

### III-447 - AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS 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.

**Marina Gabrich Siqueira Rosa**

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

A disposição final de resíduos sólidos urbanos coloca-se atualmente como um grande problema aos municípios brasileiros, devido, dentre outros fatores, às exigências legais e técnicas e às condições financeiras. No Brasil, a técnica atualmente mais viável e empregada é a disposição em aterros sanitários, que engloba uma série de critérios de engenharia para minimizar os riscos e os impactos ambientais. Os aterros experimentais, implantados de forma controlada, e monitorados de forma sistemática, têm a finalidade de simular, em escala próxima à real, e procurar medidas operacionais para aumentar a eficiência da disposição dos resíduos, buscando a minimização dos impactos causados ao meio ambiente. O presente trabalho tem objetivo apresentar e discutir a evolução de alguns parâmetros biológicos e físico-químicos (ácidos voláteis, alcalinidade, cloretos, DBO, DQO, pH) presentes nos líquidos lixiviados gerados em um aterro sanitário experimental ao longo do tempo. O aterro sanitário experimental está localizado na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR-040 em Belo Horizonte/MG. Implantado entre 2004 e 2005, foram dispostas cerca de 8.600 toneladas de RSU que corresponde a cerca de 11.550 m<sup>3</sup>. Para a realização deste trabalho foram analisadas características biológicas e físico-químicas e dados de vazão de líquidos lixiviados gerados, além de índices pluviométricos correspondente a um período de oito anos de monitoramento ambiental. A partir das análises dos resultados foi possível confirmar que o pH apresentou uma evolução típica relacionada à processos de digestão anaeróbia. A elevada alcalinidade observada pode estar relacionada a alguns materiais dispostos no aterro, como o gesso, cal, cimento e outros provenientes de resíduos de construção e demolição. Quanto à matéria orgânica, foi possível confirmar a tendência de decaimento nos valores de DQO e DBO, principalmente nos períodos iniciais. De uma forma geral, o comportamento observado dos parâmetros analisados confirma os padrões sugeridos na literatura.

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

#### INTRODUÇÃO

O tratamento e a disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) configura-se como um dos principais problemas na maioria das cidades, intensificando-se nos grandes centros urbanos, devido ao grande volume de resíduos gerados e à escassez de áreas para implantação de novos sistemas de manejo, tratamento e disposição final.

Atualmente, no Brasil, a solução mais utilizada para o tratamento e a disposição final dos RSU são os aterros sanitários, que ainda se configuram como a alternativa mais viável economicamente. Para que os aterros sanitários se configurem como uma solução de fato para a minimização dos danos ao meio ambiente e à saúde pública, devem ser projetados, implantados, operados e encerrados segundo critérios de engenharia, além de possuir o acompanhamento e monitoramento adequado, à luz das tecnologias e normas existentes.

Desta forma, a disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários requer uma série de critérios operacionais, ambientais e geotécnicos, bastante complexos, devido aos mecanismos físicos, químicos e biológicos envolvidos e que influenciam diretamente o comportamento geral dos aterros (Catapreta, 2008).

Com a disposição dos RSU nos aterros sanitários, com o tempo ocorre a degradação da matéria orgânica, principalmente pelo processo de digestão anaeróbia. Um dos resultados desse processo de degradação é a formação de líquidos lixiviados. Esses líquidos apresentam, ao longo do tempo, grande variação em suas características, em função de diversos fatores tais como: características geométricas do aterro, clima (precipitação pluviométrica, temperatura etc.), composição gravimétrica, propriedades iniciais dos RSU (teor de umidade, densidade etc.), método operacional (recirculação de líquidos lixiviados, operação como bioreator), geometria e eficiência de sistemas de drenagem de líquidos e gases, utilização de técnicas de pré-tratamento dos resíduos etc.

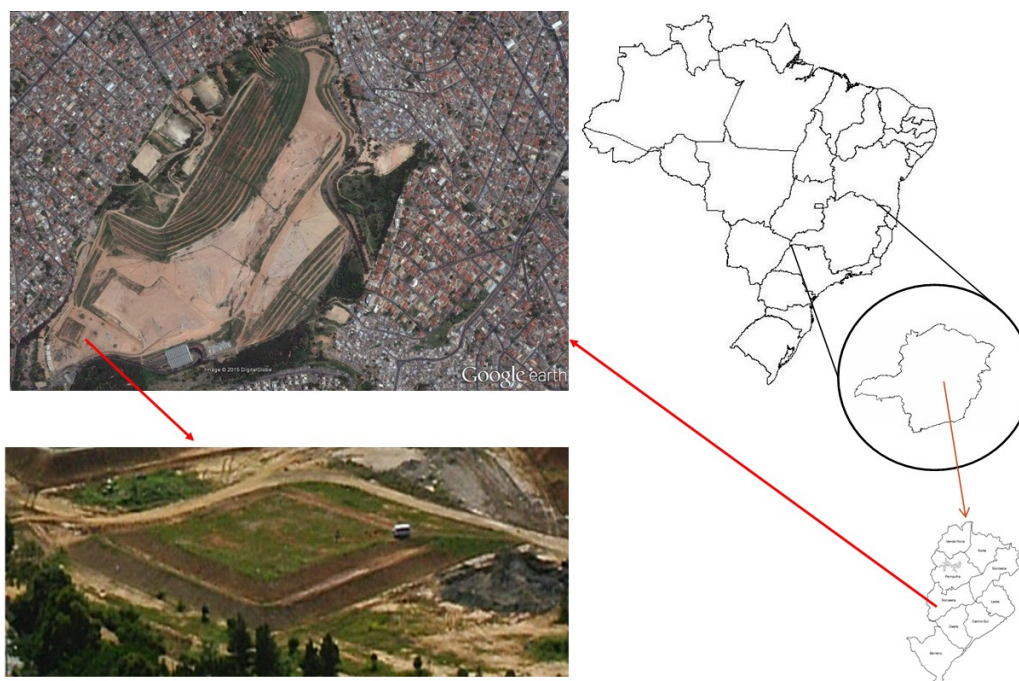
Uma alternativa para quantificar e avaliar o comportamento desses líquidos lixiviados ao longo do tempo é a execução de aterros sanitários experimentais implantados, operados e monitorados de forma controlada e em escala real.

O presente trabalho tem objetivo apresentar e discutir a evolução de alguns parâmetros biológicos e físico-químicos (ácidos voláteis, alcalinidade, cloretos, DBO, DQO, pH) presentes nos líquidos lixiviados gerados em um aterro sanitário experimental ao longo do tempo.

## 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 1 apresenta detalhes da localização do aterro sanitário experimental.



**Figura 1 – 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

As campanhas de amostragem dos líquidos lixiviados gerados no aterro sanitário experimental iniciaram-se em 30/06/2005, logo após o encerramento da disposição de resíduos. Neste trabalho, apresentam-se os resultados do monitoramento dos parâmetros: ácidos graxos voláteis, alcalinidade, cloretos, DBO, DQO e pH. São apresentados neste trabalho os resultados obtidos em aproximadamente oito anos de monitoramento. As coletas e análises físico-químicas dos lixiviados seguiram os métodos descritos no *Methods for the Examination of Water and Wastewater*, (APHA/AWWA/WEF, 1998). Até o terceiro ano as coletas foram quinzenais e posteriormente mensais. Foram realizadas aproximadamente 120 campanhas.

## 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 pluviôgrafo 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 E ANÁLISES PRELIMINARES

Na Tabela 1 é apresentada a estatística descritiva dos resultados observados e a distribuição dos resultados durante as fases da digestão anaeróbia observadas. Conforme apresentado e discutido em Catapreta (2008), o término da denominada Fase I e início da Fase II se deu por volta do 100º dia de monitoramento.

**Tabela 1 – Estatística descritiva dos resultados**

Estatística	Alcalinidade Bicarbonato		AVG		DBO		DQO		Ph	
	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
Média		6.956,43	1.336,33	427,26		436,40	49.164,71	1.159,83	6,25	7,40
Mediana		6.480,50	955,00	107,00		250,50	50.790,40	904,98	6,17	7,46
Mínimo		188,00	363,00	1,00		24,00	8.870,40	85,00	5,84	6,56
Máximo		14.956,00	3.770,00	9.538,00		5.747,00	76.536,00	13.358,00	6,84	9,30
Desvio Padrão		3.164,87	1.258,04	1.405,44		783,23	23.543,83	1.490,78	0,36	0,41
Coeficiente de variação		0,45	0,94	3,29		1,79	0,48	1,29	0,06	0,06
1º Quartil		4.945,75	590,75	1,98		124,90	36.847,36	528,79	5,99	7,06
3º Quartil		9.166,00	1.368,00	233,75		467,28	67.130,72	1.271,22	6,47	7,69
Amplitude inter-quartis		4.220,25	777,25	231,78		342,38	30.283,36	742,43	0,48	0,63

### Sistema ácido-base

O sistema ácido-base foi avaliado pelos parâmetros pH, alcalinidade e concentração de ácidos graxos voláteis (AGV). Estes três parâmetros são intimamente relacionados entre si, sendo igualmente importantes para o controle e a operação adequada dos processos anaeróbios (Chernicharo, 1997).

a) pH

A partir dos dados apresentados na Figura 2, pode-se observar que o pH dos líquidos lixiviados apresentou uma evolução típica do processo de digestão anaeróbia em aterros sanitários, onde inicialmente o pH apresenta valores abaixo da neutralidade (até o 100º dia de monitoramento, aproximadamente), caracterizando um ambiente ácido no interior da massa de resíduos. Isto ocorre em função do acúmulo de ácidos voláteis, na fase acidogênica. Posteriormente, verificaram-se valores mais elevados, com pH acima de 7, caracterizando um ambiente alcalino e indicando a transição da fase ácida para a fase metanogênica. Os valores de pH, na Fase I, permaneceram entre 5,8 e 6,8, com desvio padrão de 0,36 e média de 6,25. Durante a Fase II, iniciada no 100º dia de monitoramento, os valores situaram-se entre 6,56 e 9,3 com desvio padrão de 0,41 e média de 7,40. Os valores observados para a Fase II, não estão em conformidade com Van Handel e Lettinga (1994), que indicam valores de pH acima de 6,5, variando até próximo de 7, como ideais para o desenvolvimento da fase metanogênica da digestão anaeróbia. Do ponto de vista de atendimento à legislação ambiental pode-se observar que, à exceção de três análises, todos os demais valores situaram-se na faixa preconizada pela Resolução nº 357 do CONAMA

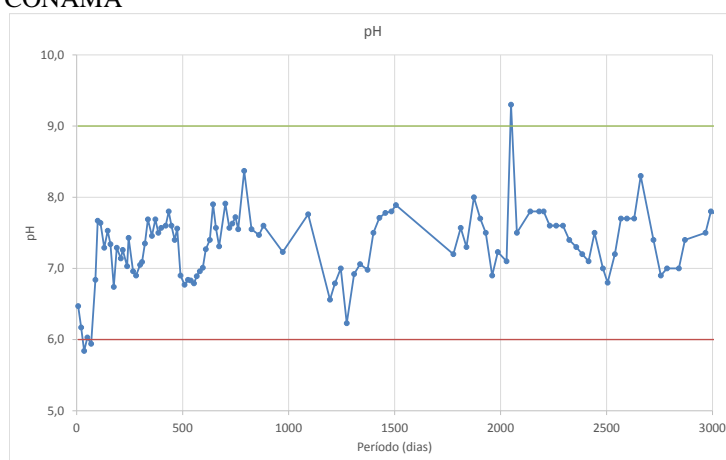


Figura 2 – Evolução temporal do pH

b) Ácidos Graxos Voláteis (AGV)

Conforme Figura 3, os valores iniciais de AGV indicaram uma alta variação entre 363 e 3.770 mg/L (Fase I). O valor médio observado foi de 1.336 mg/L. Na Fase II, os valores mínimo e máximo foram 1 e 9538 mg/L, respectivamente, com uma média de 427 mg/L. A primeira fase indicou uma elevada concentração de ácidos graxos voláteis, típica de aterros novos. Os resultados de AGV quando comparados com os de pH parecem estar coerentes, podendo ser observada uma alta concentração de ácidos no início do processo, seguido de uma queda acentuada.

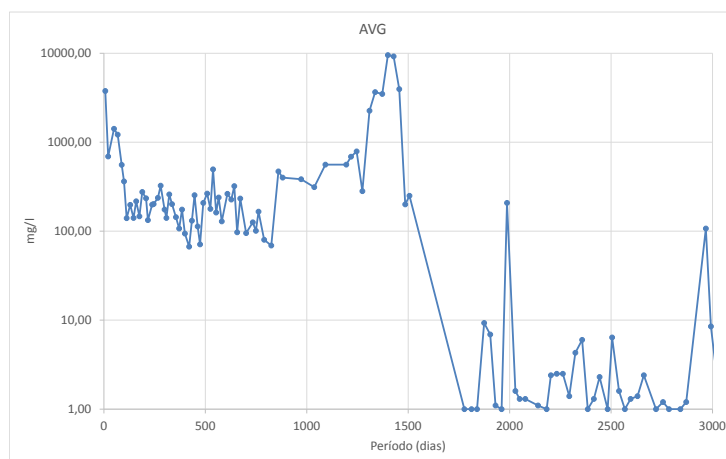


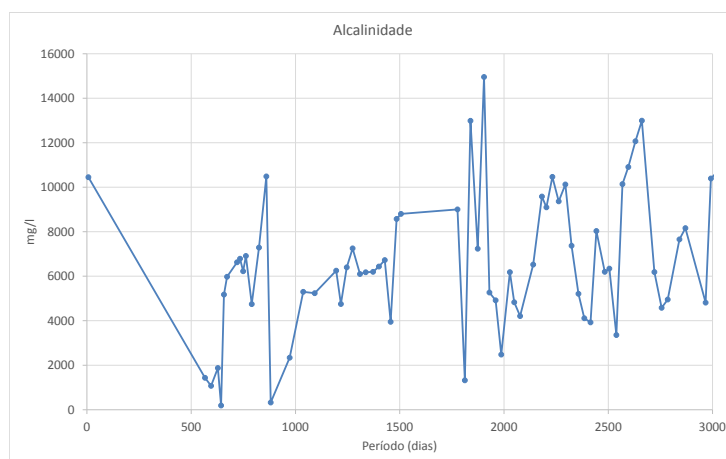
Figura 3 – Evolução temporal de AGV

Como o pH do meio é afetado pela produção de ácidos graxos voláteis, nota-se que a partir do 100º dia (início da denominada segunda fase), houve uma redução da concentração de ácidos voláteis e aumento de pH, o que pode estar indicando que estas variações estão relacionadas com o processo de digestão anaeróbia. Um comportamento inesperado, com aumento da concentração de AGV, foi observado entre os dias 1300 e 1450.

### c) Alcalinidade

Devido à capacidade de tamponamento de um meio ácido, a alcalinidade tem sido um parâmetro muito utilizado na prática do tratamento de efluentes. Na digestão anaeróbia de resíduos, a alcalinidade é importante para a manutenção do equilíbrio entre as fases de produção de ácidos e a metanogênese. Alguns autores têm sugerido que o monitoramento da alcalinidade em sistemas de digestão anaeróbia é muito mais eficaz que o monitoramento do pH, pois enquanto a escala do pH é logarítmica, a escala da alcalinidade é linear (Amaral, 2007).

Conforme mostrado na Figura 4, verifica-se que na primeira análise, realizada 7 dias após a finalização da aterragem de resíduos, a alcalinidade apresentou um valor elevado (10.450 mg/L), como era de se esperar, uma vez que, altos valores de alcalinidade bicarbonato na 1ª fase podem estar associados, provavelmente, à elevada concentração de nitrogênio amoniacal, como destacado por Felizola et al. (2006).



**Figura 4 – Evolução temporal da alcalinidade**

Na segunda fase foi observado um valor médio de 6.957 mg/L, tendo valores mínimo e máximo de 188 e 14.956 mg/L, respectivamente. Mesmo observando essa variação, verificou-se uma tendência de elevação dos valores ao longo do tempo. Análogo ao apresentado no monitoramento do pH, evidenciou-se que o sistema apresentou na fase II características alcalinas. É importante destacar que não há limite legal para alcalinidade. Deve-se considerar que a alcalinidade total é função da alcalinidade devido a bicarbonato e a ácidos voláteis. No caso dos líquidos lixiviados, e no início do processo de bioestabilização, os resíduos orgânicos produzem lixiviados com baixa alcalinidade a bicarbonato e elevada alcalinidade devido a ácidos voláteis.

À medida que o processo entra na fase de equilíbrio dinâmico, a alcalinidade a bicarbonato passa a ser mais representativa quantitativamente (Leite *et al*, 2003), embora em aterros brasileiros a alcalinidade a bicarbonato se faz presente ao longo de todo o processo.

Por fim, destaca-se que o pH alcalino e alguns tipos de resíduos contendo teores mais elevados de gesso, cimento e cal, como os de construção civil, e que foram dispostos no aterro sanitário experimental, são fonte de alcalinidade. A participação dessas possíveis fontes deve ser considerada quando da análise desse parâmetro em líquidos lixiviados de aterros sanitários operando em escala real.

### Matéria Orgânica

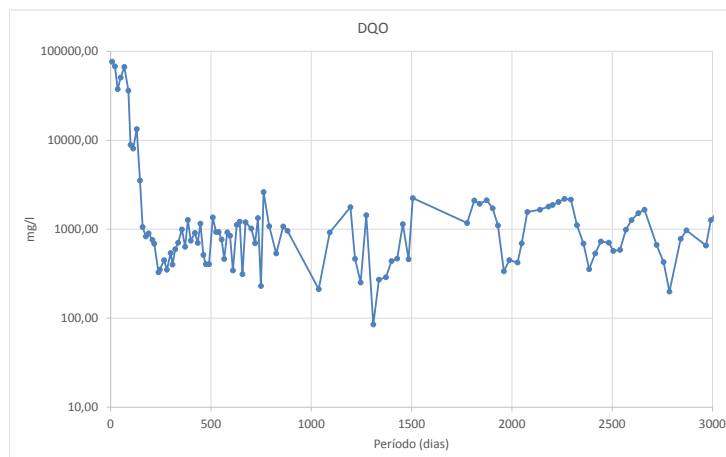
A avaliação do teor de matéria orgânica presente nos líquidos lixiviados procedeu-se por meio da avaliação da Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO5, Demanda Química de Oxigênio - DQO e da relação DBO5/DQO. Os resultados indicam comportamento variável ao longo do tempo para os parâmetros físico-químicos



relacionados à transformação da matéria orgânica (DBO<sub>5</sub>, DQO e DBO/DQO), sendo que suas concentrações são extremamente variáveis, com valores característicos de aterros mais velhos e de aterros mais novos, segundo dados da literatura.

**a) Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

Conforme mostrado na Figura 5, os valores iniciais (Fase I) da DQO apresentaram-se elevados, apresentando uma média de 49.165 mg/L e valores entre 8.870 mg/L a 76.536 mg/L, com desvio padrão de 23.543 mg/L. Esses valores elevados representam uma característica verificada em aterros novos, onde há grande disponibilidade de matéria orgânica facilmente degradável.



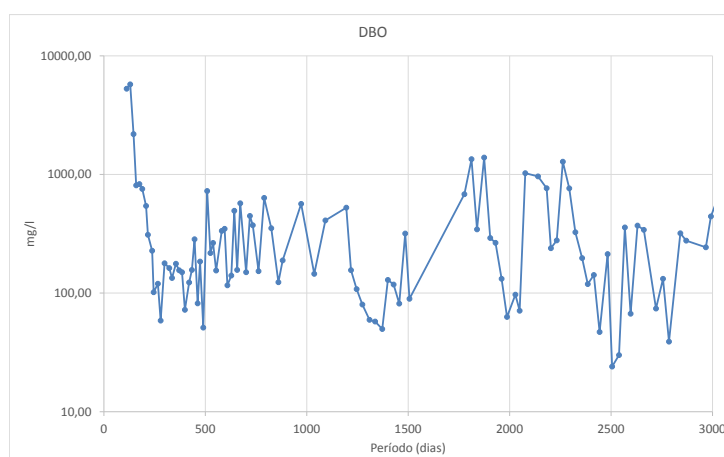
**Figura 5 – Evolução temporal da DQO**

Valores elevados também foram verificados para o aterro sanitário de Belo Horizonte, onde os resultados do monitoramento de uma Célula de aterramento contendo resíduos novos indicaram valores superiores a 40.000 mg/L (Catapreta *et al.*, 2007). O mesmo foi observado em um aterro experimental implantado pela Universidade de Caxias do Sul (Pessin *et al.*, 2003), sendo observadas DQO na ordem de 31.000 mg/L.

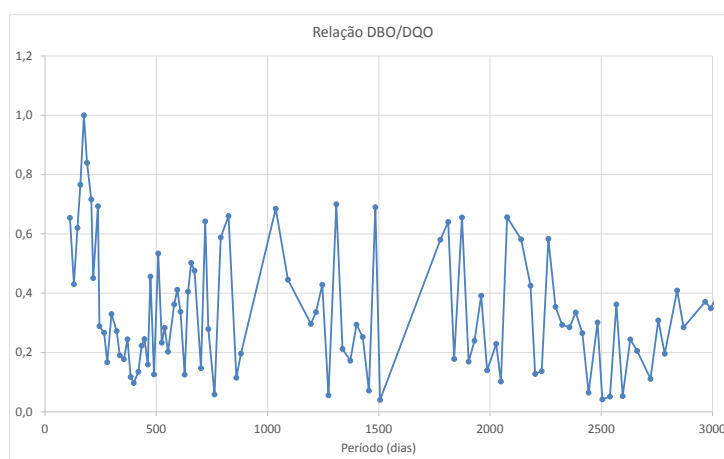
Na Fase II o valor mínimo observado foi de 85 mg/L e máximo de 13.538 mg/L, com valores médios de 1.160 mg/L. Após um decaimento significativo no primeiro ano do monitoramento, observa-se, de maneira geral, a manutenção dos valores de DQO em torno do valor médio, sugerindo a presença de materiais refratários.

**b) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

Quanto à DBO, cuja evolução temporal é apresentada na Figura 6, essa análise foi prejudicada no início do monitoramento, pelo limite de detecção do aparelho utilizado na realização das primeiras análises. Os resultados indicaram valores mais elevados nas primeiras análises, mostrando uma tendência de redução ao longo do período de monitoramento. O valor médio observado na Fase II foi de 436mg/L, com valor mínimo observado de 24 mg/L e máximo de 5.747 mg/L. Os baixos valores observados nas últimas análises, quando comparadas às iniciais, sugerem uma tendência à estabilização do aterro, assim como uma baixa degradabilidade da matéria orgânica ainda presente no aterro.



**Figura 6 – Evolução temporal da DBO**



**Figura 7 – Evolução temporal da relação DBO/DQO**

## CONCLUSÃO

O trabalho apresentou a evolução das concentrações de alguns parâmetros físico-químicos 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 DQO e DBO ao longo do período de oito anos de monitoramento. Após uma redução significativa nos períodos iniciais, as concentrações desses parâmetros vêm se mantendo em uma faixa de valores relativamente constantes, sugerindo a presença de materiais refratários.

Com relação à alcalinidade, os valores observados apresentaram grande variação com tendência qualitativa de crescimento, o que pode ser reflexo da presença de resíduos de construção e demolição presentes nos resíduos dispostos e de materiais terrosos, presentes nas camadas de proteção mecânica da impermeabilização de base e camadas de cobertura intermediárias.

## 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. AMARAL, M. C. S. Caracterização de lixiviados empregando parâmetros coletivos e identificação de compostos. Belo Horizonte: EE-UFGM, 2007. 236 p. Dissertação (Mestrado) – PPG-SMARH/UFGM, Belo Horizonte, 2007.
2. AWWA/APHA /WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: APHA, 20th ed., 1998.
3. 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) – PPG-SMARH/UFGM, Belo Horizonte, 2008.
4. CATAPRETA, C. A. A.; BATISTA, H. P.; SIMÕES, G.F. Caracterização dos líquidos lixiviados gerados em uma das células do aterro sanitário de Belo Horizonte, MG. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, 2007, Belo Horizonte, MG. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2007.
5. FELIZOLA, C. S.; LEITE, V. D; PRASAD, S. Estudo do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. In: Revista Agropecuária Técnica. v. 27, n. 1, pp.53–62, 2006.
6. LEITE, V. D.; SOUZA, J. T.; LOPES, W. S.; PRASAD, S.; ATHAYDE JÚNIOR, G.; DANTAS, A. M. Tratamento de resíduos sólidos de centrais de abastecimento e feiras livres em reator anaeróbio de batelada. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 2, pp.318-322, 2003.
7. PESSIN, N.; SILVA, A. R.; PANAROTTO, C. T. Monitoramento de aterros sustentáveis para municípios de pequeno porte. In: Armando Borges de Castilhos Junior. (Org.). Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: RiMa Editora, 2003.
8. VAN HANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento Anaeróbio de Esgoto: Um Manual para Regiões de Clima Quente. Campina Grande PB: Epgraf, 1994.