



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

III-040 – IMPLANTAÇÃO DE DUAS CÉLULAS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: PLANO DE MONITORAMENTO COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS

Neide Pessin⁽¹⁾

Bióloga. Mestre em Engenharia Civil na área de Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Doutoranda em Biologia Ambiental pela Universidade de Leon, Espanha. Professora do Departamento de Engenharia Química e pesquisadora do Instituto de Saneamento Ambiental – ISAM da Universidade de Caxias do Sul.

Cláudia Teixeira Panarotto

Bióloga. Mestre em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos e Saneamento pela UNICAMP. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de Sherbrook, Canadá. Professora do Departamento de Engenharia Química e diretora do Instituto de Saneamento Ambiental – ISAM da Universidade de Caxias do Sul.

Janaína Ribeiro Velho

Graduando em Engenharia Ambiental pela UCS, Bolsista ITI/CNPq

Juliano César Rizzi

Graduando em Engenharia Ambiental pela UCS, Bolsista ITI/CNPq

Kiara Chies Franzoloso

Graduando em Engenharia Ambiental pela UCS, Bolsista ITI/CNPq

Endereço⁽¹⁾: Rua Moacir Felliciano Braghirolli, 136 Bairro Planalto Cep 95080-290 – Caxias do Sul/RS ou Universidade de Caxias do Sul - Instituto de Saneamento Ambiental. Caixa Postal 1352 CEP 95001-970 – Caxias do Sul- RS - Fone: 54-2182507 ou 2121133 Ramal:2509



npessin@ucs.br

RESUMO

O referido estudo visa apontar indicadores do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos domésticos confinados em células de aterramento, bem como elencar diretrizes para a elaboração de um plano de monitoramento para sistemas de disposição de pequeno porte. Foram implantadas duas células de aterramento de resíduos sólidos com distintas formas de impermeabilização e selamento superior: uma com solo natural (solo argiloso) e a outra com manta de polietileno de alta densidade. Essas células foram implantadas com sistemas de drenagem e captação de lixiviados, drenagem de gases, drenos-testemunho, sistemas de impermeabilização e sistema de cobertura. Na área em que as células foram implantadas instalaram-se três piezômetros de monitoramento das águas sub-superficiais, um a montante e dois a jusante, com o intuito de monitorar a qualidade destas águas na área de influência das células. Os resíduos dispostos foram provenientes de dois bairros da cidade de Caxias do Sul/RS, sendo que cada célula recebeu aproximadamente 35 toneladas de resíduos com 58% de matéria orgânica putrescível. A análise dos dados obtidos em ambas as células, após 800 dias de disposição, permite afirmar que a composição química e a variação dos lixiviados gerados, correspondem a fase metanogênica do processo de estabilização dos resíduos dispostos.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos sólidos urbanos, digestão anaeróbia, aterro sanitário, lixiviados, monitoramento.

INTRODUÇÃO

A disposição final na forma de aterro sanitário necessita de uma série de aspectos de projeto e operação, de modo a minimizar ao máximo os impactos ambientais decorrentes da fase de implantação, operação e encerramento. O aterro sanitário deve constituir-se, entre outros aspectos, de sistema de drenagem superficial, sistema de drenagem e remoção de lixiviados, sistema de lixiviados, impermeabilização inferior e superior e sistemas de drenagem de gases. No Brasil, observa-se que a maioria dos aterros de resíduos não possuem critérios de implantação, operação e de monitoramento ou, simplesmente, os gestores públicos não os adotam, dificultando, desta forma, a caracterização dos lixiviados e gases gerados no processo de estabilização dos resíduos. Pessin et al. (1997) e Pessin et al. (2000) apresentam dados relativos ao monitoramento de um aterro sanitário, ressaltando a importância do acompanhamento do processo de degradação dos resíduos para a adoção de ações de intervenção técnica no sistema de aterramento.

O aterramento de resíduos sólidos no solo constitui-se num dos métodos mais antigos de disposição final dos mesmos, sendo que no Brasil esta forma de destinação final ainda é a mais utilizada. Segundo os dados disponíveis no Brasil (IBGE, 2002) indicam que apenas 30,3% dos sistemas de disposição final de resíduos são formas sanitariamente adequadas de aterramento de resíduos. Para verificar as dificuldades que representa a dispersão geográfica em termos de focos de poluição relativa a produção de resíduos no municípios brasileiros, aproximadamente 73% destes apresentam população até 2.000 habitantes (IBGE, 2002)

Neste sentido, a Universidade de Caxias do Sul participou da rede de pesquisa do PROSAB Edital III – Tema III desenvolvendo um projeto voltado ao estudo de alternativas viáveis, sob os aspectos técnico e econômico, para a disposição de resíduos sólidos urbanos nos municípios de pequeno porte. Nesse sentido, foram implantadas na Cidade Universitária, duas células de aterramento de resíduos sólidos, visando avaliar diferentes tipos de impermeabilização, com vistas a monitorar o processo de digestão dos resíduos nestas células e correlacionar a influência da cobertura final nas mesmas. Em uma das células foi utilizada impermeabilização natural (solo argiloso), e na outra impermeabilização sintética (PEAD) no fundo, lateral e topo. Os resíduos dispostos em ambas as células foram obtidos da coleta regular de dois bairros residenciais da cidade de Caxias do Sul/RS, escolhidos com base nos dados de eficiência do processo de segregação dos resíduos na fonte. Cada célula recebeu em média 35 toneladas de resíduos sólidos e foram implantadas com sistema de drenagem e captação de lixiviados, drenagem de gases, dreno-testemunho, sistema de impermeabilização de fundo e lateral e cobertura final. No local em que as células foram implantadas, instalaram-se três piezômetros de monitoramento das águas sub-superficiais, um a montante e dois a jusante, com o intuito de monitorar a qualidade destas águas na área de influência das células.

Ambas as células foram monitoradas em relação a geração quali-quantitativa dos lixiviados e caracterização dos resíduos aterrados, com vistas a avaliação do grau de estabilização da matéria orgânica aterrada. Ainda, foram realizadas inspeções semanais dos drenos-testemunho e amostragens mensais das águas dos piezômetros instalados na área de influência das células. No presente estudo estão apresentados alguns dados reativos ao monitoramento das células implantadas e a discussão a respeito do plano de monitoramento adequado para sistemas de disposição de pequeno porte.

Quanto ao plano de monitoramento deve ser elaborado em função da concepção do projeto do aterro, do contexto geológico, geográfico e econômico-social da área de influência, bem como de exigências legais dos Órgãos de Controle Ambiental (O.C.A.). Neste contexto, a elaboração do monitoramento será dependente do uso da área, ou seja, se é um projeto de remediação ou um aterro novo. No caso de um projeto de remediação, o plano de monitoramento terá a função primordial de verificar se as medidas mitigadoras de impactos já ocasionados estão sendo suficientes para a melhoria da qualidade ambiental da área. Se for um aterro em área nova, o monitoramento servirá de controle para evitar impactos ambientais, conforme preconiza o seu próprio conceito (Pessin, 2003).

O fato dos impactos e riscos ambientais associados aos aterros de resíduos estarem relacionados à produção e migração de biogás e lixiviados e à instabilidade da massa de resíduos, estabelece que o foco principal do plano de monitoramento deva ser o estudo destes aspectos. Os métodos empregados no monitoramento de aterros são agrupados em duas categorias: os que necessitam de amostragem e os que não necessitam de amostragem. Nos métodos que necessitam de amostragem, em geral, as análises das amostras são realizadas em laboratórios localizados fora da área do aterro, portanto requerem o emprego de técnicas de preservação e armazenamento de amostras. Nos métodos que não necessitam de amostragem, utilizam-se técnicas de medições realizadas *in loco*, estas técnicas detectam alterações físicas ou químicas no meio como função de grandezas físicas indiretas, exemplos disto são os métodos geofísicos de sondagem elétrica vertical (SEV), baseados em medidas de resistividade elétrica e utilizados para detectar as variações da concentração de sais em águas do subsolo e as alterações dos substratos geológicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Concepção de implantação das células-piloto de aterramento

Os estudos preliminares a fim de realizar a caracterização geotécnica e litológica da área já foram apresentados por Pessin et al. (2002a). A implantação das células seguiu basicamente a concepção apresentada por Pessin et al. (2002a), sendo que a célula denominada C1 foi totalmente impermeabilizada no fundo, lateral e topo com solo argiloso, e a célula denominada C2 foi impermeabilizada no fundo, lateral e topo com manta sintética (manta de polietileno de alta densidade – PEAD).

Levantamento quali-quantitativo dos resíduos e preenchimento das células experimentais.

Para o preenchimento das células foram utilizados resíduos procedentes de um bairro residencial da cidade de Caxias do Sul – RS, setor este privilegiado pela sistema de coleta diferenciada municipal. Para a obtenção do total de resíduos dispostos em cada célula, foi realizada a pesagem e controle de todas as cargas. Após procedeu-se a determinação da composição gravimétrica dos resíduos, conforme metodologia de amostragem apresentada por Pessin et al. (2002a). Os resíduos foram descarregados em cada uma das células, espalhados e compactados manualmente utilizando-se de soquetes. Cabe observar, que as células foram preenchidas entre o período de 24 a 31 de maio de 2001, e receberam um montante de aproximadamente 35 toneladas de resíduos.

Monitoramento do processo de estabilização dos resíduos dispostos nas células - monitoramento dos lixiviados

As amostras de lixiviados foram coletadas nos poços de captação interligados às redes de drenagem de cada célula de aterramento. Estes poços foram instalados com vistas ao armazenamento temporário destes líquidos. As amostragens dos lixiviados gerados em cada célula foram realizadas no respectivo poço de captação, a partir de junho de 2001, com frequência semanal de coleta. Estas amostras foram coletadas com o auxílio de uma garrafa coletora e acondicionadas em garrafas plásticas previamente lavadas com solução de ácido clorídrico e água destilada. As análises foram desenvolvidas junto ao Laboratório de Saneamento do Instituto de Saneamento Ambiental da Universidade de Caxias do Sul. Os parâmetros determinados foram os seguintes: pH, alcalinidade, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), cloretos, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e ácidos orgânicos voláteis. Os metais cádmio, cromo, ferro, chumbo e zinco, foram parâmetros determinados mensalmente. Os procedimentos analíticos utilizados para o desenvolvimento dessas análises foram os mesmos recomendados por Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA & WPCF, 1998).

RESULTADOS

Conforme já apresentado por Pessin et al. (2002a) e Pessin et al. (2002b) cada célula experimental recebeu em média 35 toneladas de resíduos sólidos, sendo que em ambas, os percentuais médios correspondentes às composições gravimétricas foram obtidos a partir de quatro amostragens nos resíduos dispostos. O teor de umidade dos resíduos aterrados em ambas as células foi de 50%. Cabe observar que para a célula C1 (argila) do total de resíduos aterrados, 56,7% constitui-se de matéria orgânica putrescível e 6,7% de papel/papelão. Já na célula C2 (PEAD) 58,7% de matéria orgânica putrescível e 7,4% de papel e papelão.

Quanto ao acompanhamento do processo de degradação anaeróbia dos resíduos, foram monitorados os índices pluviométricos semanais, bem como as temperaturas médias de cada período. Os resíduos foram dispostos em ambas as células há aproximadamente 800 dias, com um intervalo de selamento de uma célula para outra de 8 dias. A geração de lixiviados nas células experimentais iniciou aos 50 e 30 dias de aterramento nas células C1 e C2, respectivamente.

É importante destacar que a fase de operação de um aterro é caracterizada pela disposição de resíduos na área, geração de lixiviados, geração de biogás e controle tecnológico do sistema. Um sistema de disposição final de resíduos deve prever a instalação de elementos para a captação, armazenamento e, quando necessário, tratamento dos lixiviados e do biogás. Estes elementos são de extrema importância para o monitoramento, pois é a partir deles que as coletas poderão ser realizadas, permitindo acompanhar a evolução do processo de degradação. A produção de lixiviados em aterros sanitários é consequência do teor de umidade dos resíduos e do contato entre os resíduos e a água. O contato entre as águas pluviais e os resíduos dispostos no aterro, aumenta significativamente a geração de lixiviados, portanto, é imprescindível que estas águas sejam desviadas da área de disposição de resíduos antes do início da operação do aterro. Uma vez captados, os lixiviados podem ser removidos do aterro, armazenados, tratados e descartados.

Os lixiviados podem conter substâncias extraídas dos resíduos, assim como substâncias produzidas por reações

químicas e pela ação biológica no interior do aterro. A composição dos lixiviados de aterros de resíduos urbanos varia amplamente à medida que o processo de degradação biológica evolui.

Os lixiviados de aterros jovens, nos quais predomina a fase ácida do processo de estabilização dos resíduos, apresentam elevadas concentrações de sólidos dissolvidos e matéria orgânica, além de traços de substâncias perigosas provenientes de alguns componentes dos resíduos urbanos. Assim, a fase inicial da operação de aterros pode tornar-se um período extremamente crítico do ponto de vista de emissões de poluentes, caso os sistemas de drenagem de águas pluviais e de contenção de lixiviados não estejam concluídos. Além disso, à medida que o processo de degradação biológica evolui, as concentrações de matéria orgânica, sólidos dissolvidos e outros componentes diminuem significativamente.

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os intervalos de variação de alguns parâmetros monitorados nos lixiviados gerados nas células-piloto de aterramento, durante o período de 2001 a 2003. Nota-se a ampla faixa de variação observada para a maioria dos parâmetros monitorados nos lixiviados gerados durante um período de aproximadamente 800 dias.

Tabela 1: Intervalos de variação dos parâmetros monitorados nos lixiviados gerados na célula C1, no período junho de 2001 a maio de 2003, e respectivos padrões de emissão segundo legislação estadual Portaria 01/89-SSMA/RS.

Parâmetros monitorados nos lixiviados da Célula C1	Intervalos Observados		Padrões de Lançamento – Portaria 01/89 SSMA/RS
	Mínimo	Máximo	
pH	5,3	8,0	entre 6,0 e 8,5
D.Q.O (mgO ₂ /L)	110,0	31.510,0	=450,0
D.B.O (mgO ₂ /L)	52,0	19.170,0	=200,0
Nitrogênio Total (mg/L)	135,0	474,0	10,0
Cádmio (mg/L)	<0,01	<0,01	0,1
Cromo (mg/L)	0,01	0,19	0,5
Chumbo (mg/L)	0,01	0,07	0,5
Ferro (mg/L)	5,12	632,5	10,0
Zinco (mg/L)	0,17	0,84	1,0

Tabela 2: Intervalos de variação dos parâmetros monitorados nos lixiviados gerados na célula C2, no período junho de 2001 a maio de 2003, e respectivos padrões de emissão segundo legislação estadual Portaria 01/89-SSMA/RS.

Parâmetros Monitorados Célula C2	Intervalos Observados		Padrões de Lançamento – Portaria 01/89 SSMA/RS
	Mínimo	Máximo	
pH	4,5	7,1	entre 6,0 e 8,5
D.Q.O (mgO ₂ /L)	500,0	23.900,0	=450,0
D.B.O (mgO ₂ /L)	262,0	11.100,0	=200,0
Nitrogênio Total (mg/L)	99,0	351,0	10,0
Cádmio (mg/L)	<0,01	0,004	0,1
Cromo (mg/L)	0,01	1,22	0,5
Chumbo (mg/L)	0,04	29,0	0,5
Ferro (mg/L)	41,7	267,0	10,0
Zinco (mg/L)	0,09	6,3	1,0

Quanto ao comportamento do processo de degradação dos resíduos sólidos dispostos na C1 e C2, nas Figuras 1, 2 e 3

estão apresentados alguns dos parâmetros físico-químicos determinados a partir dos lixiviados gerados ao longo do tempo de aterramento nas células C1 (argila) e C2 (PEAD), respectivamente. De modo geral, as concentrações dos parâmetros monitorados diminuem ao longo do tempo conferindo aos lixiviados um menor potencial poluidor.

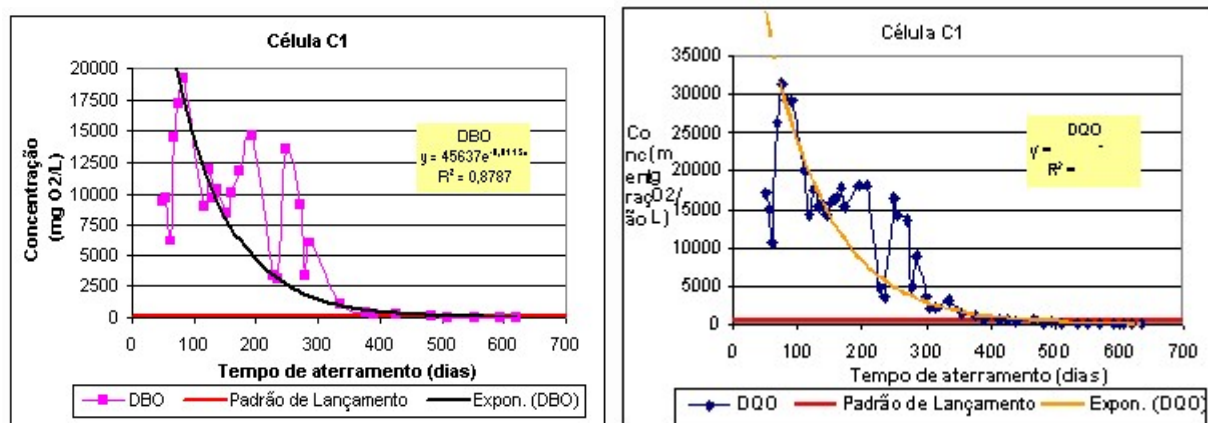


Figura 1 : Monitoramento de lixiviados do aterro experimental implantado pela Universidade de Caxias do Sul – Curvas de variação e de tendência da concentração de DQO e DBO, ao longo do tempo de aterramento dos resíduos (Fonte: Pessin et al.,2003).

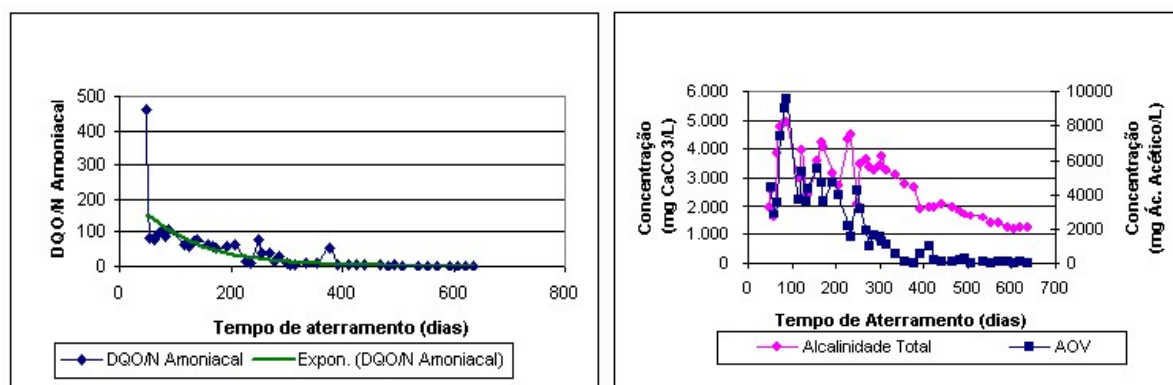


Figura 2 : Monitoramento de lixiviados do aterro experimental implantado pela Universidade de Caxias do Sul - Curvas de variação e de tendência da relação DQO/Nitrogênio Amoniacal e curva variação da concentração de Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) e Alcalinidade Total, ao longo do tempo de aterramento dos resíduos (Fonte: Pessin et al., 2003).

Nas figuras apresentadas, pode-se avaliar o comportamento dos lixiviados das células C1 e C2, ao longo do tempo de aterramento. É pertinente a comparação do processo de degradação entre as células implantadas, uma vez que a célula C1 foi totalmente impermeabilizada com argila e a célula C2 impermeabilizada com PEAD, fato que influenciou diretamente, no contingente de água que entrou em contato com os resíduos, e por consequência na composição dos lixiviados gerados.

Com base nos dados apresentados, pode-se constatar que a variação das concentrações de compostos nos lixiviados ao longo do tempo é muito similar nas duas células implantadas, ou seja, as principais oscilações nas concentrações se deram no mesmo período de tempo, porém apresentando intervalos de grandeza distintos. Os lixiviados gerados pela célula C1 caracterizaram-se por apresentar teores de DQO, DBO, alcalinidade, ácidos orgânicos voláteis, sólidos totais, entre outros, superiores aos teores obtidos nos lixiviados da célula C2. Além disso, o intervalo de variação do pH também apresentou-se distinto, sendo mais elevado para a célula C1. Assim, através da observação dos dados obtidos para ambas as células, pode-se observar que a composição química e a variação dos lixiviados gerados em 800 dias correspondem a fase metanogênica do processo de estabilização dos resíduos dispostos.

A diferenciação das fases também pode ser observada por meio da relação DBO:DQO, relação que quando aplicada minimiza os efeitos de diluição causados pela infiltração de água. O valor de referência DBO:DQO=0,4 define a mudança de fase, sendo que valores acima de 0,4 refere-se a fase acidogênica e inferiores a 0,4 indica a predominância

da fase metanogênica (Robinson, 1989). Para as células implantadas percebe-se claramente a fase metanogênica do processo de degradação dos resíduos, e valores muito semelhantes para ambas as células, conforme pode ser observado na Figura 3.

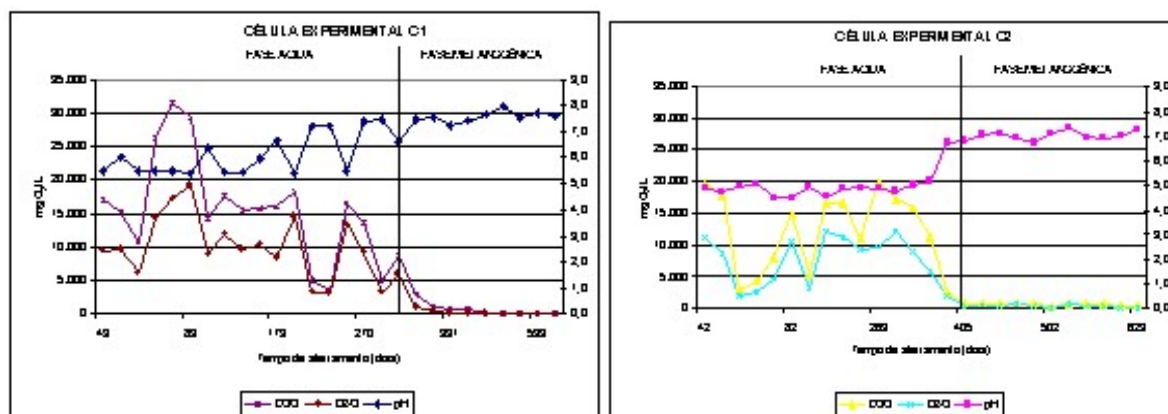


Figura 3 : Variação da concentração de DQO, DBO e pH nos líquidos gerados nas células C1 e C2, ao longo do tempo de aterramento dos resíduos e caracterização das fases do processo de degradação biológica dos resíduos dispostos.

Considerando, que as duas células-piloto apresentam diferenças construtivas quanto ao material utilizado para impermeabilização, e inseridas as curvas de comportamento da concentração de matéria orgânica, expressa como DQO e DBO dos líquidos lixiviados das duas células-piloto em um único gráfico, pode-se observar intervalos de mudança de fase para cada célula. A mudança da fase ácida para a fase metanogênica na célula C2 ocorreu aproximadamente 80 dias depois da mudança de fase da célula C1. Nota-se também, que a célula C1 apresentou valores de DQO superiores aos observados na célula C2, sugerindo que o material de impermeabilização utilizado interferiu no processo de degradação biológica dos resíduos, no que diz respeito a solubilização dos materiais aterrados.

CONCLUSÕES

A execução de planos de monitoramento de sistemas de disposição final de resíduos sólidos tornou-se uma exigência dos órgãos de controle ambiental brasileiros, com o objetivo de melhorar a qualidade dos sistemas. A prática do monitoramento fornece aos gestores uma excelente ferramenta de avaliação, pois permite conhecer o sistema adotado, seu desempenho, sua eficácia na manutenção da qualidade ambiental, suas potencialidades, limitações e deficiências. Em suma, o monitoramento fornece as informações necessárias para a proposição de medidas corretivas com o objetivo de atingir os resultados esperados.

A evolução dos processos biológicos que ocorre no interior do aterro, bem como a idade, a composição dos resíduos dispostos e o tipo de cobertura final, influenciam nas características do lixiviado. Os valores para os parâmetros físico-químicos monitorados nos lixiviados indicaram a degradação da matéria orgânica em ambas as células-piloto. Provavelmente, a diferenciação do processo de digestão anaeróbia nas células relaciona-se à influência do tipo de cobertura final, fato que implicou no contingente de águas a infiltrar, e consequentemente na solubilização dos materiais dispostos.

A fase metanogênica na célula C2 iniciou 80 dias após o início da mesma fase na Célula C1, o que pode ser verificado nas curvas de evolução do processo de estabilização dos resíduos dispostos. Comparando-se o grau poluidor dos líquidos gerados em ambas as células ao final do período estudado, nota-se que a carga poluidora remanescente é semelhante.

Como forma de sugestão, pode-se indicar o pH, DQO, DBO, nitrogênio total e fosfato total como parâmetros de monitoramento de lixiviados de aterros de pequeno porte. Ressalta-se ainda, que tal recomendação baseia-se no fato que os parâmetros de monitoramento de sistemas de disposição final de resíduos sólidos, exigidos pelos órgãos de controle ambiental, enfocam o acompanhamento da qualidade dos recursos hídricos locais e os padrões de lançamento

para efluentes vigentes na legislação estadual.

Um plano de monitoramento pode ter implicações financeiras consideráveis, sobretudo para municípios de pequeno porte. Portanto, é fundamental seu adequado dimensionamento para garantir a efetiva execução proporcionando a obtenção de um conjunto mínimo de dados representativos e confiáveis, bem como o controle tecnológico eficaz ao longo de operação do sistema. As implicações financeiras não devem ser um fator limitante para a execução de um plano de monitoramento, os recursos envolvidos devem configurar, obrigatoriamente, entre os custos da obra.

A maior dificuldade para os pequenos municípios, talvez seja a limitação de pessoal qualificado para coordenar e operacionalizar o monitoramento. Esta dificuldade pode ser amenizada por meio do estabelecimento de parcerias com instituições públicas e privadas que se dediquem a atividades afins, como, por exemplo, universidades e os próprios órgãos de controle ambiental. Não obstante a possibilidade de parcerias, os gestores devem possibilitar a formação de profissionais especializados, dentro de seus quadros funcionais permanentes. Inúmeras são as instituições brasileiras que oferecem treinamento na área de resíduos sólidos e de limpeza pública

No que tange ao detalhamento técnico de um Plano de Monitoramento, o mesmo dependerá da concepção do projeto, a capacidade de suporte da área e as exigências legais. Desta forma, atenção especial deve ser dada a estes três aspectos quando da definição um plano de monitoramento.

BIBLIOGRAFIA

1. APHA; AWWA ; WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 ed. Washington (EUA): Joint Editorial, 1998.
2. BARLAZ, M.A. ; HAM, K. Mass-balance analysis of anaerobically decomposed refuse. *Journal of Environmental Engineering*. n.115, p.1088-1102, 1989.
3. FARQUHAR, G.J.; ROVERS, F.A. Gas production during refuse decomposition. *Water, Air and Soil Pollution*. n.2, p.483-495, 1973.
4. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em:< http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/população/condição_de_vida/pnsblixo. Acesso em: 27 de março de 2002.
5. PESSIN, N. et al. Variação da composição dos líquidos percolados do Aterro Sanitário de São Giácomo - Caxias do Sul – RS. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 19., 1997, Foz do Iguaçu. *Anais.....Foz de Iguaçu: ABES, 1997*.
6. PESSIN, N. et al. Contribuição do monitoramento ambiental para o entendimento do processo de estabilização de resíduos sólidos domiciliares em Aterros Sanitários. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2000, Porto Seguro. *Anais....Porto Seguro:ABES,2000*.
7. PESSIN, N. et al. Concepção e implantação de células de aterramento de resíduos sólidos. In: *Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades* (coletânea de trabalhos técnicos). Rio de Janeiro: RIMA e ABES, 2002a, p.47-54.
8. PESSIN, N. et al. Monitoramento do processo de digestão anaeróbia dos resíduos sólidos dispostos em duas células-piloto de aterramento In: *Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades* (coletânea de trabalhos técnicos). Rio de Janeiro: RIMA e ABES, 2002b, p.47-54.
9. PESSIN, N. et al. Monitoramento de aterros sustentáveis para municípios de pequeno porte. In: JUNIOR, A. B. de C. (Coordenador) *Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte*. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. Capítulo 4, p.107-141.
10. Secretaria da Saúde e Meio Ambiente do Estado do R.S.- Governo do Estado do Rio Grande do Sul/*PORTARIA 01/89-SSMA*, 1989.
11. ROBINSON, H. D. The development of methanogenic conditions within landfill waste and effects on leachate quality. In: *Second International Landfill Symposium - Proceedings Sardinia 89*, 1989.

APOIO: FINEP, CNPq, CAIXA ECONÔMICA FEDERAL e MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA.

AGRADECIMENTOS: CODECA/Companhia de Desenvolvimento de Caxias do Sul; NAPÉIA/Consultoria Ambiental; COMTERRA – Terraplanagens.