



III-382 – INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO EM CÉLULA EXPERIMENTAL DE ATERRO SANITÁRIO

Régia Lúcia Lopes⁽¹⁾

Eng^a. Civil e Mestre em Eng. Química (UFRN). Doutoranda em Eng. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Prof^a. do IFRN Campus Natal-Central, dos cursos Técnicos e Graduação Tecnológica da área de Meio Ambiente, desde 1991. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS-UFPE).

Gustavo Adolfo Batista Nogueira

Eng^o. Civil (UFPB). Mestre em Eng. Civil e Ambiental (UFCG). Doutorando em Eng. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Eng^o. responsável pelo monitoramento da Célula Experimental da Muribeca/PE. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS-UFPE).

Felipe Jucá Maciel

Eng^o. Civil e Mestre em Eng. Civil (UFPE). Doutorando em Eng. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Coordenador técnico do Projeto de P&D da CHESF/UFPE na área de aproveitamento energético do biogás na Muribeca. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS-UFPE).

José Fernando Thomé Jucá

Prof. do Depto. de Eng. Civil (UFPE). Doutor pela Universidad Politécnica de Madrid. Coord. do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS-UFPE). Coord. do Programa de Monitoramento dos Aterros da Muribeca-PE, Aguazinha-PE e Metropolitano de João Pessoa-PB. Coord. dos Projetos PROSAB-FINEP, PRONEX e CHESF/UFPE. Consultor do Ministério das Cidades na área de resíduos sólidos.

Endereço⁽¹⁾: Rua Presb. Porfirio Gomes da Silva, 1496 – Capim Macio - Natal - RN - CEP: 59.082-420 - Brasil - Tel: (84) 3642-2594 - e-mail: regia@cefetrn.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar a instalação de instrumentação da célula experimental com cerca de 36.000 t de resíduos urbanos no Aterro da Muribeca/PE. Tal projeto foi financiado pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) tendo suporte de órgãos de fomento à pesquisa. A célula experimental foi implantada em uma nova área do aterro com cerca de 10.000 m², disponibilizada pela Prefeitura do Recife e tem por finalidade estudar a eficiência energética do aproveitamento do biogás gerado por resíduos sólidos. A instrumentação instalada tem, portanto, o objetivo de monitorar os aspectos geotécnicos, técnicos e ambientais, obtendo dados que possibilitam a avaliação do comportamento da célula frente a fatores que podem influenciar numa maior eficiência da geração de biogás e assegurar uma correta operação, dos equipamentos, possibilitando ajustes quando necessário. A metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho foram registros de campo durante a instalação da instrumentação geotécnica, técnica e ambiental, com fotos, avaliação de equipamentos e metodologias de instalação. O trabalho enfoca os aspectos técnicos de instalação com as definições dos equipamentos usados confrontando-os com os objetivos dos estudos necessários para a finalidade da célula. No caso do aterro experimental da Muribeca-PE, cuja finalidade é o estudo de geração de energia a partir do biogás, a instrumentação tem sido de grande importância para se avaliar corretamente o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos, assim como para avaliar o funcionamento correto dos equipamentos de geração de energia dando suporte à segurança geotécnica e ambiental. É possível, portanto, esclarecer para a sociedade em que condições é possível obter benefícios financeiros, ambientais e sociais desta fonte energética e estabelecer parâmetros de eficiência do aproveitamento energético do biogás através da utilização de processos e tecnologias desenvolvidas por pesquisas adequadas a realidade local e nacional.

PALAVRAS-CHAVE: instrumentação, monitoramento ambiental, resíduos sólidos, meio ambiente.

INTRODUÇÃO

Somente os aterros de grandes cidades brasileiras são monitorados seguindo um programa regular, ainda assim, com diferenças nas rotinas e procedimentos adotados. Dentre estes pode-se citar os aterros sanitários em operação em São Paulo, que são o Bandeirantes e o Sítio São João, e outros como, por exemplo, o de Extrema de Porto Alegre (RS), de Gramacho no município do Rio de Janeiro (RJ), o de Salvador (BA), de Camaçari (BA) e Muribeca (Recife) (CEPOLLINA *et al.*, 2004). Ainda podemos citar o monitoramento



realizado no aterro da BR 040 em Belo Horizonte (MG) (SIMÕES *et al.*, 2002; CATAPRETA *et al.*, 2005; CATAPRETA e SIMÕES, 2007).

O estabelecimento de programas de monitoramento em aterros sanitários na atualidade tem sido encarado com grande preocupação, haja vista a maior necessidade de proteção do meio ambiente e as novas perspectivas para os aterros sanitários com o advento do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A instrumentação é um aspecto técnico primordial para o sucesso do empreendimento, pois a partir do momento que se faz necessário que as células de resíduos sólidos produzam e armazenem os gases gerados na biodegradação para posterior captação e tratamento ou transformação em energia, há fatores relacionados com segurança, economia de escala e produção que devem ser permanentemente avaliados.

Eventos tais como rompimentos em aterros são altamente indesejáveis, sejam do ponto de vista da segurança ambiental, da segurança ao ser humano, ou econômico, principalmente em aterros energéticos, pois implicam em interrupção do fornecimento de energia com conseqüente cessão dos lucros, além de custos com conserto de estruturas de coleta do gás, problemas com vizinhança, dentre outros. Portanto, uma instrumentação adequada e associada ao um programa regular de monitoramento nesse tipo de aterro é fundamental.

Um dos objetivos do monitoramento é acompanhar o comportamento mecânico e o desempenho ambiental do aterro, de forma a permitir a identificação, em tempo hábil, de alterações no padrão de desempenho previsto e a proposição de medidas preventivas e corretivas, orientando os trabalhos de conservação e manutenção do aterro.

Este trabalho apresenta a instrumentação instalada na célula piloto experimental de resíduos sólidos urbanos localizada no aterro da Muribeca-PE, e que fornece subsídios ao estudo da eficiência energética do aproveitamento do biogás gerado por resíduos sólidos. A instrumentação instalada teve por objetivo o monitoramento dos aspectos geotécnicos e ambientais, e de captação de biogás e geração de energia, obtendo dados que possibilitam a avaliação do comportamento da célula frente a fatores que podem influenciar a geração de biogás e assegurar uma correta operação do sistema além da segurança ambiental. O trabalho enfoca os aspectos técnicos de instalação com as definições dos equipamentos usados confrontando-os com os objetivos dos estudos necessários para a finalidade da célula e, enquanto apresenta alguns resultados preliminares propõe reflexões para monitoramentos de aterros sanitários.

METODOLOGIA

A construção da Célula Experimental foi iniciada em agosto de 2006 e o preenchimento se deu de abril de 2007 a janeiro de 2008 com resíduos provenientes de algumas rotas de coleta da cidade de Recife-PE, selecionados especificamente para este fim, tendo sido realizados ensaios de caracterização física completa. As dimensões da célula experimental são de 65 m x 85 m por 9 m de altura e o volume de resíduos aterrados é de cerca de 38.000 m³. A potência instalada prevista do empreendimento é de 20 kW/h, a qual é mais do que suficiente para atender as necessidades energéticas do Aterro da Muribeca-PE. Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados os registros de campo durante a instalação da instrumentação geotécnica, técnica e ambiental, com fotos, avaliação de equipamentos e metodologias de instalação.

RESULTADOS

Marcos Superficiais

Com relação à questão de segurança, sabe-se que instabilidades de maciços de RSU não são tão raras como se poderia pensar. No Brasil um dos casos mais conhecidos de deslizamento ocorrido em aterro é do Aterro Sanitário Bandeirantes, localizado no município de São Paulo, no ano de 1991, mobilizando aproximadamente 65.000 m³ de resíduos e atingindo uma área de 45.000m² (BORGATTO, 2006). Existem ainda outros casos como o do aterro de Philipinas em junho de 2000, La Coruña em 1996, Itaquaquecetuba em 2000 e mais recentemente o Aterro São João em 2008.

Rompimentos em aterros sanitários são extremamente perigosos devido à massa considerável de resíduos sólidos deslocada e às velocidades que atinge essa massa durante seu deslocamento chegando a alcançar



grandes distâncias, provocando perigo eminente à vida do homem, prejuízos financeiros às propriedades e um grande dano ambiental.

A análise conjunta dos registros das movimentações horizontais e verticais em aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU) possibilita a avaliação mais completa dos padrões de deslocamento e a identificação de problemas de estabilidade, assim como contribui para a estimativa da vida útil dos mesmos, fator importante no gerenciamento de resíduos e na avaliação da integridade dos sistemas de revestimento, de cobertura e dos dispositivos de drenagem de líquidos lixiviados e gases (CATAPRETA *et al.*, 2007)

A instrumentação de aterros sanitários tem como base os aterros compactados de barragens de terra. Porém as deformações muito maiores que aterros compactados e a de elementos químicos agressivos no lixiviado impossibilitam a instrumentação simplesmente como a de uma barragem. No exterior já foram empregados hastes telescópicas, medidores de recalque em profundidade e inclinômetros, mas os deslocamentos são de tal magnitude que com algum tempo danificam os tubos guia e o lixiviado é agressivo ao torpedo que faz as leituras.

Desta forma, chegou-se a conclusão que a forma mais eficiente e econômica de monitorar as deformações é através da instalação e leitura dos deslocamentos de marcos superficiais. As leituras são feitas com aparelhos topográficos medindo-se as componentes verticais e horizontais dos deslocamentos.

No aterro experimental foram instaladas 17 placas metálicas na interface do lixo com a camada de cobertura, confeccionadas de aço com base de 50 cm x 50 cm, e uma haste central perpendicular ao plano horizontal com 1 m de altura, revestida com um tubo de PVC de modo a permitir o deslocamento vertical da placa que é medido pelo nivelamento da extremidade superior da haste semanalmente. As placas estão localizadas nos vértices (5 nos vértices superiores e 2 nos inferiores), 3 placas distribuídas internamente na área de topo, 4 placas na medida média entre os vértices do perímetro do topo e 3 nas bermas inferiores. A figura 01 apresenta a sequência de instalação dos marcos superficiais tipo placas de recalque.



Figura 01 – Instalação dos Marcos Superficiais na célula experimental de RSU da Muribeca-PE.

Embora possa haver problemas operacionais tais como erros de medições, danos causados pelos equipamentos de compactação ou mesmo furtos das placas de recalques, ainda assim, essa é a forma mais utilizada para se monitorar os movimentos verticais e horizontais no aterro. Com relação aos aterros energéticos o monitoramento do comportamento mecânico é muito importante, pois pode se evitar o comprometimento de estruturas de coleta de gases que podem ser danificadas com eventuais deslocamentos, além de se ter mecanismos de segurança ambiental e geotécnica da obra e uma indicação do tratamento dos resíduos.

Instalação de Piezômetros e medidores de temperatura

Nos aterros sanitários os piezômetros e os medidores de nível d'água constituem instrumentos que permitem identificar os valores ou níveis de pressões neutras (níveis piezométricos) no interior do maciço do aterro, devido à presença de percolados e gases, além de serem utilizados para coleta de líquidos para análises físico-químicas e microbiológicas, e se estimar a quantidade de líquidos interior da célula. A medição de temperatura no interior das células do aterro é fundamental para a análise e o acompanhamento do processo de

biodegradação dos resíduos, seja para avaliar os processos de estabilização dos resíduos no interior das células ou mesmo para produção de gases.

No aterro experimental foram instalados 6 piezômetros (um em cada face da célula e dois no topo) em tubo de PVC de 50 mm com perfuração nos últimos 50 cm da extremidade inferior envolta por manta geotêxtil constituindo o bulbo, através da qual o líquido penetra, formando uma coluna equivalente à pressão externa atuante. O piezômetro foi envolto com brita em toda extensão e para evitar que o borbulhamento de biogás interfira na medição de nível de líquidos, foram feitas perfurações ao longo de 50 cm localizados abaixo da camada de cobertura, por onde os gases que penetram na brita envolta do piezômetro é captado e lançado para atmosfera.

Para medida de temperatura em profundidade foram instalados termopares em diferentes profundidades, com fios protegidos contra ataques químicos e mecânicos, com conectores apropriados para a medição da temperatura através de termômetro digital colocados no lado externo dos piezômetros. A figura 02 apresenta a sequência de montagem dos piezômetros juntamente com os termopares acoplados.



Figura 02 – Instalação dos Piezômetros e Termopares na célula experimental de RSU da Muribeca-PE.

Essa instrumentação foi instalada nos furos abertos pelos ensaios de campo, tipo SPT que perfuraram a massa de resíduos para avaliar a resistência e coletar o material para acompanhamento da biodegradação, colocando-se um tubo de revestimento de 4’’ para o posicionamento do piezômetro como mostrado na figura 03.



Figura 03 – Ensaios SPT para instalação dos piezômetros e termopares.

A experiência adquirida durante o programa de instalação dos piezômetros do aterro experimental demonstrou que para resíduos sólidos urbanos, devido à presença de materiais resistentes como madeira, metal, pedra, pneus, dentre outros, que provocam grandes picos na resistência, desvio das hastes dos equipamentos e avarias nos amostradores, paletas e ponteiros, o ensaio de SPT se torna inadequado. No entanto para esse caso, apesar de não se obter dados de uma relação direta com os parâmetros de resistência, esses ensaios têm sido um indicador das condições de densidade, e possibilitam a coleta de materiais para determinação de umidade e sólidos voláteis a partir de amostras amolgadas obtidas nos ensaios.



Devido aos recalques, é comum a perda dos piezômetros. Quando isto ocorre, os piezômetros dificilmente podem ser reaproveitados e, em geral, têm de ser substituídos.

Instrumentação para o Monitoramento do Biogás

A presença de gases, do ponto de vista geotécnico, influi no conjunto das pressões internas de fluidos do maciço. Os resultados do monitoramento, com o controle da geração e migração desses gases permitem ajustes e correções no sistema de drenagem de gás do aterro, com a implantação de respiros e drenos de alívio, para eliminação de odores característicos e desagradáveis e para coleta e condução eficiente e segura do biogás gerado (JORGE *et al.*, 2004).

No aterro experimental foram instalados registros de esfera ao longo da tubulação e no topo do cabeçote do dreno de gás para permitir medições de pressão, velocidade, temperatura e concentração dos gases. Também foram instalados poços térmicos para acompanhamento da temperatura ao longo da tubulação de coleta de gás.

São utilizados equipamentos digitais do tipo manômetro, anemômetro, termômetro e cromatógrafo portátil para o monitoramento dos gases gerados, visando a avaliação da composição, do estágio de biodegradação ou anomalias na geração que é feito diretamente nas tubulações de drenagem dos gases. A figura 04 mostra os pontos de monitoramento na saída dos drenos de gás.



Figura 4 – Instalação de pontos para monitoramento dos gases ao longo da tubulação

Ensaio de placa de fluxo estático têm sido utilizados para os estudos das emissões superficiais de biogás na camada de cobertura da célula experimental. De acordo com Lopes *et al.*, (2009) a camada de cobertura emitiu para atmosfera, no período monitorado de setembro a dezembro de 2008 cerca de 4 m³/h de metano, correspondendo a cerca de 13,2% da vazão de metano captada pelos drenos.

Consoante com toda essa instrumentação se monitora através de uma estação climatológica as condições climáticas que tem extrema importância quando correlacionadas com as atividades microbiológicas, além de parâmetros para estudos de dispersão dos gases gerados.

A figura 05 mostra os pontos de monitoramento ao longo de toda a tubulação de coleta, poços térmicos e o ensaio de placa de fluxo.



Figura 5 – Pontos de monitoramento dos gases, poço térmico e ensaio de placa de fluxo.

Monitoramento de Lixiviados

O monitoramento da vazão de lixiviado foi iniciado em novembro de 2007 e são feitas medições duas vezes por semana. Os resultados obtidos são cruzados com a pluviometria registrada no Aterro e na Estação Curado do INMET até setembro de 2008 a vazão variou de 2,0 litros/min até 8,0 litros/min.

A vazão é pequena para justificar a instalação de um medidor de vazão, tal qual um vertedouro triangular, de modo que a vazão é avaliada tomando-se a média do volume coletado em determinado tempo, fixado em 30s, por três vezes.

Amostras são coletadas mensalmente para o monitoramento de suas características físico-químicas e microbiológicas. No período avaliado observa-se que o lixiviado tem apresentado características de fase metanogênica pela diminuição de sua carga orgânica, corroborando com os dados de monitoramento de gases.

Meteorologia

O aterro sanitário não é apenas uma forma de disposição final dos resíduos sólidos, mas também, uma forma de tratamento destes resíduos. O tratamento dos resíduos no aterro sanitário ocorre no interior das células através da biodegradação, sendo assim, o tratamento, por ser biológico, está sujeito aos fatores ambientais. Isto posto, percebe-se a importância da medição das variáveis meteorológicas que irão interferir direta ou indiretamente no processo de degradação biológica. Para este fim a célula experimental da Muribeca-PE conta com uma mini estação meteorológica instalada nas suas proximidades avaliando e arquivando os dados em *datalogger*, as variáveis medidas são: temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, evaporação, pressão atmosférica, velocidade e direção dos ventos.



Figura 6 – Área de instalação protegida da Estação Meteorológica da Muribeca.



Programa de Monitoramento

O programa de monitoramento estabelecido para a célula experimental foi proposto de acordo com as várias atividades de pesquisas realizadas nessa unidade experimental. No Quadro 01 é apresentado o programa de monitoramento com as respectivas frequências e parâmetros analisados.

Quadro 01 – Frequência de monitoramento e parâmetros analisados na célula experimental

Frequência	Parâmetros
Diária	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitação; • Evaporação; • Temperatura ambiente; • Pressão atmosférica; • Velocidade e direção dos ventos.
Semanal	<ul style="list-style-type: none"> • Concentrações do biogás CH₄, CO₂, O₂, H₂S <ul style="list-style-type: none"> ○ Nos drenos ○ Na saída da rede para o flare (queimador) • Temperatura do biogás <ul style="list-style-type: none"> ○ Nos drenos ○ Ao longo da tubulação de coleta nos poços térmicos ○ Antes e após o resfriamento do biogás no trocador de calor • Pressão do biogás <ul style="list-style-type: none"> ○ Nos drenos ○ Nos piezômetros • Vazão de lixiviado • Nível do lixiviado nos piezômetros • Temperatura da massa de resíduos nos termopares com perfil térmico em profundidade
Mensais	<ul style="list-style-type: none"> • Concentrações do Lixiviado <ul style="list-style-type: none"> ○ DBO₅ ○ DQO ○ Sólidos (ST, STF, STV, SST, SSF, SD, SDF, SDV) ○ pH ○ Metais pesados (Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr) ○ Cor ○ Turbidez ○ Condutividade ○ Fósforo total ○ Nitrogênio amoniacal ○ Sulfetos e Sulfatos ○ Cloretos ○ Óleos e Graxas ○ Coliformes Totais ○ Coliformes Termotolerantes • Fluxo de biogás através das camadas de cobertura (Camada Convencional, Barreira Capilar e Camada Metanotrófica)

CONCLUSÕES

A contínua deposição de resíduos nos aterros, favorecendo a processos contínuos de biodegradação, faz com que seja necessária uma instrumentação permanente para acompanhar e registrar de forma sistemática o comportamento mecânico do aterro e as suas condições de qualidade ambiental, permitindo assim identificar alterações no padrão de desempenho previsto e propor, em tempo hábil, medidas preventivas e corretivas, evitando assim desastres que possam comprometer a qualidade ambiental e principalmente garantindo a segurança das populações do entorno.

Embora a instrumentação faça parte do projeto geotécnico dos aterros muitas vezes os instrumentos são negligenciados ou mesmo não existem profissionais que analisem o comportamento do aterro sob a luz das



informações que estão sendo apresentadas pelos equipamentos e por isso se faz necessário que os planos de monitoramento geotécnico e ambiental não fiquem apenas no papel, mas que sejam continuamente avaliados e apresentados à sociedade os resultados desse monitoramento para garantia de segurança do aterro, da população e da qualidade ambiental, bem como possam servir de subsídios na informação necessária para projetos com diversas finalidades.

No caso do aterro experimental da Muribeca-PE, cuja finalidade é o estudo de geração de energia a partir do biogás, a instrumentação tem sido de grande importância para se avaliar corretamente o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos, assim como para avaliar o funcionamento correto dos equipamentos de geração de energia dando suporte à segurança geotécnica e ambiental. É possível, portanto, esclarecer para a sociedade em que condições é possível obter benefícios financeiros, ambientais e sociais desta fonte energética e estabelecer parâmetros de eficiência do aproveitamento energético do biogás através da utilização de processos e tecnologias desenvolvidas por pesquisas adequadas a realidade local e nacional

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BORGATTO, A. V. (2006) **Estudo do efeito fibra e da morfologia na estabilidade de aterros de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação de Mestrado. COOPE/UFRJ. Rio de Janeiro-RJ.
2. CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G. F.; BATISTA, H.P. (2007) **Monitoramento ambiental, Operacional e geotécnico de aterros sanitários - a experiência do aterro sanitário de Belo Horizonte, MG**. In: 24º. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Belo Horizonte, MG. ABES.
3. CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G. F.; BARROS, R. T.V. (2005) **Aterro experimental para disposição de resíduos sólidos urbanos: Caso de Belo Horizonte, MG**. In: 23º. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Campo Grande, MT. ABES.
4. CATAPRETA, A. A. N. e SIMÕES, G. F.; (2007) **Monitoramento Ambiental, Operacional e Geotécnico de Aterros Sanitários**. In: VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 2007, Recife/PE: ABMS
5. CEPOLLINA M.; KAIMOTO, L. S. A.; MOTIDONE, M. e LEITE, E. F. (2004) **Monitoramento em aterros sanitários durante a Operação: desempenho mecânico e ambiental**. II Seminário sobre Resíduos Sólidos. ABGE. São Paulo-SP.
6. JORGE, F. N.; BAPTISTE; GONÇALVES, A. (2004) **Monitoramento em aterros sanitários nas fases de Encerramento e de recuperação: desempenhos Mecânico e ambiental**. II Seminário sobre Resíduos Sólidos. ABGE. São Paulo-SP.
7. LOPES, R. L.; MACIEL, F. J. ; JUCÁ, F.F.T.; NOGUEIRA, G.A. B. **Avaliação da emissão de metano em aterro de resíduos sólidos experimental de pequeno porte na Muribeca/PE**. In. Anais do 3º. Congreso de Interamericano de Residuos Solidos de AIDIS. Buenos Aires, 2009.
8. SIMÕES, G. F.; CATAPRETA, C. A. A.; BATISTA, H. P. e GALVÃO, T. C. B. (2002) **Concepção de um programa de monitoramento geotécnico para a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos da BR-040 em Belo Horizonte – MG**. In: VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória-ES.