

III-011 - INFLUÊNCIA DO PLANTIO DE GRAMÍNEAS NA CAMADA DE COBERTURA DE ATERRO SANITÁRIO NO FLUXO DE GASES

Gemmelle Oliveira Santos⁽¹⁾

Doutor em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC); Professor do Departamento de Química e Meio Ambiente do Instituto Federal de Ceará (IFCE), Campus Fortaleza.

Francisco Suetônio Bastos Mota

Doutor em Saúde Ambiental; Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará; Membro da Academia Cearense de Ciências.

Endereço⁽¹⁾: Av. 13 de Maio, 2081, Benfica, Fortaleza-CE, 60040531, Brasil - Tel: 55 (85) 3307.3646, gemmelle@ifce.edu.br

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar as reduções das emissões de CH₄ e CO₂ para a atmosfera, para diferentes gramíneas plantadas em solo de cobertura de aterro sanitário. As estimativas das emissões foram realizadas por meio de ensaios com placa de fluxo estático na camada convencional ("branco") comparativamente à camada cultivada. Em relação aos fluxos mássicos, houve aumento entre as campanhas (média): 2,5 x 10⁻³ e 3,6 x 10⁻³ g/m².s de CH₄ (1°C e 2°C, respectivamente), 1,2 x 10⁻² e 1,5 x 10⁻² g/m².s de CO₂ (1°C e 2°C). Os fluxos volumétricos foram (média): 4,0 x 10⁻⁶ e 5,7 x 10⁻⁶ m³/m².s de CH₄ (1°C e 2°C) e 7,0 x 10⁻⁶ e 8,8 x 10⁻⁶ m³/m².s de CO₂ (1°C e 2°C). Em relação aos cultivos, observou-se que cada um teve uma capacidade diferente de impedir as emissões dos gases pela cobertura. Em ordem decrescente, observou-se (média): Mombaça (2,6 e 3,8% de CH₄ na 1°C/2°C; 4,6 e 6,0% de CO₂ na 1°C/2°C), Massai (2,0 e 2,8% de CH₄; 3,5 e 4,5% de CO₂), Andropogon (1,1 e 1,5% de CH₄; 1,9 e 2,5% de CO₂), Bermuda (0,9 e 1,3% de CH₄; 1,6 e 2,0% de CO₂) e capim Buffel (0,4 e 0,6% de CH₄; 0,5 e 0,6% de CO₂). Os fluxos mássicos e volumétricos também foram menores no solo cultivado com capim Mombaça e maiores no capim Buffel e isso manteve relação com as principais características morfológicas, estruturais, produtivas e nutricionais utilizadas na avaliação da sobrevivência e desenvolvimento dos cultivos. A retenção dos gases promovida pelos cultivos significa (I) redução da poluição do ar oriunda do aterro sanitário, (II) mitigação das emissões por processos de percolação nas camadas de cobertura, (III) redução da contribuição local em termos de efeito estufa e aquecimento global.

PALAVRAS-CHAVE: Gramíneas, Cobertura de aterro sanitário, Aterro sanitário, Fluxo de gases.

INTRODUÇÃO

Estudos voltados à redução das emissões de CH₄ e CO₂ pela cobertura dos aterros sanitários complementam os temas já pesquisados no Brasil e podem auxiliar (i) no desenvolvimento de projetos de aproveitamento energético do metano e de créditos de carbono mais seguros e econômicos, (ii) na recuperação paisagística das áreas de disposição de RSU (com consequente redução do impacto visual e reintegração da área do aterro à paisagem vizinha) e (iii) no sequestro de carbono.

Porém, a correta projeção do volume e qualidade dos gases e também das emissões em coberturas convencionais somente é possível a partir do monitoramento contínuo das variáveis que envolvem a construção e operação do aterro sanitário, contudo o cotidiano desses empreendimentos praticamente inviabiliza esse tipo de projeção; daí a importância da construção de células experimentais operando em escala real.

Uma célula experimental permite reproduzir, com maior fidelidade e controle técnico e operacional, as condições de um aterro sanitário. Na literatura nacional há alguns estudos realizados com células experimentais de RSU (de maior ou menor porte que a apresentada neste trabalho): São Carlos-SP (MORUZZI MARQUES, 2001), Recife-PE (MONTEIRO, 2003; MACIEL, 2009), Porto Alegre-RS (SOUZA, 2003), Brasília-DF (ARAÚJO, 2001; VIEIRA DOS SANTOS, 2004), Belo Horizonte-MG (CATAPRETA, 2008; FERNANDES, 2009), Rio das Ostras-RJ (PIRES, 2007), Santo André-SP (CANDIANI, 2011).

A leitura desses trabalhos permitiu a idealização, construção e monitoramento de uma Célula Experimental (CE) na Região Metropolitana de Fortaleza e sobre sua camada de cobertura convencional (solo natural) decidiu-se realizar o plantio de sementes de gramíneas, avaliar suas respectivas capacidades de reduzir as emissões de CH₄ e CO₂ para a atmosfera; seja por (i) sequestro de carbono, (ii) aumento da saturação do solo em função do crescimento da umidade na rizosfera, (iii) redução dos espaços vazios do solo (impedimento mecânico) provocado pelas raízes ou outros processos ainda pouco estudados.

O uso de gramíneas sobre a cobertura final de aterros sanitários é relatado¹ e recomendado na literatura já que contribui para: i) redução das fissuras, dos processos erosivos e da entrada de água e ar no maciço de RSU, ii) aumento da estabilidade dos taludes, iii) recuperação paisagística, iv) sequestro de carbono, v) redução da suspensão de partículas (poeira) e vi) regulação da temperatura (MAGALHÃES, 2005; DE SOUZA, 2007; MANHAGO, 2008; MEINERZ *et al.*, 2009; LONDE e BITAR, 2011).

Diante das referenciadas vantagens teóricas do uso de gramíneas sobre os aterros sanitários decidiu-se investigar a capacidade de um tipo de grama (Bermuda) e quatro tipos de capim (Andropogon, Massai, Buffel e Mombaça) de redução das emissões de CH₄ e CO₂ para a atmosfera.

A investigação com gramíneas se soma às pesquisas realizadas com outros materiais, *in situ* e em laboratório, sobre redução das emissões em coberturas: (i) compostos a base de resíduos sólidos, folhas e lodo de esgoto, (ii) húmus de minhoca e carvão ativado em pó e (iii) madeira triturada (DEVER, SWAEBRICK e STUETZ, 2007; PARK *et al.*, 2008).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as reduções das emissões de CH₄ e CO₂ para a atmosfera, para diferentes gramíneas plantadas em solo de cobertura de aterro sanitário. Caso as emissões de gases pela cobertura dos aterros sanitários reduzissem, em função das alternativas de cultivos testadas, esta seria uma contribuição essencial para a redução do efeito estufa antropogênico proveniente dos aterros.

MATERIAL E MÉTODOS

- A Célula Experimental de Resíduos Sólidos

A Célula Experimental (CE) foi construída numa área não utilizada do Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC), que dista aproximadamente 30 km, pelas BR-222 e BR-020, do centro de Fortaleza (Ceará, Nordeste, Brasil).

Em função do tamanho da área disponibilizada para a CE e do nível d'água encontrado na área (6,0 m), uma trincheira de 784 m³ (4 metros de profundidade x 14 metros de comprimento x 14 metros de largura) foi aberta com escavadeira hidráulica Caterpillar 320DL.

A quantidade de resíduos disposta no experimento (440 toneladas) foi controlada por meio do processo de pesagem eletrônica dos caminhões na cabine de controle existente na portaria do ASMOC e do acompanhamento de 50 veículos compactadores até a CE. Cabe destacar que a CE experimental foi preenchida e coberta em um único dia. Os operadores das máquinas foram orientados a cumprir 5-6 passadas sobre a massa de resíduos, para permitir a obtenção de uma densidade de 0,6 toneladas/m³.

A cobertura da CE teve 60 cm de espessura e foi realizada com o solo proveniente da escavação da área de estudo. O solo da camada de cobertura da CE pode ser classificado como areia fina silto-argilosa, apresentando: entre 23 - 29% de argila, 30 - 35% de silte, 18 - 24% de areia fina, 11 - 18% de areia média, 4 - 5% de areia grossa, 1 - 4% de pedregulho; Limite de Liquidez (LL) entre 27 - 31%, Limite de Plasticidade (LP) entre 13 - 17% e Índice de Plasticidade (IP) entre 12 - 15%; Umidade ótima entre 11,100 - 12,200% e massa específica seca entre 1,989 - 2,008 g/cm³; Permeabilidade à água entre 2,0 - 3,4 x 10⁻⁵ cm/s.

¹ Segundo a USEPA (1999) existem quatro aterros sanitários nos Estados Unidos contendo cobertura vegetal proposital sobre as camadas finais, sendo um em Atlanta (Georgia), um em Beltsville (Maryland), um em Kalamazoo (Michigan) e um em Wenatchee (Washington). No Brasil, existem projetos de revegetação para o aterro Bandeirantes, Vila Albertina, São João, Sapopemba e São Matheus (SÃO CARLOS, 2008).

Os resíduos sólidos destinados à CE tinham a seguinte composição física: restos de alimentos (35,8%), outros (12,6%), plástico flexível (12,4%), fralda (8,4%), trapos (7,7%), papel (4,8%), plástico rígido (3,2%), resíduo de jardim (3,0%), papelão (1,9%), jornal (1,8%), PET (1,5%), vidro escuro (1,4%), embalagem cartonada (1,4%), ferro (0,8%), vidro claro (1,2%), borracha (1,1%) e alumínio (0,8%).

A densidade aparente média dos RSU despejados fora da CE foi de 188 kg/m^3 , mostrando que eles receberam apenas a compactação do veículo coletor e ressaltando a importância do rigor no processo de compactação destes quando colocados dentro da CE, para se alcançar o triplo da massa por m^3 (desejável). O menor valor encontrado foi 147 kg/m^3 e o maior 223 kg/m^3 . Os resultados da densidade aparente que mais se repetiu durante os ensaios foi 200 kg/m^3 (Moda), e a dispersão (Desvio padrão) entre os dados foi igual a 18.

O teor de umidade presente nos resíduos sólidos, após 24 horas no interior da Estufa (1ª pesagem) variou de 10,5% (amostra nº9) a 19,6% (amostra nº2) e a média das dez amostras analisadas ao mesmo tempo na Estufa foi 15,1%.

- O Plantio das Gramíneas

O plantio das gramíneas exigiria a preparação preliminar do solo da cobertura da CE de RSU, porém esse procedimento não foi realizado mantendo-se assim a originalidade e semelhança da cobertura com as condições típicas dos aterros sanitários.

Em seguida, uma área de 9 m^2 foi reservada para cada cultivo além dos espaços deixados como “corredores” para facilitar o processo de irrigação (manual) e evitar o transporte de sementes pelo vento de uma cultura para outra (contaminação).

A escolha das sementes se deu após revisão de literatura, leitura de catálogos, visitas à Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (EMATERCE) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Assim, foram selecionados cinco tipos de sementes: *Cynodon dactylon* (grama Bermuda), *Andropogon gayanus* cv. Planaltina (capim Andropogon), *Cenchrus ciliaris* L. (capim Buffel), *Panicum maximum* cv Massai (capim Massai) e *Panicum maximum* cv Mombaça (capim Mombaça).

Os principais critérios adotados para escolha dessas espécies foram: alta resistência à seca, crescimento perene, pouca exigência quanto à fertilidade do solo e baixo custo de aquisição.

As sementes (aproximadamente 100g de cada) foram lançadas sobre a cobertura da CE e posteriormente cobertas manualmente com uma fina camada (1 - 2 cm) de solo natural disponível no entorno da CE. Esse tipo de plantio trouxe rapidez e economia, no entanto, a semeadura ocorreu de forma irregular e a emergência desuniforme.

O processo de irrigação foi manual e duas vezes ao dia durante a germinação e crescimento inicial com aproximadamente $2,5 \text{ L.m}^{-2}$ por turno, já que não havia disponibilidade de água superior a essa taxa. Pela ausência de água nas proximidades da CE, foram colocados oito tambores de 200 L, cada, para armazenamento da água de irrigação (espécie de reservatório) e o reabastecimento destes foi realizado com carro-pipa, quando necessário (geralmente uma vez por semana) a partir da coleta feita em um poço da região.

Devido à ausência de água nas proximidades da CE, foram colocados oito tambores de 200 litros (cada) para armazenamento da água para irrigação, de forma que eles funcionaram como uma espécie de *reservatório*. O reabastecimento dos tambores foi realizado com 'carro-pipa' uma vez por semana a partir da coleta feita pelo veículo em um poço profundo da região.

A água utilizada durante o processo de irrigação também foi amostrada, preservada e encaminhada para análise, com frequência quadrimestral, a título de controle.

Tabela 1 - Resultados das análises laboratoriais das amostras da água utilizada na irrigação

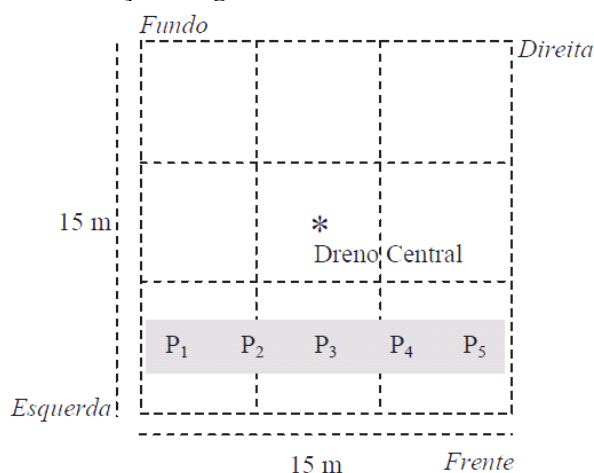
Variável	Unidade	Data da Coleta		
		19/10/2011	07/02/2012	12/06/2012
pH	-	6,5	7,0	6,8
Cor aparente	uH	195	184	145
Turbidez	uT	20,4	19,0	15,8
Condutividade	μS/cm	365,0	343,2	308,7
Sólidos Totais	mg/L	248,2	211,1	198,9
Sólidos Voláteis		13,0	12,1	14,1
Amônia		2,63	2,00	2,11
Nitrito		0,24	0,15	0,32
Nitrato		1,79	1,05	1,78
Fósforo total		< 0,01	< 0,01	< 0,01
DQO		63,0	56,8	60,1
Ferro total		4,01	3,74	4,00
Alcanilidade total		65,3	60,2	70,0

- Estimativas das Emissões

As estimativas das emissões de gases pela camada de cobertura foram realizadas por meio de ensaios com placa de fluxo estático. Nessa modalidade, os gases sofrem recirculação entre o leitor de concentração e o interior da placa através de conexões de borracha, compondo um ciclo fechado.

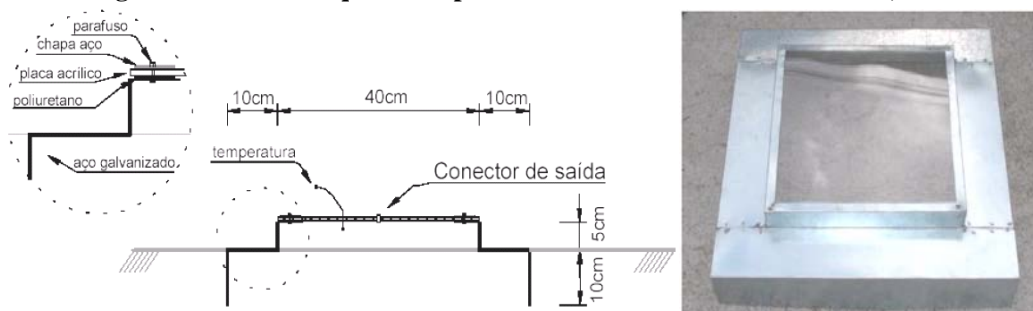
Considerando a área útil da superfície da CE (~ 98 m²) disponível para servir como setor de referência “branco” (camada de cobertura convencional), cinco pontos foram monitorados entre 06 e 10 de fevereiro de 2012 (primeira campanha) e 13 e 17 de agosto de 2012 (segunda campanha), sendo que cada ponto (chamados P₁, P₂, P₃, P₄ e P₅) foi acompanhado durante um dia nos dois turnos. Os RSU estavam há seis meses aterrados (primeira campanha) e há um ano (segunda campanha). A distribuição aproximada desses pontos é mostrada na Figura 1, observando-se uma sequência paralela de localização.

Figura 1 - Pontos de medição dos gases na camada de cobertura convencional, 2011



Foram confeccionadas cinco placas com chapa de aço em forma de degrau e na parte superior da cada placa foi fixada com parafuso e fita dupla face 3M uma peça quadrada (40 cm por 40 cm) de acrílico de 0,5 cm de espessura, com dois pequenos orifícios que recebiam as conexões de borracha do leitor de gases. A Figura 2 mostra a estrutura da placa e um dos exemplares.

Figura 2 - Vista do esquema da placa e de uma unidade confeccionada, 2011



A placa confeccionada seguiu o modelo proposto por Maciel (2003), sendo considerada adequada para estudos *in situ*, pela simples instalação, baixo custo e precisos resultados pontuais. Cada placa confeccionada para esta pesquisa possuía uma área útil de 0,16 m² e volume de 8 litros.

Para fixação da placa na camada de cobertura realizava-se a marcação do seu perímetro no solo, escavação manual pelas laterais externas da placa, colocação da placa sobre a camada escavada e reposição do solo manualmente.

O equipamento utilizado para medir a concentração dos gases foi o detector portátil da marca GEM2000 (LANDTEC). Esse equipamento permite a leitura simultânea das percentagens volumétricas de CH₄, CO₂ e O₂, além da temperatura interna e da pressão dos gases.

O princípio de detecção do metano e do gás carbônico pelo GEM2000 baseia-se na capacidade que esses gases têm de absorver radiação eletromagnética na faixa do infravermelho. Já a detecção do oxigênio é feita mediante célula eletroquímica interna.

Na pesquisa em questão, o GEM2000 foi programado para (i) realizar uma leitura (chamada de ciclo) a cada 5 minutos e (ii) ler a concentração dos gases durante 30 segundos sem interrupções. O monitoramento dos gases em cada ensaio de placa durou 180 minutos, tanto no turno da manhã quanto da tarde.

O fluxo do gás foi calculado por meio de uma expressão conhecida na literatura referente a estudos sobre a emissão de gases em camadas de cobertura (PARK e SHIN, 2001; HEDGE, CHAN e YANG, 2003; ABICHOU *et al.*, 2006; STERN *et al.*, 2007; SCHEUTZ *et al.*, 2008; ZHANG, HE e SHAO, 2008; XU, TOWNSEND e REINHART, 2010; CAPACCIONI *et al.*, 2011):

$$J = \frac{V_p \cdot \rho_{\text{gás}} \cdot \Delta C}{A \cdot \Delta t} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: J = fluxo do gás, expresso em kg/m².s; V_p = volume útil da placa de fluxo (0,008m³); A = □ área de solo coberta pela placa (0,16m²); ρ_{gás} = densidade do gás a determinada temperatura (kg/m³); ΔC/Δt = variação da concentração do gás (% vol.) com o tempo (s). As densidades dos gases CH₄ e CO₂ foram corrigidas em função das leituras de temperatura interna da placa, por meio das seguintes expressões:

$$\rho_{\text{CH}_4}(t) = \frac{\rho_{\text{CH}_4}(0^\circ\text{C}) \cdot 273}{(273 + t)} \quad (\text{Equação 2})$$

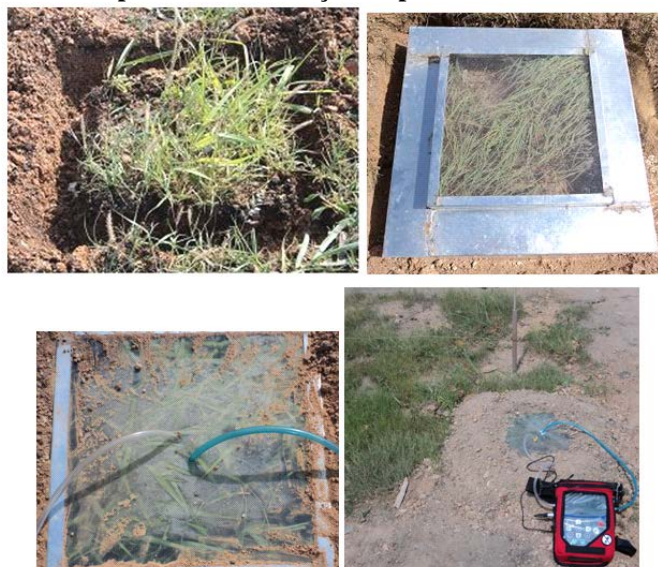
$$\rho_{\text{CO}_2}(t) = \frac{\rho_{\text{CH}_4}(t) \cdot \text{PM}_{\text{CO}_2}}{\text{PM}_{\text{CH}_4}} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: ρ_{CH₄}(t) = densidade do metano em função da temperatura (t) em °C; ρ_{CH₄}(0°C) = 0,716 kg/m³; ρ_{CO₂}(t) = densidade do dióxido de carbono em função da temperatura (t) em °C; PM_{CH₄} = peso molecular do metano (16), PM_{CO₂} = peso molecular do dióxido de carbono (44).

Maciel (2003) recomenda que a variação da concentração do gás com o tempo (ΔC/Δt) seja representada em termos mássicos (ΔM/Δt), já que o fluxo (J) decresce com o decorrer do ensaio de placa estática.

Para determinar as concentrações sobre os cultivos foi efetuado um corte uniforme a 10 cm do solo após 60 dias do plantio, para realização da primeira campanha, e após 240 dias, para realização da segunda campanha. Com o corte, foi possível fixar a placa sobre a camada cultivada, avaliar as concentrações dos gases emitidos ao longo do período de monitoramento e calcular o fluxo do gás da mesma forma utilizada para a camada não cultivada ("branco"), como mostra a Figura 3.

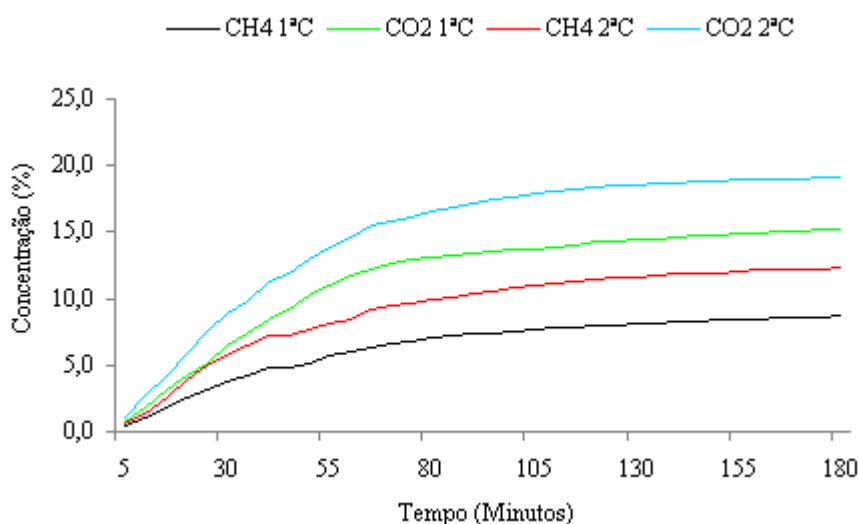
Figura 3 - Vista do processo de cravação da placa na camada cultivada da CE



RESULTADOS

As concentrações dos gases CH_4 e CO_2 no interior da placa durante as campanhas (1ª C: 06 a 10 de fevereiro de 2012, 2ª C: 13 a 17 de agosto de 2012) aumentaram ao longo dos 180 minutos de monitoramento (média dos Pontos 1 a 5). A Figura 4 mostra o comportamento das concentrações durante o monitoramento.

Figura 4 - Concentração (%) de CH_4 e CO_2 na placa (cobertura da CE, duas campanhas)



Os gases emitidos pelo solo da camada de cobertura ("branco") foram compostos, na primeira campanha, em média, por 11,6% de CO_2 , 6,5% de CH_4 , 9,1% de O_2 e 72,7% de outros gases. Na segunda campanha, houve um aumento na concentração dos dois principais gases de interesse (CO_2 : 0,3 vezes e CH_4 : 0,4 vezes) e redução nos demais (O_2 : 0,2 vezes e OG: 0,1 vezes) como se observa: 14,9% de CO_2 , 9,4% de CH_4 , 7,2% de O_2 e 68,5% de outros gases. Outras variáveis calculadas estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados das concentrações dos gases na camada de cobertura (duas campanhas)

Dados da semana de monitoramento (%)								
Variável Calculada	CH₄		CO₂		O₂		OG	OG
	<i>1ª C</i>	<i>2ª C</i>	<i>1ª C</i>	<i>2ª C</i>	<i>1ª C</i>	<i>2ª C</i>	<i>1ª C</i>	<i>2ª C</i>
Moda	7,6	13,5	12,0	17,2	9,0	6,0	70,5	65,0
Mínimo	0,2	0,3	0,4	0,6	6,0	4,0	63,5	55,7
Máximo	10,8	14,8	19,1	23,2	13,0	10,7	88,2	89,6
Desvio padrão	2,6	3,6	4,6	5,5	1,5	1,5	6,0	8,0
Comportamento entre as Campanhas								
<i>Aumento da média</i>	0,4 X		0,3 X		-		-	
<i>Redução da média</i>	-		-		0,2 X		0,1 X	

C = Campanha, OG = Outros Gases. Primeira campanha (06 a 10/02/2012), Segunda campanha (13 a 17/08/2012).

Como se observa na Tabela 2, da primeira para a segunda campanha de monitoramento a concentração de CH₄ que mais se repetiu no interior da placa (Moda) foi 7,6 (1ªC) e 13,5% (2ªC), para o CO₂ foi 12,0 e 17,2% e para O₂ foi 9,0 e 6,0%. Observou-se ainda que a menor concentração de CH₄ foi 0,2 (1ªC) e 0,3% (2ªC) e a maior 10,8 e 14,8% entre as campanhas. Para o CO₂ (menores valores: 0,4 e 0,6%; maiores valores: 19,1 e 23,2%). Para o O₂ (menores valores: 6,0 e 4,0%; maiores valores: 13,0 e 10,7%). Observou-se um aumento na dispersão dos dados referentes às concentrações de todos os gases de uma campanha para outra, exceto para o oxigênio (mesmo desvio padrão).

A camada de cobertura reteve os dois gases de interesse nas duas campanhas (medida pela diferença entre a concentração no dreno e a concentração na camada), como apresenta a Tabela 3. Já os fluxos estão consolidados na Tabela 4.

Tabela 3 - Resultados da retenção dos gases promovida pela cobertura (duas campanhas)

Variável Calculada	CH ₄		CO ₂	
	%			
	1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Média	2,5	3,2	3,8	4,4
Mínimo	0,1	0,3	0,3	0,1
Máximo	7,8	11,0	13,5	17,4

Tabela 4 - Fluxos mássicos e volumétricos dos gases pela cobertura (duas campanhas)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Média	mássico	g/m².s	2,5 x 10 ⁻³	3,6 x 10 ⁻³	1,2 x 10 ⁻²	1,5 x 10 ⁻²
Mínimo			0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo			1,3 x 10 ⁻²	2,9 x 10 ⁻²	6,9 x 10 ⁻²	8,6 x 10 ⁻²
Comparação entre Campanhas						
Aumento da média			0,4 X		0,3 X	
Média	volumétrico	m³/m².s	4,0 x 10 ⁻⁶	5,7 x 10 ⁻⁶	7,0 x 10 ⁻⁶	8,8 x 10 ⁻⁶
Máximo			2,0 x 10 ⁻⁵	4,6 x 10 ⁻⁵	4,0 x 10 ⁻⁵	5,0 x 10 ⁻⁵
Comparação entre Campanhas						
Aumento da média			0,4 X		0,3 X	

Os resultados dos fluxos medidos na cobertura da CE durante as duas campanhas estão dentro dos intervalos constantes na literatura, como se observa na Tabela 5, sendo importante considerar as particularidades de cada uma das áreas de disposição de resíduos sólidos estudadas pelos autores.

Tabela 5 - Fluxos de gases em camadas de cobertura relatados na literatura

Autor(es)/ano	Emissão superficial	
	CH ₄	CO ₂
Park e Shin (2001)	0,0055 - 2,4137 m ³ /m ² /h (1,5 x 10 ⁻⁶ - 6,7 x 10 ⁻⁴ m ³ /m ² .s)*	0,0121 - 2,639 m ³ /m ² /h (3,4 x 10 ⁻⁶ - 7,3 x 10 ⁻⁴ m ³ /m ² .s)*
Marion e Peter (1998)	0,1 - 0,4 m ³ /m ² /h (2,8 x 10 ⁻⁵ - 1,1 x 10 ⁻⁴ m ³ /m ² .s)*	-
Hedge, Chan e Yang (2003)	0,99 - 157,56 mg/m ² /h (2,8 x 10 ⁻⁷ - 4,4 x 10 ⁻⁵ g/m ² .s)*	48,46 - 99,21 mg/m ² /h (1,3 x 10 ⁻⁵ - 2,8 x 10 ⁻⁵ g/m ² .s)*
Laurila <i>et al.</i> (2006)	0,5 - 74 m ³ /ha/h (1,4 x 10 ⁻⁸ - 2,1 x 10 ⁻⁶ m ³ /m ² .s)*	-
Milke, Holman e Khire (2006)	0,005 - 1,49 g/m ² /min (8,3 x 10 ⁻⁵ - 2,5 x 10 ⁻² g/m ² .s)*	-
Stern <i>et al.</i> (2007)	18,1 g/m ² /h (5,0 x 10 ⁻³ g/m ² .s)*	-
Scheutz <i>et al.</i> (2008)	29 g/m ² /d (3,4 x 10 ⁻⁴ g/m ² .s)*	-
Jha <i>et al.</i> (2008)	1,0 - 23,5 mg/m ² /h (2,8 x 10 ⁻⁷ - 6,5 x 10 ⁻⁶ g/m ² .s)*	39,0 - 906 mg/m ² /h (1,1 x 10 ⁻⁵ - 2,5 x 10 ⁻⁴ g/m ² .s)*
Georgaki <i>et al.</i> (2008)	17 g/m ² /h (4,7 x 10 ⁻³ g/m ² .s)*	33 g/m ² /h (9,2 x 10 ⁻³ g/m ² .s)*
Johnsson (2010)	0,0004 - 0,06 g/m ² /h (1,1 x 10 ⁻⁷ - 1,7 x 10 ⁻⁵ g/m ² .s)*	1,26 - 4,45 g/m ² /h (3,5 x 10 ⁻⁴ - 1,2 x 10 ⁻³ g/m ² .s)*
Capaccioni <i>et al.</i> (2011)	3,8 g/m ² /d (4,4 x 10 ⁻⁵ g/m ² .s)*	13,1 g/m ² /d (1,5 x 10 ⁻⁴ g/m ² .s)*
Nava-Martinez, Garcia-Flores e Wakida (2011)	0,17 - 2441,81 g/m ² /h (4,7 x 10 ⁻⁵ - 6,8 x 10 ⁻¹ g/m ² .s)*	-
Maciel (2003)	1,2 - 4,2 x 10 ⁻³ g/m ² /s	-
Fernandes (2009)	23,24 - 337,67 g/dia/m ² (2,7 x 10 ⁻⁴ - 3,9 x 10 ⁻³ g/m ² .s)*	29,09 e 233,24 g/dia/m ² (3,4 x 10 ⁻⁴ - 2,7 x 10 ⁻³ g/m ² .s)*
Berto Neto (2009)	5,66 - 148,20 g/m ² /d (6,6 x 10 ⁻⁵ - 1,7 x 10 ⁻³ g/m ² .s)*	17,78 - 223,04 g/m ² /d (2,1 x 10 ⁻⁴ - 2,6 x 10 ⁻³ g/m ² .s)*
Mariano e Jucá (2010)	7 - 146 kg/m ² /ano (2,2 x 10 ⁻⁴ g/m ² .s)*	-
Lúcia Lopes <i>et al.</i> (2010)	35,20 - 151,95 g/m ² /d (4,1 x 10 ⁻⁴ - 1,8 x 10 ⁻³ g/m ² .s)*	58,07 - 644,74 g/m ² /d (6,7 x 10 ⁻⁴ - 7,5 x 10 ⁻³ g/m ² .s)*
Dados encontrados (médias)	2,5 x 10 ⁻³ g/m ² .s ou 4,0 x 10 ⁻⁶ m ³ /m ² .s (1 ^a C) 3,6 x 10 ⁻³ g/m ² .s ou 5,7 x 10 ⁻⁶ m ³ /m ² .s (2 ^a C)	1,2 x 10 ⁻² g/m ² .s ou 7,0 x 10 ⁻⁶ m ³ /m ² .s (1 ^a C) 1,5 x 10 ⁻² g/m ² .s ou 8,8 x 10 ⁻⁶ m ³ /m ² .s (2 ^a C)

* unidade convertida para a utilizada neste trabalho, facilitando a comparação. C = Campanha

Como se observa, cada área pesquisada pelos autores listados na Tabela 5 apresenta uma particular capacidade de permitir ou reter o fluxo dos gases, assim como observado nessa pesquisa. A ampla faixa de variação do fluxo indica que existem vários fatores que interferem na emissão desses gases como as características geotécnicas do solo, a qualidade e espessura da camada de cobertura, as pressões dos gases no contato solo-resíduo, a idade dos resíduos, as condições climáticas da região etc.

Os gases emitidos pelo solo cultivado com capim Mombaça foram compostos, na primeira campanha, em média, por 7,0% de CO₂, 3,9% de CH₄, 5,5% de O₂ e 83,6% de outros gases. Na segunda campanha, houve

um aumento na concentração dos dois principais gases de interesse (CO_2 : 0,3 vezes e CH_4 : 0,4 vezes) e redução nos demais (O_2 : 0,2 vezes e OG: 0,1 vezes): 8,9% de CO_2 , 5,6% de CH_4 , 4,3% de O_2 e 78,7% de outros gases.

Os fluxos no solo cultivado com capim Mombaça estão consolidados na Tabela 6. Dela se observa que o fluxo mássico na segunda campanha foi 0,2 - 0,5 vezes maior que na primeira campanha. O fluxo volumétrico teve o mesmo comportamento (0,3 - 0,4 vezes maior na segunda). Isso sugere que o aumento do fluxo foi proporcional ao aumento da concentração dos gases decorrente da idade mais avançada dos RSU, já que há uma relação direta entre concentração (ΔC) e fluxo (J).

Tabela 6 - Fluxos mássicos e volumétricos (camada com capim Mombaça, duas campanhas)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Média	mássico	g/m².s	1,5 x 10 ⁻³	2,2 x 10 ⁻³	7,3 x 10 ⁻³	9,1 x 10 ⁻³
Mínimo			0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo			5,2 x 10 ⁻³	1,1 x 10 ⁻²	2,9 x 10 ⁻²	3,3 x 10 ⁻²
Comportamento entre as Campanhas						
Aumento da Média			0,5 X		0,2 X	
Média	volumétrico	m³/m².s	3,3 x 10 ⁻⁶	4,7 x 10 ⁻⁶	5,7 x 10 ⁻⁶	7,2 x 10 ⁻⁶
Máximo			1,3 x 10 ⁻⁵	2,8 x 10 ⁻⁵	2,7 x 10 ⁻⁵	3,2 x 10 ⁻⁵
Comportamento entre as Campanhas						
Aumento da Média			0,4 X		0,3 X	

Realizando uma comparação entre os fluxos de CH_4 e CO_2 medidos na camada cultivada com capim Mombaça em relação aos fluxos medidos na camada de cobertura convencional (branco), observaram-se várias reduções, que chegam, por exemplo, a 62% em massa de CH_4 na segunda campanha, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 - Redução (%) dos fluxos mássicos e volumétricos (Mombaça versus Branco)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Diferenças (%)						
Média	mássico	g/m ² .s	40		39	
Máximo			60	62	58	62
Média	volumétrico	m ³ /m ² .s	18		19	18
Máximo			35	39	33	36

Como se observa, o capim Mombaça conseguiu reduzir as emissões dos dois gases de forma muito parecida nas duas campanhas, em termos mássicos e volumétricos. Se for possível estender as condições atuais por um ano, a ordem de grandeza estimada dessas reduções (emissão do 'branco' - emissão do solo cultivado) seria a representada na Tabela 8.

Tabela 8 - Ordem de grandeza da redução dos fluxos mássicos e volumétricos (Mombaça)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Média	mássico	kg/m ² .ano	32	44	148	184
Máximo			246	567	1262	1681
Média	volumétrico	m ³ /m ² .ano	23	32	42	50
Máximo			221	566	416	568

Como se observa, o capim Mombaça tem a capacidade de reduzir a emissão, em média, de 32 kg/m².ano de CH_4 (considerando os dados da primeira campanha como referência) e 44 kg/m².ano (2ª C). Para o CO_2 , a capacidade de redução alcançaria, em média, 148 kg/m².ano (1ª C) e 184 kg/m².ano (2ª C). Em termos

volumétricos, a capacidade de redução seria de, em média, 23 m³/m².ano de CH₄ (1^a C) e 32 m³/m².ano (2^a C). Para o CO₂ a capacidade de redução alcançaria, em média, 42 m³/m².ano (1^a C) e 50 m³/m².ano (2^a C).

Os gases emitidos pelo solo cultivado com capim Massai foram compostos, na primeira campanha, em média, por 8,1% de CO₂, 4,6% de CH₄, 6,4% de O₂ e 80,9% de outros gases. Na segunda campanha, houve um aumento na concentração dos dois principais gases de interesse (CO₂ e CH₄: 0,4 vezes) e redução nos demais (O₂: 0,2 vezes): 10,4% de CO₂, 6,6% de CH₄, 5,1% de O₂ e 84,9% de outros gases.

Os fluxos no solo cultivado com capim Massai estão consolidados na Tabela 9. Dela se observa que o fluxo mássico na segunda campanha foi 0,3 - 0,4 vezes maior que na primeira campanha. O fluxo volumétrico teve o mesmo comportamento (0,3 - 0,5 vezes maior na segunda).

Tabela 9 - Fluxos mássicos e volumétricos (camada com capim Massai, duas campanhas)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Média	mássico	g/m².s	1,8 x 10 ⁻³	2,5 x 10 ⁻³	8,5 x 10 ⁻³	1,1 x 10 ⁻²
Mínimo			0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo			6,3 x 10 ⁻³	1,4 x 10 ⁻²	3,4 x 10 ⁻²	3,9 x 10 ⁻²
Comportamento entre as Campanhas						
Aumento da Média			0,4 X		0,3 X	
Média	volumétrico	m³/m².s	2,8 x 10 ⁻⁶	4,1 x 10 ⁻⁶	4,9 x 10 ⁻⁶	6,2 x 10 ⁻⁶
Máximo			1,0 x 10 ⁻⁵	2,2 x 10 ⁻⁵	2,0 x 10 ⁻⁵	2,3 x 10 ⁻⁵
Comportamento entre as Campanhas						
Aumento da Média			0,5 X		0,3 X	

Realizando uma comparação entre os fluxos de CH₄ e CO₂ medidos na camada cultivada com capim Massai em relação aos fluxos medidos na camada de cobertura convencional (branco) observaram-se várias reduções, que chegam, por exemplo, a 55% em massa de CO₂ na segunda campanha, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 - Redução (%) dos fluxos mássicos e volumétricos (Massai versus Branco)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1 ^a C	2 ^a C	1 ^a C	2 ^a C
Diferenças (%)						
Média	mássico	g/m ² .s	28	31	29	27
Máximo			52		51	55
Média	volumétrico	m ³ /m ² .s	30	28	30	
Máximo			50	52	50	54

Como se observa, o capim Massai conseguiu reduzir as emissões dos dois gases de formas muito parecidas nas duas campanhas, em termos mássicos e volumétricos. Em comparação com o capim Mombaça, o Massai reduziu menos emissões. Se for possível estender as condições atuais por um ano, a ordem de grandeza estimada dessas reduções (emissão do 'branco' - emissão do solo cultivado) seria a representada na Tabela 11.

Tabela 11 - Ordem de grandeza da redução dos fluxos mássicos e volumétricos (Massai)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1 ^a C	2 ^a C	1 ^a C	2 ^a C
Média	mássico	kg/m ² .ano	22	35	110	128
Máximo			213	476	1110	1492
Média	volumétrico	m ³ /m ² .ano	38	50	66	83
Máximo			315	754	631	851

Como se observa, o capim Massai tem a capacidade de reduzir a emissão, em média, de 22 kg/m².ano de CH₄ (considerando os dados da primeira campanha como referência) e 35 kg/m².ano (2^a C). Para o CO₂ a capacidade de redução alcançaria, em média, 110 kg/m².ano (1^a C) e 128 kg/m².ano (2^a C).

Em termos volumétricos, a capacidade de redução seria de, em média, 38 m³/m².ano de CH₄ (1^a C) e 50 m³/m².ano (2^a C). Para o CO₂ a capacidade de redução alcançaria, em média, 66 m³/m².ano (1^a C) e 83 m³/m².ano (2^a C).

Os gases emitidos pelo solo cultivado com capim Andropogon foram compostos, na primeira campanha, em média, por 9,7% de CO₂, 5,5% de CH₄, 8,2% de O₂ e 76,7% de outros gases. Na segunda campanha, houve um aumento na concentração dos dois principais gases de interesse (CO₂: 0,4 vezes e CH₄: 0,3 vezes) e redução no O₂ (0,2 vezes): 12,4% de CO₂, 7,8% de CH₄, 6,5% de O₂ e 73,3% de outros gases.

A camada de cobertura cultivada com capim Andropogon reteve os dois gases de interesse nas duas campanhas (medida pela diferença entre a concentração no dreno e a concentração na camada). Já os fluxos estão consolidados na Tabela 12. Dela se observa que o fluxo mássico na segunda campanha foi 0,3 - 0,4 vezes maior que na primeira campanha. O fluxo volumétrico teve o mesmo comportamento (0,3 - 0,5 vezes maior na segunda).

Tabela 12 - Fluxos mássicos e volumétricos (camada com capim Andropogon, duas campanhas)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1 ^a C	2 ^a C	1 ^a C	2 ^a C
Média	mássico	g/m ² .s	2,3 x 10 ⁻³	3,2 x 10 ⁻³	1,1 x 10 ⁻²	1,4 x 10 ⁻²
Mínimo			0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo			8,3 x 10 ⁻³	1,6 x 10 ⁻²	4,3 x 10 ⁻²	5,7 x 10 ⁻²
Comportamento entre as Campanhas						
Aumento da média			0,4 X		0,3 X	
Média	volumétrico	m ³ /m ² .s	3,6 x 10 ⁻⁶	5,2 x 10 ⁻⁶	6,2 x 10 ⁻⁶	7,9 x 10 ⁻⁶
Máximo			1,3 x 10 ⁻⁵	2,5 x 10 ⁻⁵	2,5 x 10 ⁻⁵	3,3 x 10 ⁻⁵
Comportamento entre as Campanhas						
Aumento da média			0,4 X		0,3 X	

Realizando uma comparação entre os fluxos de CH₄ e CO₂ medidos na camada cultivada com capim Andropogon em relação aos fluxos medidos na camada de cobertura convencional (branco) observaram-se várias reduções, que chegam, por exemplo, a 46% em massa de CH₄ na segunda campanha, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 - Redução (%) dos fluxos mássicos e volumétricos (Andropogon versus Branco)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1 ^a C	2 ^a C	1 ^a C	2 ^a C
			Diferenças (%)			
Média	mássico	g/m ² .s	8	11	8	7
Máximo			36	45	38	34
Média	volumétrico	m ³ /m ² .s	10	9	11	10
Máximo			35	46	38	34

Como se observa, o capim Andropogon conseguiu reduzir as emissões dos dois gases de forma muito parecida nas duas campanhas, em termos mássicos e volumétricos. Em comparação com os capins Mombaça e Massai, o Andropogon reduziu menos emissões. Se for possível estender as condições atuais por um ano, a ordem de grandeza estimada dessas reduções (emissão do 'branco' - emissão do solo cultivado) seria a representada na Tabela 14.

Tabela 14 - Ordem de grandeza da redução dos fluxos mássicos e volumétricos (Andropogon)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Média	mássico	kg/m ² .ano	6	12	30	33
Máximo			148	412	827	922
Média	volumétrico	m ³ /m ² .ano	13	16	24	28
Máximo			221	667	479	536

Como se observa, o capim Andropogon tem a capacidade de reduzir a emissão, em média, de 6 kg/m².ano de CH₄ (considerando os dados da primeira campanha como referência) e 12 kg/m².ano (2ª C). Para o CO₂ a capacidade de redução alcançaria, em média, 30 kg/m².ano (1ª C) e 33 kg/m².ano (2ª C). Em termos volumétricos, a capacidade de redução seria de, em média, 13 m³/m².ano de CH₄ (1ª C) e 16 m³/m².ano (2ª C). Para o CO₂ a capacidade de redução alcançaria, em média, 24 m³/m².ano (1ª C) e 28 m³/m².ano (2ª C).

Os gases emitidos pelo solo cultivado com a grama Bermuda foram compostos, na primeira campanha, em média, por 10,1% de CO₂, 5,7% de CH₄, 8,3% de O₂ e 76,0% de outros gases. Na segunda campanha, houve um aumento na concentração dos dois principais gases de interesse (CO₂: 0,3 vezes e CH₄: 0,4 vezes) e redução no O₂ (0,2 vezes): 12,9% de CO₂, 8,1% de CH₄, 6,6% de O₂ e 72,4% de outros gases.

Observou-se retenção dos dois gases de interesse pela camada de cobertura cultivada com grama Bermuda nas duas campanhas (medida pela diferença entre a concentração no dreno e a concentração na camada). Já os fluxos estão consolidados na Tabela 15. Dela se observa que o fluxo mássico na segunda campanha foi 0,3 - 0,4 vezes maior que na primeira campanha. O fluxo volumétrico teve o mesmo comportamento (0,3 - 0,5 vezes maior na segunda).

Tabela 15 - Fluxos mássicos e volumétricos (camada com grama Bermuda, duas campanhas)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Média	mássico	g/m².s	2,3 x 10 ⁻³	3,4 x 10 ⁻³	1,1 x 10 ⁻²	1,4 x 10 ⁻²
Mínimo			0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo			7,3 x 10 ⁻³	2,3 x 10 ⁻²	4,3 x 10 ⁻²	5,1 x 10 ⁻²
Comportamento entre as Campanhas						
Aumento da média			0,5 X		0,3 X	
Média	volumétrico	m³/m².s	3,7 x 10 ⁻⁶	5,4 x 10 ⁻⁶	6,4 x 10 ⁻⁶	8,2 x 10 ⁻⁶
Máximo			1,2 x 10 ⁻⁵	3,7 x 10 ⁻⁵	2,5 x 10 ⁻⁵	3,0 x 10 ⁻⁵
Comportamento entre as Campanhas						
Aumento da média			0,5 X		0,3 X	

Realizando uma comparação entre os fluxos de CH₄ e CO₂ medidos na camada cultivada com grama Bermuda em relação aos fluxos medidos na camada de cobertura convencional (branco) observaram-se várias reduções, que chegam, por exemplo, a 44% em massa de CH₄ na primeira campanha, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16 - Redução (%) dos fluxos mássicos e volumétricos (Bermuda versus Branco)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Diferenças (%)						
Média	mássico	g/m ² .s	8	6	8	7
Máximo			44	21	38	41
Média	volumétrico	m ³ /m ² .s	7	5	9	7
Máximo			40	20	38	40

Como se observa, a grama Bermuda conseguiu reduzir as emissões dos dois gases de forma muito parecida nas duas campanhas, em termos mássicos e volumétricos. Em comparação com os capins Mombaça, Massai e Andropogon, a grama Bermuda reduziu menos emissões. Se for possível estender as condições atuais por um ano, a ordem de grandeza estimada dessas reduções (emissão do 'branco' - emissão do solo cultivado) seria a representada na Tabela 17.

Tabela 17 - Ordem de grandeza da redução dos fluxos mássicos e volumétricos (Bermuda)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Média	mássico	kg/m ² .ano	6	7	30	33
Máximo			180	192	827	1112
Média	volumétrico	m ³ /m ² .ano	9	9	20	19
Máximo			252	290	479	631

Como se observa, a grama Bermuda tem a capacidade de reduzir a emissão, em média, de 6 kg/m².ano de CH₄ (considerando os dados da primeira campanha como referência) e 7 kg/m².ano (2ª C). Para o CO₂ a capacidade de redução alcançaria, em média, 30 kg/m².ano (1ª C) e 33 kg/m².ano (2ª C).

Comparando com os resultados do capim Andropogon, apenas do valor médio obtido para o CH₄ (dados segunda campanha) foi diferente, mostrando a semelhança entre ambos nesse quesito. Em termos volumétricos, a capacidade de redução seria de, em média, 9 m³/m².ano de CH₄ nas duas campanhas. Para o CO₂ a capacidade de redução alcançaria, em média, 20 m³/m².ano (1ª C) e 19 m³/m².ano (2ª C).

Os gases emitidos pelo solo cultivado com o capim Buffel foram compostos, na primeira campanha, em média, por 11,1% de CO₂, 6,1% de CH₄, 8,6% de O₂ e 74,1% de outros gases. Na segunda campanha, houve um aumento na concentração dos dois principais gases de interesse (CO₂: 0,3 vezes e CH₄: 0,4 vezes) e redução nos demais (O₂: 0,2 vezes e OG: 0,1 vezes): 14,3% de CO₂, 8,8% de CH₄, 6,8% de O₂ e 70,1% de outros gases.

A camada de cobertura cultivada com capim Buffel reteve os gases de interesse nas duas campanhas (medida pela diferença entre a concentração no dreno e a concentração na camada). Já os fluxos estão consolidados na Tabela 18. Dela se observa que o fluxo mássico na segunda campanha foi 0,3 - 0,4 vezes maior que na primeira campanha. O fluxo volumétrico teve o mesmo comportamento (0,3 - 0,5 vezes maior na segunda).

Tabela 18 - Fluxos mássicos e volumétricos (camada com capim Buffel, duas campanhas)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
Média	mássico	g/m².s	2,4 x 10 ⁻³	3,5 x 10 ⁻³	1,2 x 10 ⁻²	1,5 x 10 ⁻²
Mínimo			0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo			8,3 x 10 ⁻³	1,8 x 10 ⁻²	4,6 x 10 ⁻²	5,2 x 10 ⁻²
Comportamento entre as Campanhas						
Aumento da média			0,5 X		0,3 X	
Média	volumétrico	m³/m².s	3,9 x 10 ⁻⁶	5,6 x 10 ⁻⁶	6,7 x 10 ⁻⁶	8,5 x 10 ⁻⁶
Máximo			1,3 x 10 ⁻⁵	2,8 x 10 ⁻⁵	2,7 x 10 ⁻⁵	3,0 x 10 ⁻⁵
Comportamento entre as Campanhas						
Aumento da média			0,4 X		0,3 X	

Realizando uma comparação entre os fluxos de CH₄ e CO₂ medidos na camada cultivada com capim Buffel em relação aos fluxos medidos na camada de cobertura convencional (branco) observaram-se várias reduções, que chegam, por exemplo, a 44% em massa de CH₄ na primeira campanha, como mostra a Tabela 19.

Tabela 19 - Redução (%) dos fluxos mássicos e volumétricos (Buffel *versus* Branco)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1 ^a C	2 ^a C	1 ^a C	2 ^a C
			Diferenças (%)			
Média	mássico	g/m ² .s	4	3	0	0
Máximo			36	38	33	40
Média	volumétrico	m ³ /m ² .s	3	2	4	3
Máximo			35	39	33	40

Como se observa, o capim Buffel conseguiu reduzir as emissões dos dois gases de forma muito parecida nas duas campanhas, em termos mássicos e volumétricos. Em comparação com os capins Mombaça, Massai, Andropogon e com a grama Bermuda, o capim Buffel reduziu menos emissões. Observou-se também que, percentualmente, o capim Buffel se quer alterou o fluxo mássico médio de CO₂ emitido pelo “branco”.

Se for possível estender as condições atuais por um ano, a ordem de grandeza estimada dessas reduções (emissão do ‘branco’ - emissão do solo cultivado) seria a representada na Tabela 20.

Tabela 20 - Ordem de grandeza da redução dos fluxos mássicos e volumétricos (Buffel)

Variável Calculada			CH ₄		CO ₂	
			1 ^a C	2 ^a C	1 ^a C	2 ^a C
Média	mássico	kg/m ² .ano	3	3	0	0
Máximo			148	348	718	1085
Média	volumétrico	m ³ /m ² .ano	4	4	9	11
Máximo			221	566	416	631

Como se observa, o capim Buffel tem a capacidade de reduzir a emissão, em média, de 3 kg/m².ano de CH₄ em cada uma das campanhas. Para o CO₂ não foi observada capacidade alguma de redução. Em termos volumétricos, a capacidade de redução seria de, em média, 4 m³/m².ano de CH₄ nas duas campanhas. Para o CO₂ a capacidade de redução alcançaria, em média, 9 m³/m².ano (1^a C) e 11 m³/m².ano (2^a C).

CONCLUSÕES

Entre as camadas cultivadas, a que possuía o capim Mombaça permitiu os menores fluxos de CH₄ e CO₂ (maior retenção), tanto mássico quanto volumétrico, em relação ao “branco”, e o capim Buffel foi o que apresentou maiores fluxos (menor retenção).

Em relação ao “branco”, a camada cultivada com o capim Mombaça teve capacidade de reter 40%, em média, do fluxo mássico de CH₄ durante a primeira campanha e 39% durante a segunda campanha (para o CO₂ obteve-se 39% nas duas campanhas). Assim, o capim Mombaça foi o que melhor respondeu ao propósito da pesquisa.

Em relação ao “branco”, a camada cultivada com o capim Buffel teve capacidade de reter 4%, em média, do fluxo mássico de CH₄ durante a primeira campanha e 3% durante a segunda campanha (para o CO₂ obteve-se 0% nas duas campanhas). Assim, o capim Buffel foi o que pior respondeu ao propósito da pesquisa.

Consolidando uma avaliação geral de todos os cultivos, pode-se estimar uma retenção média de 69 kg/m².ano de CH₄ (primeira campanha) e 101 kg/m².ano de CH₄ (segunda campanha). Quanto ao dióxido de carbono, estimou-se uma retenção média de 318 kg/m².ano de CO₂ (primeira campanha) e 378 kg/m².ano de CO₂ (segunda campanha).

Em termos volumétricos, pode-se estimar uma retenção média de 87 m³/m².ano de CH₄ (primeira campanha) e 111 m³/m².ano de CH₄ (segunda campanha). Quanto ao dióxido de carbono, estimou-se uma retenção média de 161 m³/m².ano de CO₂ (primeira campanha) e 191 m³/m².ano de CO₂ (segunda campanha).

Os valores supracitados significam uma redução da poluição do ar oriunda do aterro sanitário, mitigação das emissões por processos de percolação nas camadas de cobertura, e redução da contribuição local em termos de efeito estufa e aquecimento global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABICHOU et al. Methane flux and oxidation at two types of intermediate landfill covers. *Waste Management*, v.26, n.11, p.1305-1312, jan., 2006.
2. ARAÚJO, S. M. D. Projeto, execução e monitoramento de células experimentais com aceleração da degradação. 2001. 142p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de Brasília, Brasília, 2001.
3. BERTO NETO, J. Medidas da emissão de gases em oito aterros de resíduos sólidos urbanos do estado de São Paulo - Brasil. 2009. 588p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
4. CANDIANI, G. C. Estudo da geração de metano em uma célula de aterro sanitário. 2011. 173p. Tese (Doutorado em Energia), Universidade Federal do ABC, Santo André-SP, 2011.
5. CAPACCIONI et al. Effects of a temporary HDPE cover on landfill gas emissions: multiyear evaluation with the static chamber approach at an Italian landfill. *Waste Management*, v.31, n.5, p.956-965, mai., 2011.
6. CATAPRETA, C. A. A. Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto e construção. 2008. 314p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
7. DEVER, S. A.; SWAEBRICK, G. E.; STUETZ, R. M. Passive drainage and biofiltration of landfill gas: Australian field trial. *Waste Management*, v.27, n.2, p.277-286, mar., 2007.
8. FERNANDES, J. G. Estudo da emissão de biogás em um aterro sanitário experimental. 2009. 116p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
9. GEORGAKI et al. Evaluating the use of electrical resistivity imaging technique for improving CH₄ and CO₂ emission rate estimations in landfills. *Science of the total environment*. v.389, n.2-3, p.522-531, jan., 2008.
10. GUEDES, V. P. Estudo do fluxo de gases através do solo de cobertura de aterro de resíduos sólidos urbanos. 2007. 117p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
11. HEDGE, U.; CHAN, T.; YANG, S. Methane and carbon dioxide emissions from Shan-Chu-ku landfill site in northern Taiwan. *Chemosphere*, v.52, n.8, p.1275-1285, sep., 2003.
12. ISHIGAKI et al. Estimation and field measurement of methane emission from waste landfills in Hanoi, Vietnam. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v.10, n.2, p.165-172, mar., 2008.
13. JHA et al. Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Indian mega-cities: a case study of Chennai landfill sites. *Chemosphere*, v.71, n.4, p.750-758, mar., 2008.
14. JOHNSON, E. Correlation between methane concentration and - emission from old landfills in Sweden. Thesis (Master Environmental Engineering). Sweden, Lund University, 71p. 2010. Disponível em: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1789646&fileId=1789665>. Acesso: 16 set. 2011.
15. LÚCIA LOPES et al. Camadas de cobertura metanotróficas como alternativas para gerenciamento de gases de efeito estufa em aterros sanitários. *Holos*, v.4, n.25, p.3-18, abr. 2010.
16. MACIEL, F. J. Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE. 2003. 173p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
17. MAGALHÃES, A. F. Avaliação do desempenho de técnicas de bioengenharia na proteção e conservação da cobertura final de taludes em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso para o aterro sanitário de Belo Horizonte, MG. 2005. 186p. Dissertação (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
18. MARIANO, M. O. H.; JUCÁ, J. F. T. Ensaios de campo para determinação de emissões de biogás em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos. *Nota Técnica, Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.15, n.3, p.223-228, jul/set, 2010.
19. MARION, H.; PETER, L. Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfills. *Waste Management*, v.17, n.6, p.443-452, dec., 1999.

20. MILKE, M. W.; HOLMAN, J.; KHIRE, M. Use of gas flux measurements to infer well capture effectiveness. In: INTERCONTINENTAL LANDFILL RESEARCH SYMPOSIUM., 4., Gällivare. Abstract... Gällivare, 2006.
21. MONTEIRO, V. E. D. Análises física, química e biológicas no estudo do comportamento do aterro da Muribeca-PE. 2003. 232p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
22. MORUZZI MARQUES, A. C. Aterros sanitários: estudo das técnicas construtivas e de parâmetros geotécnicos a partir de aterro experimental. 2001. 345p. Tese (Doutorado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
23. NAVA-MARTINEZ, E. C.; GARCIA-FLORES, E.; WAKIDA, F. T. Surface methane emission in a former dumpsite in Tijuana, México. International Journal of Environmental Science Research. v.5, n.3, p.621-626, jul., 2011.
24. PARK et al. Effects of earthworm cast and powdered activated carbon on methane removal capacity of landfill cover soils. Chemosphere, v.70, n.6, p.1117-1123, aug., 2008.
25. PARK, J. W.; SHIN, H. C. Surface emission of landfill gas from solid waste landfill. Atmospheric Environment, v.35, p.3445-3451, 2001.
26. PIRES, J. A. C. Estudo de barreira de proteção com solo compactado em célula experimental no aterro sanitário de Rio das Ostras-RJ. 2007. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
27. SCHEUTZ et al. Atmospheric emissions and attenuation of non-methane organic compounds in cover soils at a French landfill. Waste Management, v.28, n.11, p.1892-1908, nov., 2008.
28. SOUZA, L. F. Codisposição de resíduos sólidos de serviços de saúde com resíduos sólidos urbanos. 2003. 306p. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
29. STERN et al. Use of a biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation. Waste Management, v.27, n.9, p.1248-1258, sep., 2007.
30. TABALIPA, N. L.; FIORI, A. P. Caracterização e classificação dos resíduos sólidos urbanos do município de Pato Branco. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v.?, n.4, p.23-33, ago., 2006.
31. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Remediation Technologies Development Forum. San Francisco, USEPA, 1999. Disponível em: <http://www.rtdf.org/public/phyto/minutes/altcov/acap/summary.htm>. Acesso: 14 mar. 2012.
32. VIEIRA DOS SANTOS, P. C. Estudo da degradação e dos recalques em células experimentais de resíduos sólidos no aterro do Jockey Club/DF. 2004. 227p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade de Brasília, Brasília, 2004.
33. XU, Q.; TOWNSEND, T.; REINHART, D. Attenuation of hydrogen sulfide at construction and demolition debris landfills using alternative cover materials. Waste Management, v.30, n.4, p.660-666, apr., 2010.
34. ZHANG, H.; HE, P.; SHAO, L. Methane emissions from MSW landfill with sandy soil covers under leachate recirculation and subsurface irrigation. Atmospheric Environment, v.42, n.22, p. 5579-5588, jul., 2008.