

Recuperação de Biogás em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos – Projeto Piloto da Muribeca

Felipe J. Maciel, José Fernando T. Jucá, Alcides Codeceira Neto e Pedro B. de Carvalho Neto

Resumo – Este artigo tem como objetivo apresentar as etapas de desenvolvimento e os resultados obtidos no âmbito de um projeto piloto para recuperação energética do biogás, o qual previu a construção de uma célula experimental com cerca de 36.000 t de resíduos urbanos no Aterro da Muribeca/PE. Tal projeto foi financiado pela CHESF e foi implantado em uma nova área do aterro com cerca de 10.000 m², disponibilizada pela Prefeitura do Recife. Destaca-se que o monitoramento foi realizado na célula experimental desde as fases iniciais de reconhecimento do subsolo até a conclusão da célula e da usina piloto de energia. Tal monitoramento permitiu desenvolver novas metodologias para avaliação do potencial de geração de biogás e, conseqüentemente, contribuiu para a definição de parâmetros locais da degradação dos resíduos, os quais são importantes para análise da produção de energia em aterros de pequeno e grande porte no Brasil e os respectivos ganhos sócio-ambientais desta tecnologia.

Palavras-chave – Resíduos urbanos, biogás, recuperação energética e meio ambiente.

I. INTRODUÇÃO

A situação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil ainda é precária uma vez que existem cerca de 4.000 lixões em operação, os quais podem ocasionar a contaminação do meio ambiente e influenciar a qualidade de vida da população. A alternativa de aproveitamento energético dos gases e a redução de emissões de gases de efeito estufa nos aterros, associadas à comercialização dos créditos de carbono, contribuem para a solução sustentada da gestão dos resíduos sólidos urbanos [1]. Tal mecanismo pode ser utilizado como alavanca estratégia para erradicar os lixões abertos, promover a inclusão social dos catadores, incentivar soluções sustentáveis para o problema de lixo no Brasil e promover o uso de fontes alternativas de energia, os quais são diretrizes estabelecidas pelo Governo Federal.

O “Projeto Piloto para Recuperação Energética do Biogás no Aterro da Muribeca/PE” é um projeto de P & D que prevê a construção de uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos, na qual será feita a recuperação do biogás

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

F.J. Maciel e J.F.T. Jucá trabalham na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (e-mails: maciel2@hotmail.com e jftjucah@gmail.com).

A. Codeceira Neto e P.B. de Carvalho Neto trabalham na CHESF (e-mail: alcidesc@chesf.gov.br e pbezerra@chesf.gov.br).

gerado no processo de decomposição do lixo, além do seu aproveitamento com geração de energia elétrica.

As dimensões da célula experimental são de 65 m x 85m por 9 m de altura e o volume de resíduos aterrados de cerca de 38.000 m³. A potência instalada do empreendimento é de 20 kW, o qual é mais que suficiente para atender as necessidades de energia do Aterro da Muribeca/PE.

O objetivo principal do projeto é avaliar o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos, esclarecendo para a sociedade em que condições é possível obter benefícios financeiros, ambientais e sociais desta fonte energética, além deste objetivo, podemos citar outros de grande importância, como a formação de recursos humanos qualificados e especializados em várias áreas de conhecimento (engenharias civil, mecânica, elétrica e bioquímica) e desenvolvimento de P & D na área de energia limpas ou renováveis.

O referido Projeto foi submetido e aprovado através do Edital de P&D da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), ciclo de 2002-2003, junto a Agência Nacional de Energia e Eletricidade (ANEEL). O código ANEEL do Projeto é 0048-121/2005. As instituições envolvidas no Projeto são: CHESF – entidade financiadora; Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – entidade executora; Universidade de Pernambuco (UPE) – co-executora. Além das entidades citadas, o projeto teve suporte operacional da Empresa de Limpeza Urbana de Recife (EMLURB).

Este projeto de P & D foi concluído em novembro/08, entretanto a ANEEL aprovou uma complementação ao referido estudo, a qual está sendo objeto de termo aditivo por parte da FADE/CHESF. As etapas executadas desde 1º de agosto de 2006 foram:

Etapa 1: Concepção e desenvolvimento do projeto executivo (1º ao 3º mês)

Etapa 2: Implantação física da unidade (3º ao 6º mês)

Etapa 3: Monitoramento ambiental e energético da célula experimental (5º ao 24º mês)

Etapa 4: Modelagem numérica da biodegradação dos resíduos e da geração de energia (7º ao 24º mês)

Etapa 5: Geração de energia elétrica (10º ao 24º mês)

Etapa 6: Avaliação final do Projeto (22º ao 24º mês)

Este artigo tem como objetivo apresentar as etapas de desenvolvimento e os resultados preliminares obtidos no âmbito do Projeto Piloto da Muribeca.

II. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS PRELIMINARES

A quantidade de lixo usada no enchimento da célula experimental do Projeto Piloto corresponde a um aterro de pequeno porte, capaz de receber durante 5-8 anos os resíduos de um município de 20.000 habitantes. Segundo o [2], 73,1 % dos 5.561 municípios existentes no Brasil têm população inferior a 20.000 habitantes. Em geral, nestes pequenos municípios, a composição do lixo indica valores de matéria orgânica superior a 65%, em peso, o que é favorável à produção do biogás. A energia contida no biogás é proveniente basicamente do percentual de metano (CH_4) em sua composição. Em condições favoráveis, o metano representa de 55 a 65 %, em volume, do biogás produzido. No caso particular do Aterro da Muribeca, foram determinadas concentrações de metano da ordem de 65% [3] e [4].

De acordo com [5], para cada tonelada de resíduo sólido urbano, espera-se uma produção total de 200 a 400 m^3 de biogás ao longo de 10 a 15 anos. No caso da célula experimental do Aterro da Muribeca, foram realizadas estimativas de geração de biogás com base na capacidade de armazenamento de resíduos da área (36.000 ton) e em curvas de produtividade de biogás ao longo do tempo. Para tal, utilizou-se tanto o modelo US-EPA (LandGem), como as taxas de produção de gás estabelecidas para o Aterro da Muribeca em 2007 [6]. Os resultados destas simulações determinaram gerações máximas de biogás da ordem de 80,0 m^3/h . Esta produção de biogás permite a instalação de uma usina térmica com potência instalada da ordem de 100 kW.

III. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O desenvolvimento do Projeto Piloto para Recuperação Energética do Biogás no Aterro da Muribeca/PE seguiu as fases descritas abaixo:

- 1º fase: Sondagens de reconhecimento do subsolo;
- 2º fase: Transplante de árvores da área de influência;
- 3º fase: Limpeza do terreno;
- 4º fase: Regularização/escavação da área;
- 5º fase: Aquisição dos equipamentos mecânicos;
- 6º fase: Implantação da usina de energia;
- 7º fase: Execução da compactação da camada de base;
- 8º fase: Execução das drenagens de líquidos e gases;
- 9º fase: Enchimento da célula com resíduos;
- 10º fase: Execução da cobertura e drenagem pluvial.
- 11º fase: Instrumentação e testes de produção de energiana usina piloto

A ordem de serviço do Projeto foi dada no dia 1º de agosto de 2006, o qual foi considerado o Mês 1 do Projeto. A Figura 1 ilustra as diversas fases de enchimento da célula experimental desde da locação da área (A), enchimento com resíduos (B) até sua conclusão com a implantação da cobertura e drenagem pluvial (C). Atualmente, o projeto está na 11º fase com a instrumentação e testes iniciais de produção de energia na usina piloto.



Figura 1. Ilustração da implantação da célula experimental no Aterro da Muribeca/PE.

É importante ressaltar que desde o início do processo de locação da célula vários ensaios de campo e laboratório foram realizados nas diversas fases de construção. O monitoramento preliminar do projeto abrangeu: (I) sondagens de reconhecimento do subsolo, (II) caracterização dos resíduos antigos; (III) caracterização do solo de base, (IV) controle da compactação (densidade e umidade em campo) da camada de base, (V) determinação da permeabilidade em amostras indeformadas da base, (VI) ensaios de placa de fluxo na base da célula, (VII) monitoramento dos gases sub-superficiais (lixo antigo) e (VIII) caracterização gravimétrica e volumétrica dos resíduos em diferentes rotas de coleta.

Durante o enchimento da Célula procederam-se: (I) ensaios de caracterização dos RSU (composição gravimétrica, volumétrica, compressibilidade, contaminação por partículas, teor de umidade por fração, teor de sólidos voláteis, calorimetria, celulose, lignina e lipídios), (II) amostragem de resíduos para avaliação do Potencial Bioquímico do Metano (BMP) e reatores de bancada; e (III) acompanhamento diário da quantidade de resíduos (por rota) e levantamento topográfico periódico para avaliar a

densidade do maciço.

No que se refere à camada de cobertura de solo da célula procedeu-se a instalação das coberturas experimentais a fim de avaliar a eficiência no controle de emissões e, posteriormente, a instrumentação geotécnica, a qual envolveu: (I) ensaios de sondagens - SPT, (II) placas de recalque, (III) piezômetros de chorume/gás, (IV) termopares e (V) lisímetros sob cobertura.

Atualmente, monitora-se a qualidade e quantidade de biogás, chorume gerado no processo de degradação dos resíduos, além de outras variáveis relacionadas com o ambiente interno da célula (temperatura, nível de líquidos, pressões de gás e recalques). Paralelamente são realizados testes iniciais para operacionalização da usina piloto de energia que envolve ajustes nas pressões de sucção e rotação do compressor e na taxa de entrada de biogás no gerador. O plano de monitoramento da célula experimental encontra-se detalhado em [7].

IV. RESULTADOS PARCIAIS – MONITORAMENTO DA CÉLULA EXPERIMENTAL

A. Acompanhamento da Quantidade e Densidade dos RSU Aterrados por Rota de Coleta

O controle da densidade dos resíduos foi realizado por meio de levantamento topográfico da massa de resíduos depositadas e dos registros da quantidade de lixo aterrada ao longo do tempo. Desde o início da execução da célula (junho/07), realizaram-se 10 levantamentos topográficos e as densidades obtidas estão superiores a mínima (0,80 ton/m³) exigida em projeto (ver Tabela 1). Vale ressaltar que o controle da quantidade de resíduos foi feito diariamente por meio da pesagem de cada veículo coletor encaminhado à célula experimental. A quantidade de resíduos final disposta na célula foi de 36.659 toneladas.

Tabela 1. Acompanhamento da densidade dos resíduos na Célula.

Data	Volume da massa de RSU (m ³)	Qtd resíduos depositadas (ton)	Densidade <i>in situ</i> (t/m ³)
18/jul	4.186,00	3.932,45	0,939
27/jul	5.877,00	5.648,92	0,961
15/ago	8.353,00	7.965,39	0,954
30/ago	9.258,00	9.712,82	1,049
22/set	13.118,00	12.343,82	0,941
11/out	15.194,00	15.873,00	1,045
26/out	17.956,00	18.198,41	1,014
14/nov	18.720,00	22.966,24	1,227
Final	35.208,90	36.659,82	1,041

A avaliação da densidade dos resíduos aterrados é fundamental para determinar o potencial de geração de biogás por unidade de volume. Os resultados obtidos para a célula piloto são típicos de aterros sanitários com média-baixa compactação, onde a produção de biogás por unidade de volume tende a ser mais acentuada.

B. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos foram caracterizados física e quimicamente durante o enchimento da célula experimental para fins de avaliação dos parâmetros de biodegradabilidade do lixo e

como os mesmos influenciariam na geração de biogás. Uma nova metodologia de caracterização gravimétrica e volumétrica dos resíduos também foi desenvolvida com utilização de um compactador com 04 estágios de compressão e determinação de umidade por cada tipo de fração de lixo. O detalhamento desta metodologia foi descrito por [8]. A Tabela 2 apresenta o resultado típico de caracterização física dos resíduos, onde observa-se que o percentual de matéria orgânica representa cerca de 48 % do total dos resíduos (base seca e limpa) e 30% em volume.

Tabela 2. Caracterização física dos resíduos da célula.

Fração dos RSU	Composição gravimétrica dos RSU (%)			Composição volumétrica (%)
	base úmida	base seca	base seca-limpa	
M.O. Putrescível	44,4	42,6	48,1	30,4
Papel/papelão	14,2	12,4	13,7	15,1
Plástico mole	16,9	18,9	11,4	19,3
Plástico duro	3,2	4,8	4,9	10,6
Isopor	0,4	0,6	0,6	2,0
Madeira	1,8	2,1	2,1	2,6
Tecido	4,4	4,3	4,1	4,6
Borracha/couro	1,6	2,5	2,7	2,3
Metais	1,7	2,5	2,3	3,3
Vidro	0,6	1,0	1,1	0,5
Fraldas descart.	3,4	N.A	N.A	3,1
Côco	2,7	1,5	1,4	3,8
Outros	4,7	7,0	7,6	2,4

De uma forma geral, resíduos novos possuem elevado teor de sólidos voláteis (acima de 40%) e uma relação C/L próximo de 4,0. No caso de resíduos já degradados, os sólidos voláteis variam de 10-20% e a relação C/L pode chegar a 0,2 [9]. Os resultados obtidos nas duas amostras de resíduos novos caracterizadas até o presente momento são satisfatórios. Na Amostra 1 a relação C/L foi de 5,1 e na Amostra 2 de 3,8. Tais resultados estão condizentes com o reportado na literatura.

O teor de sólidos voláteis foi procedido em amostras de resíduos antigas (cerca de 10-15 anos – base da célula) e dos resíduos novos dispostos na célula experimental. O teor de SV médio das 05 amostras antigas foi de 8,9% e das amostras de lixo novo de 50,9%.

No que se refere à umidade, os resultados médios encontrados para as amostras coletadas nos caminhões coletores e na célula experimental são 55,8% e 52,3%, respectivamente. As umidades individuais das frações variaram de 0 a 57%. As análises calorimétricas dos resíduos variaram de 9.000 (plástico mole) até 37.000 (isopor) kJ/kg.

C. Ensaio BMP e Reatores de Bancada

O teste do Potencial Bioquímico do Metano (BMP) é um ensaio para avaliar o potencial de geração do biogás dos resíduos em laboratório. A Figura 2 apresenta o dispositivo desenvolvido pela UFPE para as análises do BMP e a Figura 3 apresenta os resultados da primeira seqüência de ensaios para avaliar a influência da idade dos resíduos na geração de biogás. Tais ensaios foram realizados com resíduos dispostos na célula experimental e coletados no mês de julho, novembro e dezembro/2007. Observa-se na Figura 3 que o volume total de biogás produzido variou de 20 a 240 ml durante um período de 75 dias. Pode-se concluir que as

maiores produções de biogás foram observadas quando existe a associação de resíduos com lodo de ETE e que a produção de biogás nas amostras de resíduos novos (julho, novembro e dezembro/07) foi superior a amostra de lixo antigo (7 anos). A descrição completa da metodologia do ensaio BMP encontra-se em [10].



Figura 2. Ilustração do dispositivo BMP desenvolvido pela UFPE.

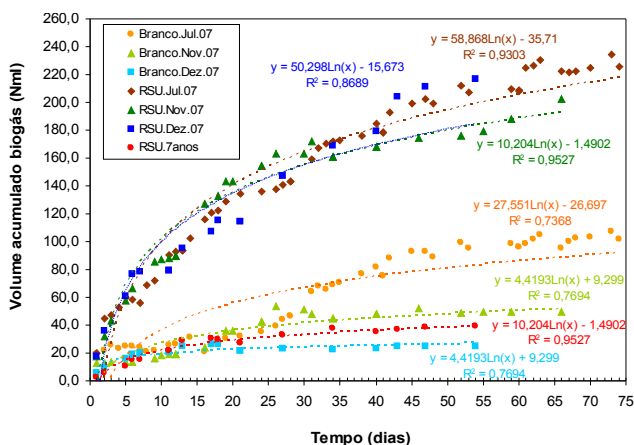


Figura 3. Produção acumulada de biogás na primeira seqüência de ensaios BMP.

Outra metodologia desenvolvida para avaliação do potencial de biogás foi os reatores de PVC com 1,50 litros de capacidade (ver Figura 4). Os mesmos são preenchidos com resíduos em diferentes condições de umidade, densidade, composição para analisar a influência destes parâmetros na geração do biogás.



Figura 4. Reatores desenvolvidos para avaliação da geração de gás.

A primeira seqüência de ensaios foi realizada com o resíduo orgânico coletado na célula experimental com diferentes teores de umidade a fim de estudar a influência deste parâmetro na geração de gás. A Figura 5 apresenta as taxas de produção de gás em 04 reatores com diferentes teores de umidade dos resíduos. Observa-se que a produção

de gás variou de 0 a 800 ml/dia e que o reator com umidade mais elevada (80%) foi o que apresentou a maior geração de gás. Por outro lado, o reator com resíduos mais secos (20%) foi o que produziu a menor quantidade de gás. Vale ressaltar que a massa seca de resíduos é idêntica em todos os reatores (cerca de 400 g). É importante destacar que o pico da geração de gás ocorreu antes de 10 dias de execução do ensaio.

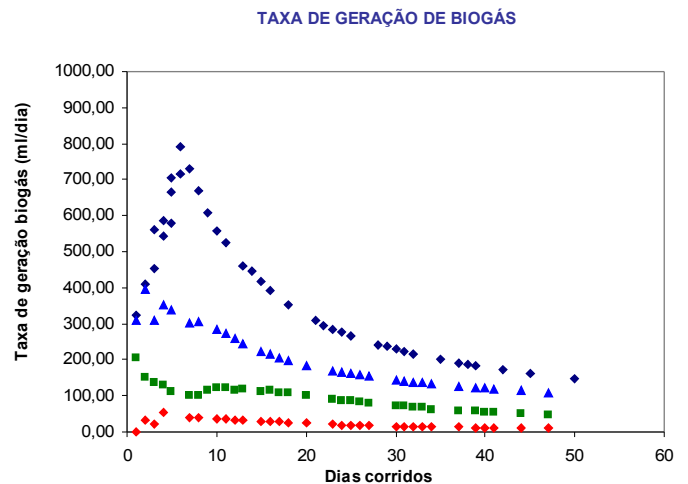


Figura 5. Variação das taxas de geração de biogás nos reatores.

D. Produção de Biogás – Célula Experimental

A metodologia para monitoramento do biogás consiste na avaliação semanal da composição, vazão, temperatura e pressão nos cinco drenos verticais existentes na célula e ao longo de diversos pontos na rede de coleta de biogás.

Os principais equipamentos utilizados no monitoramento são: detector portátil Drager X-am 7000 (concentração do biogás), termo-anemômetro portátil (velocidade – faixa de 0 a 20 m/s), manômetro digital (pressão - faixa de 0 – 10 kPa) e termômetro digital tipo termopar (faixa 0 – 500°C). É importante ressaltar que uma instrumentação fixa de monitoramento foi instalada na área interna da usina piloto de energia para fins de monitoramento. As Figuras 6 e 7 ilustram as medições de velocidade e concentração do biogás, respectivamente, na célula experimental.



Figura 6. Medição da velocidade na tubulação de coleta do biogás.



Figura 7. Medição da concentração do biogás no dreno.

Os resultados médios mensais da composição e vazão de biogás obtidos até o mês de outubro/08 estão apresentados na Tabela 3 e Figura 8, respectivamente. Como base nos dados apresentados, observa-se que o biogás inicialmente estava com baixa concentração de CH₄, entretanto após o fechamento da célula as condições anaeróbicas se estabeleceram de forma rápida (queda na presença de O₂), indicando que os resíduos estão na fase metanogênica de degradação dos resíduos com concentrações médias de CH₄ e CO₂ em torno de 55% e 40%, respectivamente. A produção de biogás da célula está muito superior ao previsto por modelagens tradicionais de degradação dos resíduos baseadas em cinética de primeira ordem, entretanto observa-se uma queda significativa da vazão com o tempo. Tal fato indica que a decomposição dos resíduos para as condições climáticas e operacionais da célula experimental é muito mais rápida que o previsto na literatura técnica internacional.

Tabela 3. Dados qualitativos da produção de biogás.

Mês	Concentração média dos gases		
	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	O ₂ (%)
dez/07	20,1	24,3	11,3
jan/08	42,3	50,6	1,2
fev/08	39,5	51,8	1,7
mar/08	35,6	48,1	4,4
abr/08	36,2	51,3	2,6
mai/08	34,1	49,7	3,2
jun/08	45,0	55,0	0,8
jul/08	40,0	56,0	1,0
ago/08	41,5	57,0	0,8
set/08	41,4	56,4	1,0
out/08	40,7	55,7	0,9

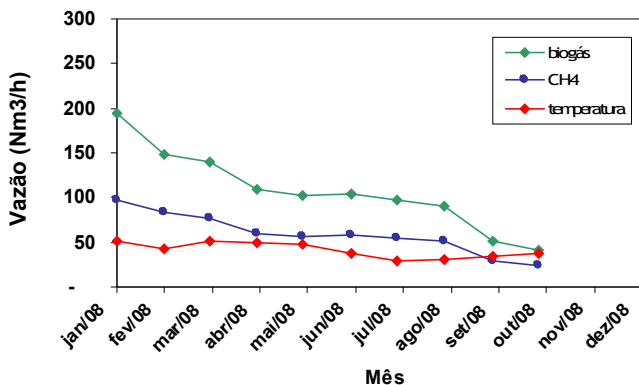


Figura 8. Produção de biogás na célula experimental em 2008.

E. Emissões Fugitivas de Biogás pela Cobertura

A emissão fugitiva de CH₄ é oriunda da passagem do

biogás pela camada de cobertura dos resíduos, a qual é constituída geralmente com material de baixa permeabilidade (solo argiloso). A quantificação das emissões fugitivas ou de perdas de biogás para a atmosfera é um importante parâmetro para fins de controle ambiental do aterro e para avaliação do aproveitamento energético da célula experimental. Em geral, a eficiência de coleta de biogás nos aterros bem operados é de 70-80% do total de gás que é produzido na decomposição dos resíduos.

A metodologia utilizada para quantificar as emissões fugitivas de CH₄ nos três tipos de coberturas existentes na parte superior da célula experimental foi a da placa de fluxo adaptada de Maciel (2003). A Figura 9 apresenta o ensaio para determinação das emissões fugitivas de metano.



Figura 9. Ensaio para avaliação das emissões fugitivas de CH₄.

Os resultados encontrados até o momento indicam taxas de emissões médias variando de variando de 1,9 a 37,5 litros de CH₄ por hora por m² de cobertura, sendo estes valores influenciados pelas características do solo (compactação, fissuras, partículas finas, etc), do tipo de cobertura experimental e da composição e pressão do biogás imediatamente abaixo da camada. Tais valores são similares aos determinados em outras regiões do Aterro da Muribeca [10], entretanto vale destacar que os mesmos foram determinados quando o sistema de coleta de biogás estava fora de operação. Na situação com sucção contínua do biogás (vácuo no sistema de coleta) por meio do compressor, os níveis de emissões superficiais tendem a ficar mais reduzidos.

V. MODELAGEM NUMÉRICA

A modelagem numérica aplicada a célula experimental é baseada em três modelos matemáticos atualmente utilizados para a previsão da geração de gás em aterros na literatura internacional, entre os quais: Modelo LandGen (Environmental Protection Agency – US-EPA), Modelo do International Panel on Climate Change (IPCC, 2006) e MODUELO 3.1 (2003). É importante citar que o modelo do IPCC é o adotado para projetos de redução de emissões de carbono em aterros sanitários no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto.

Os dois primeiros modelos (EPA e IPCC) são baseados no decaimento dos resíduos com base na cinética de primeira ordem (equação exponencial de 1º ordem). A diferença existente entre os mesmos é que o do IPCC

considera taxas de degradação (k) e potências de geração de gás (L_0) distintos para as diversas frações existentes nos resíduos e o modelo do EPA considera valores médios para todo o resíduo. O MODUELO é um modelo complexo que se baseia, além das equações da cinética de decaimento dos resíduos, em variáveis climáticas (precipitação, insolação, evaporação, umidade relativa, etc), operacionais (densidade dos resíduos, ordem de enchimento da célula, etc) e de projeto do aterro (sistema de drenagem de líquidos e gases, geometrização da célula, etc).

A Figura 10 apresenta as previsões de geração de biogás realizadas com os parâmetros “default” recomendados pelos modelos EPA e IPCC (2006) considerando as condições climáticas locais e a caracterização dos resíduos da célula experimental. Os parâmetros “default” utilizados neste levantamento estão presentes em [12]. Observa-se que as curvas de previsão do EPA e IPCC (2006) quando utilizadas sem qualquer tipo de ajuste (parâmetros “default”) não reflete as condições observadas de campo para a vazão de biogás coletado na célula experimental da Muribeca/PE.

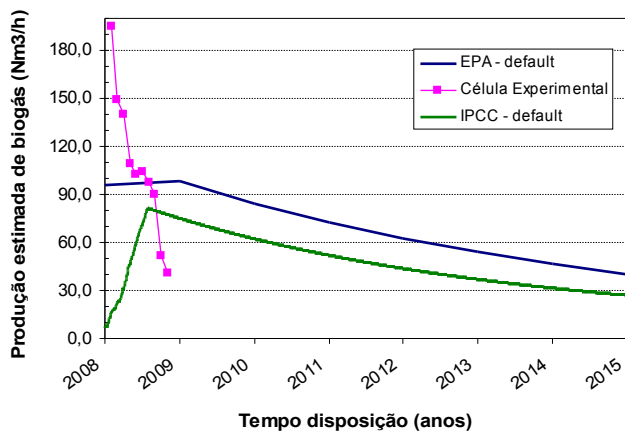


Figura 10. Previsões da geração de biogás (EPA e IPCC) e curva experimental.

As previsões realizadas com o MODUELO estão sendo analisadas mais detalhadamente haja vista a complexidade dos dados de entrada do programa (configuração da célula, características dos resíduos e climatologia). Trata-se de um modelo de simulação dinâmica de previsão da geração de gás e lixiviado que foi desenvolvido na Universidad de Cantabria/España. Este programa é aplicado a célula experimental assim como para um reator em pequena escala (lisímetro) também existente no Aterro da Muribeca/PE [13]. A aplicação do Moduelo ao lisímetro se apresenta de forma satisfatória, até o momento, pela obtenção dos parâmetros de calibração referentes ao módulo hidrológico e biodegradação. A Figura 11 apresenta as previsões de geração de CH_4 do Moduelo, bem como as previsões feitas pelo EPA e IPCC com ajustes nos parâmetros de entrada a fim de adequação aos pontos experimentais.

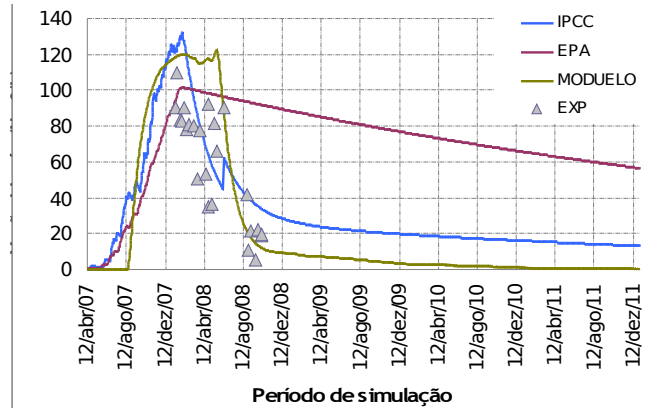


Figura 11. Previsões da geração de biogás com parâmetros de entrada ajustados para os dados da célula experimental.

Da aplicação desses modelos ao aterro experimental, pode-se observar que o modelo IPCC (2006) e o Moduelo têm representado o comportamento da geração de gás de forma mais coerente com os dados da célula experimental. Ressalta-se, entretanto, que é importante comparar os resultados simulados com os dados futuros obtidos em campo para poder validar os modelos para empreendimentos de maior porte que vierem a ser instalados na Região Metropolitana do Recife [13].

VI. USINA PILOTO DE ENERGIA

Os principais equipamentos da usina piloto de energia do Projeto da Muribeca são: (I) grupo-gerador de 20 kVA, (II) compressor radial (extrator) de gás, (III) inversor de frequência para o compressor; (IV) filtro de H_2S à montante do gerador, (V) válvulas de controle e regulação de pressão e (VI) dispositivos de monitoramento da pressão, concentração e temperatura do biogás instalados em diversos pontos da rede de coleta. Na parte externa à usina foi projetado um queimador (flare) do tipo aberto, em aço inox e com dimensões de 10,0 cm de diâmetro e 60,0 cm de altura. O mesmo conta com um sistema manual de controle da entrada de O_2 . A função do queimador é de queimar o excedente de biogás gerado na Célula.

A Figura 12 ilustra a tubulação principal da rede de coleta de biogás na área externa da usina (A), o layout da usina onde pode-se observar a presença do compressor, gerador e filtro de H_2S (B) e os testes iniciais de funcionamento do gerador (C).



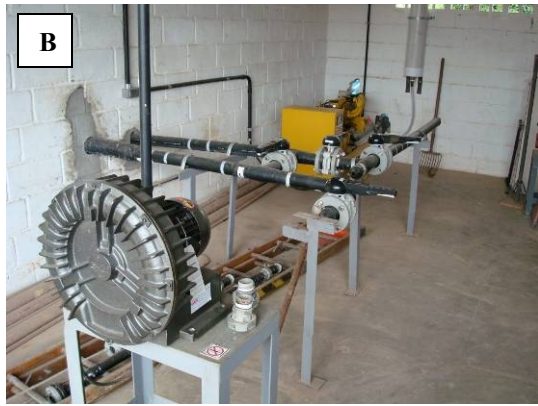


Figura 12. Detalhes da usina piloto do Projeto da Muribeca.

Após a instalação do gerador foi feita uma instalação elétrica provisória para fins de teste de produção de energia e foi verificado o funcionamento do sistema. Posteriormente, foi feita a instalação elétrica definitiva internamente na usina e realizados testes de instrumentação e de avaliação da eficiência do compressor para coletar o biogás. Este teste foi realizado por meio da medição das pressões e de sucção em cada dreno da célula experimental, cujos resultados estão mostrados na Tabela 4. Observa-se que quando o compressor está fora de operação às pressões estáticas e dinâmicas do biogás na saída dos drenos é positiva. Quando o compressor é ligado em diferentes rotações, as pressões ficam negativas, proporcionalmente, indicando sucção do biogás.

Tabela 4. Testes de funcionamento do compressor da usina piloto.

Dreno	Pressão estática (kPa)	Pressão dinâmica (kPa)		
		Compressor fora de operação	Compressor em operação (f=27 Hz)	Compressor em máx. rotação (f=57 Hz)
DV-01	0,47	0,37	-0,15	-1,95
DV-02	0,44	0,35	-0,1	-1,95
DV-03	0,97	0,52	-0,12	-0,59
DV-04	0,00	0,11	-0,11	-0,31
DV-05	0,03	0,25	-0,12	-0,46

É interessante ressaltar que os ajustes de pressão são realizados com base na análise da composição do biogás. Observou-se que quando o compressor foi acionado em máxima rotação, houve entradas de O₂ (cerca de 6-8%) na rede de coleta do biogás. Tal fato pode inviabilizar o processo de geração de energia haja vista que o potencial

calórico do biogás decresce substancialmente. Atualmente, os testes são procedidos para obter a frequência ótima de rotação do compressor de forma que as pressões fiquem negativas e não haja ingresso de O₂ no sistema.

No que se refere à operação do gerador, os testes iniciais realizados pelo fabricante indicaram excesso de gás ao sistema e tal fato provoca “afogamento” do motor devido as misturas de combustão não estarem na faixa adequada. Desta forma, foi procedida a instalação de uma válvula reguladora de pressão e novos testes são realizados de forma conjunta com o funcionamento do compressor. O objetivo principal dos mesmos é determinar os parâmetros ótimos de operação do sistema de forma a aumentar a eficiência energética da usina piloto.

Após a entrada em funcionamento pleno do sistema será realizado uma análise econômico-financeira do aproveitamento energético do biogás, incluindo os ganhos com abatimento das emissões de carbono, a fim de determinar as principais variáveis financeiras do Projeto da Muribeca.

VII. PRINCIPAIS IMPREVISTOS

O desenvolvimento do Projeto P & D da Muribeca envolve cinco diferentes instituições (CHESF, FADE/UFPE, UPE e Prefeituras de Recife/PE e Jaboatão/PE), as quais estão participando direta ou indiretamente em diversas fases ao longo do projeto. A natureza específica deste projeto, por se tratar do desenvolvimento de um projeto piloto em escala real, envolve a execução de obras civis e operacionalização de um aterro de resíduos de pequeno porte. Em função da limitação de recursos financeiros para estas atividades (obras de engenharia) e devido o interesse e disponibilidade de equipamentos da operação diária do Aterro da Muribeca/PE, a Prefeitura de Recife, em particular a EMLURB, se comprometeu a assumir tais atividades em contrapartida financeira e operacional ao Projeto P & D da Muribeca.

Os serviços executados na célula, entre os quais, limpeza da área, escavação e regularização do terreno, compactação da camada de base, sistema de drenagem de líquidos e gases, operação de enchimento da célula e implantação da cobertura e drenagem pluvial, foram realizados com equipamentos de grande porte (trator esteira, escavadeira hidráulica, pá carregadeira, rolo compactador, moto-niveladora, caminhões caçamba, entre outros) da EMLURB em função da disponibilidade dos mesmos durante a operação de rotina do Aterro da Muribeca. É importante considerar que a prioridade para utilização dos equipamentos é na operação do Aterro da Muribeca, e quando houve disponibilidade, os mesmos foram deslocados para a área da célula experimental. Este fato tornou o procedimento de implantação da célula lento, o que contribuiu com o atraso observado nesta fase.

Outro fator importante que precisa ser considerado para justificar o atraso foram os problemas sociais existentes com os catadores do Aterro da Muribeca. A operação de enchimento da célula estava prevista para durar cerca de 3,0 meses, com média de disposição mensal 10.000 toneladas.

No início da operação da célula, houve um protesto realizado pelos catadores em virtude do redirecionamento do lixo para a célula e pelo fato dos mesmos não poderem trabalhar no local. Após uma série de ameaças por parte dos catadores, a coordenação técnica do Projeto, em comum acordo com a EMLURB e os representantes dos catadores, decidiu reduzir o fluxo mensal de destinação de resíduos na célula para cerca de 3.500 toneladas, o que gerou atrasos de mais de 7 meses no período de fechamento da célula.

Além dos fatores ora apresentados, outras questões de ordem operacional também contribuíram para o atraso na fase de implantação da Célula, entre os quais destacam-se:

(I) A implantação da Célula Experimental, por ter sido prolongada em mais 07 meses, transcorreu o período de chuvas (cerca de 3,0 meses) da Região Metropolitana do Recife (RMR), onde as operações de escavação/regularização da área e do enchimento da célula foram bastante prejudicadas.

(II) A presença de resíduos antigo no local de implantação da Célula prejudicou o processo de escavação por se tratar de um material mais difícil de ser removido que o solo natural. Tal fato não havia sido previsto quando da elaboração do Projeto P & D.

(III) Quebra de alguns equipamentos (trator esteira e pá carregadeira) em períodos distintos, resultaram em atrasos de cerca de 21 dias com interrupção dos serviços de escavação por falta de equipamentos.

VIII. CONCLUSÕES

O Projeto de P & D da Muribeca permitiu definir parâmetros de biodegradabilidade dos resíduos sólidos, considerando sua composição, as condições climáticas regionais, além dos aspectos operacionais de aterros. Os resultados obtidos na pesquisa indicam que a geração de biogás ocorre de forma mais acelerada e em maior quantidade que os dados existentes na literatura internacional. Este fato deve ser considerado para estudos de viabilidade de implantação de projetos de geração de energia a partir do biogás de aterros sanitários.

Importantes objetivos já foram alcançados neste projeto, entre os quais destacam-se: formação de recursos humanos especializados nas instituições de ensino envolvidas (UFPE e UPE), elaboração de novos procedimentos e metodologias para ensaios de campo e laboratório, estabelecimento de critérios para previsão de geração de biogás e energia em aterros, publicação de vários artigos técnicos nos principais congressos do país e do exterior e ampla divulgação do Projeto na sociedade por meio de jornais, televisão, visitas técnicas, etc.

Este Projeto de P & D foi concluído em novembro/2008, entretanto a ANEEL aprovou a continuidade do mesmo. Neste sentido, um termo aditivo está sendo formalizado por parte da CHESF/FADE com o objetivo de assegurar um melhor conhecimento sobre os processos físicos, químicos e biológicos envolvidos na degradação dos resíduos em uma escala de tempo mais ampla e definir os parâmetros de geração de energia elétrica de pequena escala, os quais

poderão ser utilizados posteriormente em municípios de pequeno-médio porte no Brasil.

IX. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o suporte operacional da Prefeitura de Recife, por intermédio da Empresa de Limpeza Urbana de Recife – EMLURB, a qual não mediu esforços para o sucesso na etapa de implantação do Projeto.

X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Jucá, J.F.T. “Disposição Final dos Resíduos Sólidos no Brasil”, Anais do 5º. Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2003
- [2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB)”. 2000.
- [3] Jucá, J.F.T. e Maciel, F.J. “Permeabilidade do Ar de um Solo Compactado Não Saturado”, Anais do 4º. Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, Campos e Vidal (Eds), São José dos Campos, São Paulo, 384-391. 1999.
- [4] Maciel, F.J. e Jucá, J.F.T. “Análises para Controle Ambiental dos Gases Produzidos no Aterro de Resíduos Sólidos de Muribeca”, IV Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, Espírito Santo. 2002.
- [5] Gandolla, M.; Acaia, C. e Fischer, C. “Formazione, Captazione e Sfruttamento di Biogás in Discariche”, Seminário di Aggionamento, Collana Ambiente, Vol. 18, C.I.P.A., Milão, Itália. 1997.
- [6] Maciel, F.J. e Jucá, J.F.T. “Projeto e Implementação de uma Célula Experimental de RSU para Recuperação do Biogás no Aterro da Muribeca/PE”, VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental / V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Recife – PE. 2007.
- [7] Maciel, F.J.; Mariano, M.O.H.; Fucale, S.P. e Jucá, J.F.T. “Plano de Monitoramento da Célula Experimental de RSU no Aterro da Muribeca/PE”, VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental / V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Recife – PE. 2007.
- [8] Mariano, M.O.H.; Maciel, F.J.; Jucá, J.F.T. e Brito, A.R. “Estudo da Composição dos RSU do Projeto Piloto para Recuperação do Biogás no Aterro da Muribeca/PE”, VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental / V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Recife – PE. 2007.
- [9] Kelly, R. J. “Solid waste biodegradation enhancements and the evaluation of analytical methods used to predicted waste stability”, Master of Science in Environmental Science and Engineering, Virginia Polytechnic Institute, USA. 2002.
- [10] Alves, I.R.F.S. “Análise experimental do potencial de geração do biogás em resíduos sólidos urbanos”. Dissertação de mestrado, Engenharia civil, UFPE. 2008.
- [11] Maciel, F.J. e Jucá, J.F.T. “Landfill Gases Emission from a Brazilian MSW Landfill”, IX Simpósio Internacional de Gerenciamento de Lixo e Aterros Sanitários, Sardenha, Itália. 2003.
- [12] Maciel, F.J. “Estudo da recuperação energética do biogás em uma célula experimental do Aterro da Muribeca/PE”, título provisório, tese de doutoramento, engenharia civil, UFPE. 2009 (em elaboração)
- [13] Firmo, A.L.B. “Análise numérica de aterros de resíduos sólidos urbanos: calibração de experimentos em diferentes escalas”. Dissertação de mestrado, Engenharia Civil, UFPE. 2008.