

### III-434 - AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA SÉRIE DE SÓLIDOS NOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS DE UM ATERRO SANITÁRIO EXPERIMENTAL

**Cicero Antonio Antunes Catapreta**

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 Simoes**

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.

**Thayrinne Marcella Rodrigues Borges**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária - CEFET/MG.

**Julia Silva Bastos**

Graduanda em Engenharia Ambiental - Universidade FUMEC/MG.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** 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

No Brasil a disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários é a técnica comumente empregada para minimização dos impactos sobre o meio-ambiente. O controle sobre esta técnica é fundamental para a garantia de sua eficiência. Neste contexto, o monitoramento ambiental é imprescindível durante todas as fases de um aterro sanitário (implantação, operação, desativação e após o seu fechamento). Uma forma de entender os processos que ocorrem em aterros sanitários reais é a construção e monitoramento de aterros sanitários experimentais que, operando em condições controladas, permitem, além desse entendimento, a simulação em condições próximas às reais de novas técnicas que visem aumentar a eficiência da disposição dos RSU. O presente trabalho tem como objetivo apresentar e discutir a evolução da concentração da série de sólidos (suspensos, dissolvidos, voláteis e sedimentáveis) presentes nos líquidos lixiviados gerados em um aterro sanitário experimental ao longo do tempo. Para execução deste trabalho foram analisados os registros de oito anos de monitoramento ambiental envolvendo além da série de sólidos, as vazões de líquidos lixiviados e os índices pluviométricos. O aterro sanitário experimental foi implantado entre 2004 e 2005 e está localizado na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) da BR-040 em Belo Horizonte/MG. Foram dispostas cerca de 8.600 toneladas de RSU, correspondendo a um volume aproximado de 11.550 m<sup>3</sup>. Nos monitoramentos pode-se observar a predominância de sólidos dissolvidos em relação aos demais e que, com o tempo os STV decaíram como resultado da degradação anaeróbia dos resíduos. Os sólidos dissolvidos totais apresentaram-se de acordo com o padrão estabelecido pela Resolução nº 357 do CONAMA. De maneira geral e considerando as características do aterro sanitário experimental em estudo, pode-se confirmar o decaimento da série de sólidos, com o predomínio no longo prazo, de sólidos totais fixos. A fração de sólidos voláteis vem apresentando pouca variação, sugerindo a presença de sólidos voláteis refratários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro Sanitário, Monitoramento, Resíduos Sólidos, Líquidos Lixiviados, Chorume.

#### INTRODUÇÃO

Atualmente, o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) representam um dos principais problemas a serem equacionados pela maioria das cidades. No Brasil, os grandes centros urbanos, embora teoricamente mais bem equipados tecnicamente e financeiramente, sofrem com grande volume de resíduos gerado e com a falta de áreas adequadas para implantação de sistemas de manejo, tratamento e disposição final. Já os pequenos municípios carecem, na maioria das vezes, de corpo técnico qualificado e de recursos financeiros.

No Brasil uma alternativa amplamente adotada para disposição e tratamento dos resíduos sólidos urbanos ainda é o aterro sanitário. Contudo, essas unidades são potenciais geradores de impactos ambientais quando não operadas adequadamente. Neste contexto, o monitoramento ambiental e geotécnico dos aterros sanitários se torna importante e imprescindível, para avaliar e quantificar esses impactos, além de possibilitar a adoção

de medidas corretivas. A obtenção de critérios e de parâmetros operacionais dos aterros e dos RSU é difícil quando executada durante a operação de um aterro sanitário. Desta forma, os aterros experimentais, operando em escala real e desde que bem controlados, apresentam-se como uma alternativa viável para a obtenção de parâmetros geotécnicos e construtivos da disposição dos RSU.

No processo de digestão anaeróbia da fração orgânica dos RSU ocorre a formação de líquidos lixiviados (chorume), os quais possuem um dinamismo em sua geração, alterando continuamente as características biológicas e físico-químicas e as vazões. As características dos líquidos lixiviados diferem em cada aterro sanitário devido principalmente à variação das composições gravimétricas e características dos resíduos aterrados, clima, com destaque para regime pluviométrico, e das condições operacionais.

No Brasil, os RSU são constituídos, basicamente, por matéria orgânica putrescível, cujo teor de umidade gira em torno de 50% (em peso úmido), dependendo da época do ano e dos hábitos e costumes da população, enquanto os 50% restantes correspondem à fração sólida. A concentração de sólidos nos RSU refere-se ao resíduo total presente no substrato, quer seja de origem orgânica ou inorgânica, e é um indicador da massa total a ser decomposta/tratada.

Os sólidos são compostos por substâncias dissolvidas e em suspensão, de composição orgânica e inorgânica. Analiticamente são considerados sólidos dissolvidos, aquelas substâncias ou partículas com diâmetros inferiores a 1,2  $\mu\text{m}$  e em suspensão partículas com diâmetros superiores (CETESB, 1992). Nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos).

O termo 'sólidos sedimentáveis' é aplicado aos sólidos em suspensão que sedimentam, sob condições específicas, em razão da influência da gravidade.

A distinção entre sólidos dissolvidos e suspensos refere-se ao tamanho das partículas e sua capacidade para passar por um papel filtro de tamanho específico ( $< 2 \mu\text{m}$ ). Ao submeter os sólidos a uma temperatura elevada ( $550 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ), a fração orgânica é volatilizada, permanecendo após combustão apenas a fração inorgânica. Portanto, os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, ao passo que os sólidos não voláteis (fixos) representam a matéria inorgânica ou mineral (MORAVIA, 2007).

Os sólidos voláteis em resíduos sólidos são o resultado da subtração dos sólidos totais e das cinzas obtidas após combustão completa dos resíduos. Os sólidos voláteis são subdivididos em sólidos voláteis biodegradáveis (SVB) e sólidos voláteis refratários (SVR).

O conhecimento da fração de SVB ajuda na melhor definição da biodegradabilidade dos resíduos, da geração de biogás, da taxa de carga orgânica e da relação C/N. A lignina é um material complexo de difícil degradação por bactérias anaeróbias e constitui a fração SVR nos resíduos orgânicos municipais (Reichert, 2005). De acordo com Cintra (2003), os sólidos, principalmente os voláteis, são importantes indicadores da degradabilidade de resíduos sólidos. Assim como a DBO e a DQO, também podem demonstrar o grau de estabilização da matéria orgânica. A Figura 1 apresenta os sólidos que podem ser analisados em líquidos lixiviados.

Por fim, há que se destacar que o conhecimento dos sólidos presentes nos líquidos lixiviados é importante do ponto de vista do tratamento biológico destes, pois tem o objetivo de remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão ao transformá-la em sólidos sedimentáveis (flocos biológicos) e gases.

Desta forma, considerando que os aterros experimentais auxiliam na verificação da variação de diversos parâmetros físico-químicos dos líquidos lixiviados ao longo do tempo, o presente trabalho tem como objetivo apresentar e discutir a evolução da concentração da série de sólidos (suspensão, dissolvidos, voláteis e sedimentáveis) presente nos líquidos lixiviados gerados em um aterro sanitário experimental ao longo do tempo.

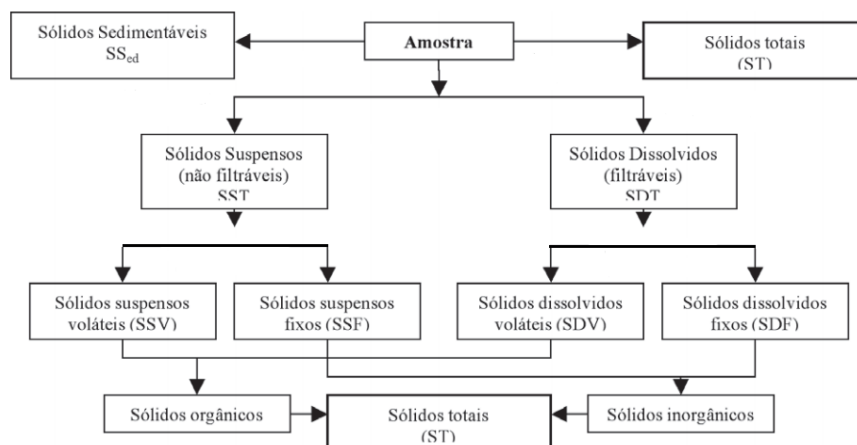


Figura 1 – Sólidos presentes nos lixiviados (Fonte: adaptado de Morávia, 2007)

## METODOLOGIA

### ATERRO EXPERIMENTAL

O aterro experimental está localizado na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) da BR-040 em Belo Horizonte/MG e foi implantado entre os anos de 2004 e 2005. Possui uma área de cerca de 5,260 m<sup>2</sup> e uma altura total inicial de 3,8 m (3,2 m de resíduos e 0,60 m de cobertura final). Foram dispostos nesse aterro cerca de 8.600 t de RSU, o que corresponde a 11.550 m<sup>3</sup>. Detalhes sobre a construção deste aterro experimental são apresentados em Catapreta (2008). A Figura 2 apresenta detalhes da localização do aterro sanitário experimental.

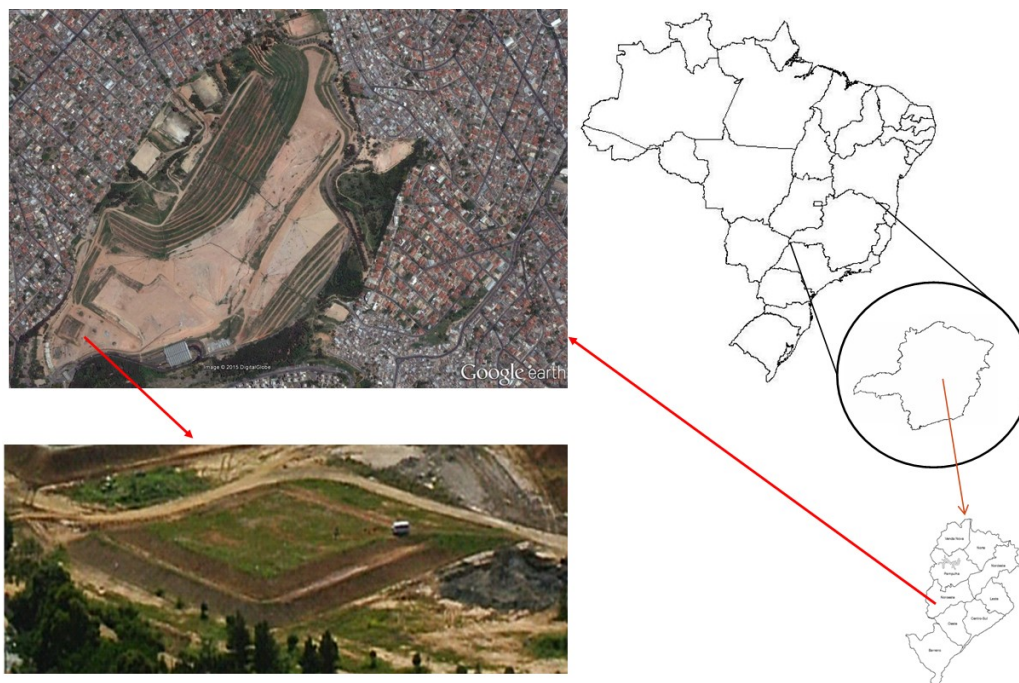


Figura 2 – Detalhes da localização do aterro sanitário experimental

### CARACTERÍSTICAS DOS RSU

A composição gravimétrica média (em base úmida) dos RSU dispostos no aterro foi: matéria orgânica (62%); papel e papelão (10%); plásticos (11%); metais (2%); vidros (3%); resíduos de construção e demolição - RCD

(3%); borracha, espuma e materiais cerâmicos (1%); madeira, tecidos e couro (4%) e outros (5%). Observa-se que, mesmo dentro dos resíduos sólidos domésticos, a presença de entulho, em proporções reduzidas. Outros constituintes estão dentro das faixas normalmente observadas para cidades semelhantes à Belo Horizonte. Destaca-se o alto teor de matéria orgânica presente (62%), o qual propiciou um teor de umidade inicial em torno de 60% (base úmida).

## AMOSTRAGEM E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

A avaliação da evolução temporal da série de sólidos (suspensos, dissolvidos, voláteis e sedimentáveis), foi realizada a partir de campanhas de amostragem no aterro sanitário experimental, as quais se iniciaram em 30/06/2005, logo após o encerramento das atividades de disposição de RSU no aterro. São apresentados neste trabalho os resultados obtidos em aproximadamente oito anos de monitoramento. As coletas e análises físico-químicas das amostras de líquidos lixiviados seguiram os métodos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, (APHA/AWWA/WEF, 1998) (Tabela 1). A amostragem teve frequência quinzenal, no início do monitoramento, e mensal, a partir do 3º ano, tendo sido realizadas 120 campanhas.

**Tabela 1 – Parâmetros avaliados e respectivas metodologias de análise**

Parâmetros	Metodologia de Análise
Sólidos em suspensão	SME 2540 D: SOLIDS – Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 °C
Sólidos Dissolvidos	SMEWW 2540 C: SOLIDS – Total Dissolved Solids Dried at 180 °C
Sólidos Voláteis	SMEWW 2540 E: SOLIDS – Fixed and Volatile Solids Dried Ignited 550 °C
Sólidos sedimentares	SMEWW 2540 F SOLIDS – Settleable Solids Method

\*SM – *Standard Methods* (AWWA/APHA/WEF, 1998).

## DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE LÍQUIDOS LIXIVIADOS

A determinação da vazão dos líquidos lixiviados foi realizada de forma sistemática, por meio de medições diárias, a partir do encerramento das atividades de enchimento do aterro. O método empregado foi o da descarga livre.

## CONTROLE PLUVIOMÉTRICO E DADOS CLIMATOLÓGICOS

O registro das precipitações foi realizado diariamente em um pluviômetro e um pluviógrafo instalados na área da CTRS da BR-040 em Belo Horizonte. Outros dados climatológicos de interesse para o estudo foram fornecidos por outra Estação Climatológica da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, e envolveram: temperatura mínima, média e máxima do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos, pressão atmosférica e radiação solar.

## RESULTADOS

Na Figura 3 é apresentada a variação da precipitação para o período de maio de 2005 a julho de 2013. Na Figura 4 podem ser observadas as vazões diárias de líquidos lixiviados ao longo do tempo. Observa-se claramente a sazonalidade com tendência de redução das vazões.

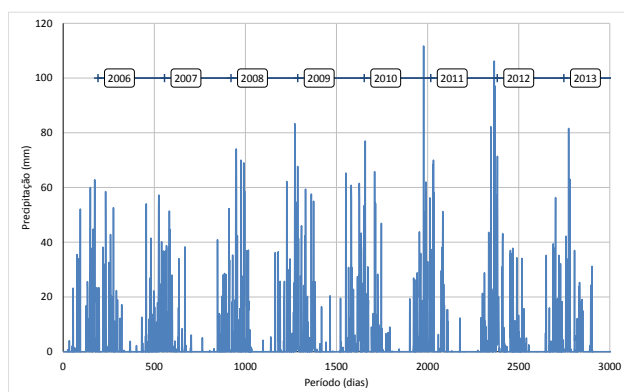


Figura 3 – Precipitação diária

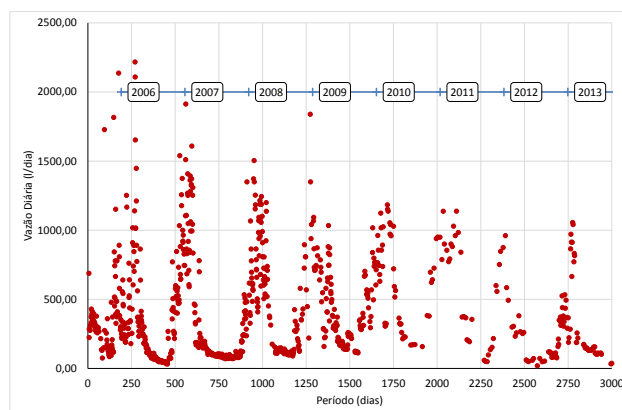


Figura 4 – Vazões diárias de líquidos lixiviados

A Figura 5 apresenta a evolução temporal da precipitação média mensal e da vazão média mensal de líquidos lixiviados. Observa-se, embora de forma qualitativa, uma relação entre as precipitações e as vazões observadas, com uma tendência de redução da relação ao longo do tempo. Da mesma forma pode ser verificado um intervalo (atraso) entre as duas séries de dados.

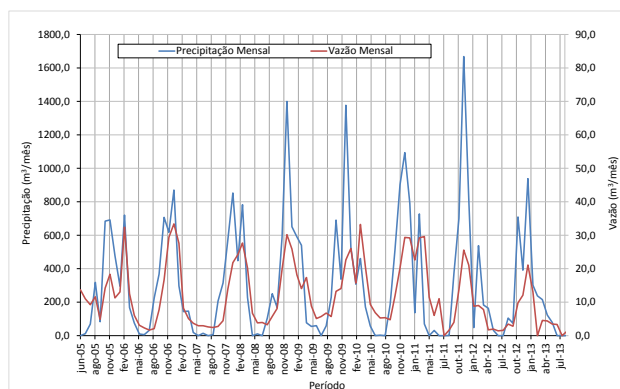


Figura 5 – Vazão média mensal de líquidos lixiviados versus precipitação média mensal

A evolução temporal da concentração de sólidos voláteis totais (STV), mostrada na Figura 6, apresenta valores elevados no início do monitoramento, indicando que a decomposição anaeróbica se encontrava em sua fase inicial, e com o passar do tempo houve uma redução destes, que pode ser notadamente observada a partir de outubro de 2005. De uma forma geral, observa-se que após 2005 os valores vêm se mantendo em uma faixa constante, sugerindo a presença de sólidos voláteis refratários.

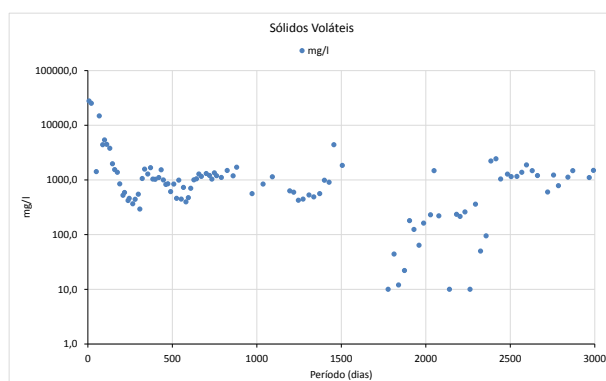


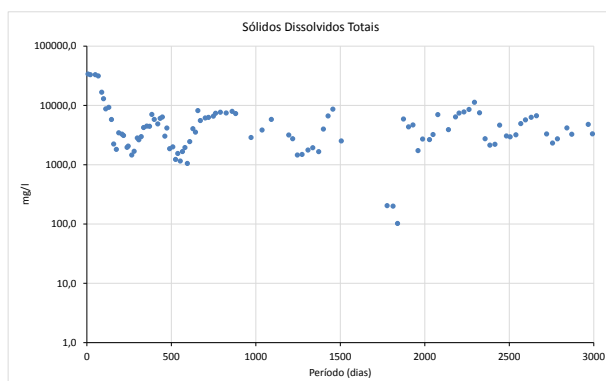
Figura 6 – Evolução temporal dos sólidos voláteis totais (STV)

É possível perceber valores altos dos sólidos dissolvidos totais (Figura 7) e sólidos em suspensão totais (Figura 8) nos primeiros meses de monitoramento, seguidos de uma redução e manutenção em uma faixa relativamente constante de valores.

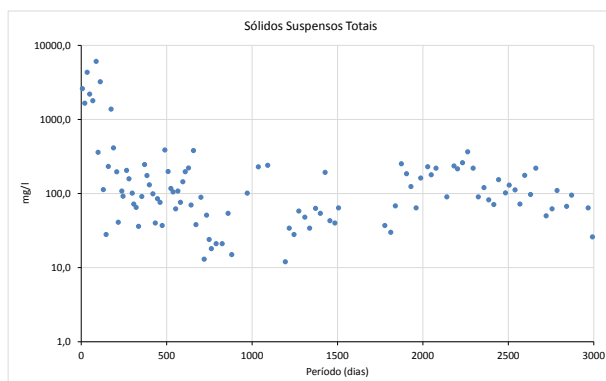


A observação de altos valores de sólidos em suspensão totais, principalmente nos períodos iniciais, pode ser devida ao carreamento de partículas de solo provenientes da camada de proteção mecânica da manta impermeabilizante e do solo utilizado nas camadas de cobertura intermediárias.

Após a redução inicial observada nas concentrações de SDT, SST e SVT, constata-se que a diferença entre a soma de SDT e SST e os SVT sugere a predominância de sólidos fixos, de origem inorgânica, nos líquidos lixiviados, provavelmente provenientes do contínuo carreamento de partículas de solo e de resíduos de construção e demolição presentes.

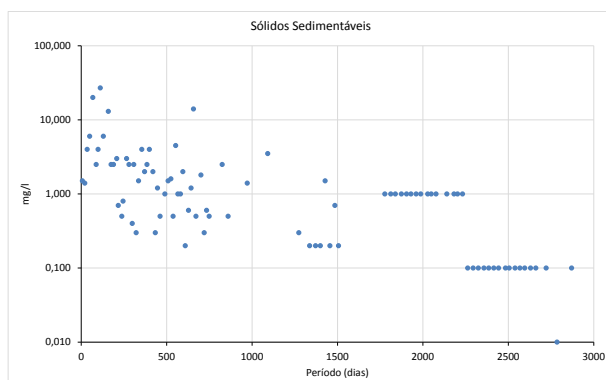


**Figura 7 – Evolução temporal dos sólidos dissolvidos totais (SDT)**



**Figura 8 – Evolução temporal dos sólidos suspensos totais (SST)**

O comportamento dos sólidos sedimentáveis, apresentado na Figura 9, diferiu dos demais sólidos, inicialmente apresentou valores baixos no início do processo, seguido de uma elevação e posterior redução.



**Figura 9 – Evolução temporal dos sólidos sedimentáveis**

Do ponto de vista de atendimento à legislação ambiental, somente os sólidos dissolvidos totais apresentam limites estabelecidos pela legislação vigente (Resolução nº 357 do CONAMA). Assim, pode-se observar a

partir do 220º dia os parâmetros encontram-se adequados para lançamento direto (sem tratamento) nos corpos d'água. Os demais parâmetros da série de sólidos não apresentam legislação vigente até a presente data.

## CONCLUSÕES

O trabalho apresentou a evolução das concentrações de sólidos nos líquidos lixiviados gerados no aterro sanitário experimental implantado na Central de Tratamento de Resíduos da BR-040 em Belo Horizonte/MG.

Confirmou-se a redução das concentrações de sólidos voláteis totais, sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais, ao longo do período de oito anos de monitoramento.

Após o período inicial de monitoramento, observa-se a predominância de sólidos fixos, que correspondem à diferença entre as concentrações de sólidos suspensos totais somados aos dissolvidos totais e os sólidos voláteis totais. Esses sólidos fixos podem estar associados à presença de materiais inorgânicos, provavelmente provenientes da lixiviação da fração de resíduos de construção e demolição presentes nos RSU aterrados e do carregamento de materiais terrosos, presentes nas camadas de proteção mecânica da impermeabilização de base e camadas de cobertura intermediárias.

Após uma redução significativa nos períodos iniciais, as concentrações de sólidos voláteis totais vêm se mantendo em uma faixa de valores relativamente constante, sugerindo a presença de sólidos voláteis refratários.

Desde o início do monitoramento até a presente data os valores referentes a série de sólidos decaíram significativamente. Os sólidos dissolvidos totais se encontram de acordo com o padrão estabelecido pela Resolução nº 357 do CONAMA.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à SLU-PBH (Superintendência de Limpeza Urbana da Prefeitura de Belo Horizonte) por todo o apoio a este estudo; à CAPES (Coordenação para o Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo contínuo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA/APHA /WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: APHA, 20th ed., 1998.
2. CATAPRETA, C. A. A. Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação. Belo Horizonte: EE-UFGM, 2008. 337 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
3. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Nota Técnica sobre tecnologia de controle - Indústria Têxtil - NT-22. São Paulo, 1992, 31 p.
4. CINTRA, I. S. Estudo da influência da recirculação de chorume cru e chorume inoculado na aceleração do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos. Belo Horizonte: EE-UFGM, 2003. 457 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
5. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2005.
6. MORAVIA, W.G. Estudos de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas. 161 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFGM), Belo Horizonte, 2007.
7. REICHERT, G. A. Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande, MS. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2005.