

III-158 - ANÁLISE DA EVOLUÇÃO BIOQUÍMICA DO ATERRO SANITÁRIO DA EXTREMA, PORTO ALEGRE, RS, A PARTIR DO MONITORAMENTO DO LIXIVIADO GERADO

Eduardo Fleck⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela UFRGS. Mestre e doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH/UFRGS. Engenheiro da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

Geraldo Antônio Reichert

Engenheiro Civil pela UFRGS. Mestre e doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH/UFRGS. Engenheiro da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

Arceu Bandeira Rodrigues

Engenheiro Civil pela PUC-RS. Engenheiro da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

José Link Barbosa

Engenheiro Civil pela PUC-RS. Engenheiro da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

Marcelo da Silva Hoffmann

Engenheiro Civil pela UFRGS. Engenheiro da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

Endereço⁽¹⁾: Av. Azenha, 631, sala 42 – Azenha - Porto Alegre –RS – CEP: 90.160-001 - Brasil - Tel: +55 (51) 3289.69.85 - e-mail: eduardofle@dmlu.prefpoa.com.br

RESUMO

O Aterro Sanitário da Extrema operou, com recepção de resíduos sólidos, por 5,5 anos, havendo o monitoramento da qualidade dos lixiviados se mantido durante os períodos operacional e pós-operacional. Decorridos doze anos do seu encerramento, os lixiviados, não obstante menos concentrados, ainda apresentam elevado potencial poluidor, especialmente por suas concentrações remanescentes de matéria carbonácea biodegradável e nitrogênio. A evolução bioquímica do aterro sanitário, traduzida pela evolução das características dos lixiviados produzidos, observa-se evidente, especialmente quando verificados os processos, no lixiviado, de ascensão do pH e do potencial redox, de rebaixamento do quociente DBO₅/DQO e das concentrações de metais. A partir da execução de cobertura superior utilizando argila compactada, várias concentrações apresentaram-se em declínio, o que demonstra que o efeito da diluição por águas de chuvas infiltradas, a partir de determinado momento, tem preponderado sobre o efeito de lixiviação, certamente devido ao paulatino esgotamento das espécies solúveis e outras lixiviáveis presentes nos maciços de resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário, lixiviado, resíduos sólidos, monitoramento.

INTRODUÇÃO

O Aterro Sanitário da Extrema, sito na zona extremo sul de Porto Alegre, iniciou sua operação em junho de 1997, a qual se estendeu até 31 de dezembro de 2002. Como primeira unidade de tratamento de resíduos sólidos licenciada no estado do Rio Grande do Sul, projetada e construída sob rígidos critérios de engenharia (Reichert; Dos Anjos, 1997), tanto durante os 5,5 anos de operação como após o seu encerramento o aterro contou com um sistema de monitoramento da evolução das características dos lixiviados gerados, bem como das águas superficiais e subterrâneas das áreas adjacentes. O monitoramento dos lixiviados permanece como atividade em operação até os dias de hoje, especialmente tendo-se em vista que, decorridos mais de doze anos do encerramento de suas atividades, o aterro segue produzindo lixiviado com elevado potencial poluidor.

Uma vez que as reações bioquímicas somente se processam em presença de umidade, e que o metabolismo bacteriano inicia-se a partir da geração dos produtos solúveis da hidrólise do substrato sólido por exoenzimas em meio aquoso (o próprio lixiviado), o rito de degradação dos resíduos sólidos pode ser confundido com o próprio caminho metabólico sofrido pelo lixiviado no seio do aterro, ainda que esse líquido derive da lixiviação conjunta de diferentes massas de resíduos com diferentes *idades* contadas a partir do instante de sua disposição em uma mesma célula. Neste sentido, a qualidade de um lixiviado, pensada como o reflexo do grau médio de metabolização anaeróbia dos resíduos que o geram, refletirá aspectos operacionais, como o próprio

intervalo de tempo decorrido entre a sua geração e o seu recolhimento pelo sistema de drenagem. As características verificadas, como citado, refletirão uma sobreposição de fases de estabilização conjugadas com fatores operacionais e climáticos (Arruda et al., 1995).

MATERIAIS E MÉTODOS

Durante o período operacional do aterro, compreendido como o período de efetivo recebimento de resíduos sólidos urbanos, uma extensa coleção de características serviu de base paramétrica para o monitoramento dos lixiviados: indicadores não-específicos de matéria carbonácea (DBO₅, DQO), série nitrogenada, fósforo, metais, parâmetros microbiológicos (coliformes, contagem de bactérias heterotróficas), características físico-químicas (pH, potencial redox, condutividade, alcalinidade, acidez) e outros (série sólidos, fenóis, sulfetos). Quase toda a coleção originalmente adotada em 1997 foi mantida para o monitoramento nos períodos operacional e pós-operacional. No Quadro 1 apresentam-se os parâmetros analíticos de mais ampla e perene utilização no período total de monitoramento do aterro considerado (1997-2014).

Quadro 1 – Principais parâmetros analíticos utilizados para o monitoramento do Aterro Sanitário da Extrema

Indicadores de matéria carbonácea	Metais	Série Nitrogenada / Fósforo
Demanda Química de Oxigênio Demanda Bioquímica de Oxigênio Ácidos Graxos Voláteis	Alumínio Bário Cádmio Chumbo Cobre Cromo Ferro Manganês Mercúrio Níquel Zinco	Nitrogênio Orgânico Nitrogênio Amoniacal Nitrato Nitrito Fósforo Total
Indicadores físico-químicos e indiretos		Sólidos
pH Potencial Redox Condutividade Alcalinidade		Sólidos Dissolvidos Fixos a 550°C Sólidos Dissolvidos Voláteis a 550°C Sólidos Suspensos Fixos a 550°C Sólidos Suspensos Voláteis a 550°C
Microbiológicos		Outros
Coliformes Fecais Contagem de Bactérias Heterotróficas		Fenóis Sulfetos

A sistemática de trabalho baseou-se em amostragens executadas por técnicos do Setor de Monitoramento, servidores do Departamento Municipal de Limpeza Urbana – DMLU -, e por procedimentos analíticos a cargo de laboratórios privados contratados. Os resultados analíticos têm sido, ao longo dos anos, tratados estatisticamente e analisados por responsável técnico do citado Departamento. Uma vez que todo o volume de lixiviados gerados pela biodegradação dos resíduos e pela percolação das águas de precipitação através dos maciços converge para a cota mais baixa (vide Figura 1, que apresenta o perfil esquemático do aterro), onde se encontra instalado um filtro anaeróbico de base, quer seja um leito de brita de um hectare de área e 40 cm de altura, os efluentes produzidos já dispõem de um pré-tratamento anteriormente à sua captação e encaminhamento ao tratamento final.

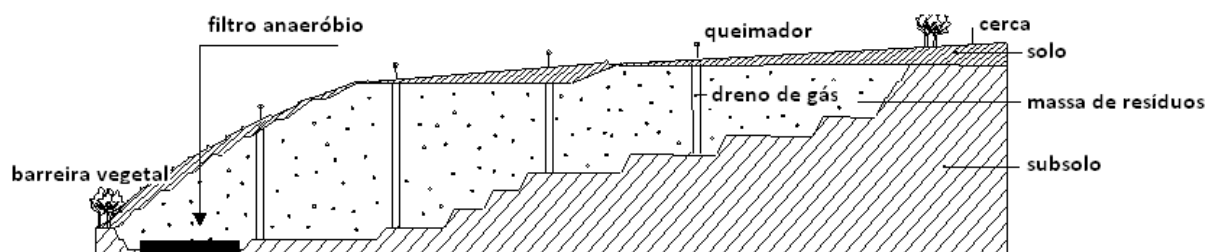


Figura 1 – Representação esquemática do perfil do Aterro Sanitário da Extrema

Fonte: Reichert e Cotrim (2000)

RESULTADOS

Em meados de 2008 foi executada a cobertura superior do aterro, utilizando argila compactada. A medida visou diminuir a permeabilidade local, desta forma minimizando a geração de lixiviados. Desta maneira, para fins do estudo, os resultados do monitoramento podem ser agrupados em três fases temporais: (a) fase operacional (1997-2002); (b) fase pós-operacional com cobertura superior parcial ou sem cobertura de argila (2003-2008) e (c) fase pós-operacional com cobertura superior final de argila (2008-...). O ingresso de águas de precipitação na massa de resíduos em degradação promove dois efeitos: (a) incremento da lixiviação das espécies solúveis contidas nos resíduos; (b) diluição. O primeiro efeito é preponderante durante a operação e algum tempo após o seu encerramento. No limiar do esgotamento das espécies solubilizáveis presentes na massa de resíduos, a diluição adquire preponderância, podendo ser esperada geração de lixiviados paulatinamente menos concentrados.

A abordagem inicial para a análise da evolução do processo de degradação bioquímica dá-se através das características físico-químicas e não-específicas. A partir da observação da evolução do pH verifica-se que este apresentou valores inferiores a 6,0 tão somente nos primeiros cinco meses de operação, o que demonstrou, como esperado, predominância do processo acidogênico no período (Lima, 1995). Ultrapassados sete meses de operação o pH convergiu para faixa superior à neutralidade, indicando que o sistema bioquímico evoluiu para a predominância das fases acetogênica e metanogênica. A fase de maior estabilidade do pH iniciou-se aproximadamente aos três anos de operação, registrando-se flutuação dos resultados em torno de 8,0. A partir desse momento a grande maioria dos resultados obtidos até o momento atual situou-se entre 7,0 e 8,0. Resultados mais elevados jamais ultrapassaram o valor 8,9.

O potencial redox, indicador da característica mais ou menos redutora do meio em digestão anaeróbia apresentou-se decrescente até os setecentos dias de operação, indicando o esperado consumo das formas oxidantes presentes no meio, aceptores de elétrons responsáveis pelas reações anóxicas, a partir de então tendendo à gradual elevação. O valor mínimo observado, às vésperas do encerramento do segundo ano de operação, foi de -463 mV. Até o findar do quarto ano de operação do aterro o potencial redox manteve-se na faixa redutora -300 – 0,0 mV, a partir de então passando a registrar valores em torno de zero. Após aproximadamente dois anos do encerramento do aterro iniciou-se predominância da condição oxidante, o que se reputa ao parcial rebaixamento da pressão dos gases produtos do processo anaeróbio e gradual ingresso de ar atmosférico pelos vazios restantes ao adensamento dos maciços de resíduos, apresentando o potencial redox resultados em geral sites entre 0,0 e +200 mV. Na Figura 2 é apresentada a evolução do pH e do potencial redox ao longo dos anos, a partir do início da operação do aterro.

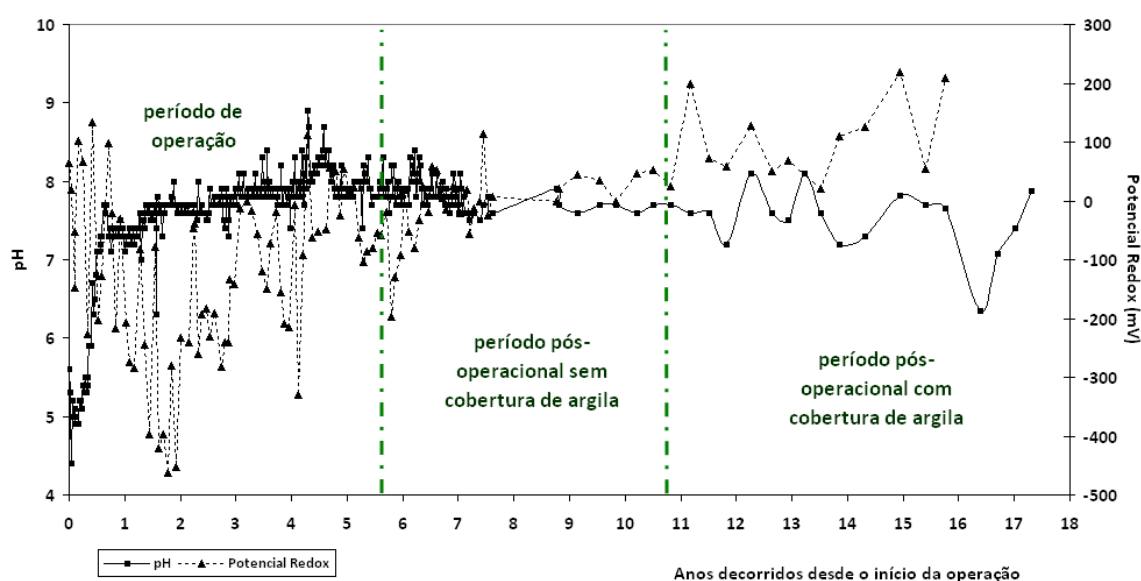


Figura 2 – Evolução do pH e do potencial redox ao longo do tempo desde o início da operação do aterro

A alcalinidade, compreendida como concentração de compostos que conferem tamponamento alcalino ao meio (Vieira; Souza, 1981) costuma apresentar-se muito elevada em lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos (Lange; Amaral, 2009). No caso do Aterro da Extrema, abstraindo-se o primeiro ano de operação em que a relação entre volume de águas de precipitação e volume de resíduos era elevada, a alcalinidade convergiu a uma faixa entre 10.000 e 14.000 mgCaCO₃/L. Embora relativamente elevada, verifica-se que para um eventual processo biológico de completa nitrificação alocado ao tratamento do lixiviado, dadas as concentrações médias de nitrogênio amoniacal presentes no mesmo efluente, no caso do Aterro da Extrema, o citado efluente ainda apresenta uma demanda média de cerca de 2,5 mgCaCO₃/L. A partir do quinto ano após o encerramento da disposição de resíduos iniciou-se processo de rebaixamento da alcalinidade do lixiviado, produzindo os resultados dos últimos oito anos uma média de 6400 mgCaCO₃/L, o que pode traduzir, em parte efeitos de diluição do lixiviado por águas de chuva, em parte o consumo de alcalinidade para estabilização dos ácidos resultantes da degradação assintótica da matéria pouco biodegradável. Na Figura 3 apresenta-se a evolução da alcalinidade ao longo do tempo a partir do início da operação do aterro.

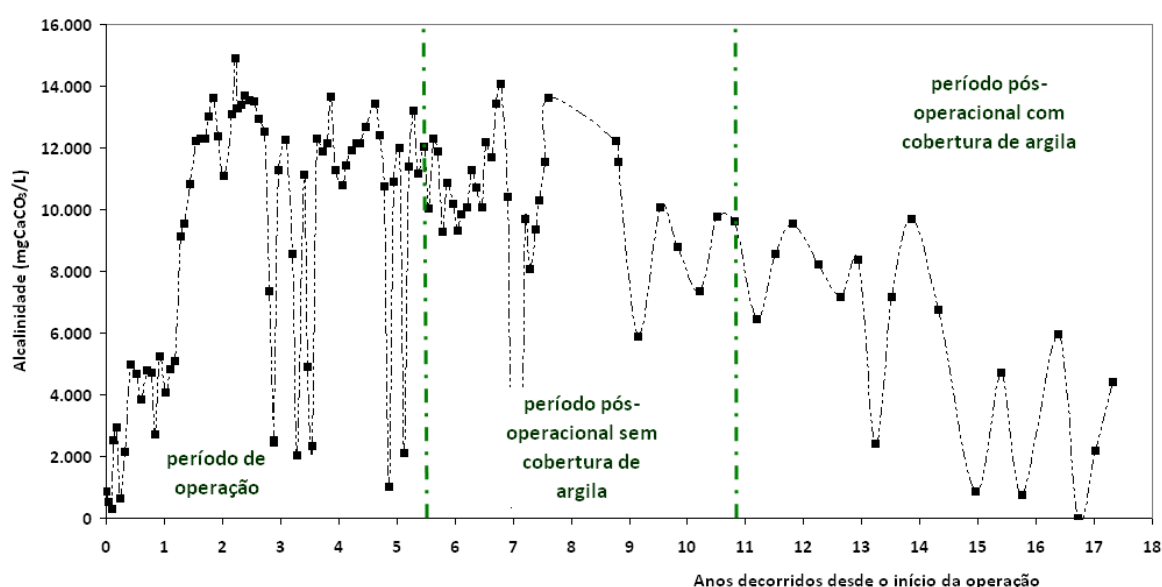


Figura 3 – Evolução da alcalinidade ao longo do tempo, desde o início da operação do aterro

As demandas de oxigênio, DBO₅ e DQO apresentaram valores relativamente elevados somente durante o primeiro ano de operação, fase em que a *idade média* dos resíduos aterrados apresentava-se ainda bastante baixa, portanto havia predominância da presença de compostos não estabilizados sobre os mais estáveis. Neste período alcançaram-se os máximos de 8520 mgDBO₅/L e 14.800 mgDQO/L. O progressivo rebaixamento da biodegradabilidade média do material em solução e suspensão nos lixiviados refletiu-se no rebaixamento da demanda química de oxigênio a uma faixa preponderante entre 2000 e 4000 mgO₂/L, no período entre dois anos de operação e sete anos de encerramento do aterro. No tocante à relação DBO₅/DQO, normalmente referida como parâmetro indicador do grau de estabilidade termodinâmica da matéria em biodegradação, do início da operação até o finalizar de 2,5 anos do período operacional a média apresentou-se em 0,6, indicando típica predominância do processo de geração de ácidos. A partir do terceiro ano de operação, até o encerramento do aterro, a relação evoluiu a valor médio próximo a 0,35, o que indica predominância da fase metanogênica (Arruda et al., 1995). Nos dois anos seguintes ao encerramento do aterro verificou-se elevação da DBO₅ e relativa estabilidade da DQO. Embora sem uma aparente explicação, uma vez que no período não houve ingresso de resíduos ao volume de controle, tal fenômeno elevou a relação DBO₅/DQO à média de 0,52, observando-se, em tal período elevação média da DBO₅ para uma DQO relativamente constante. A partir dos dois anos do encerramento do aterro iniciaram-se processos de paulatino rebaixamento da DBO₅ e da DQO dos lixiviados, restando médias de 459,25 mgDBO₅/L e 1187,5 mgDQO/L nos últimos quinze meses de monitoramento (março de 2013 – julho de 2014), situando-se a média das relações DBO₅/DQO em 0,39, em uma tendência de queda. As evoluções das demandas de oxigênio ao longo do tempo são apresentadas na Figura 4, enquanto a evolução da relação DBO₅/DQO ao longo do tempo é apresentada na Figura 5.

Ao longo do primeiro ano e meio de operação, observou-se um contínuo crescimento da concentração das formas não oxidadas de nitrogênio no lixiviado, o que indica o paulatino processo de quebra das macromoléculas protéicas abundantemente presentes na fração orgânica dos resíduos, desde a primeira amostra, coletada na segunda semana de operação, que continha 70 mgNTK/L, até o estabelecimento de uma duradoura faixa 2000 – 2600 mgNTK/L, mantida pelos dez anos seguintes o segundo, cinco e meio dos quais já pertencentes à fase pós-operacional. Do nitrogênio total de Kjeldahl presente nos lixiviados amostrados, em média, em todo o período de monitoramento apenas 7,9% apresentou-se na forma de nitrogênio orgânico. O gradual rebaixamento médio das concentrações de NTK no lixiviado apresentou-se tão somente a partir dos seis anos do encerramento do aterro, restando média de 1103 mgN/L no último ano e meio de monitoramento (março de 2013 – março de 2014). As formas oxidadas de nitrogênio mantiveram-se presentes, durante a operação e parte do período pós-operacional, em concentrações da ordem de 0-10 mgN-NO₃⁻/L e 0,0-0,2 mgN-NO₂⁻/L, observando-se gradual elevação da concentração média de nitritos após completos dez anos do início da operação, o que reflete uma diminuta taxa de nitrificação do lixiviado a partir do gradual ingresso de ar atmosférico pelos poros dos maciços do aterro restantes ao processo de adensamento. Na Figura 6 é apresentada a evolução das concentrações de NTK no lixiviado.

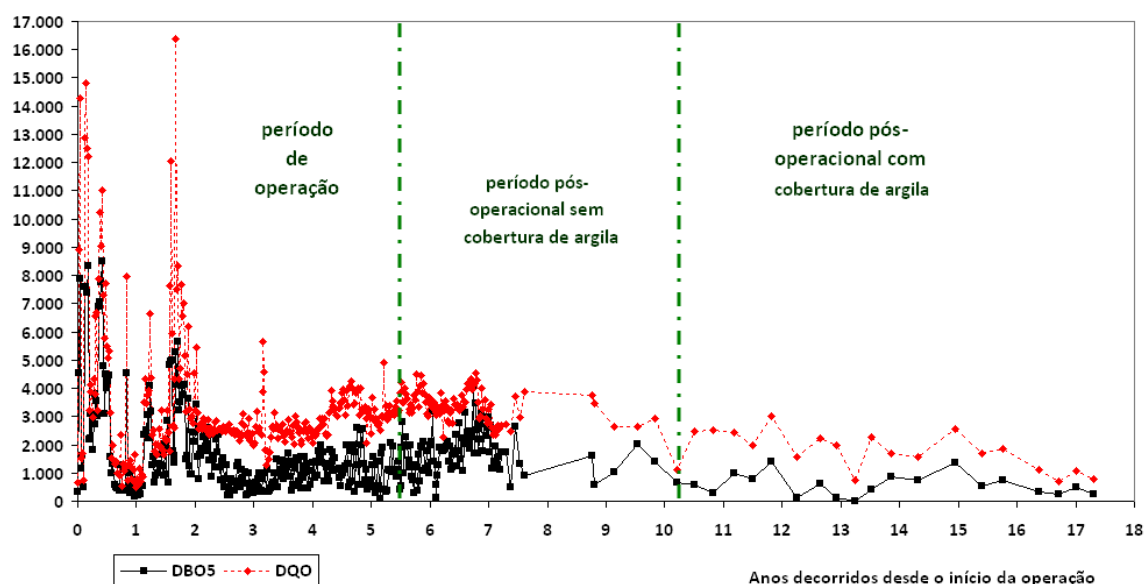


Figura 4 – Evolução das demandas química e bioquímica de oxigênio ao longo do tempo desde o início da operação do aterro

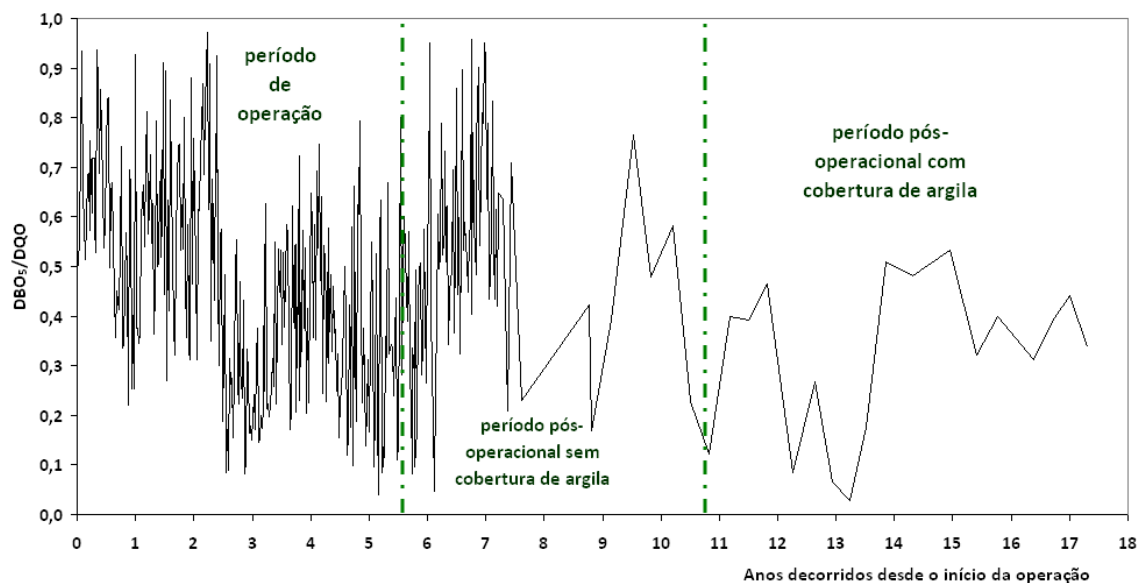


Figura 5 – Evolução da relação DBO_5/DQO ao longo do tempo desde o início da operação do aterro

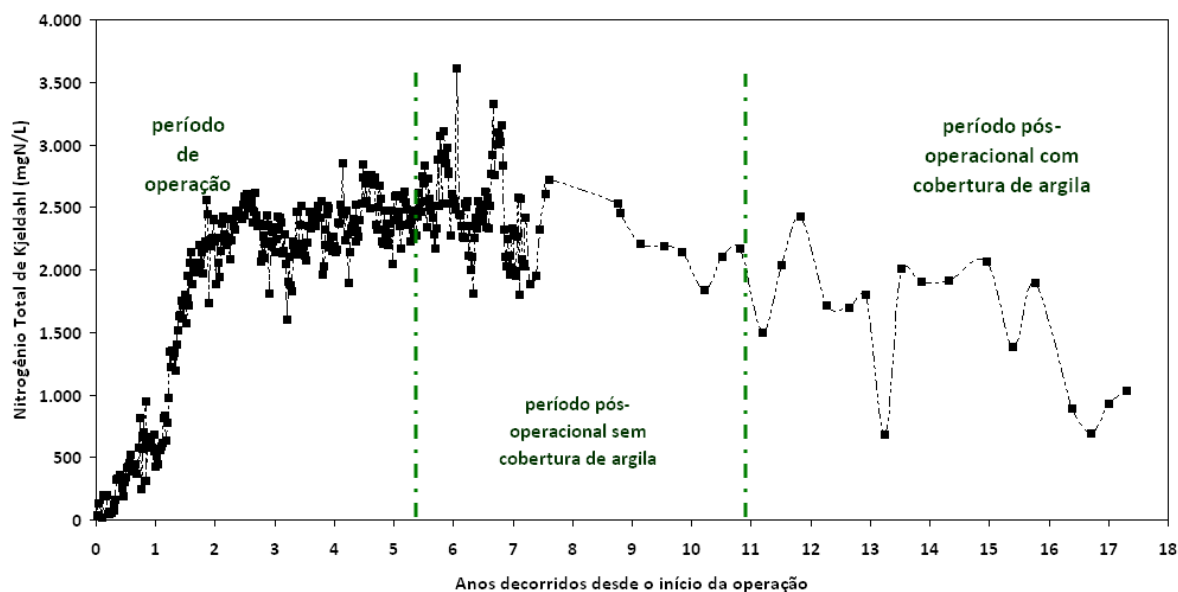


Figura 6 – Evolução do nitrogênio total de Kjeldahl ao longo do tempo desde o início da operação do aterro

O fósforo presente nos lixiviados usualmente apresenta concentrações suficientes para o bom desempenho do metabolismo anaeróbico, baseado em uma relação $DBO:N:P$ de 1000:5:1, todavia, via de regra não suficiente para um tratamento aeróbico dos lixiviados coletados, o qual requereria relação $DBO:N:P$ de 100:5:1. Essa modalidade de tratamento requereria aporte externo de fósforo, o qual, findo o mesmo tratamento, constituir-se-ia em uma nova demanda para remoção, considerado um limite para emissão de apenas 4 mgP/L e a limitação da sua absorção no lodo a ser descartado. No período operacional do Aterro da Extrema verificou-se concentração ascendente, perfazendo uma média de 12,8 mgP/L. A partir da cobertura final do aterro as concentrações apresentaram tendência de gradual queda.

O efeito de rebaixamento das concentrações de metais na fase aquosa (lixiviado) a partir da evolução bioquímica do aterro, que aduz ascensão do pH, evidenciou-se no caso do ferro e do manganês. Observaram-se concentrações muito expressivas de ambos os metais até o período de 15 meses de operação do aterro,

alcançando-se até 230 mgFe/L e 115 mgMn/L. Após 16 meses anos de operação do aterro estabilizaram-se as concentrações quase sempre abaixo do limite para emissão para ferro no estado do Rio Grande do Sul, e sempre abaixo do limite no caso do manganês. Neste momento o pH do lixiviado já se mantinha virtualmente acima de 7,0. Essa elevação do pH, decorrente da metabolização dos ácidos orgânicos voláteis e de conversão de outras formas que eventualmente conferem acidez ao sistema exerce alteração nos equilíbrios químicos, ocasionando a formação de sulfetos metálicos ou outros compostos metálicos pouco solúveis. Conforme Chernicharo (1997), cerca de 1,8 a 2,0 miligramas de metais pesados são precipitados como sulfetos metálicos pela presença de $1,0 \text{ mgS}^{-2}$. Importante efeito também associado à remoção de metais do lixiviado é o da quelação e complexação dos íons metálicos no material humificado que permanece praticamente inalterado ao longo dos anos após o encerramento de um aterro (Fleck, 2003).

Os resultados referentes ao monitoramento das concentrações de espécies metálicas podem ser comparadas com os limites para emissão vigentes no Rio Grande do Sul, estabelecidos pela Resolução nº 128 de 2006 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA). Na Tabela 1 apresenta-se uma síntese dessa comparação. Observa-se que alumínio, bário, cromo e zinco somente excepcionalmente superaram seus respectivos limites para emissão, enquanto que arsênio, cádmio, mercúrio, níquel e selênio jamais apresentaram concentrações superiores aos seus respectivos limites. Verificou-se que os metais presentes no lixiviado que constituem real demanda para tratamento são chumbo, cobre, ferro, manganês e zinco, os quais superaram os seus limites para emissão em, respectivamente, 9,9%, 7,3%, 15,2%, 11,2% e 3,9% das amostras analisadas. Tais resultados, admite-se estejam relacionados a um rígido controle efetuado, durante toda a operação do aterro, das tipologias de resíduos classificados como Classe II provenientes de geradores especiais (indústrias, prestadores de serviços e mesmo pessoas físicas) aceitas no Aterro. Para a maioria dos metais monitorados, e nas concentrações verificadas, sua remoção costuma ocorrer mesmo como efeito secundário em processos de tratamento diversos, como anaeróbios de crescimento fixo ou disperso e lodos ativados, bem como outros processos aeróbios, todos esses primariamente focados em remoções de matéria carbonácea e eventualmente de nitrogênio.

Tabela 1 – Metais monitorados no lixiviado do Aterro Sanitário da Extrema

Metal monitorado	Nop	N ⁺ op	Nposc	N ⁺ posc	Npocc	N ⁺ pocc
Alumínio (mgAl/L)	68	1,5%	34	0,0%	50	2,0%
Arsênio (mgAr/L)	3	0,0%	0	-	0	-
Bário (mgBa/L)	40	0,0%	34	2,9%	50	2,0%
Cádmio (mgCd/L)	68	0,0%	34	0,0%	49	0,0%
Chumbo (mgPb/L)	68	13,2%	34	8,8%	50	5,9%
Cobre (mgCu/L)	68	4,4%	34	11,8%	49	8,0%
Cromo Total (mgCr/L)	68	1,5%	34	2,9%	50	2,0%
Ferro Total (mgFe/L)	68	25,0%	34	8,8%	50	5,9%
Manganês (mgMn/L)	68	25,0%	34	0,0%	50	0,0%
Mercúrio (mgHg/L)	68	0,0%	34	0,0%	49	0,0%
Níquel (mgNi/L)	68	0,0%	34	0,0%	50	0,0%
Selênio (mgSe/L)	3	0,0%	0	-	0	-
Zinco (mgZn/L)	68	5,9%	34	2,9%	50	2,0%

Nop: número total de resultados no período operacional do aterro;

N⁺op: percentual de resultados no período operacional do aterro que superaram o limite para emissão;

Nposc: número total de resultados no período pós-operacional do aterro sem cobertura de argila;

N⁺posc percentual de resultados no período pós-operacional do aterro sem cobertura de argila que superaram o limite para emissão;

Npocc: número total de resultados no período pós-operacional do aterro com cobertura de argila;

N⁺pocc: percentual de resultados no período pós-operacional do aterro com cobertura de argila que superaram o limite para emissão.

O paulatino rebaixamento das concentrações de metais e nitrogênio amoniacal nos lixiviados, bem como de outras espécies iônicas ocasiona o rebaixamento da condutividade do efluente, o que se tem observado principalmente após a cobertura com argila, fato que fica evidenciado pela observação da Figura 7.

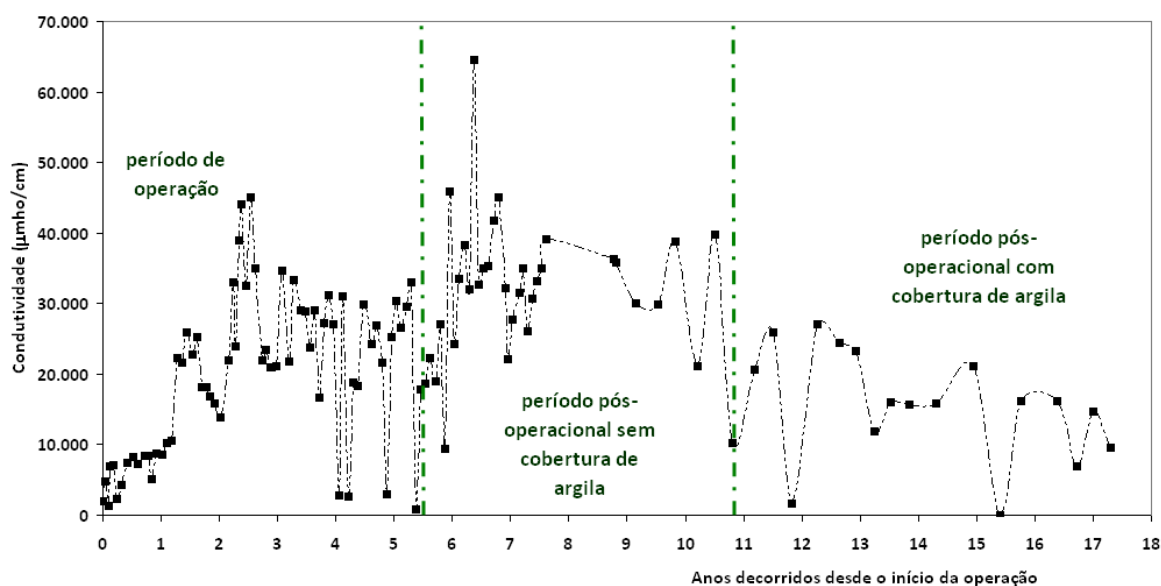


Figura 7 – Evolução da condutividade ao longo do tempo desde o início da operação do aterro

Outro efeito interessante observado foi de que tanto as contagens de coliformes fecais quanto às de unidades formadoras de colônias de bactérias heterotróficos permaneceram nas mesmas faixas, sem detecção de quaisquer tendências de ascensão ou rebaixamento entre o início da operação do aterro e os onze anos do seu encerramento. Tais contagens verificaram-se de 10^1 a 10^8 para as colônias de bactérias heterotróficas por mililitro e 10^1 a 10^3 NMP/100mL para coliformes fecais, excetuando-se, no caso desses últimos, o primeiro ano de operação do aterro, em que as contagens chegaram a 10^5 . No caso das contagens de bactérias heterotróficas, resultados predominantemente verificados na faixa 10^3 a 10^5 UFC/mL após onze anos do encerramento indicam que subsiste substrato residual para o desenvolvimento de tais organismos no aterro.

CONCLUSÕES

A observação das características dos lixiviados efluentes de um aterro conduz à estimativa das condições reinantes na própria massa de resíduos sólidos em evolução bioquímica no mesmo aterro. Observa-se, no caso do Aterro Sanitário da Extrema, que os principais metais pesados não apresentam concentrações relevantes no efluente depois de encerrada a predominância da fase bioquímica inicial.

O processo de percolação dos maciços de resíduos por águas de chuvas conduz preponderantemente ao rebaixamento das concentrações de matéria carbonácea e nitrogenada após o encerramento do aterro, por sobrepor-se o efeito da diluição ao da lixiviação. Todavia, verificou-se que, no caso do Aterro da Extrema, após uma década do encerramento as concentrações de matéria carbonácea biodegradável e nitrogênio ainda são muito relevantes e o lixiviado ainda apresenta elevado potencial poluidor.

O processo bioquímico ainda é observado como relevante após uma década do encerramento do aterro, o que se evidencia não só pela disponibilidade de substrato (DBO_5), como pelas contagens de bactérias heterotróficas, da ordem de 10^3 a 10^5 UFC/mL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARRUDA, A.C.S.; TEIXEIRA, A.E.; MANDELLI, S.M.C.; PESSIN, N.; SILVA, A.R. 1995. Estudo do comportamento de parâmetros físico-químicos relacionados ao processo de estabilização de resíduos sólidos urbanos no Sistema de Remediação de São Giacomó – Caxias do Sul – RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18. Salvador. Anais. Salvador: ABES, 1995. 10p.
2. CHERNICHARO, A.L. 1997. Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: UFMG. 245 p.

3. FLECK, Eduardo. Sistema integrado por filtro anaeróbio de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. 2003, 323 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, 2003.
4. LANGE, L.C.; AMARAL, M.C.S. Geração e Características do Lixiviado. In: GOMES, L.P. (org) PROSAB – Resíduos Sólidos: Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 360p.
5. LIMA, L.M.Q. 1995. Lixo: Tratamento e biorremediação. 3ª Ed. São Paulo: Hemus. 265p.
6. REICHERT, G.A.; DOS ANJOS, I. 1997. Aterro Sanitário da Extrema, Porto Alegre: concepção de projeto. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. ABES, 1997, Foz do Iguaçu, PR. p. 1852-63.
7. REICHERT, G. A.; COTRIM, S. L. S. 2000. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário realizado em filtro anaeróbio em leito de brita construído sob o aterro: Concepção de projeto. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. ABES, 2000, Porto Alegre, RS. p. 1-6.
8. VIEIRA, S.M.M.; SOUZA, M.E. 1981. Métodos analíticos para acompanhamento da biodigestão. Energia, Vol. III, n. 15, Julho-Agosto, 1981. p.26-36.