

III-374 – AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE BIOGÁS NO ATERRO CONTROLADO DE LONDRINA

Jorge Luiz Audibert⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Mestrando em Engenharia de Edificações e Saneamento (UEL)

Fernando Fernandes⁽²⁾

Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina e do Mestrado de Engenharia de Edificações e Saneamento

Endereço⁽¹⁾: Est. Achilles Pimpão Ferreira, 4001 - Cx. Postal 9013 - Londrina - PR - CEP: 86.039-980 - Brasil - Tel: (43) 3334-0382 - e-mail: jmaudibert@sercomtel.com.br

RESUMO

Medições do biogás em aterros podem apresentar complexidade devido às diferentes formas de operação e ocupação das áreas destinadas para tal fim. O aterro controlado de Londrina é um aterro de médio porte que encerrou suas atividades no final do ano de 2010, quando recebia aproximadamente 127.750 toneladas de resíduos sólidos domésticos por ano.

Para avaliação quantitativa e qualitativa do biogás que vazava pela camada de cobertura e pelos drenos verticais do aterro controlado de Londrina realizaram-se três campanhas de medidas nos anos de 2009 e 2010. Adotou-se como método a subdivisão do aterro em três grandes áreas, conforme a idade dos resíduos sólidos domésticos depositados. A quantificação do biogás em cada campanha de medidas foi obtida considerando a média estatística dos ensaios com placa estática de fluxo aplicada em sua respectiva área previamente selecionada. Além desses ensaios foram feitas leituras para avaliação do biogás que vazava pelos drenos verticais existentes na ocasião de cada campanha.

Os resultados apontaram valores coerentes para o volume de biogás emitido. A primeira campanha de medidas registrou o volume de biogás de 33.681.660 Nm³/ano, a segunda campanha quantificou 32.977.786 Nm³/ano de biogás e a terceira campanha totalizou 36.536.747 Nm³/ano de biogás.

Em termos de gás metano, a média das emissões verificada nas três campanhas foi de 17.392.767 Nm³/ano, representando 50,6% do volume médio do biogás medido.

PALAVRAS-CHAVE: Aterros, Resíduos Sólidos, Medições de Gases.

INTRODUÇÃO

O biogás produzido a partir da biodegradação dos resíduos sólidos domésticos em aterros sanitários, controlados e lixões, compõe-se basicamente de dióxido de carbono e gás metano, além de outros gases com menor participação. Esses dois gases causadores do efeito estufa são emitidos livremente para atmosfera na maior parte dos aterros do Brasil. A avaliação qualitativa e quantitativa do biogás pode tornar-se tarefa complexa, diante das pesquisas ainda incipientes para determinar procedimentos característicos para os aterros brasileiros.

Em termos qualitativos, existem diversos fatores que podem alterar a composição do biogás de aterros, entre os quais a parcela de matéria orgânica dos resíduos sólidos municipais, a umidade desses resíduos, a forma de operação do aterro, o clima da região, entre outros.

As dificuldades ligadas à quantificação das emissões pela camada de superfície do aterro orientam-se para a forma de operação do aterro. Fatores como a profundidade das valas do aterro, a espessura da camada de cobertura, a disposição em células ou não, são fatores específicos de cada aterro e influenciam nas rotas do biogás no interior da massa de lixo e, conseqüentemente, nos pontos de fuga do gás na superfície.

O parcelamento do aterro em áreas menores comumente é utilizado como método eficaz para avaliação dos gases, setorizando o estudo e aumentando a precisão dos resultados de emissões. No entanto, a melhor maneira de realizar esse parcelamento não tem unanimidade na literatura, estando vinculado às condições de cada aterro.

O aterro controlado de Londrina apresentava-se em operação há 32 anos e teve suas atividades encerradas em 2010. Durante os anos em que esteve ativo, passou por diversas formas de operação, dependendo da operadora que atuava na ocasião. Ainda assim, foi possível a identificação macro de três grandes áreas operadas em épocas diferentes, que possibilitaram o parcelamento do aterro pela idade dos resíduos domésticos depositados. As áreas 1, 2 e 3 continham resíduos depositados com idade de até 2 anos, entre 2 e 6 anos e superior a seis anos, respectivamente.

A identificação do período em que foram depositados os resíduos sólidos do aterro controlado de Londrina possibilitou identificar a fase de biodegradação dos resíduos (TCHOBANOGLIOUS *et al*, 1993) a partir das emissões médias medidas em cada área.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizadas três campanhas de medidas no aterro controlado de Londrina: a primeira campanha em outubro de 2009, a segunda campanha no mês de setembro de 2010 e a terceira campanha em novembro de 2010.

A primeira campanha de medidas não teve fins específicos de quantificação do biogás, por isso apresentou menor número de ensaios com placa de fluxo. Na segunda e terceira campanhas foi realizado maior número de ensaios com placa de fluxo por objetivarem melhora da precisão nos resultados finais.

Para quantificação do biogás que vazava pela camada de superfície do aterro realizaram-se ensaios com placa estática de fluxo, caracterizada por reter o biogás no ambiente interno da mesma enquanto é monitorado.

Os equipamentos utilizados foram um medidor de gases Draeger x-Am 7000, com possibilidade de leitura volumétrica dos gases CH₄, CO₂, O₂ e H₂S, um termômetro digital com sensor e faixa de medição de -50°C a 1200°C e uma placa de fluxo com dimensões de 0,40x0,40x0,05m (MACIEL, 2003). A pressão atmosférica necessária para a normalização dos gases foi fornecida pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) – Estação Londrina e ajustada para a altitude do aterro.

O biogás que vazava nos drenos verticais foi medido por meio de um termo-anemômetro digital com faixa de leitura de 0 a 20 m/s (resolução de 0,01 m/s) para a velocidade e com faixa de leitura de 0 a 80°C para a temperatura, além do medidor de gases Draeger x-Am 7000. Media-se a velocidade do biogás em três pontos da seção interna do dreno para avaliar a vazão do biogás no tubo vertical do dreno, juntamente com as leituras de composição do biogás fornecidas pelo medidor de gases.

Os ensaios realizados com placa de fluxo e os drenos verticais foram locados conforme as áreas identificadas como áreas 1, 2 e 3 no aterro (figura 1). Após a coleta dos dados de campo, os valores foram tratados para normalização do gás metano e do dióxido de carbono por meio da equação dos gases ideais.

A quantificação do gás metano e do gás carbônico ocorreu a partir da média estatística dos valores obtidos nos ensaios com placa de fluxo aplicados separadamente em cada área selecionada. A soma dos valores de emissão obtidos para cada gás (metano e carbônico) nas três áreas de origem resultou no volume total do respectivo gás para cada campanha; e a soma do gás metano e do dióxido de carbono nas três áreas resultou no valor total do biogás para a campanha em questão.

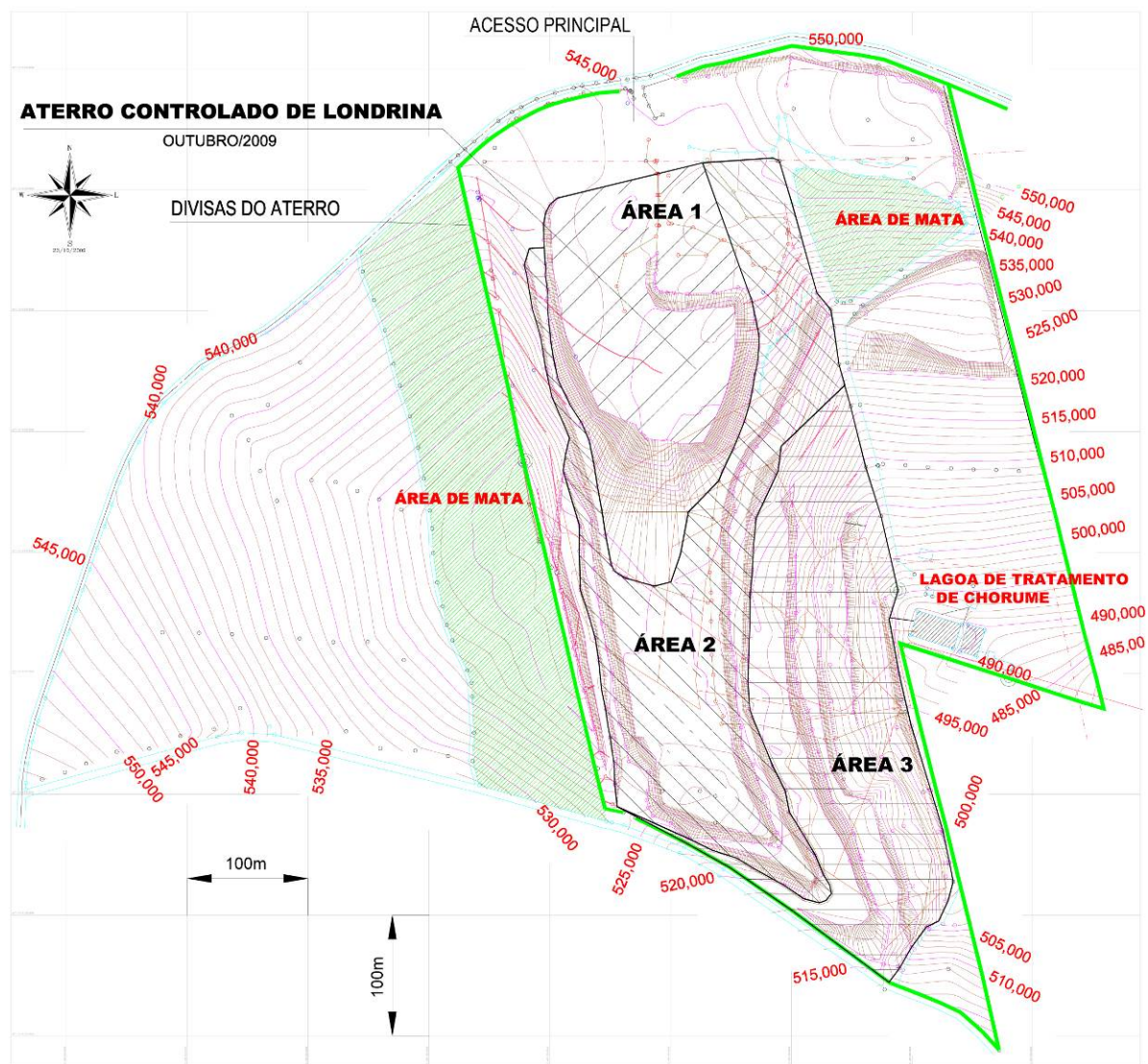


Figura 1: Levantamento planialtimétrico simplificado do aterro controlado de Londrina em outubro de 2009, com a identificação das áreas de operação selecionadas pela idade dos resíduos sólidos depositados.

As três campanhas de medidas serão descritas a seguir:

PRIMEIRA CAMPANHA DE MEDIDAS: OUTUBRO DE 2009

A primeira campanha de medidas foi realizada pelo Grupo de Resíduos Sólidos da Universidade de Pernambuco (MACIEL *et al*, 2009) nos dias 17 e 18 de outubro de 2009, em conjunto com a Universidade Estadual de Londrina. O clima da região se apresentava em meio a uma primavera chuvosa.

Na campanha foram realizados cinco ensaios com placa de fluxo, dez ensaios com tubos de inspeção para análise dos gases no contato solo-resíduo, doze ensaios em drenos verticais existentes na ocasião da campanha, além de ensaios complementares do solo da camada de cobertura. Este trabalho dá ênfase aos resultados obtidos dos ensaios com placa de fluxo e nos drenos verticais para avaliação quantitativa do biogás que vazava na ocasião da campanha.

As áreas selecionadas conforme a idade dos resíduos para avaliação da emissão de biogás mediram 42.809 m² (área 1- resíduos depositados até dois anos), 55.328 m² (área 2 – resíduos depositados com idade de 2 a 6 anos) e 49.852 m² (área 3 – resíduos com idade superior a 6 anos podendo alcançar 15 anos ou mais).

Os ensaios com placa de fluxo realizados na primeira campanha de medidas foram nomeados EP-01 a EP-05 e os drenos verticais foram nomeados DV-01 a DV-12. Os ensaios com placa de fluxo EP-01, EP-02 e EP-05 estavam inseridos na área 1 e os ensaios EP-03 e EP-04 se situavam na área 2. A área 3 não foi contemplada com este gênero de ensaios na primeira campanha.

Com relação aos drenos verticais, os drenos DV-01, DV-02, DV-03, DV-04 e DV-05 estavam inseridos na área 1, os drenos DV-06 e DV-07 na área 2 e os drenos DV-08, DV-09, DV-10, DV-11 e DV-12 na área 3.

RESULTADOS DA PRIMEIRA CAMPANHA DE MEDIDAS

Após coletados os dados diretamente no aterro controlado de Londrina, os valores de emissão foram normalizados por meio da equação dos gases ideais de forma a corrigir a densidade do gás metano e do dióxido de carbono em relação à CNTP. Os valores de emissão obtidos pelos ensaios com placa de fluxo na camada de cobertura do aterro foram tratados estatisticamente pelo método de interpolação denominado inverso ponderado da distância, escolhido por ser propício para amostras heterogêneas. Com auxílio das coordenadas de cada ensaio e do valor de emissão, os fluxos obtidos pelos ensaios com placa de fluxo foram avaliados estatisticamente considerando cada área separadamente, com intuito de se obter a média das emissões na área em questão. Esse procedimento foi repetido nas três campanhas de medidas.

A tabela 1 exibe os resultados de quantificação de gás metano na primeira campanha de medidas, considerando os valores obtidos para as emissões na camada de superfície e somando com os valores de vazão de gás metano obtidos nos drenos verticais.

Tabela 1: Resultados quantitativos de gás metano obtidos na superfície e nos drenos verticais do aterro controlado de Londrina na primeira campanha de medidas.

EMIÇÃO DE GÁS METANO DETECTADA NOS ENSAIOS DE PLACA E MEDIÇÃO DE DRENOS - PRIMEIRA CAMPANHA												
ÁREAS DO ATERRO	ÁREA 1 (42.809 m²) - RESÍDUOS DEPOSITADOS ATÉ 1 ANO			ÁREA 2 (55.328 m²) - RESÍDUOS DEPOSITADOS ATÉ 5 ANOS			ÁREA 3 (49.852 m²) - RESÍDUOS DEPOSITADOS HÁ MAIS DE 5 ANOS			Emissão total na superfície	Emissão total nos drenos	EMIÇÃO TOTAL NO ATERRO
ENSAIOS COM PLACA DE FLUXO	Média de emissão de CH ₄ - método IQD** (NL/m².h)	Emissão de CH ₄ (Nm³/m².ano)	Emissão anual na área 1 (Nm³/ano)	Média de emissão de CH ₄ - média*** simples (NL/m².h)	Emissão de CH ₄ (Nm³/m².ano)	Emissão anual na área 2 (Nm³/ano)	Média de emissão de CH ₄ (NL/m².h)	Emissão de CH ₄ (Nm³/m².ano)	Emissão anual na área 3 (Nm³/ano)	Emissão anual na superfície (Nm³/ano)		Emissão anual total (Nm³/ano)
EP-01	5,8	50,81		*	*		*					
EP-02	1,3	11,39		*	*		*					
EP-03	*	*		5,5	48,18		*					
EP-04	*	*		30,6	268,06		*					
EP-05	26,4	231,26		*	*		*					
EMIÇÕES SUPERFICIAIS	14,75	129,18	5.530,067	18,05	158,12	8.748,463	*	*	*	14.278.530		
MEDIÇÕES EM DRENOS VERTICAIS	Emissão de CH ₄ (Nm³/h)		Emissão anual na área 1 (Nm³/ano)	Emissão de CH ₄ (Nm³/h)		Emissão anual na área 2 (Nm³/ano)	Emissão de CH ₄ (Nm³/h)		Emissão anual na área 3 (Nm³/ano)		Emissão anual nos drenos (Nm³/ano)	
DV-01	0,0			*			*					
DV-02	3,8			*			*					
DV-03	dreno não investigado na ocasião											
DV-04	13,1			*			*					
DV-05	10,7			*			*					
DV-06	*			0,0			*					
DV-07	*			190,2			*					
DV-08	*			*			36,9					
DV-09	*			*			0,0					
DV-10	*			*			10,5					
DV-11	*			*			7,0					
DV-12	*			*			20,3					
EMIÇÕES POR DRENOS	27,6		241.776	190,2		1.666.152	74,7		654.372		2.562.300	16.840.830
Observações:	* leituras não realizadas na área em questão											
	**IQD - Inverso do Quadrado da Distância (método de interpolação)											
	***na área 2 a média considerada foi a aritmética por só haver dois dados amostrais.											

A primeira campanha de ensaios foi considerada preliminar devido ao limite amostral dos ensaios com placa estática de fluxo. Com relação aos ensaios realizados nos drenos verticais, somente um dreno existente no aterro não pode ser avaliado.

Os resultados de emissão superficial variaram entre 1,3 a 30,6 NL/h.m². Em média, os valores registrados em toda a superfície do aterro marcaram 13,9 NL/h.m², ou 238,3 g/dia.m² em termos de vazão mássica. A camada de superfície se apresentava bastante úmida devido a fortes chuvas que ocorriam na ocasião da campanha. Com relação aos drenos verticais, os resultados variaram de 0 a 190 Nm³/h. O dreno de maior vazão se localizava na área 2, apresentando resíduos sólidos em fase de biodegradação tipicamente metanogênica pela idade dos resíduos (até 6 anos) e pelas características dos gases lidos.

Os resultados da campanha mostraram que 14.278.530 Nm³/ano de gás metano vazavam pela camada de superfície do aterro, enquanto que 2.562.300 Nm³/ano vazavam pelos drenos na ocasião da campanha. O valor total de emissões de gás metano, considerando as emissões pela superfície e pelos drenos verticais registraram 16.840.830 Nm³/ano.

Na primeira campanha os resultados referentes às emissões de dióxido de carbono foram considerados iguais aos de gás metano para composição do biogás emitido no aterro, devido à ausência de dados referentes a este gás. Nas outras campanhas os volumes de dióxido de carbono foram medidos e tratados seguindo os mesmos procedimentos do gás metano. Desta forma, o volume total de biogás considerado na primeira campanha de medidas foi de 33.681.660 Nm³/ano de biogás.

SEGUNDA CAMPANHA DE MEDIDAS: SETEMBRO DE 2010

A segunda campanha de medidas foi realizada nos dias 4, 5, 6, 7 e 17 de setembro de 2010 pela Universidade Estadual de Londrina. O clima na ocasião da campanha se mostrava em saída de um inverno com estiagem prolongada.

A segunda campanha intensificou o número de ensaios de superfície, objetivando a quantificação do biogás emitido pelo aterro e a confirmação da metodologia utilizada na primeira campanha. Foram realizados 31 ensaios com placa de fluxo na superfície do aterro, nomeados P-01 a P-31. As leituras obtidas a partir dos drenos verticais quantificaram 22 drenos na ocasião da segunda campanha (DA-01 a DA-22). Considerando que os drenos 1 a 12 já existiam na primeira campanha, foram incrementados 10 drenos verticais pela operadora do aterro até a segunda campanha de medidas.

As áreas selecionadas pela idade dos resíduos sólidos depositados apresentaram modificação, devido ao período de atividades do aterro entre a primeira e a segunda campanha. A área 1, com resíduos sólidos depositados até dois anos antes da campanha, mediu 51.535 m²; a área 2, com resíduos depositados a 6 anos, mediu 50.506 m² e a área 3, com resíduos mais antigos que 6 anos, mediu 49.852 m². Observe-se que não houve alteração na área 3 (mais antiga), pois não ocorreram operações nessa área.

Referente à localização dos ensaios com placa de fluxo em suas respectivas áreas, os ensaios P-01 a P-13 e P-17 a P-22 foram aplicados na área 1, os ensaios P-23 a P-25 realizaram-se na área 2 e os ensaios P-26 a P-31 aconteceram na área 3. Os outros ensaios aconteceram fora dessas áreas e não foram considerados.

Os drenos verticais acrescidos em relação à primeira campanha (DA-13 a D-22) estavam na área 1, área de operação na ocasião da campanha. Os drenos DA-06, DA-11 e DA-12 haviam sido extintos entre a primeira e a segunda campanha de medidas.

RESULTADOS DA SEGUNDA CAMPANHA DE MEDIDAS

Após a coleta dos dados nos ensaios de superfície com placa de fluxo e nos drenos verticais, os resultados obtidos foram normalizados corrigindo-se a densidade do gás metano e do dióxido de carbono pela equação dos gases ideais.

Os resultados de emissão superficial dos ensaios com placa de fluxo foram tratados estatisticamente pelo método do inverso ponderado da distância, utilizando o expoente “2” (IQD), da mesma maneira que nas outras campanhas. As coordenadas de todos os pontos de ensaios de superfície foram extraídas a partir de um ponto virtual situado fora da área do aterro, a sudoeste do mesmo. Esse ponto referencial foi utilizado nas três campanhas para locação das posições dos ensaios.

A composição da tabela 2 segue os mesmos procedimentos utilizados na primeira campanha. Relacionaram-se os ensaios com placa de fluxo conforme a área em que estavam inseridos e obtiveram-se as médias pelo IQD. Essas médias foram aplicadas conforme as dimensões de cada área para obtenção da emissão superficial parcial. A somatória das emissões nas áreas resultou na emissão superficial total do aterro.

Os drenos foram avaliados também dentro da área em que estavam inseridos. As emissões resultantes em cada área foram somadas às emissões superficiais para alcançar o valor total de emissões por drenos na segunda campanha de medidas.

Tabela 2: Resultados quantitativos de gás metano obtidos na superfície e nos drenos verticais do aterro controlado de Londrina na segunda campanha de medidas.

EMISSÃO DE GÁS METANO OBTIDA A PARTIR DOS ENSAIOS DE PLACA E DOS ENSAIOS NOS DRENOS VERTICAIS - SEGUNDA CAMPANHA									
ÁREAS DO ATERRO	ÁREA 1 (51.535 m²) - RESÍDUOS DEPOSITADOS ATÉ 2 ANOS		ÁREA 2 (50.506 m²) - RESÍDUOS DEPOSITADOS ATÉ 6 ANOS		ÁREA 3 (49.852 m²) - RESÍDUOS DEPOSITADOS HÁ MAIS DE 6 ANOS		Emissão total na superfície	Emissão total nos drenos	EMISSÃO TOTAL NO ATERRO
ENSAIOS COM PLACA DE FLUXO	Emissão de CH ₄ (Nm³/m². ano)	Emissão anual na Área 1 (Nm³/ano)	Emissão de CH ₄ (Nm³/m². ano)	Emissão anual na Área 2 (Nm³/ano)	Emissão de CH ₄ (Nm³/m². ano)	Emissão anual na Área 3 (Nm³/ano)	Emissão anual na Superfície do Aterro (Nm³/ano)		Emissão Anual Total no Aterro (Nm³/ano)
P-01	7,74		*		*				
P-02	43,97		*		*				
P-03	57,22		*		*				
P-04	16,40		*		*				
P-05	66,79		*		*				
P-06	11,20		*		*				
P-07	133,50		*		*				
P-08	285,63		*		*				
P-09	16,87		*		*				
P-10	61,54		*		*				
P-11	28,54		*		*				
P-12	12,89		*		*				
P-13	*		*		*				
P-14	*		*		*				
P-15	*		*		*				
P-16	*		*		*				
P-17	38,78		*		*				
P-18	422,57		*		*				
P-19	104,00		*		*				
P-20	67,18		*		*				
P-21	193,73		*		*				
P-22	28,15		*		*				
P-23	*		329,83		*				
P-24	*		93,21		*				
P-25	*		149,13		*				
P-26	*		*		109,42				
P-27	*		*		43,39				
P-28	*		*		*				
P-29	*		*		21,49				
P-30	*		*		18,01				
P-31	*		*		26,43				
EMISSÕES SUPERFICIAIS- MÉDIA PELO IQD	82,67	4.260.398	164,19	8.292.580	38,91	1.939.741	14.492.720		
MEDIÇÕES EM DRENOS VERTICAIS	Emissão de CH ₄ (Nm³/h)	Emissão anual na Área 1 (Nm³/ano)	Emissão de CH ₄ (Nm³/h)	Emissão anual na Área 2 (Nm³/ano)	Emissão de CH ₄ (Nm³/h)	Emissão anual na Área 3 (Nm³/ano)		Emissão anual nos Drenos do Aterro (Nm³/ano)	
DA-01	0,12		*		*				
DA-02	2,66		*		*				
DA-03	3,14		*		*				
DA-04	2,75		*		*				
DA-05	4,88		*		*				
DA-06	**		**		**				
DA-07	*		42,28		*				
DA-08	*		*		11,84				
DA-09	*		*		0,07				
DA-10	*		*		11,77				
DA-11	**		**		**				
DA-12	**		**		**				
DAN-13	8,49		*		*				
DAN-14	1,98		*		*				
DAN-15	3,00		*		*				
DAN-16	20,85		*		*				
DAN-17	2,33		*		*				
DAN-18	35,85		*		*				
DAN-19	17,32		*		*				
DAN-20	16,35		*		*				
DAN-21	5,04		*		*				
DAN-22	9,60		*		*				
EMISSÕES POR DRENOS	134,34	1.176.817	42,28	370.335	23,69	207.496		1.754.648	16.247.368
Observações: ** drenos extintos após a primeira campanha de ensaios									

Os resultados obtidos nos ensaios com placa de fluxo variaram de 0,88 NL/h.m² a 48,24 NL/h.m², com média de 10,24 NL/h.m², valor equivalente a 175,5 g/dia.m² em termos de vazão mássica. A média obtida para toda a superfície foi menor que a alcançada na primeira campanha de medidas. Os ensaios não considerados não apresentaram leitura de gás metano, mas apresentaram leitura de dióxido de carbono e foram considerados na quantificação deste gás.

Os drenos verticais exibiram valores de emissão variando de 0,07 Nm³/h (DA-01) a 42,28 Nm³/h (DA-07). O dreno 07 voltou a apresentar maior vazão de todos os drenos conforme a primeira campanha, mas com vazão bem inferior. Os motivos podem se relacionar à instalação de um queimador em sua extremidade, construído de forma inadequada por não apresentar impermeabilização no seu entorno, propiciando diversas possibilidades de fuga para os gases.

A emissão pela camada de cobertura do aterro registrou 89,2% do total de emissões de gás metano. As emissões por drenos diminuíram em relação à primeira campanha.

A segunda campanha registrou emissão total de gás metano de 16.247.368 Nm³/ano. Repetindo os cálculos e os procedimentos para o dióxido de carbono, o valor da emissão total na superfície foi de 15.252.520 Nm³/ano e o valor da emissão por drenos foi de 1.477.900 Nm³/ano de dióxido de carbono, totalizando 16.730.419 Nm³/ano.

O valor total das emissões de biogás na segunda campanha, considerando a soma do gás metano e do dióxido de carbono, anotou o valor de 32.977.786 Nm³/ano. O volume registrado foi pouco inferior ao da primeira campanha de medidas.

TERCEIRA CAMPANHA DE MEDIDAS: NOVEMBRO DE 2010

A terceira campanha de medidas aconteceu nos dias 29, 30 e 31 de outubro e 01 e 02 de novembro de 2010 pela Universidade Estadual de Londrina. O clima da região se apresentava em início de época de chuvas, com 298 milímetros de precipitação entre a segunda e a terceira campanhas.

Foram realizados 36 ensaios com placas de fluxo, nomeados PT-01 a PT-36. Com relação à distribuição dos ensaios, a terceira campanha apresentou-se melhor que as outras campanhas, principalmente pela experiência obtida no trato de campo. Os ensaios PT-01 a PT-21 foram realizados na área 1 (51.535 m² e idade dos resíduos sólidos depositados até 2 anos), os ensaios PT-22 a PT-29 foram realizados na área 2 (50.506 m² e idade dos resíduos sólidos depositados entre 2 e 6 anos) e os ensaios PT-30 a PT-36 foram realizados na área 3 (49.852 m² e resíduos com idade superior a 6 anos). As dimensões das áreas 1, 2 e 3 não sofreram alterações significativas entre a segunda e terceira campanhas e foram mantidas iguais.

Os drenos existentes na terceira campanha de medidas eram os mesmos da segunda campanha com o incremento de um (DAN-23) que se mostrava um dreno precário instalado entre as duas campanhas. Entre a segunda e a terceira campanhas foi extinto o dreno DA-01 pela operadora do aterro.

RESULTADOS DA TERCEIRA CAMPANHA DE MEDIDAS

Os procedimentos para obtenção dos resultados da terceira campanha de medidas seguiram os mesmos procedimentos da segunda campanha. Foram utilizados formulários padronizados para coleta das leituras de campo e os dados foram transferidos para planilhas previamente montadas para proceder aos cálculos de normalização dos gases.

Os valores de emissão obtidos nos ensaios com placa estática de fluxo foram tratados estatisticamente pelo método IQD para obtenção das médias de emissão em cada área (1, 2 e 3). Posteriormente essas médias foram aplicadas às dimensões de cada área para obtenção das emissões na camada de superfície.

A tabela 3 segue os mesmos procedimentos de cálculo aplicados nas tabelas anteriores. Na parte superior da tabela são apresentados os resultados obtidos nos ensaios com placa estática de fluxo e na região inferior da tabela são apresentados os resultados de vazão nos drenos, aplicados em suas respectivas áreas.

Tabela 3: Resultados quantitativos de gás metano obtidos na superfície e nos drenos verticais do aterro controlado de Londrina na terceira campanha de medidas.

EMIÇÃO DE GÁS METANO OBTIDA A PARTIR DOS ENSAIOS DE PLACA E DOS ENSAIOS NOS DRENOS VERTICAIS - TERCEIRA CAMPANHA									
ÁREAS DO ATERRO	ÁREA 1 (51.535 m²) - RESÍDUOS DEPOSITADOS ATÉ 2 ANOS		ÁREA 2 (50.506 m²) - RESÍDUOS DEPOSITADOS ATÉ 6 ANOS		ÁREA 3 (49.852 m²) - RESÍDUOS DEPOSITADOS HÁ MAIS DE 6 ANOS		Emissão total na superfície	Emissão total nos drenos	EMIÇÃO TOTAL NO ATERRO
ENSAIOS COM PLACA DE FLUXO	Emissão de CH ₄ (Nm³/m². ano)	Emissão anual na Área 1 (Nm³/ano)	Emissão de CH ₄ (Nm³/m². ano)	Emissão anual na Área 2 (Nm³/ano)	Emissão de CH ₄ (Nm³/m². ano)	Emissão anual na Área 3 (Nm³/ano)	Emissão anual na Superfície do Aterro (Nm³/ano)		Emissão Anual Total no Aterro (Nm³/ano)
PT01	4,37		*		*				
PT02	30,49		*		*				
PT03	87,11		*		*				
PT04	23,38		*		*				
PT05	13,64		*		*				
PT06	47,74		*		*				
PT07	20,39		*		*				
PT08	18,00		*		*				
PT09	*		*		*				
PT10	69,80		*		*				
PT11	654,25		*		*				
PT12	816,52		*		*				
PT13	73,69		*		*				
PT14	23,18		*		*				
PT15	138,12		*		*				
PT16	53,71		*		*				
PT17	18,93		*		*				
PT18	54,16		*		*				
PT19	23,71		*		*				
PT20	13,32		*		*				
PT21	17,10		*		*				
PT22	*		18,15		*				
PT23	*		25,66		*				
PT24	*		310,42		*				
PT25	*		466,40		*				
PT26	*		7,38		*				
PT27	*		11,00		*				
PT28	*		31,90		*				
PT29	*		517,52		*				
PT30	*		*		13,30				
PT31	*		*		8,69				
PT32	*		*		170,44				
PT33	*		*		55,44				
PT34	*		*		44,60				
PT35	*		*		10,62				
PT36	*		*		17,00				
EMIÇÕES SUPERFICIAIS- MÉDIA PELO IQD	122,10	6.292.424	171,15	8.644.102	52,96	2.640.162	17.576.687		
MEDIÇÕES EM DRENOS VERTICAIS	Emissão de CH ₄ (Nm³/h)	Emissão anual na Área 1 (Nm³/ano)	Emissão de CH ₄ (Nm³/h)	Emissão anual na Área 2 (Nm³/ano)	Emissão de CH ₄ (Nm³/h)	Emissão anual na Área 3 (Nm³/ano)		Emissão anual nos Drenos do Aterro (Nm³/ano)	
DA-01	**		**		**				
DA-02	1,14		*		*				
DA-03	2,64		*		*				
DA-04	2,14		*		*				
DA-05	4,57		*		*				
DA-06	**		**		**				
DA-07	*		28,79		*				
DA-08	*		*		5,21				
DA-09	*		*		0,00				
DA-10	*		*		1,62				
DA-11	**		**		**				
DA-12	**		**		**				
DAN-13	3,18		*		*				
DAN-14	1,62		*		*				
DAN-15	0,85		*		*				
DAN-16	13,76		*		*				
DAN-17	3,28		*		*				
DAN-18	37,59		*		*				
DAN-19	4,46		*		*				
DAN-20	10,56		*		*				
DAN-21	1,23		*		*				
DAN-22	14,62		*		*				
DAN-23	35,50		*		*				
EMIÇÕES POR DRENOS	137,14	1.201.337	28,79	252.171	6,84	59.907	0,0	1.513.415	19.090.103
Observações:	** drenos extintos após a segunda campanha de medidas								

Os ensaios com placa de fluxo apresentaram variabilidade de resultados entre 0,05 NL/h.m² (PT-01) e 92,99 NL/h.m² (PT-12). A média geral de todos os resultados foi de 12,72 NL/h.m² (equivalente a 218,1 g/dia.m²), valor inferior a média da primeira campanha e superior à média da segunda campanha de medidas.

Os drenos verticais mostraram valores variando entre 0 Nm³/h (DA-09) e 37,59 Nm³/h no dreno DAN-18. O dreno DA-07 apresentou vazão elevada (28,29 Nm³/h), mas inferior ao dreno DAN-18. De forma geral, a vazão por drenos diminuiu sucessivamente nas três campanhas apesar do incremento do número de drenos, demonstrando a ineficácia do sistema aplicado ao aterro controlado de Londrina. A vazão de gás metano por drenos na terceira campanha representou 7,9% do total obtido na campanha.

O volume total de gás metano medido na terceira campanha foi de 19.090.103 Nm³/ano. Repetindo os procedimentos de cálculo para o dióxido de carbono, obtiveram-se os volumes de 1.405.630 Nm³/ano para os drenos e 16.041.015 Nm³/ano para a camada de superfície do aterro, perfazendo 17.446.644 Nm³/ano de dióxido de carbono na terceira campanha.

Considerando como volume total de biogás estimado na terceira campanha os volumes de gás metano e de dióxido de carbono, totalizou-se 36.536.747 Nm³/ano de biogás. O volume registrado foi superior ao das duas campanhas anteriores, mas relativamente próximo aos outros volumes de biogás.

RESULTADOS COMPARATIVOS DAS CAMPANHAS DE MEDIDAS

A análise comparativa tornou-se importante para avaliação das emissões em cada área selecionada na respectiva campanha, observando a validade da metodologia de seleção de áreas utilizadas no aterro controlado de Londrina.

Para tal, a tabela 4 apresenta os resultados comparativos das campanhas e as fases de biodegradação previamente escolhidas para aplicação metodológica.

Tabela 4: Resumo dos resultados obtidos para o aterro controlado de Londrina por meio das três campanhas de medidas.

EMIÇÃO DE GASES NO ATERRO CONTROLADO DE LONDRINA											
RESULTADOS FINAIS OBTIDOS A PARTIR DAS CAMPANHAS DE MEDIDAS											
ÁREAS SELECIONADAS DO ATERRO	ÁREA 1 (ATÉ 2 ANOS)		ÁREA 2 (ATÉ 6 ANOS)		ÁREA 3 (MAIS DE 6 ANOS)		TOTAIS PARCIAIS DA EMISSÃO DE CH ₄ NAS CAMPANHAS DE ENSAIOS		GÁS METANO EMITIDO NO ATERRO	GÁS CARBÔNICO EMITIDO NO ATERRO	BIOGÁS EMITIDO NO ATERRO
FASES PRINCIPAIS DE BIODEGRADAÇÃO	AJUSTE INICIAL - TRANSIÇÃO - ACIDOGÊNICA -		METANOGENICA		MATURAÇÃO						
CAMPANHAS EXPERIMENTAIS	EMIÇÃO CH ₄ NA SUPERFÍCIE	EMIÇÃO CH ₄ POR DRENOS	EMIÇÃO CH ₄ NA SUPERFÍCIE	EMIÇÃO CH ₄ POR DRENOS	EMIÇÃO CH ₄ NA SUPERFÍCIE	EMIÇÃO CH ₄ POR DRENOS	EMIÇÃO CH ₄ NA SUPERFÍCIE	EMIÇÃO CH ₄ POR DRENOS	EMIÇÃO TOTAL DE CH ₄	EMIÇÃO TOTAL DE CO ₂	EMIÇÕES TOTAIS CH ₄
	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)
PRIMEIRA CAMPANHA	5.530.067	241.776	8.748.463	1.666.152	*	654.372	14.278.530	2.562.300	16.840.830	16.840.830	33.681.660
SEGUNDA CAMPANHA	4.260.398	1.176.817	8.292.580	370.335	1.939.741	207.496	14.492.719	1.754.648	16.247.367	16.730.419	32.977.786
TERCEIRA CAMPANHA	6.292.424	1.201.337	8.644.102	252.171	2.640.162	59.907	17.576.688	1.513.415	19.090.103	17.446.644	36.536.747

Observou-se que os valores de emissão obtidos na camada de superfície de cada área selecionada foram consentâneos com a fase de biodegradação previamente escolhida na metodologia, seguindo a mesma ordem de grandeza. Os resíduos sólidos depositados na área 2 e que deveriam ter comportamento de fase metanogênica mostraram os maiores valores de emissão, confirmado nas três campanhas. Os resíduos sólidos em fases iniciais de biodegradação (área 1) apresentaram valores intermediários de emissão nas três campanhas. Os resíduos mais antigos (área 3), tipicamente em fase de maturação, também apresentaram valores de emissão concernentes a esta fase de biodegradação.

Os drenos verticais apresentaram relativamente pouca variação nas campanhas, alcançando no máximo 15,2% de participação nas emissões totais de gás metano.

Os valores de emissão total de dióxido de carbono ficaram próximos aos valores de gás metano, mostrando resultados típicos para a participação desses gases no biogás de aterros.

CONCLUSÕES

As conclusões da pesquisa apontam para os seguintes pontos:

O aterro controlado de Londrina apresentou emissão média nas três campanhas de medidas de 34.398.731 Nm³/ano. As campanhas registraram diferença de 9% entre o maior e o menor volume de biogás registrado nas três campanhas.

Os valores médios das emissões superficiais de gás metano em suas respectivas áreas seguiram a seleção inicial das áreas conforme a idade dos resíduos sólidos depositados e suas respectivas fases de biodegradação, apesar de ser conhecido que o biogás pode percolar de forma aleatória no interior da massa de lixo do aterro.

Considerando somente o gás metano emitido pelo aterro, as campanhas mostraram que emissão média foi de 17.392.767 Nm³/ano. O valor representou 50,6% do volume médio de biogás emitido no aterro.

As campanhas de medidas mostraram que, em média, 15.449.312 Nm³/ano de gás metano vaza pela camada de cobertura existente na superfície do aterro, representando 88,8% da emissão média total do gás. O valor das emissões nos drenos verticais representou 11,2% (1.943.454 Nm³/ano), demonstrando a ineficácia do sistema de drenagem de gases do aterro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AUDIBERT, J. L. Avaliação Qualitativa e Quantitativa do Biogás do Aterro Controlado de Londrina. Londrina. 2011. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento-Universidade Estadual de Londrina, 2011.
2. TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. Integrated Solid Waste Management. Engennering Principles and Management Issues. Irwin MacGraw-Hill, 1993.
3. MACIEL, F.J.; JUCA, J.F.T. Avaliação Simplificada do Biogás do Aterro de Londrina/Pr. Relatório de Resultados. Grupo de Resíduos Sólidos. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Brasil. 2009.
4. MACIEL, F.J. Estudo da Geração, Percolação e Emissão de Gases no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca/Pe. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Brasil. 2003.