de cobertura final executado, o qual pode estar contribuindo para que não ocorram infiltrações que possibilitem o aumento na geração de líquidos, assim como o fato da camada de cobertura final ser bastante impermeável, pode estar contribuindo com a retenção desses líquidos dentro do aterro sanitário e direcionamento para o sistema de drenagem de lixiviados.

c) Trincas

A ocorrência de trincas em camadas de cobertura de aterros sanitários é comum, uma vez que o maciço de resíduos é um elemento dinâmico, sujeito a movimentações constantes devido à degradação dos resíduos. Também tem-se que os sucessivos ciclos de umedecimento e ressecamento aos quais tais camadas estão submetidas, favorecem o surgimento de trincas. As trincas também podem ocorrer devido à presença de animais, que escavam essa camada, e à presença de vegetação, onde as raízes levam a tais caminhos, e também da formação de trincas. Essas trincas formadas em camadas de impermeabilização levam ao aumento da condutividade hidráulica e até a perda de função de tal camada. Logo, a ocorrência das mesmas em um aterro sanitário deve ser monitorada para evitar a infiltração de águas de chuva e escape de gases.

No aterro sanitário de Belo Horizonte esse monitoramento vem sendo realizado e, sempre que surgem trincas, são feitas investigações *in loco*, com escavação da região para se verificar o alcance da mesma. Caso não seja constatado nenhum perigo, as mesmas são fechadas e a camada de cobertura restaurada.

d) Erosões

A ocorrência de processos erosivos em aterros sanitários geralmente está associada à ausência de um sistema de drenagem de águas pluviais. A ausência de uma camada de cobertura final bem executada, incluindo o revestimento vegetal, também pode contribuir para tal. No caso do aterro Sanitário de Belo Horizonte,

possivelmente devido ao fato de possuir um sistema de cobertura final bem executado e com cobertura vegetal, e um sistema de drenagem superficial eficiente, não tem sido observada a presença de erosões.

e) Áreas decapadas

Nas áreas em que foi implantada a cobertura final do aterro sanitário, não se observou a ocorrência de áreas decapadas ou sem cobertura vegetal. A ocorrência dessas áreas pode-se dar pela queima da vegetação ou por meio de sua remoção manual ou com máquinas.

Como o topo do aterro sanitário não recebeu cobertura vegetal, observou-se no período de monitoramento a ocorrência de grande quantidade de material particulado colocado em suspensão devido à ocorrência de ventos na região, o que é agravado durante os períodos de estiagem em Belo Horizonte.

f) Sistema de drenagem superficial

Após o encerramento das atividades de disposição de RSU foi possível concluir a implantação do sistema de drenagem de águas pluviais do aterro sanitário. O sistema implantado é constituído de escadas de gabião caixa e canais em colchão reno, ambos revestidos de concreto para evitar a infiltração das águas drenadas, e canaletas de concreto. O sistema tem-se mostrado eficiente, mas o revestimento de concreto das estruturas de gabião e colchão reno, que são flexíveis, necessitam constantemente de manutenção, pois devido à ocorrência de recalques no aterro sanitário, essa estrutura vai se acomodando à nova geometria, fazendo com que a camada superficial de concreto apresente fissuras e trincas, o que pode comprometer sua eficiência.

g) Sistema de drenagem de biogás

O sistema de drenagem de biogás executado no aterro sanitário de Belo Horizonte seguiu a linha tradicional, com uma forma metálica sendo preenchida com pedra rachão e içada conforme o aterro sanitário foi se elevando. Em função da extração de biogás para reaproveitamento no âmbito do projeto de MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, os drenos foram selados (≈ 55 drenos) e substituídos por poços de captação (≈ 160 poços). Pode-se dizer ambos os sistemas eram funcionais, não sendo verificada influência da pressão de biogás sobre o corpo do aterro e na camada de cobertura final.

CONCLUSÕES

Através deste estudo foi possível caracterizar os solos utilizados na execução da camada de cobertura final do aterro sanitário de Belo Horizonte e a execução desta. Os resultados indicam que as permeabilidades obtidas não foram satisfatórias, mas considerando as características construtivas desse aterro, tal fato deve ser minimizado, não trazendo transtornos futuros.

A baixa capacidade de suporte dos resíduos apresentou grande influência na execução das camadas de cobertura final do aterro sanitário. Vale salientar ainda a importância da drenagem superficial do aterro sanitário para evitar que as águas das chuvas infiltrem nas células e venham a contribuir para um acréscimo de líquidos lixiviados produzidos, além do acúmulo de líquidos no interior da massa de resíduos.

As observações durante a execução das camadas, indicam que a permeabilidade de 1×10^{-7} cm/s, geralmente sugerida em projetos e por algumas normas técnicas, é de difícil obtenção, devido à baixa capacidade de suporte dos resíduos, que dificulta a execução da compactação.

Recomenda-se que seja dada continuidade ao plano de monitoramento do aterro sanitário, o qual pode contribuir para o controle da eficiência camada de cobertura final. Especificamente em relação à geração de líquidos lixiviados e biogás, enquanto os resíduos no aterro apresentarem potencial de geração. A quantidade gerada desses efluentes, após o aterro ter encerrado suas atividades, pode ser uma indicação de que a cobertura final não está apresentando o desempenho desejado, permitindo a entrada de água do aterro e o escape de gases. Com isso, espera-se, a longo prazo, ser possível verificar o desempenho dessa camada de cobertura.

A cobertura do aterro sanitário também deve ser inspecionada rotineiramente, principalmente nas áreas em que a vegetação não venha a apresentar o desenvolvimento esperado, o que pode ser um indicativo de migração de gases através da camada da camada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896 - Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação - Procedimento. Rio de Janeiro, 1997. 12 p.
2. MARINHO, F. A. M., SOUSA, L. Projeto de pesquisa sobre sistema de cobertura final de aterro de RSU para oxidação biológica do metano. In: Revista Limpeza Pública, n 73, pp.6-13, 2010.
3. MCCARTNEY, J.; ZORNBERG, J. G. Use of moisture profiles and lysimetry to assess evapotranspirative cover performance. In: International PhD Symposium in Civil Engineering, 5, 2004, London, UK, Proceedings... London: Taylor & Francis Group, 2004.
4. SIMÕES, G. F, CATAPRETA, C. A. A. Waste compaction at Belo Horizonte landfill, Brazil. In: International Waste Management and Landfill Symposium, 12, 2009, S. Margarita di Pula. Proceedings...Padova : IWWG/CISA, 2009
5. ZORNBERG, J. G., LAFOUNTAIN, L.; CALDWEL J. A. Analysis and design of evapotranspirative cover for hazardous waste landfill. In: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 129, n. 6, pp. 427 - 438, 2003.