



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Ciência e Tecnologia

Faculdade de Engenharia

Ana Carolina Eugênio de Oliveira

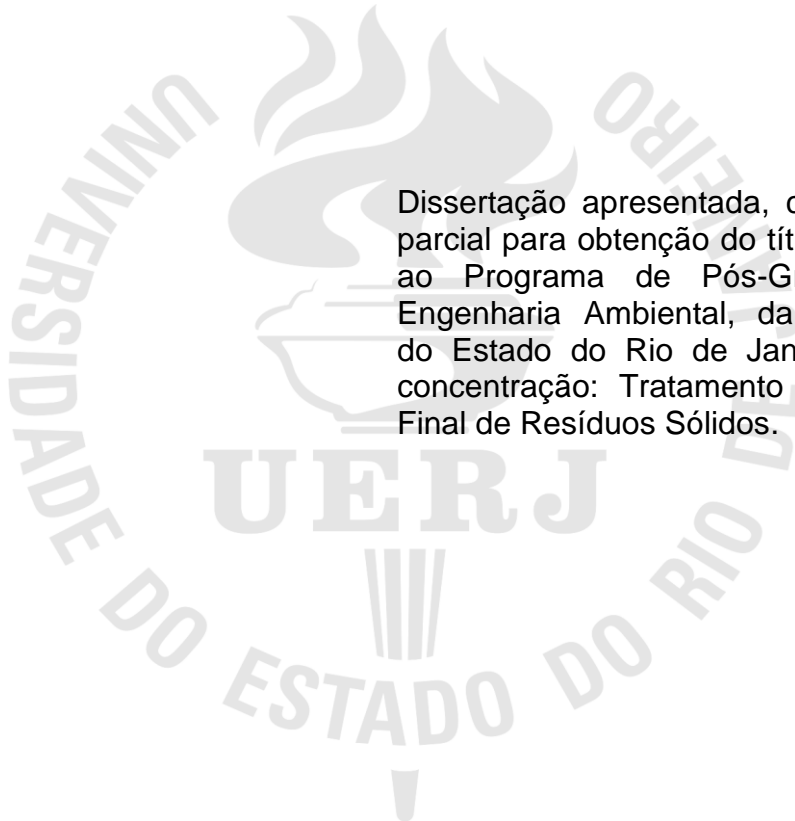
**Avaliação de emissões fugitivas de biogás na camada de  
cobertura do aterro sanitário da CTR de Nova Iguaçu e do *Lixão* de  
Seropédica, Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2013

Ana Carolina Eugênio de Oliveira

**Avaliação de emissões fugitivas de biogás na camada de cobertura do aterro  
sanitário da CTR de Nova Iguaçu e do Lixão de Seropédica, Rio de Janeiro**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tratamento e Destinação Final de Resíduos Sólidos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elisabeth Ritter

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Camille Mannarino

Rio de Janeiro

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

O48 Oliveira, Ana Carolina Eugênio.  
Avaliação de emissões fugitivas de biogás na camada de cobertura do aterro sanitário da CTR de Nova Iguaçu e do Lixão de Seropédica, Rio de Janeiro / Ana Carolina Eugênio de Oliveira. – 2013.  
157f.

Orientadora: Elisabeth Ritter.  
Coorientadora: Camille Mannarino.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Aterro sanitário - Dissertações. 3. Resíduos sólidos - Dissertações. 4. Central de Tratamento de Resíduos, Nova Iguaçu (RJ). 5. Lixão de Seropédica (RJ). I. Ritter, Elisabeth. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 628.472.3

Autorizo apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Ana Carolina Eugênio de Oliveira

**Avaliação de emissões fugitivas de biogás na camada de cobertura do aterro sanitário da CTR de Nova Iguaçu e do Lixão de Seropédica, Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tratamento e Destinação Final de Resíduos Sólidos.

Aprovado em: 17 de abril de 2013.

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elisabeth Ritter (Orientadora)  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Camille Ferreira Mannarino (Coorientadora)  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Gustavo Ferreira Simões  
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Cristina Moreira Alves  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Rio de Janeiro

2013

*Para todos aqueles que me ajudaram a chegar até aqui.*

## AGRADECIMENTOS

Como começar este item que na “correria” acaba sendo o último? Começemos pelo início, desta forma, pelo meu ingresso no PEAMB.

Agradeço a Deus pela oportunidade como “ser vivente”, e não apenas “ser existente” neste planeta, de ter um forte anjo da guarda que me ajudou, e me ajuda, em todas as minhas longas caminhadas.

Agradeço ao mesmo Ser maior a oportunidade de ter tido pais presentes e ausentes em diferentes momentos que hoje consigo julgar ambos necessários. Consigo neste momento ter a total certeza que foram nas horas com a presença que aprendi e nas horas com a ausência que reproduzi e/ou inovei. Esses mesmos pais, tutores do Ser maior, que me deram a alegria da convivência e a descoberta de um mundo ao lado da minha querida irmã.

A essa querida irmã obrigada pela força de sempre, por ter me dado uma linda sobrinha, minha gatinha Giovanna. Minha força de hoje também tem os seus pensamentos de evolução. Obrigada. Tenho certeza que quando os escolhi, eu os escolhi sabendo de tudo.

Esses pais ainda me deram a possibilidade de ter ao lado avós lindas e avôs lindos, em especial o meu velhinho Eugênio, meu avô que amo tanto e continua comigo nessa jornada.

Os tios e tias lindos que tenho, primos e primas, em especial minha flor, meu orgulho, futura melhor engenheira ambiental desse Brasil, Tamires de Oliveira. Guardem esse nome.

Ainda dentro do sentimento que já tinha de outros tempos, gostaria de agradecer com todo meu ser e coração a uma “pequeninha”, que me arruinou de perguntas no processo seletivo, lourinha, chic, gaúcha e mais “difícil”, que não parava de

questionar meus objetivos, mas que após eu ter passado no processo me apoiou como mãe apoia seu filho, apostou em mim, deixou-me livre como gosto e ao mesmo tempo monitorada, rs! Permitiu-me criar, buscar, fazer, quebrar a cabeça, voar, aprender e amadurecer para apresentar este trabalho, minha orientadora Elisabeth Ritter, que, por favor, peço aqui todas as licenças poéticas, minha orientadora “máster blaster”.

Gostaria também de agradecer como muito amor e carinho a minha co orientadora, linda e chic, Camille Mannarino, que me conquistou desde a primeira aula. Foi paixão a primeira vista. Eu te escolhi por ser essa pessoa incrível que me ajudou e me ajuda sempre, obrigada por todos os pasteis no “Bar do Adão”, tenha certeza que muito da minha revisão evoluiu desses encontros. E por todos os outros encontros que virão. Obrigada por hoje e sempre, você é uma grande amiga.

À professora Daniele Maia Bila, professora querida que me doou uma bolsa do laboratório quando eu mais precisei, e estava de braços abertos para me receber mesmo sabendo que meu experimento era no campo e muito não poderia ajudar no LES. Obrigada pelos cafés com biscoitinhos em meio a muitas conversas e muita força, obrigada pelo amor dedicado a todos os alunos.

Ao professor João Alberto, meu “psicólogo de plantão“, um pai, meu amigo, fica aqui o meu eterno obrigado, o senhor é um mito nos resíduos e foi um prazer imenso poder ter tido aula com o senhor. Tenho a dizer-lhe que o senhor precisará ter paciência, pois eu não desisto fácil, afinal o senhor terá que me orientar no doutorado.

Ao professor Jucá, por me receber através do projeto PROCAD, na UFPE, e ter me dado durante todo esse tempo atenção, ajuda e apoio técnico.

À professora Maria Cristina pelas dicas e atenção disponibilizada quando a encontrei.

Ao professor Fernando Marinho, que recebeu essa bióloga de braços abertos e ajudou com muitas informações preciosas minha revisão.

À professora Juacyara, pela ajuda e pelo envio da melhor seleção de artigos, os meus preferidos.

Ao professor Rogério Feijó, pelas ajuda nas análises de solo.

Ao Felipe Maciel, por todas as inúmeras duvidas tiradas, reuniões e emails trocados.

Ao Casal Laís e Derovil, que me apoiaram com meus experimentos, cálculos e dúvidas, além da amizade e carinho, vocês são parte desse trabalho.

Gostaria de agradecer ao amigo Eduardo Silva que abriu as portas para mim na empresa Haztec.

Agradeço a minha amiga Alessandra Lee e toda a sua família que me receberam em Recife de braços abertos, amo muito todos vocês.

Aos amigos da UFPE, pessoas importantíssimas no meu coração, obrigada por toda ajuda que me deram, agradeço à Fabricia Manuela, Lais, Edil, Vanessa, Ericka, Priscila, Cecília, Leandro, Magdalena, Brito e Sávio.

Aos amigos do PEAMB, meus parceiros de Lapa e depois Democráticos, Catarina, Brenda, Érica e Rafael, agradeço toda a excelente energia e disposição, nossos encontros são já saudosos.

A minha queridona Érica Andrade Carvalho Mendez, minha professora de química, minha amiga, mulher inteligente, líder em qualidade, que amo muito também, agradeço às tardes e noites na UERJ produzindo meus gráficos com a sua ajuda.

Aos meus Amigos do Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ - LES, Juliana, Caroline, Jarina, Ana Dalva, Marília, fica aqui o meu muito obrigada.



Aos Técnicos do LES, Rita, Sidnei e Sr. Jair, o meu eterno muito obrigada, sem vocês eu não conseguiria, vocês são parte desse trabalho.

Aos Técnicos do laboratório de solos, principalmente ao Sr. Adelino que foi peça fundamental nos meus ensaios de solo, muito obrigada por toda ajuda e envolvimento com a minha pesquisa.

Aos Alunos de Iniciação científica mais que queridíssimos, Thamires Sandonato, Eduardo Torres e Patrícia Constantino, que passaram dias de muito sol comigo no aterro. Muito obrigada por terem feito parte.

Aos alunos de IC que não estavam ligados ao meu projeto mais me ajudaram muito, como o Arthur, Louise e Beatriz. E por fim a todos do LES.

Agradeço a minha mãe Maria e minha afilhada Beatriz toda a sua família que me receberam em Recife de braços abertos, amo muito todos vocês.

Gostaria de agradecer a todos os amigos que possuo desde a infância até agora, pela ajuda e o envio de boas energias, em especial Giliane Rocha, Breno Pena, Carolina Gomes, Tia Selma, Leonardo (my teacher), Denise, Paula, Rejane, Maria Luíza, Rico, Raquel, Sol, Fabio e Tathi.

Agradeço a todos os amigos da Masterplan em especial meus amigos Luiz Soraggi e Sabrina Pivato.

Agradeço a todos da Empresa Haztec e Ciclus, pelo apoio a pesquisa e disponibilidade de informação.

À Secretaria de Meio Ambiente de Seropédica, na figura do atual secretário Quintela e Luciano, pela total atenção de disponibilidade de informação.

Agradeço ao Projeto PROCAD 2007 da Capes que financiou minha pesquisa e meu intercambio com a UFPE.

Deus dá a todos uma estrela.  
Uns fazem da estrela um sol.  
Outros nem conseguem vê-la.  
(helena kolody)

## RESUMO

OLIVEIRA, Ana Carolina Eugênio. *Avaliação de emissões fugitivas de biogás na camada de cobertura do aterro sanitário da CTR de Nova Iguaçu e do Lixão de Seropédica, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro*. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

No Brasil, se espera ter até 2014, de acordo com o prazo da Política Nacional de Resíduos Sólidos, todos os *lixões* erradicados e os resíduos sólidos urbanos gerados depositados em aterros sanitários. Atualmente, os projetos de aterros sanitários dão oportunidade para um nicho de mercado, o da fonte de geração de energia. Um parâmetro de controle da poluição do ar causada pelos aterros sanitários são as chamadas camadas de cobertura. Nesse contexto, é de fundamental importância o estudo de camadas de cobertura de resíduos por ser um importante elemento de projeto para evitar ou minimizar a poluição do ar devido aos gases gerados em aterros sanitários de resíduos sólidos, já que é o elo existente entre o ambiente interno dos resíduos e a atmosfera. A presente pesquisa aborda o comportamento dos gases em relação à camada de cobertura existentes na CTR de Nova Iguaçu e no *Lixão* remediado de Seropédica. Foram realizados ensaios de Placa de Fluxo, medição de pressão e concentração dos gases no contato solo-resíduo e emissões dos gases pelos drenos, além das análises de solo “in situ” e em laboratório. Os ensaios foram realizados de outubro a novembro de 2012. Os resultados indicaram uma inexistência de fluxo de gases pela camada de cobertura, que possui 1,10 m de espessura, do *lixão* de Seropédica, sendo encontrado apenas fluxo nos drenos. Na CTR Nova Iguaçu, foi verificada que praticamente a inexistência de fluxo de gases com o sistema de gás ligado, mesmo possuindo uma camada de cobertura de 0,8 m.

Palavras-chave: Aterro de resíduos sólidos urbanos; Lixão; Fluxo de Gás; Camada de cobertura.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Ana Carolina Eugenio. *Monitoring and evaluation of biogas' emission through the final cover layer of the waste treatment center of Nova Iguaçu and "Dump" of Seropédica, Rio de Janeiro*. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

In Brazil, according to the timeframe given by the National Policy of Solid Waste, by 2014, every "dump" will be eradicated and every municipal solid waste generated will be deposited in landfills. Currently, the landfill projects provide an opportunity for the market, which is a source of energy. A parameter of control of the air pollution caused by landfills is called cover layers. In this context, it is important the study of the cover layers to avoid or minimized the air pollution due to gases generated in landfills, which is the link between the solid waste and the atmosphere. This research addresses the behavior of the gases in relation to the cover layers on the CTR Nova Iguaçu and "Dump" of Seropédica. Six test trials of the Flux chamber, pressure measurement and concentration of gases in the soil-residue contact and emissions of gases through the drains, in addition to "in situ" soil analysis and laboratory analysis. The tests trials were performed from October, 2012 to November, 2012. The results indicated no gas flow through the cover layer, which has a thickness of 1.10 m, of the "dump" of Seropédica, where the gas flow was only encountered through the drains. In CTR Nova Iguaçu, the gas flow was almost inexistent, even having a cover layer of thickness of 0.8 m.

Keywords: Urban solid waste landfill; Dump; Gas flow; Cover layer.

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Fases de geração de gases em aterros sanitários.</i>	24
<i>Figura 2 - Esquema dos ensaios de placa de fluxo estática e dinâmica.</i>	40
<i>Figura 3 – Mapa de localização do município de Nova Iguaçu.</i>	49
<i>Figura 4 - Situação do Lixão da Marambaia antes da desativação.</i>	50
<i>Figura 5 - Situação Lixão da Marambaia depois da recuperação ambiental da área. Fonte: CTR Nova Iguaçu</i>	51
<i>Figura 6 - Vista aérea da área selecionada para a implantação do Aterro Nova Iguaçu antes do início das operações de recebimento de resíduos. Fonte: CTR Nova Iguaçu</i>	52
<i>Figura 7 - Praça de Operações no Vale 4 (Cota 44).</i>	52
<i>Figura 8 - Recebimento, espalhamento e compactação de resíduos (Vale 4 – Cota 97). Fonte: CTR Nova Iguaçu</i>	53
<i>Figura 9 – Área de estudo no Vale 3.</i>	54
<i>Figura 10 - Situação de operação da CTR Nova Iguaçu, em 2010.</i>	55
<i>Figura 11 – Poço tipo ranzine.</i>	56
<i>Figura 12 – Primeira etapa de adaptação do poço tipo Ranzine.</i>	57
<i>Figura 13 – Segunda etapa de adaptação do poço tipo Ranzine.</i>	57
<i>Figura 14 – Terceira etapa de adaptação do poço tipo Ranzine.</i>	58
<i>Figura 15 – Mapa de localização do município de Seropédica.</i>	59
<i>Figura 16 – Localização da área de estudo (sem escala).</i>	61
<i>Figura 17 – Portão de acesso á área do Vazadouro. Fonte: FRAL (2011).</i>	61
<i>Figura 18 – Vista da área de deposição do Vazadouro. Fonte: FRAL (2011).</i>	61
<i>Figura 19 – Típico veículo descarregando resíduos no lixão na presença de catadores. Fonte: FRAL (2011).</i>	61
<i>Figura 20 – Portão de acesso à área do lixão pós remediação.</i>	62
<i>Figura 21 – Detalhe da área do lixão pós remediação.</i>	63
<i>Figura 22 – Analisador GEM 2000</i>	66
<i>Figura 23 – Manômetro</i>	66
<i>Figura 24 – Termômetro</i>	67
<i>Figura 25 – Barômetro</i>	67
<i>Figura 26 – Detalhe da fabricação do dispositivo de DMPC.</i>	69
<i>Figura 27 – Esquema do dispositivo de DMPC</i>	70
<i>Figura 28 – Detalhe da instalação do dispositivo de DMPC na camada de cobertura.</i>	70
<i>Figura 29 – Detalhe da instalação do dispositivo de DMPC concluída na camada de cobertura.</i>	71
<i>Figura 30 – Localização dos dispositivos (D) de DMPC na área do Vale 3 (sem escala).</i>	71
<i>Figura 31 – Detalhe da placa de fluxo utilizada em campo e demais equipamentos.</i>	73
<i>Figura 32 – Esquema da placa de fluxo (Maciel, 2003)</i>	73
<i>Figura 33 – Instalação da placa de fluxo.</i>	75

<i>Figura 34 – Localização dos ensaios de placa de fluxo na área do Vale 3 da CTR Nova Iguaçu (sem escala).</i>	
<i>Fonte: CTR Nova Iguaçu.</i>	75
<i>Figura 35 – Localização dos ensaios de placa de fluxo na área do Lixão de Seropédica (sem escala). Fonte: FRAL (2011).</i>	76
<i>Figura 36 – Localização dos PDR (sem escala). Fonte: CTR Nova Iguaçu</i>	77
<i>Figura 37 – Localização dos drenos no Lixão de Seropédica (sem escala). Fonte: FRAL (2011).</i>	78
<i>Figura 38 – Procedimento para determinação da concentração nos drenos do Lixão de Seropédica.</i>	79
<i>Figura 39 – Coleta do anel para ensaio de solo.</i>	80
<i>Figura 40 – Localização dos Ensaios F1 e F2 realizados utilizando o Método Frasco de Areia da CTR Nova Iguaçu (sem escala). Fonte: CTR Nova Iguaçu</i>	81
<i>Figura 41 – Localização dos Ensaios F1 e F2 realizados utilizando o Método Frasco de Areia no Lixão de Seropédica (sem escala). Fonte: FRAL 2011.</i>	81
<i>Figura 42 – Detalhe dos procedimentos do método frasco de areia.</i>	82
<i>Figura 43 – Curva granulométrica do solo do Vale 3 da CTR Nova Iguaçu.</i>	87
<i>Figura 44 – Curva de compactação do solo do Vale 3 da CTR Nova Iguaçu.</i>	88
<i>Figura 45 – Ensaio F1- Ponto determinado no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório</i>	89
<i>Figura 46 – Ensaio F2- Ponto determinado no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.</i>	89
<i>Figura 47 - Pontos determinados no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.</i>	90
<i>Figura 48 – Pontos dos ensaios de frasco de areia e anel de adensamento determinados no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.</i>	91
<i>Figura 49 – Curva granulométrica do solo do Lixão de Seropédica.</i>	93
<i>Figura 50 – Curva de compactação do solo do Lixão de Seropédica.</i>	94
<i>Figura 51 – Ensaio F1 - Ponto determinado no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.</i>	95
<i>Figura 52 – Ensaio F2 - Ponto determinado no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.</i>	96
<i>Figura 53 - Pontos determinados no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.</i>	97
<i>Figura 54 – Pontos de dos ensaios de frasco de areia e anel de adensamento determinados no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.</i>	97
<i>Figura 55 – Ensaio de placa de fluxo E1.</i>	100
<i>Figura 56 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E1.</i>	100
<i>Figura 57 – Ensaio de placa de fluxo E2.</i>	101
<i>Figura 58 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E2.</i>	101
<i>Figura 59 – Ensaio de placa de fluxo E3.</i>	102
<i>Figura 60 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E3.</i>	102
<i>Figura 61 – Ensaio de placa de fluxo E4.</i>	103

<i>Figura 62 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E4.</i>	103
<i>Figura 63 – Ensaio de placa de fluxo E5.</i>	104
<i>Figura 64 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E5.</i>	104
<i>Figura 65 – Ensaio de placa de fluxo E6.</i>	105
<i>Figura 66 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E6.</i>	105
<i>Figura 67 - Variação da massa de CH<sub>4</sub> de todos os ensaios realizados com o tempo na Placa de fluxo.</i>	108
<i>Figura 68: Variação da massa de CO<sub>2</sub> de todos os ensaios realizados com o tempo na Placa de fluxo.</i>	110
<i>Figura 71 – Ensaio de placa de fluxo E1.</i>	115
<i>Figura 72 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E1.</i>	116
<i>Figura 73 – Ensaio de placa de fluxo E2.</i>	116
<i>Figura 74 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E2.</i>	117
<i>Figura 75 – Ensaio de placa de fluxo E3.</i>	117
<i>Figura 76 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E3.</i>	118
<i>Figura 77 – Ensaio de placa de fluxo E4.</i>	118
<i>Figura 78 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E4.</i>	119
<i>Figura 79 – Ensaio de placa de fluxo E5.</i>	119
<i>Figura 80 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E5.</i>	120
<i>Figura 81 – Ensaio de placa de fluxo E6.</i>	120
<i>Figura 82 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E6.</i>	121
<i>Figura 83 – Resultados do <b>Ensaio 1</b> de drenos no Lixão de Seropédica.</i>	123
<i>Figura 84 – Resultados do <b>Ensaio 2</b> de drenos no Lixão de Seropédica.</i>	124
<i>Figura 85 – Resultados do <b>Ensaio 3</b> de drenos no Lixão de Seropédica.</i>	124

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1- Número de municípios que tem lixões e quantidade total de lixões existentes, no Brasil e nas macrorregiões.</i>	23
<i>Tabela 2 – Intervalo de duração das fases na decomposição de resíduos</i>	26
<i>Tabela 3 - Típicos constituintes da composição de biogás gerado em aterro sanitário</i>	28
<i>Tabela 4 - Variação da composição de biogás gerado em aterro sanitário</i>	28
<i>Tabela 5 – Quantificação da emissão de metano em aterros</i>	29
<i>Tabela 6 – Taxas de oxidação na camada de cobertura</i>	36
<i>Tabela 7 - Princípio básico dos métodos das avaliações das emissões de gases</i>	39
<i>Tabela 8 - Fluxos de CH<sub>4</sub> reportados na literatura em camadas de cobertura</i>	42
<i>Tabela 9 – Tipo e quantidade de ensaios realizados na CTR</i>	47
<i>Tabela 10 – Tipo e quantidade de ensaios realizados no</i>	47
<i>Tabela 11 – Cronologia de ensaios realizados na CTR Nova Iguaçu e condições climáticas no local em cada dia de investigação.</i>	48
<i>Tabela 12 – Cronologia de ensaios realizados no Lixão de Seropédica e condições climáticas no local em cada dia de investigação.</i>	48
<i>Tabela 13 - Espessura da Camada de cobertura</i>	72
<i>Tabela 14 – Resumo dos pesos específicos aparentes secos, umidades encontradas em laboratório e campo, Grau de Compactação e desvio de umidade.</i>	91
<i>Tabela 15 – Resumo dos pesos específicos aparente seco, umidades encontradas em laboratório e campo, Grau de Compactação e desvio de umidade.</i>	98
<i>Tabela 16 – Resultados finais dos dados obtidos nos ensaios de placa de fluxo no Vale 3 da CTR Nova Iguaçu.</i>	106
<i>Tabela 17 – Fluxo de CH<sub>4</sub> através da camada de cobertura no Vale 3 da CTR Nova Iguaçu.</i>	109
<i>Tabela 18 - Fluxo de CO<sub>2</sub> através da camada no Vale 3 da CTR Nova Iguaçu.</i>	110
<i>Tabela 19 - Resumo dos ensaios</i>	113
<i>Tabela 20 – Resultados finais dos dados obtidos nos ensaios de placa de Fluxo no Lixão de Seropédica.</i>	121
<i>Tabela 21 - Fluxo de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> através da camada no Lixão de Seropédica.</i>	122



## LISTA DE SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ABRELPE</b>	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos
<b>CTR</b>	Central de Tratamento de Resíduos
<b>EMLURB</b>	Empresa de Limpeza Urbana de Nova Iguaçu
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>IP</b>	Índice de plasticidade
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Painel on Climate Change
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>LL</b>	Limite de liquidez do solo
<b>LP</b>	Limite de plasticidade do solo
<b>MDL</b>	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente
<b>NBR</b>	Norma brasileira
<b>PNSB</b>	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
<b>PNRS</b>	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
<b>PEAD</b>	Polietileno de Alta Densidade
<b>RSU</b>	Resíduos Sólidos Urbanos
<b>USEPA</b>	United States Environmental Protection Agency

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>22</b>
1.1. Aterros Sanitários.....	22
1.2. Vazadouros e/ou Lixões.....	22
1.3. Decomposição dos Resíduos.....	24
1.4. Formação dos Gases em Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos .....	27
1.5. Camadas de Cobertura .....	31
1.5.1. Fatores que influenciam na oxidação de CH <sub>4</sub> nas camadas de cobertura.....	34
1.5.2. Determinação das Taxas de Oxidação de CH <sub>4</sub> em Camadas de Cobertura.....	36
1.6. Estimativas de Emissões de Gases “in situ” .....	39
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>46</b>
2.1 <b>Descrição da Área de Estudo</b> .....	<b>49</b>
2.1.1 <i>Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu</i> .....	49
2.1.2 <i>Lixão de Seropédica</i> .....	59
2.2 <b>Ensaio de Campo</b> .....	<b>65</b>
2.2.1 <i>Equipamentos utilizados nos ensaios</i> .....	65
2.2.2 <i>Metodologia utilizada nos ensaios com Dispositivos de Medição de Pressão e Concentração (DMPC)</i> .....	68
2.2.3 <i>Metodologia utilizada nos ensaios com placa de fluxo</i> .....	72
2.2.4 <i>Localização dos drenos (PDR) da CTR Nova Iguaçu</i> .....	76
2.2.5 <i>Localização dos drenos do Lixão de Seropédica</i> .....	77
2.2.6 <i>Amostragem de solo e Medidas de Umidade e massa específica “in situ”</i> .....	79
2.3 <b>Ensaio de Laboratório</b> .....	<b>83</b>
2.4 <b>Dados climáticos</b> .....	<b>83</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>86</b>
3.1 <b>Ensaio Laboratorial de caracterização do solo</b> .....	<b>86</b>
3.1.1 <i>Resultados da caracterização do solo da CTR Nova Iguaçu</i> .....	86
3.1.2 <i>Resultados da caracterização do solo do Lixão de Seropédica</i> .....	93
3.2 <b>Ensaio de Campo</b> .....	<b>99</b>
3.2.1 <i>Ensaio realizado na CTR Nova Iguaçu</i> .....	99

3.2.2	<i>Ensaio Realizados no Lixão de Seropédica</i> .....	115
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES</b> .....	<b>126</b>
<b>4.1</b>	<b>Sugestões para pesquisas futuras</b> .....	<b>127</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>128</b>
	<b>APÊNDICE 1</b> - Ensaio de Laboratório para Determinação da Granulometria, Limites de Atterberg, Densidade e Compactação da CTR Nova Iguaçu. ....	<b>136</b>
	<b>APÊNDICE 2</b> - Ensaio de Laboratório para Determinação da Granulometria, Limites de Atterberg, Densidade e Compactação. ....	<b>143</b>
	<b>APÊNDICE 3</b> – Ensaio de Placa Nova Iguaçu.....	<b>150</b>

## INTRODUÇÃO

No Brasil, se espera ter até 2014, de acordo com o prazo da Política Nacional de Resíduos Sólidos, todos os *lixões* erradicados e os resíduos sólidos urbanos gerados depositados em aterros sanitários.

A Norma Brasileira Técnica - NBR 8.419 de 1984 (ABNT, 1984) define aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos como uma obra de engenharia, onde a disposição final no solo não cause danos à saúde pública, minimizando assim seus impactos ambientais. Com isso, faz-se necessário um monitoramento ambiental e geotécnico, durante a sua implantação, operação e encerramento.

Atualmente os projetos de aterros sanitários dão oportunidade para geração de energia e/ou redução do potencial de contaminação do ar através da queima do metano transformando em dióxido de carbono.

De acordo com Mariano (2008) existem basicamente dois tipos de camadas de cobertura final para aterro de resíduos sólidos urbanos: as camadas convencionais, que são elaboradas com o solo natural argiloso ou camadas intercaladas de solo natural argiloso e geossintéticos com vistas à impermeabilização e as camadas alternativas que são compostas por solos, ou misturas de solos com outros materiais que não são geossintéticos.

O conceito tradicional de camadas de cobertura propõe características construtivas e de materiais que não impactam significativamente a geração de lixiviados e que promovem a retenção do biogás e ou oxidação do CH<sub>4</sub>, reduzindo assim as emissões para atmosfera principalmente para os casos onde a exploração do biogás não é técnica e economicamente viável (MACIEL, 2003; MARIANO 2008; LOPES, 2011).

Para Simões (2007) existe a necessidade de se conhecer os materiais utilizados na cobertura do aterro e as condições climáticas do local para um projeto eficiente, pois além das características geológicas e geotécnicas dos materiais empregados, o fator climatológico é fundamental num sistema de cobertura.

Nos aterros de pequeno e médio porte, são comumente utilizadas camadas de coberturas denominadas convencionais ou monolíticas, que sofrem modificação nas suas propriedades ao longo do tempo, devido às variações climáticas.

Os resíduos sólidos urbanos depositados em aterros sanitários, aterros controlados e/ou *lixões*, geram subprodutos pelo processo de biodegradação aeróbia e anaeróbia da fração orgânica, formando diversos gases como o gás metano ( $\text{CH}_4$ ), e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), entre outros, e líquido (lixiviado). Esses subprodutos precisam ser monitorados e tratados, como é o caso do biogás que é classificado como gás de efeito estufa (GEE) que contribui para o aquecimento global.

Para Mariano (2008) o estudo dos processos de decomposição da matéria orgânica em aterros de resíduos sólidos urbanos é de grande importância, já que estes processos resultam na geração de gases que podem vir afetar o meio ambiente. Para Maciel (2003) os efeitos desta geração e liberação dos gases localmente podem variar do simples mau odor até possíveis doenças na comunidade circunvizinha.

Nesse contexto, é de fundamental importância o estudo de camadas de cobertura de resíduos por ser um importante elemento de projeto para evitar ou minimizar a poluição do ar devido aos gases gerados em aterros sanitários de resíduos sólidos, já que é o elo existente entre o ambiente interno dos resíduos e a atmosfera. E ainda o estudo das emissões que atravessam a camada de cobertura, principalmente onde a exploração de gás não seja técnica e economicamente viável.

## **Objetivo Geral**

Diagnosticar e avaliar as emissões fugitivas de biogás que atravessam a camada de cobertura final de resíduos do Aterro Sanitário da Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu (CTR Nova Iguaçu) e no *Lixão* de Seropédica.

## **Objetivos Específicos**

- Identificar as emissões fugitivas de gás metano ( $\text{CH}_4$ ) através das camadas de cobertura do Aterro Sanitário da CTR Nova Iguaçu e do *Lixão* de Seropédica, por meio de ensaios de campo com Placa de Fluxo.

- Obter experimentalmente o fluxo de gás através das camadas de cobertura do Aterro Sanitário da CTR Nova Iguaçu e do *Lixão* Remediado de Seropédica por meio de ensaios de campo com Placa de Fluxo.

- Obter experimentalmente as emissões de biogás pelos drenos de gases do Aterro Sanitário da CTR Nova Iguaçu e do *Lixão* Remediado de Seropédica.

- Caracterizar os materiais utilizados nas camadas de cobertura do Aterro Sanitário da CTR Nova Iguaçu e do *Lixão* Remediado de Seropédica.

## **Organização da Dissertação**

O presente trabalho encontra-se organizado em seis capítulos:

O Capítulo 1 apresenta a introdução com o objetivo geral e específicos da pesquisa e ainda traz a estruturação da dissertação.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre resíduos sólidos, emissões de biogás e camadas de cobertura.

No Capítulo 3 são apresentados os procedimentos e metodologias que foram utilizados na investigação de campo.

Os resultados e discussão são apresentados no Capítulo 4.

As principais conclusões da pesquisa e ainda sugestões e recomendações a serem seguidas, encontram-se no Capítulo 5.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as referências bibliográficas citadas que deram suporte para a construção dessa dissertação.

# 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 1.1. *Aterros Sanitários*

Segundo Tchobanoglous (1993), os aterros sanitários são técnicas de disposição final de resíduos, como forma correta de dispor o resíduo sem prejudicar a saúde dos seres humanos.

O aterro sanitário é uma obra de engenharia e segundo a NBR 8419 (ABNT, 1984), os aterros sanitários são técnicas de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, que previne possíveis danos à saúde, minimiza os impactos ambientais, pois utiliza princípios técnicos de engenharia.

Com isso, os aterros sanitários são as soluções mais completas para a disposição final dos Resíduos sólidos urbanos - RSU, pois nesse tipo de disposição existem cuidados importantes como a base do aterro que recebe impermeabilização com geomembranas, evitando a percolação de lixiviado para o solo e a cobertura diária que diminui entre outros fatores a saída de gases para atmosfera.

## 1.2. *Vazadouros e/ou Lixões*

Os vazadouros a céu aberto e/ou os chamados *lixões* são a forma mais inadequada de disposição de resíduos sólidos urbanos, pois não contemplam cuidados que evitam danos ambientais e à saúde. Esta forma de descarte causa poluição ao solo, ao ar e à água; atrai vetores de doenças; não restringe os resíduos de serem levados pela ação do vento e por animais; não controla o risco de deslizamentos; fogo e explosões; e por fim mantém, em sua maioria, catadores (PNUD, 2010).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), divulgada em agosto de 2010, metade dos mais de cinco mil municípios brasileiros destinam seus resíduos para *lixões*. Conforme o próprio relatório, "tal situação se configura como um cenário de destinação reconhecidamente inadequado, que exige



soluções urgentes e estruturais para o setor" (PNSB 2008; IBGE 2010). Uma das soluções mais latentes foi a determinação do fechamento de todos os *lixões* até 2014, decisão essa tomada por meio da aprovação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, após mais de 20 anos em trâmite no Congresso Nacional.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos - Abrelpe (2012) a quantidade de RSU destinados incorretamente cresceu 1,4% o que representa 23,3 milhões de toneladas de RSU que seguiram para aterros controlados e *lixões*, trazendo importante dano ambiental.

De acordo com Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (2012) ainda há 2.906 *lixões* no Brasil, distribuídos em 2.810 municípios (Tabela 1), que devem ser erradicados visando o atendimento da Lei Federal N°12.305 de 2010, em seu artigo 54. "A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, observado o disposto no §1º do Art. 9º, deverá ser implantada em até quatro anos após a data de publicação desta Lei", ou seja, até 2014. O PNRS (2012) destaca ainda que, em números absolutos, o estado da Bahia é o que apresenta mais municípios com presença de *lixões* (360), seguido pelo Piauí (218), Minas Gerais (217) e Maranhão (207).

Tabela 1- Número de municípios que tem *lixões* e quantidade total de *lixões* existentes, no Brasil e nas macrorregiões.

Unidade de Análise	Nº municípios	População urbana	Municípios com presença de <i>lixões</i>	
			Quantidade	(%)
Brasil	5.565	160.008.433	2.810	50,5
Norte	449	11.133.820	380	84,6
Nordeste	1.794	38.826.036	1.598	89,1
Sudeste	1.668	74.531.947	311	18,4
Sul	1.188	23.355.240	182	15,3
Centro-Oeste	466	12.161.390	339	72,7

Fonte: Datasus (2011); IBGE (2002); IBGE (2010)

Um dos problemas em destaque da disposição final dos RSU em *lixões* é a geração e emissão de biogás para a atmosfera, uma vez que em *lixões* não existem

sistemas de captação e de tratamento de gases. Os estudos da geração e da composição do biogás realizam-se principalmente em aterros sanitários ou em aterros controlados, entretanto são poucas as informações sobre as suas concentrações em *lixões*.

Moreira *et al.* (2011) avaliou em seu trabalho a concentração dos principais componentes do biogás, o metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) no *lixão* municipal de Juazeiro do Norte, contribuindo assim para uma melhor compreensão do processo de biodegradação do resíduo sólido urbano depositado nos vazadouros a céu aberto e para uma melhor avaliação do potencial de emissão de gases de efeito estufa.

### 1.3. Decomposição dos Resíduos

As bactérias, e em menor escala os fungos dentre os diversos grupos de microrganismos presentes nos resíduos sólidos, são os que auxiliam a degradação dos resíduos.

A decomposição dos resíduos é um dos principais fatores que influenciam a geração de biogás e para, Tchobanoglous *et al.*(1993), passa por 5 fases até a sua bioestabilização conforme ilustrado na Figura 1

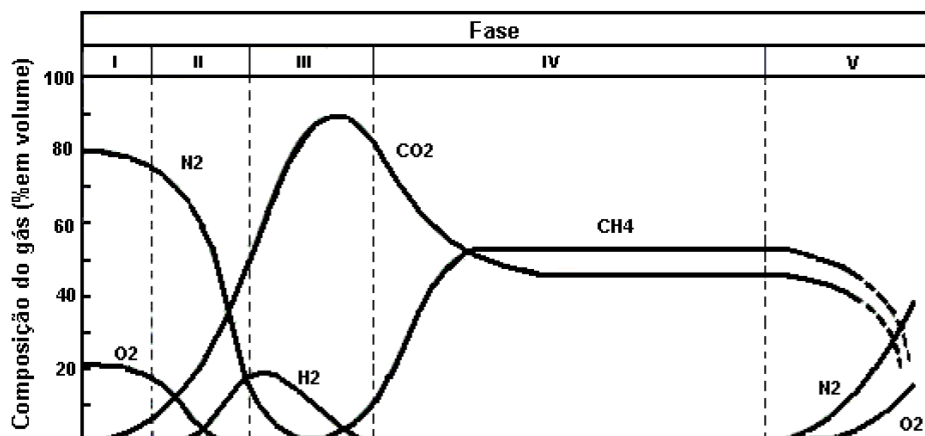


Figura 1 – Fases de geração de gases em aterros sanitários.

Fonte: Tchobanoglous, Theisen & Vigil (1993).

Na fase I - Fase aeróbia - Ajustamento Inicial: temos a presença do oxigênio na massa dos resíduos e por isso é chamada de aeróbia, o oxigênio oxida os materiais orgânicos a  $\text{CO}_2$  e água, com a liberação de calor.

O processo de decomposição aeróbio normalmente começa durante a disposição do resíduo e estende-se até um curto período após o recobrimento do resíduo pela camada de cobertura. A temperatura interna pode atingir entre  $70^\circ$  e  $80^\circ\text{C}$ , uma vez que as reações são exotérmicas (BAIRD, 2011).

Na fase II - Fase de transição – tem-se o oxigênio se esgotando e as condições anaeróbias começando a desenvolver-se.

Fase III – Fase ácida - nesta fase, a atividade microbiana iniciada na Fase II é acelerada com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e quantidades menores de  $\text{CO}_2$ .

Fase IV – Fase da fermentação do metano - nesta fase um segundo grupo de microrganismos, que converte o ácido acético e hidrogênio gasoso formado pelos formadores de ácido na fase ácida de metano  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$ , torna-se mais predominante. As bactérias responsáveis por esta conversão são anaeróbias e são chamadas metanogênicas. Coletivamente, estas são identificadas na literatura como metanogênicas ou formadores de metano.

Fase V – Fase de maturação - consiste na etapa final de decomposição dos resíduos, onde ocorre a redução da atividade biológica em virtude da escassez de nutrientes.

A duração de cada fase na produção do gás dos aterros sanitários irá variar, dependendo da distribuição dos componentes orgânicos, da disponibilidade de nutrientes, o teor de umidade dos resíduos e o grau de compactação inicial (AUGENSTEIN E PACEY, 1991; TCHOBANOGLOUS, 1993). A Tabela 2 apresenta uma sugestão da duração de cada etapa.

Tabela 2 – Intervalo de duração das fases na decomposição de resíduos

Fases	Intervalo de duração das fases
I	Algumas horas a 1 (uma) semana
II	1 (um) mês e 6 (seis) meses
III	3 (três) meses a 3 (três) anos
IV	8 (oito) anos a 40 (quarenta) anos
V	1 (um) ano a mais de 40 (quarenta) anos

Fonte: Adaptado de Augenstein e Pacey (1991).

Maciel (2003) destaca e Teixeira *et al.* (2007) e Mariano (2008) corroboram que existem diversos fatores que influenciam na biodegradação dos resíduos sólidos urbanos e a geração de gases, conforme descrito, resumidamente, a seguir:

- **Geometria e Operação do aterro** - Dimensão do aterro; Impermeabilização do aterro e compactação do RSU;
- **Características iniciais dos resíduos** – composição do lixo e umidade do RSU;
- **Ambiente interno** – umidade da massa na degradação; pH nas células de resíduos; temperatura e disponibilidade de nutrientes/bactérias; presença de agentes inibidores;
- **Ambiente externo** – Precipitação e infiltração; variação da pressão atmosférica; temperatura; evapotranspiração e umidade relativa do ar.

A *United States Environmental Protection Agency* - USEPA (1991) também destaca que as reações químicas dependem da composição dos resíduos e da temperatura e a decomposição biológica depende da disponibilidade de nutrientes para os microrganismos, da composição do resíduo aterrado, da idade do aterro, da umidade, da presença de oxigênio, da temperatura e do pH do RSU no aterro.

Para Palmisano e Barlaz (1996) a umidade do RSU é o principal fator que influencia na produção de gases, pois a umidade (60% a 90%) pode aumentar a geração de biogás e ainda que a construção do aterro com baixa permeabilidade

ajuda a controlar a formação de lixiviado, mas manter a umidade do lixo baixa prejudica a formação de gases.

Como exemplo desses fatores intervenientes, Ubavin *et al.* (2010), apresentaram estudo sobre um aterro localizado perto da cidade de Novi Sad, na Sérvia, que opera desde 1980. O aterro abrange aproximadamente 220.000 m<sup>2</sup> com resíduos a uma profundidade de 2,5 a 9 m. Neste aterro, o autor investigou a permanência de produção de metano e a influência da temperatura ambiente para essa produção. Vários ciclos de medição foram realizados e a influência da temperatura sobre a redução da intensidade dos processos bioquímicos foi indicada pela diminuição do metano em poços de gás com a diminuição da temperatura ambiente. Em 2 poços de gás monitorados durante o verão, as concentrações de metano no biogás foram mais do que 10% em volume, durante a primavera, menos de 3% e no inverno foram cerca de 0%.

#### **1.4. Formação dos Gases em Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos**

De acordo com Humer e Lechner (2011a), a maior parte dos resíduos sólidos urbanos depositados em aterros consiste de carbono orgânico, que é parcialmente degradável resultando em emissões de gases de efeito estufa como o metano (CH<sub>4</sub>) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Humer e Lechner (2011a) destacam que aproximadamente, 40 a 60 milhões de toneladas de metano são anualmente gerados por aterros sanitários. Os autores destacam ainda, que normalmente 90% do carbono degradado num biorreator do aterro é convertido em gás de aterro, enquanto que apenas 10% permanecem na carga orgânica dissolvida no lixiviado.

Os gases de aterros de resíduos sólidos, também chamados de biogás, são comumente descritos por ter em sua composição uma maior porcentagem de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, tendo menos de 1% de outros componentes gasosos. A Tabela 3 apresenta as concentrações dos principais componentes do biogás destacados por Tchobanoglous (1993). Nela, é possível visualizar que o metano e o dióxido de

carbono são os predominantes no processo de decomposição dos resíduos sob as condições anaeróbias.

Tabela 3 - Típicos constituintes da composição de biogás gerado em aterro sanitário

<b>Componente</b>	<b>Concentração média (%)</b>
Metano	45 - 60
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	40 - 60
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	2 - 5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0.1 – 0.1
Amônia (NH <sub>3</sub> )	0 – 0.1
Compostos sulfúricos (H <sub>2</sub> S)	0.1 – 0.1
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0 – 0.2
Monóxido de carbono (CO)	0 – 0.2
Outros gases traços	0.01 – 0.6

Fonte: Tchobanoglous, (1993)

Nikiema *et al.* (2007) também destacam em seus estudos, que metano e o dióxido de carbono são predominantes, mas apresentam valores um pouco diferenciados. A Tabela 4 apresenta as concentrações dos principais componentes do biogás.

Tabela 4 - Variação da composição de biogás gerado em aterro sanitário

<b>Componente</b>	<b>Concentração média (%)</b>
Metano	30 - 70
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	20-50
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	1 - 5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0,1 - 1,0
Amônia (NH <sub>3</sub> )	0,1 -1,0
Compostos sulfúricos (H <sub>2</sub> S)	0 -0,2
Hidrogênio(H <sub>2</sub> )	0 - 0,2
Monóxido de Carbono (CO)	0 – 0,2
Outros gases traços	0,01 – 0,06

Fonte: Nikiema *et al.* (2007)

O biogás é classificado como Gás do Efeito Estufa (GEE). Os GEE vem aumentando significativamente, principalmente pelas atividades humanas no setor industrial, na produção e consumo de energia, transportes e geração de eletricidade. O aumento da concentração de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e, em menor escala, o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e os halocarbonos (HFC) provocam a retenção de calor na atmosfera, impedindo que a radiação solar próxima à superfície terrestre seja liberada de volta ao espaço (BAIRD, 2011).

De acordo com Humer e Lechner (2011a) em geral, o CO<sub>2</sub> de aterros sanitários se apresenta neutro com relação ao efeito estufa, devido à sua origem biogênica e à quantidade insignificante, em comparação com outros setores de produção de CO<sub>2</sub>, tais como indústria e transporte. Por outro lado, o CH<sub>4</sub> é um gás de efeito estufa mais poderoso. Ao longo de um período de tempo de 100 anos, o potencial de aquecimento global para o CH<sub>4</sub> é de 25 vezes por causa de seu coeficiente de absorção molar mais forte para a radiação infravermelha e tempo de residência atmosférica maior.

A Tabela 5 apresenta algumas referências bibliográficas sobre emissões de metano em aterros sanitários.

Tabela 5 – Quantificação da emissão de metano em aterros

<b>Fonte de metano</b>	<b>Carga por área (l CH<sub>4</sub>/ m<sup>2</sup>.d)</b>	<b>Referência</b>
Aterro em funcionamento nos primeiros 10 anos, 20 m de profundidade.	340	Hummer e Lechner, (1997)
Resíduo restante após a separação do resíduo orgânico, nos primeiros 10-15 anos, 20 m de profundidade.	120-160	Hummer e Lechner, (1997)
Resíduo tratado através de processo mecânico e biológico, 20 m de profundidade.	< 25	Hummer e Lechner, (1997)
Resíduo tratado através de processo mecânico e biológico	72	Fricke <i>et al.</i> (1997)

(Continua)

(Conclusão)

Fonte de metano	Carga por área (l CH <sub>4</sub> / m <sup>2</sup> .d)	Referência
Áreas abandonadas, após 10-15 anos.	90-110	Hummer e Lechner, (1997)
Lixão doméstico	400	Kightley e Nedwell (1994)
Medida média inferior das emissões em aterros	300	Bajic e Zeiss, (2001)

Fonte: Bahr *et al.* (2006)

Segundo Bogner *et al.* (2007), em todo o mundo, a emissão de CH<sub>4</sub> do setor dos resíduos é de 18% da emissão antropogênica global de CH<sub>4</sub>, com os aterros sanitários sendo a principal fonte, estimada de lançar entre 35 e 69 toneladas de CH<sub>4</sub> por ano para a atmosfera.

Em 2007, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC recomendou a melhoria da recuperação e utilização do CH<sub>4</sub> em aterros, e a utilização da oxidação metanotrófica do CH<sub>4</sub> em solos de cobertura de aterros, que é um processo natural mediado pela ação microbiana, que ocorre em ambientes onde o metano e o oxigênio são encontrados juntos e biofiltros como estratégias potenciais para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa do setor de resíduos.

Huber-Humer *et al.* (2011a) destacaram que as emissões de gases de aterros sanitários estão se estabilizando devido à implantação de projetos de recuperação de gás de aterro, e até diminuindo em muitos países e nos países europeus, onde os requisitos das diretrizes de aterros já foram implementados na legislação nacional de gestão de resíduos. Em contraste, a emissão de CH<sub>4</sub> de aterros está aumentando nos países em desenvolvimento de acordo com os dados fornecidos pelo IPCC (BOGNER *et al.* 2007).

Durante os últimos anos, a investigação centrou-se cada vez mais no desenvolvimento de tecnologias de baixo custo que limitam a liberação de gás de



aterro nos locais menos providos de recursos para implantação de sistemas de coleta de gás e/ou não são economicamente viáveis. Para Teixeira (2007), os projetos de captação dos gases produzidos em aterros sanitários, na maioria das vezes, não é empregada em função do elevado investimento inicial para instalar um sistema captador de biogás. Além disso, a tecnologia tradicional de recuperação de gás de aterros pode se tornar menos eficaz em futuros aterros, devido ao possível recebimento de resíduos pré-tratados com baixo potencial de geração de gás, como os advindos da incineração.

No Brasil, os projetos de recuperação de energia a partir do biogás de aterro se limitam a empreendimentos de grande porte como, por exemplo, a Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu, que foi detentora do primeiro registro de um projeto de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) na ONU, e se destacou por ser o primeiro aterro sanitário de grande porte do estado do Rio de Janeiro. Com essa realidade, existe a necessidade de encontrar soluções para minimização dessas emissões em aterros de pequeno e médio porte.

Para Teixeira (2007) mesmo que sejam instalados os equipamentos, sempre haverá uma porcentagem (10 a 20%) que escapará dos sistemas de captação sob forma de emissão. Portanto, a instalação de possíveis tipos de camadas de cobertura no recobrimento final de um aterro sanitário constitui uma solução eficiente e economicamente atraente sob vários aspectos, uma vez que requer equipamentos simplificados, podendo ainda valorizar materiais alternativos para a construção, além de exigir baixa ou nenhuma manutenção.

### **1.5. Camadas de Cobertura**

A NBR 13.896/97 estabelece uma necessidade do projeto e da implantação da cobertura final do aterro, que consiste de um sistema de impermeabilização superior. Esses sistemas de impermeabilização envolvem as camadas de impermeabilização de base e de cobertura, as camadas intermediárias e finais e são concebidos com elementos naturais (solo) ou sintéticos (geomembranas). Nesse contexto, cobertura final dos aterros sanitários deve ser concebida de maneira a

minimizar a infiltração de águas e a saída de gases pela sua superfície. Além disso, a cobertura final dos aterros sanitários favorece a recuperação final da área e a revegetação (CATAPRETA E SIMÕES, 2011).

Mariano (2008) descreve que a camada de cobertura deve possuir uma série de características como, por exemplo, baixa permeabilidade à água e ao ar e durabilidade, ao longo do tempo.

Para Lopes *et al.* (2012) é comum que as camadas de cobertura sejam construídas de materiais argilosos que são dispostos sobre os RSU para obtenção de uma camada com espessura variando de 50 a 100 cm adotando-se como parâmetro mínimo uma condutividade hidráulica do solo saturado na ordem de  $10^{-8}$  cm/s. A execução dessas camadas exige uma fiscalização adequada dos materiais para que sejam atingidas as características especificadas.

O preenchimento do aterro ocorre célula a célula (célula é o termo utilizado para o local pré-definido pelo responsável da operação para disposição final do resíduo em determinado período de tempo). Diariamente, essas células são preenchidas por resíduos. No final de cada dia de operação, essas células preenchidas de resíduos recebem um tipo de cobertura, chamada de cobertura intermediária, com objetivo de não gerarem odor, não atraírem vetores e controlarem a entrada de água. Além da cobertura intermediária, também é um procedimento operacional nos aterros sanitários, quando uma área está totalmente preenchida de resíduos, essa recebe uma camada de cobertura final com o objetivo de se controlar a entrada de água e a saída de gás. Sob o ponto de vista operacional, essas camadas tem a função de permitir o adequado fluxo de máquinas e outros veículos, principalmente durante a operação em períodos chuvosos. Tchobanoglous *et al.* (1993) destacam a importância da manutenção a longo prazo da camada de cobertura final e ainda o cuidado em manter a sua integridade contra a possível ocorrência de erosão, ressecamento do solo, surgimento de trincas, colmatação e recalque diferencial.

O solo local pode ser utilizado para cobertura intermediária e final dos resíduos, mas Coelho *et al.* (2005) lembram das dificuldades na reconstrução do local explorado que quase sempre se torna um passivo ambiental, por não receber o devido tratamento após a exploração. Os solos argilosos são bastante utilizados como material de cobertura tradicional para os aterros, tanto nas camadas

intermediárias quanto as camadas finais e, como a argila vem se tornando cada vez mais dispendiosa e escassa, os materiais alternativos com baixa condutividade hidráulica estão começando a ser empregados.

De acordo com Mariano (2008), existem basicamente, dois tipos de cobertura final para aterros de resíduos sólidos: as camadas convencionais e as camadas alternativas. As camadas convencionais de cobertura são aquelas confeccionadas com camadas de solo natural argiloso ou camadas intercaladas de solo natural argiloso e geossintéticos com vistas à impermeabilização de topo das células. Essas camadas convencionais apresentam baixo custo inicial de construção, mas possuem algumas desvantagens em relação aos ciclos de secagem e umedecimento que sofrem, fazendo com que surjam fissuras e em consequência aumentando a permeabilidade à água e aos gases.

Já as camadas alternativas, são aquelas compostas por solos ou misturas de solos com outros materiais que não são geossintéticos. Para Mariano (2008), o que motiva a execução de camadas de cobertura alternativas ao invés das camadas convencionais são particularidades e singularidades como, por exemplo, o clima, a disponibilidade de solos naturais argilosos e custo.

Catapreta e Simões (2011) destacam a importância de se pesquisar tipos de camadas intermediárias e encontraram resultados que sugerem a viabilidade da utilização de resíduos de construção civil como material de cobertura diária de RSU dispostos em aterros sanitários, pois os mesmos exercem adequadamente a função sanitária, evitando a proliferação de vetores e exalação de odores, além de proporcionar boas condições para o tráfego de máquinas e veículos durante a operação dos aterros sanitários.

Coelho *et al.* (2005) relataram o favorecimento da utilização do capim como componente de uma camada intermediária, em relação a compactação do solo de cobertura, minimizando a quantidade de material demandado para o cobrimento intermediário dos resíduos aterrados em um experimento realizado em pequena escala.

Chen *et al.* (2011) realizaram testes de campo na extração de biogás em um aterro que possuía como única camada intermediária a cobertura feita com geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD). Os autores mostraram em seus resultados que existiram problemas de rachaduras nessas membranas, mas

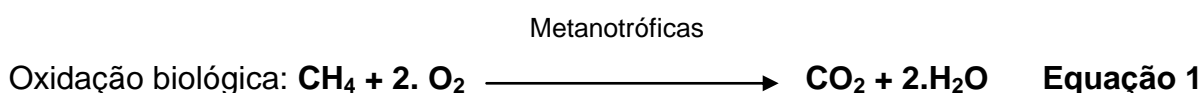
após a soldagem das geomembranas de PEAD em conjunto, formou-se uma camada hermética inteira sobre uma área maior do aterro, com isso o fluxo de gás na tubulação aumentou 25% comparando com o projeto onde as geomembranas de PEAD não foram soldadas em conjunto.

Lopes (2011) em sua pesquisa destaca que devido a fatores que estão intimamente ligados às características do solo tais como estrutura, índice de vazios, grau de compactação e umidade, além das variações climáticas tais como precipitação e pressão atmosférica, o desempenho pode variar ao longo do tempo.

Com isso, o monitoramento das camadas de cobertura consiste, portanto, em um fator fundamental para se avaliar a interferência decorrente das variações climáticas locais, na eficiência em termos de infiltração de líquidos e emissão de gases.

### **1.5.1. Fatores que influenciam na oxidação de CH<sub>4</sub> nas camadas de cobertura**

A oxidação de metano (CH<sub>4</sub>) em coberturas de aterros sanitários é um fenômeno biológico natural e ocorre em solos com exposição prolongada ao gás em ambientes aeróbios. Essa oxidação é causada em sua maior parte pelas bactérias metanotróficas que tem como seu habitat a camada de cobertura. Essas bactérias se desenvolvem rapidamente em ambientes com presença conjunta de CH<sub>4</sub> e O<sub>2</sub>, tendo como seu produto final a geração de dióxido de carbono e água conforme a Equação 1 (HUMER E LECHNER, 1999; BAIRD, 2011):



Vários são os parâmetros que influenciam as taxas de oxidação, entre os quais: umidade e temperatura do solo, concentrações de metano e oxigênio, tipo de solo, pH, teor de amônia, nitrito e matéria orgânica e a presença de outros substâncias inibidoras (BORJESSON E SVENSSON, 1997 e CZEPIEL *et al.* 1996). Marinho e Souza (2010) apresentaram os fatores climáticos, químicos, antrópicos,

geotécnicos e fatores bióticos que compreendem os fatores de interação microbiana sendo eles o oxigênio e porosidade, umidade e grau de saturação, temperatura do solo, teor de matéria orgânica e o pH e nutrientes.

A oxidação do  $\text{CH}_4$  é fortemente regulada pela umidade do material, principalmente através da difusão do gás no perfil do solo e pela atividade das bactérias metanotróficas (LOPES, 2011). Para Czepiel *et al.* (1996) a umidade do solo é o principal parâmetro regulador da oxidação de metano. De acordo com Bahr *et al.* (2006), as maiores taxas de oxidação de metano são obtidas na faixa entre 40% e 80% de umidade.

Em coberturas de aterros sanitários, a penetração de  $\text{O}_2$  na cobertura será o fator limitante para que haja processos de oxidação de  $\text{CH}_4$ , sendo a composição do solo, tamanho de partículas e porosidade os fatores importantes neste processo (LOPES, 2011 e SCHEUTZ *et al.* 2009). A camada mais próxima à superfície em aterros sanitários sofre maiores influências das variações climáticas tais como: temperatura, pressão atmosférica e precipitação, influenciando nas taxas de oxidação (LOPES, 2011). O aumento da pressão atmosférica promove maior entrada de  $\text{O}_2$  na camada de cobertura e a precipitação promove mudanças na umidade do solo (CABRAL *et al.* 2007).

De acordo com Maciel (2003), a baixa umidade do solo limita a microflora bacteriana por dessecação, enquanto que solos próximos à completa saturação tendem a dificultar a entrada de  $\text{O}_2$ , diminuindo assim, as atividades da oxidação. A passagem de metano na camada, tanto por advecção quanto por difusão e, conseqüentemente, sua disponibilidade para as bactérias metanotróficas também fica reduzida em solos com elevado teor de umidade.

As variações de temperatura do solo têm efeito no fluxo de gás e nos processos biológicos, incluindo a atividade de oxidação de  $\text{CH}_4$  (SCHEUTZ *et al.* 2009). Park *et al.* (2009) estudaram a influência da temperatura e umidade nas taxas de oxidação de  $\text{CH}_4$  e encontraram taxas altas para temperaturas variando de  $25^\circ\text{C}$  a  $35^\circ\text{C}$ , essa variação de temperatura coincidiu com experimentos realizados por Bender e Conrad (1995), que sugeriram a indução de atividade de oxidação de  $\text{CH}_4$  com a mesma variação de temperatura, obtidas em estudos com quatro tipos solos diferentes.

Cabral *et al.* (2007) estudaram em campo as camadas de cobertura metanotróficas constituídas de composto adicionado ao solo e observaram uma relação entre a presença de matéria orgânica e microrganismos, com redução de matéria orgânica ao longo do período estudado e maior concentração de microrganismos nas profundidades próximas à superfície.

Substâncias inorgânicas (amônia e nitrato) estimulam ou inibem a oxidação de CH<sub>4</sub> no solo, dependendo das espécies e das concentrações destas substâncias aliadas à concentração de CH<sub>4</sub> e do pH (SCHEUTZ *et al.* 2009).

### 1.5.2. Determinação das Taxas de Oxidação de CH<sub>4</sub> em Camadas de Cobertura

A camada de cobertura funciona como uma barreira reativa biológica para a emissão de CH<sub>4</sub> para a atmosfera. A Tabela 6 apresenta algumas taxas de oxidação do CH<sub>4</sub> encontradas na literatura e as profundidades das camadas que contribuem para esse efeito (MACIEL, 2003).

Tabela 6 – Taxas de oxidação na camada de cobertura

Referências	Tipo de estudo	Taxas de oxidação (g/m <sup>2</sup> .dia)	Máxima oxidação verificada entre
Whalen <i>et al.</i> (1990)	Laboratório	45	0 – 12 cm
Jones e Nedwell (1993)	Campo	0,0003 - 7,21	10 – 32 cm
Kightley <i>et al.</i> (1995)	N.I.	166	N.I.

(Conclusão)

Referências	Tipo de estudo	Taxas de oxidação (g/m <sup>2</sup> .dia)	Máxima oxidação verificada entre
Czepiel <i>et al.</i> (1996)	Laboratório	1,1-70	5 - 10 cm
Borjensson e Svensson (1997)	Laboratório	3,4-403	50 – 60 cm
Maurice e Lagerkvist (2002)	Laboratório	7-58	<10 cm

N.I.= não informado  
 Fonte: Maciel (2003).

As emissões de metano de aterros ativos ou fechados podem ser reduzidas por meio de oxidação microbiana reforçada por camadas de cobertura de aterros devidamente projetados (RACHOR *et al.* 2011 e HUMBER-HUMER, 2011b).

Rachor *et al.* (2011) avaliaram a capacidade de oxidação do metano em solos compactados destinado como materiais de cobertura de aterro, num estudo de coluna laboratorial (que é realizado em laboratório, simulando as condições encontradas em campo) que foi realizado a fim de obter critérios de projeto que permitem a construção de uma cobertura eficaz na oxidação de metano, a partir da gama de solos, que estavam disponíveis para o operador do aterro. Portanto, a capacidade de oxidação de metano de solos diferentes foi avaliada em condições de aterro simulado em laboratório. No que diz respeito à concepção de camadas de cobertura de aterro, concluiu-se que a magnitude da carga do metano, a textura e a compactação do material de cobertura são variáveis importantes que devem ser conhecidas.

Para Scheutz *et al.* (2011a) e Scheutz *et al.* (2011b), a tecnologia de custo baixo promissora é a integração de composto em coberturas de aterros (as chamadas biocoberturas) para aumentar a oxidação biológica de CH<sub>4</sub>.

Scheutz *et al.* (2011b) estudaram um sistema de biocobertura para reduzir as emissões de CH<sub>4</sub>. Esse sistema foi instalado no Aterro de Fakse, na Dinamarca, utilizando resíduos de jardim. As medições de emissões totais sugeriram uma

redução na emissão de CH<sub>4</sub> na camada de cobertura de aproximadamente 28% após um ano de monitoramento.

Spokas e Bogner (2011) a fim de compreender os limites e dinâmicas do CH<sub>4</sub> e a oxidação de CH<sub>4</sub> em camadas superficiais do solo, investigaram a oxidação diária, intermediária e final de CH<sub>4</sub>, em dois aterros sanitários na Califórnia, em função da temperatura e umidade do solo, e concentração de CO<sub>2</sub>. Observaram-se que a temperatura do solo e o potencial de umidade interagem para influenciar as taxas de oxidação de CH<sub>4</sub> em condições de campo, implicando a necessidade de avaliar a oxidação de CH<sub>4</sub> em relação à variabilidade do microclima no interior do perfil do solo.

Gerbet *et al.* (2011a) avaliaram a variabilidade temporal para a oxidação microbiana de metano em solos de cobertura de aterros sanitários e suas variáveis de condução. A composição do gás em locais não-emissivos e fortemente emissivo (*hotspots*) foi monitorada em uma escala de tempo sazonal, diária e horária em um aterro no norte da Alemanha. O estudo mostrou que o impacto dos diversos fatores ambientais variou de acordo com o meio de transporte de gás e com a escala de tempo considerado.

Gerbet *et al.* (2011b) destacaram que a única orientação para a oxidação em modelagem de emissão é dada nas Diretrizes do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa. Para os modelos de gás de aterro, essas diretrizes recomendam um valor padrão de 10% para oxidação, se uma camada de cobertura estiver presente. Os valores mais elevados só são aceitos quando apoiados por dados de pesquisa relevantes para a região, que são raros. A escassez de dados é, em parte, devido à dificuldade de se obter informações (e / ou custo) para avaliar a eficiência de oxidação.

De acordo com Humber-Humer *et al.* (2011b) as emissões de metano em aterros ativos ou fechados podem ser reduzidas por meio de oxidação do metano reforçada por camadas de cobertura de aterros devidamente projetadas através da utilização de composto e outros resíduos diferentes.



### 1.6. Estimativas de Emissões de Gases “in situ”

Os principais métodos de investigação das emissões de gases em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos correspondem à placa de fluxo (estática e dinâmica) e análises por infravermelho. A Tabela 7 apresenta o princípio de medição e a resolução dos métodos citados (MACIEL, 2003).

Tabela 7 - Princípio básico dos métodos das avaliações das emissões de gases

Método	Princípio	Abrangência	
		Espacial	Temporal
Análise por infravermelho	Detecta a concentração do biogás acima da superfície do aterro por processos óticos e/ou térmicos através de luz infravermelha	ha	horária ou contínua
Placa de fluxo	Avaliação da concentração dos gases com o tempo em caixas fechadas (estática) ou semi-abertas (dinâmica) cravadas no solo de cobertura	m <sup>2</sup>	horária

Fonte: Maciel (2003).

#### *Infravermelho*

Cossu *et al.* (1997) destacam que a análise por infravermelho é precisa para uma obtenção da emissão do biogás total do aterro. Entretanto, relata que o método implica em alto custo, mão de obra especializada e possui maior susceptibilidade às condições meteorológicas como a velocidade do vento e pressão atmosférica.

#### *Placas de fluxo*

Para Czepiel *et al.* (1996), as placas de fluxos dinâmicas e estáticas são os métodos mais populares utilizados na avaliação da emissão de biogás para a atmosfera. A utilização de placas de fluxo apresenta vantagens por serem métodos mais precisos na determinação do fluxo pontual, não exigirem mão de obra especializada, terem instalação simples, possibilidade de determinar parâmetros do solo da camada de cobertura e por permitirem avaliação simultânea de vários gases. Entretanto, suas desvantagens são a necessidade de realização de vários

ensaios para obtenção da emissão do biogás total do aterro, a prolongada duração do ensaio dependendo do tamanho da placa e existência da possibilidade de erro durante a cravação da placa no solo.

No ensaio de placa de fluxo dinâmica, os gases que estão no interior da placa são diluídos por meio de um fluxo contínuo de ar para serem analisados e depois lançados para a atmosfera. Já no ensaio de placa de fluxo estática, os gases são analisados sem diluição e retornam em seguida para a placa em um ciclo fechado. A Figura 2 ilustra o esquema dos dois tipos de ensaio.

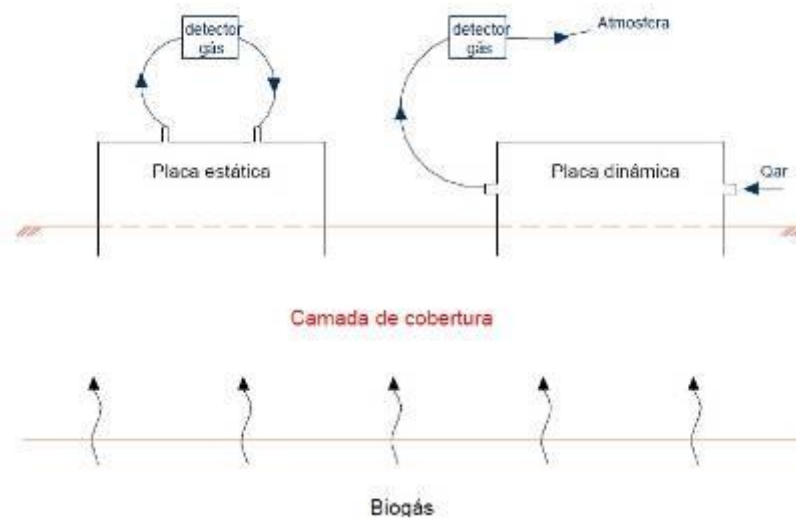


Figura 2 - Esquema dos ensaios de placa de fluxo estática e dinâmica. (MACIEL, 2003).

O fluxo de gás ( $J$ ), ou simplesmente, a taxa de emissão superficial determinada pelo método estático pode ser calculada pela seguinte equação Czepiel *et al.* (1996):

$$J = \frac{V_p \times \rho}{A} \times \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

**Equação 2**

Onde:

$J$  = fluxo de gás ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ );

$V_p$  = volume útil da placa de fluxo ( $\text{m}^3$ );

$A$  = área de solo coberta pela placa ( $\text{m}^2$ );

$\rho$  = densidade do gás a determinada temperatura ( $\text{kg/m}^3$ );

$\Delta C / \Delta t$  = variação da concentração do gás (% vol) com o tempo (s).

O tempo de realização do ensaio é uma variável fundamental para o cálculo do fluxo de gás (J). Após certo intervalo de tempo, a pressão, temperatura e concentração dos gases no interior da placa aumentam e o fluxo tende a decrescer até a estabilização em valores próximos a zero. Mudanças nas características geotécnicas do solo de cobertura também podem ocorrer após um longo período de ensaio (MACIEL, 2003).

Maciel (2003) discutiu o intervalo de tempo para os ensaios e destacou que alguns autores sugerem, para ensaios de placas estáticas, um intervalo de tempo que varia de 15 minutos a 3 horas. Em seus ensaios, Maciel (2003) utilizou o tempo de 25 minutos.

Lopes (2011) descreve que diversos estudos, utilizando a placa de fluxo estática, apresentam relações entre as emissões de  $\text{CH}_4$  e fatores tais como: o ambiente interno do aterro (existência de captação de gases, recirculação de lixiviados, idade dos resíduos), as características da camada de cobertura (espessura, tipo de solo, vegetação) e as variações do clima local (temperatura, precipitação, pressão atmosférica) que são específicos de cada aterro.

A Tabela 8 apresenta a variação de emissão de  $\text{CH}_4$  de estudos que utilizaram a metodologia de câmara de fluxo estática, realizados em diversos aterros no mundo, com as características da cobertura utilizada e de exploração do biogás.

Tabela 8 - Fluxos de CH<sub>4</sub> reportados na literatura em camadas de cobertura

Referência	Cobertura	Extração de biogás	Tipo de medição	Período de análise	CH <sub>4</sub> fluxo(g/m <sup>2</sup> .dia)
Boeckx <i>et al.</i> (1996)	0,3m de solo com cobertura vegetal e arbustos	Não	CFE	Jun/94 a dez/94	-0,0059 a 0,91
Borjesson <i>et al.</i> (1997)	0,1m a 0,8 m de solo arenoso	N.I.	CFE	Mai/92 a jul/94	-0,3 a 18,4
Park & Shin (2001)	0,5 m a 0,7 m de areia siltosa	Sim	CFE	N.I.	0 a 14.794
Maciel (2003)	0,25m a 0,90 m de solo compactado	Não	CFE	Mar/03 a mai/03	102 a 363
Scheutz <i>et al.</i> (2003)	0,8 m de solo argiloso acima de 0,4 m de areia grossa	Sim	CFE	Set/01	-0,01 a 10
Huber-Humer (2004)	0,9 m de composto de lodo de esgotos sobre 0,3 m de cascalho	Sim	TFD	Jul/99 a set/01	-0,5 a 2,1
	0,9 m de composto de RSU sobre 0,3 m de cascalho	Sim	TFD	Jul/99 a set/01	-3,3 a 5,6
	0,4 m composto de lodo de esgoto sobre 0,3 m de cascalho	Sim	TFD	Jul/99 a set/01	0 a 706,8
	0,3 m composto de lodo de esgoto sobre 0,3 m de solo compactado	Sim	TFD	Jul/99 a set/01	0,2 a 173,9
	Superfície de aterro descoberto (referência)	Sim	TFD	Jul/99 a set/01	0,3 a 1.181,0
Fourie & Morris (2004)	0,1 m de areia argilosa	Não	CFE	Mar/99 e set/99	-45 a 638
	0,1m a 0,6m de areia argilosa e argila de baixa plasticidade	N.I.	CFE	Mar/99	0 a 410
	0,1m a 0,2 m de areia siltosa	N.I.	CFE	Mar/99	0 a 347
	0,1 m a 0,6 m de areia siltosa argilosa	N.I.	CFE	Mar/99	0 a 385

(Continua)

Referência	Cobertura	Extração de biogás	Tipo de medição	Período de análise	CH <sub>4</sub> fluxo(g/m <sup>2</sup> .dia)
McBain et al. (2005)	0,5 m a 1,5m de argila compactada	Não	MM	Jun/02 a ago/02	7 a 39
Abichou et al. (2006b)	0,3 m a 0,6 m de solo argiloso	Não	CFE	Jun/03 a set/03	-14 a 1.755
	0,45 m de solo em talude	Não	CFE	Jun/03 a jul/03	2 a 63
	0,15 m a 0,30 cm de solo (cobertura diária)	Não	CFE	Jun/03 a nov/03	0 a 521
	0,45 m de solo em talude	Não	CFE	Set/03 a fev/04	-6,1 a 343
Lohila et al. (2007)	Fina camada de RCD*	Sim	MM	Jun/03 a dez/03	0 a 259,2
Akerman et al. (2007)	1 m de cinzas e 0,3 de argila ou calcáreo	Sim	CFE	2005	0 a 15,2(c)
	0,5 a 0,7 m de argila	Sim	CFE	2005	0 a 38(c)
	0,5 m argila (0,5 – 1m) +Solo	Sim	CFE	2005	0 a 2 (c)
Zhang <i>et al.</i> (2008)	0,8 m a 1,0m de solo franco arenoso	Sim	CFE	Nov/06 a jun/07	7 ± 22
	0,8 m a 1,0m de solo franco arenoso	Sim	CFE	Mar/06 a jun/07	14 ± 35 <sup>(a)</sup>
	0,8 m a 1,2m de solo franco arenoso	Sim	CFE	Mar/06/ a jun/07	5 ± 12(b)
Mariano (2008)	0,25 m a 0,9 m de solo areno argiloso	Não	CFE	Mar/06 a nov/07	0,0 a 401,0

(Continua)

(Conclusão)

Referência	Cobertura	Extração de biogás	Tipo de medição	Período de análise	CH <sub>4</sub> fluxo(g/m <sup>2</sup> .dia)
Abichou et al. (2009)	0,2 m a 0,6 de argila arenosa sobreposta 0,2 a 0,5 de areia fina	Não	CFE	Jan/05 a dez/05	até 14
Abichou et al. (2009)	1,10 m de composto sobreposto de 0,10 m de camada de distribuição de gás.	Não	CFE	Jan/05 a dez/05	Até 0,04
Fernandes (2009)	0,30 m de solo fino sobreposto a 0,30 m de resíduos de construção civil (entulho) reciclado/ 0,60 m solo fino	Não	CFE	Out/07 a jul/08	23,24 a 337,67
Lopes (2011)	0,70 de solo compactado/ 0,20 pedra britada e 0,50 m solo compactado/ 0,30 m solo compactado e 0,30 m mistura solo e composto	Não	CFE	Set/08 a Fev/10	0 a 984,7

CFE = Câmara de Fluxo Estática; TFD: Túnel de Fluxo dinâmico; MM: Método micro meteorológico; \*RCD: resíduos de construção e demolição; \*\*0,2 – 0,5 m de cobertura superficial e 0,5 – 2,0m de argila compactada e diatomácea; (a) com irrigação e recirculação de lixiviado (b) irrigação de lixiviado; (c) obtido do gráfico; N.I. Não informado. Fonte: Adaptado de Lopes, 2011.

Maciel e Jucá (2011) desenvolveram um programa de testes de laboratório e de campo com o objetivo de investigar a geração de gases e emissão de uma célula experimental com 36.659 toneladas de capacidade em Recife / PE - Brasil. Essa investigação envolveu a caracterização dos resíduos, a produção de gás, de controle de emissão, avaliações geotécnicas e biológicas e foi realizada usando-se três tipos de camadas de cobertura final. Os resultados obtidos nesse estudo mostraram que os resíduos se decompõem 4 a 5 vezes mais rápido em um clima tropical úmido do que o previsto pelos tradicionais modelos de primeira ordem. Este fato deve ser incluído quando se considera as técnicas e econômicas de projetos desenvolvidos em países de clima tropical. A concepção da camada de cobertura final e o seu comportamento biológico e geotécnico e mostraram ter papéis importantes na minimização das emissões de gases para a atmosfera. As camadas de coberturas finais (capilares e metanotróficas) estudadas apresentaram menor taxa de fluxo de  $\text{CH}_4$  do que a camada convencional. A camada de cobertura do tipo barreira capilar, evita a ascensão capilar de água do resíduo para a cobertura, diminui o escape de gases do aterro e armazena as águas que infiltram.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo descreve os procedimentos adotados, os materiais utilizados nos ensaios (campo e laboratório) realizados, a descrição dos locais escolhidos e a cronologia da execução dos ensaios.

Foram escolhidas duas áreas diferentes para a pesquisa, a Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu - CTR Nova Iguaçu e o *Lixão* Remediado de Seropédica, ambos localizados na Região metropolitana do Rio de Janeiro.

Ensaio de campo e coleta de amostras de solo para ensaios laboratoriais foram realizados em cada uma das duas áreas.

Os ensaios de placa de Fluxo, cujos métodos utilizados serão descritos no item 4, ocorreram no período de outubro a novembro de 2012.

Em paralelo, no período de outubro a novembro de 2012, foram realizados ensaios de medição da espessura da camada de cobertura e medição da concentração e pressão dos gases ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ ) no contato solo-resíduo, objetivando a determinação da retenção de gases pela camada de cobertura. Também foram feitas medições de concentração de gases ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ ) dos drenos. Esses ensaios serão descritos nos itens 3, 4 e 5.

Na CTR Nova Iguaçu, foram realizados seis ensaios de placa de fluxo, dois ensaios em drenos e dois ensaios de umidade e densidade “in situ”.

No *Lixão* de Seropédica, foram realizados seis ensaios de placa de fluxo, três ensaios em drenos e dois ensaios de umidade e densidade “in situ”.

A quantidade de ensaios para Placa de Fluxo está de acordo com o que determina a Agência Ambiental do Reino Unido (UK ENVIRONMENTAL AGENCY, 2004), para áreas inferiores a  $3.000 \text{ m}^2$ , como é o caso das duas áreas escolhidas.

As Tabelas 9 e 10 a seguir, apresentam os tipos e quantidades de ensaios realizados nas duas áreas de estudo. As Tabelas 11 e 12 seguintes apresentam a cronologia dos ensaios de placa de fluxo e dispositivo de medição de pressão e concentração (DMPC) e, ainda, as condições climáticas de cada dia de investigação para cada uma das áreas de estudo.



Tabela 9 – Tipo e quantidade de ensaios realizados na CTR Nova Iguaçu.

<b>Ensaio de Campo</b>	<b>Quantidade</b>
Placa de Fluxo	6
Concentração solo-resíduo	6
Medição de pressão	6
Medição de temperatura	6
Espessura da camada	6
Concentração dos drenos	2
Densidade “in situ”	2
Umidade “in situ”	6

Tabela 10 – Tipo e quantidade de ensaios realizados no Lixão de Seropédica.

<b>Ensaio de Campo</b>	<b>Quantidade</b>
Placa de Fluxo	6
Concentração solo-resíduo	0
Medição de pressão	6
Medição de temperatura	6
Espessura da camada	0
Concentração dos drenos	3
Densidade “in situ”	2
Umidade “in situ”	6

Tabela 11 – Cronologia de ensaios realizados na CTR Nova Iguaçu e condições climáticas no local em cada dia de investigação.

<b>Ensaio</b>	<b>Data</b>	<b>Condição Climática Local</b>
Ensaio 1 -	17/10/12	Dia nublado. Temperatura ambiente variando de 28 a 29°C.
Ensaio 2 -	17/10/12	Dia nublado. Temperatura ambiente variando de 28 a 29°C.
Ensaio 3 -	12/11/12	Dia ensolarado. Temperatura ambiente variando de 30 a 32°C
Ensaio 4 -	12/11/12	Dia ensolarado. Temperatura ambiente variando de 30 a 32°C
Ensaio 5 -	12/11/12	Dia ensolarado. Temperatura ambiente variando de 30 a 32°C
Ensaio 6 -	12/11/12	Dia ensolarado. Temperatura ambiente variando de 30 a 32°C

Tabela 12 – Cronologia de ensaios realizados no *Lixão* de Seropédica e condições climáticas no local em cada dia de investigação.

<b>Ensaio</b>	<b>Data</b>	<b>Condição Climática Local</b>
Ensaio 1 -	29/10/12	Dia ensolarado. Temperatura ambiente variando de 30 a 32°C
Ensaio 2 -	29/10/12	Dia ensolarado. Temperatura ambiente variando de 30 a 32°C
Ensaio 3 -	30/10/12	Dia ensolarado. Temperatura ambiente variando de 30 a 34°C
Ensaio 4 -	30/10/12	Dia ensolarado. Temperatura ambiente variando de 30 a 34°C
Ensaio 5 -	30/10/12	Dia ensolarado. Temperatura ambiente variando de 30 a 34°C
Ensaio 6 -	30/10/12	Dia ensolarado. Temperatura ambiente variando de 30 a 34°C

## 2.1 Descrição da Área de Estudo

### 2.1.1 Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu

A Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu está localizada no Distrito de Vila de Cava, município de Nova Iguaçu, na Baixada Fluminense, no Estado do Rio de Janeiro. A Figura 3 apresenta o mapa de localização do município de Nova Iguaçu.



Figura 3 – Mapa de localização do município de Nova Iguaçu.

Fonte: Via Iguaçu, Portal de Nova Iguaçu

O município de Nova Iguaçu é o maior da região metropolitana possuindo uma área de 521,25 km<sup>2</sup> e uma população 767.505 habitantes sendo a parcela urbana de 758.769 habitantes e a população rural de 8.736 habitantes sendo um dos municípios mais populosos da região Sudeste. (IBGE, 2010).

### 2.1.1.1 Clima

O clima, segundo a classificação de Koppen, varia entre tropical de altitude e tropical nas áreas baixas, ambos caracterizados por verão chuvoso e inverno seco. A média anual de temperatura varia entre 17 e 22 °C (Cwa) e 22 e 24 °C (Aw). A precipitação média anual é de 1.212 mm (MATTOS *et al.*, 1998).

### 2.1.1.2 Histórico do aterro

Em 2001, a empresa S.A. Paulista obteve a licença para concessão pelo período de 20 anos pela Empresa Municipal de Limpeza Urbana (EMLURB), a agência governamental responsável pela coleta e pela disposição de resíduo para administrar os aterros de Marambaia e de Adrianópolis (oficialmente chamados 'Lixão de Marambaia' e 'Aterro Sanitário de Adrianópolis'), localizados no município de Nova Iguaçu, e para explorar o potencial de gás de aterro destes locais. Como parte desde contrato de concessão, a S.A. Paulista teve a obrigação de executar a recuperação ambiental do local do *Lixão* de Marambaia, que foi aberto em 1986 e parou de funcionar no fim de 2002, com aproximadamente 2 milhões de toneladas de resíduos depositados (Figuras 4 e 5).



Figura 4 - Situação do *Lixão* da Marambaia antes da desativação.

Fonte: CTR Nova Iguaçu



Figura 5 - Situação *Lixão* da Marambaia depois da recuperação ambiental da área. Fonte: CTR Nova Iguaçu

Na Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu, a operação foi iniciada em janeiro de 2003. O aterro recebe, em média, 2.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia. Para a implantação do aterro, foi utilizada uma área de 1.200.000 metros quadrados que, no ano de 1993, foi desapropriada pela Prefeitura de Nova Iguaçu. (Figura 6).

Pode se aplicar a essa área o conceito de Central de Tratamento de Resíduos, pois o aterro conta com áreas destinadas à disposição de Resíduos Inertes, Resíduos Classe IIA e IIB (classificação de acordo com a NBR 10.004), Central de Tratamento de lixiviado e Biogás, Central de Triagem e Britagem de Resíduos da Construção Civil e Unidade de Tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde.



Figura 6 - Vista aérea da área selecionada para a implantação do Aterro Nova Iguaçu antes do início das operações de recebimento de resíduos. Fonte: CTR Nova Iguaçu

A concessão do empreendimento se encerrará em 2021. Atualmente, o aterro opera no chamado Vale 4, pois o aterro possui quatro vales no total. As Figuras 7 e 8 apresentam a condição atual do Vale 4 do aterro sanitário em operação.



Figura 7 - Praça de Operações no Vale 4 (Cota 44).

Fonte: CTR Nova Iguaçu



Figura 8 - Recebimento, espalhamento e compactação de resíduos (Vale 4 – Cota 97). Fonte: CTR Nova Iguaçu

A CTR é bastante conhecida pelo Projeto NOVAGERAR, que é um Projeto de Energia a partir de gases de aterro sanitário, esse envolve a coleta e destruição do biogás, bem como a produção de eletricidade de (projetada em 12MW de capacidade instalada) um antigo lixão (o *Lixão da Marambaia*) e um aterro Sanitário (CTR Nova Iguaçu). Atualmente, a coleta é realizada em quatro células da CTR Nova Iguaçu. O projeto de MDL envolve também a coleta e destruição do metano produzido no antigo lixão, que hoje se encontra desativado. Este projeto utilizou a metodologia aprovada AM000 3 - Metodologia do MDL: Análise financeira simplificada para projetos de captura de gás de aterro sanitário (do inglês *Simplified financial analysis for landfill gas capture projects*), Esta metodologia foi proposta pelos próprios desenvolvedores deste projeto especificamente para o mesmo. Esta metodologia refere-se à fórmula de cálculo proposta pelo IPCC (1996) para estimativas (Viana, 2011).

#### 2.1.1.3 Características e Descrição do Sub-Aterro 3 em Estudo

A área disponibilizada pela empresa que opera a CTR para o estudo possui 2.102 m<sup>2</sup> e era, à época do início dos trabalhos de campo, a mais recentemente

desativada. Segundo informações da empresa que opera o aterro, essa área fica em espera para utilização em casos de chuva. Com isso, o que se encontra na área é uma camada de cobertura intermediária que funciona no momento como camada de cobertura final. A área é chamada pela operação do aterro de Sub-Aterro 3 ou Vale 3 (Figuras 9 e 10). É importante ressaltar que não foram fornecidas pelo aterro às dimensões da planta, com isso a mesma que é apresentada abaixo está sem escala.

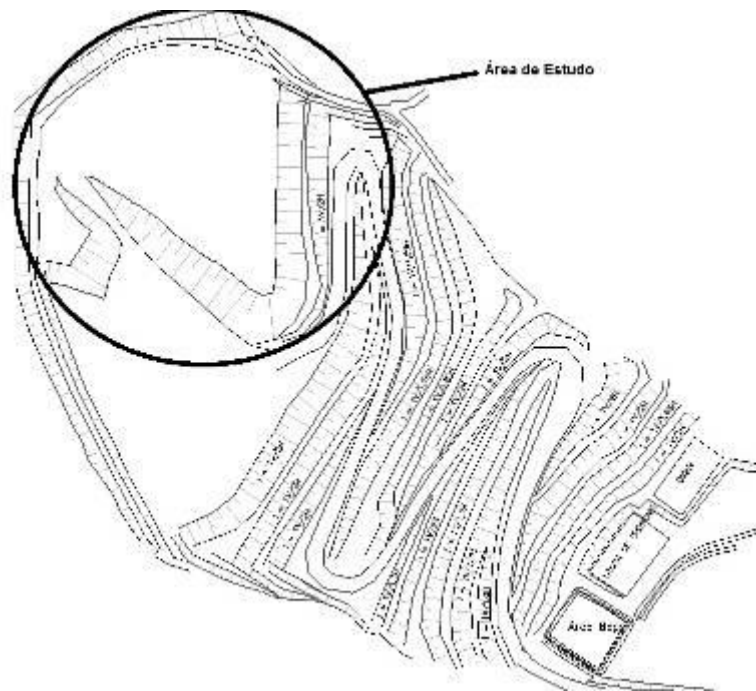


Figura 9 – Área de estudo no Vale 3.  
Fonte: CTR Nova Iguaçu





Figura 10 - Situação de operação da CTR Nova Iguaçu, em 2010.  
Fonte: CTR Nova Iguaçu

A CTR opera de acordo com as NBR 8.419 e 13.896 (ABNT) e apresenta um método executivo do tipo encosta ou rampa e, trata-se de um aterro empregado em área relativamente plana de meia encosta, onde se modifica a topografia através de terraplanagem, construindo-se uma rampa cujos resíduos são dispostos, formando células. O método consiste no aterro feito com o aproveitamento de um talude, natural ou construído, onde os resíduos são compactados de encontro a esse talude (ENGECORPS, 2002).

#### 2.1.1.4 Sistema Ativo de Extração do Biogás

O aterro possui poços verticais de drenagem do tipo Ranzine (PDR - que consistem em tubos de concreto perfurados com 400 mm de diâmetro, rodeados de brita contidos por uma tela metálica do tipo Telcon), que funcionam como um dreno de alívio para o biogás, e ainda outros poços de extração de biogás e um sistema de tubulações e dispositivos para promover a maior eficiência de captura e extração ativa do biogás (Figura 11).

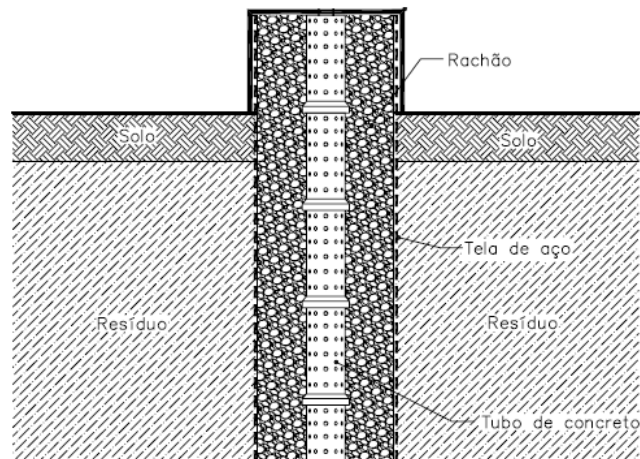


Figura 11 – Poço tipo ranzine.

Os poços PDR usualmente são utilizados para extração passiva de gás e também para drenar o lixiviado. No aterro, eles foram originalmente construídos para controlar o lixiviado durante operações de disposição dos resíduos e tendo sido instalados a partir da base do aterro e estendidos na medida em que o mesmo foi alteado. Esses poços foram adaptados para receber um sistema ativo de captação do biogás (SCS Engineers, 2008).

A seguir são descritas as etapas que promoveram a adaptação dos PDR em um sistema ativo de extração do biogás.

A primeira etapa, conforme ilustrado na Figura 12, consistiu na escavação em torno do poço de aproximadamente 4 ou 5 metros de profundidade, seguido de uma limpeza para garantir que o rachão esteja limpo e o poço desobstruído. Uma camisa (tubo) metálica, com 1 metro de diâmetro, foi introduzida no poço para funcionar como suporte à montagem, também um tubo, de diâmetro de 150 milímetros, de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) foi introduzido no poço, que teve a finalidade de levar pressão de sucção às partes mais profundas do poço (SCS Engineers, 2008).

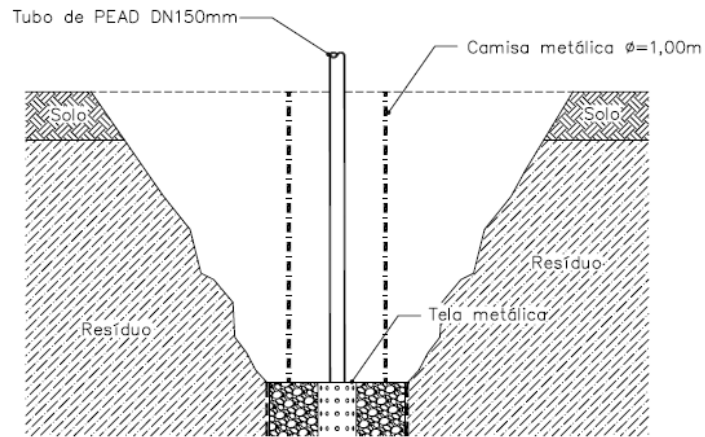


Figura 12 – Primeira etapa de adaptação do poço tipo Ranzine.

Fonte: SCS Engineers (2008)

A segunda etapa apresentada na Figura 13, consistiu no preenchimento interno da camisa metálica primeiramente com rachão, depois foi colocada uma manta geotêxtil não tecido, e em seguida a bentonita.

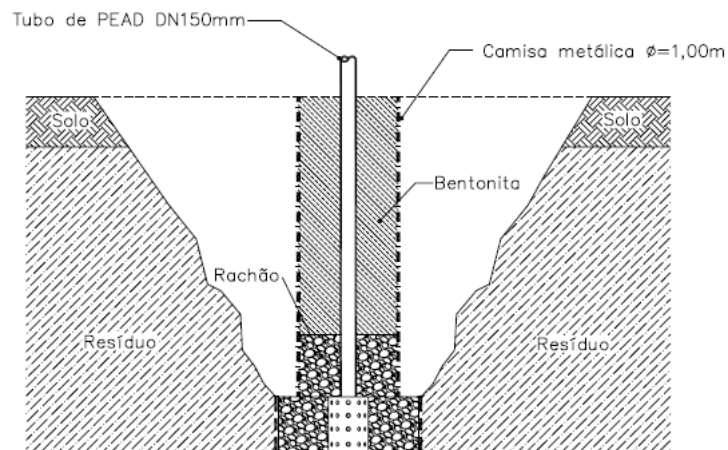


Figura 13 – Segunda etapa de adaptação do poço tipo Ranzine.

Fonte: SCS Engineers (2008)

A terceira etapa, ilustrada na Figura 14, consistiu na recomposição externa da camisa com resíduos e também da camada de cobertura. Após isso, foi retirada a camisa metálica e, com isso a adaptação do PDR foi concluída.

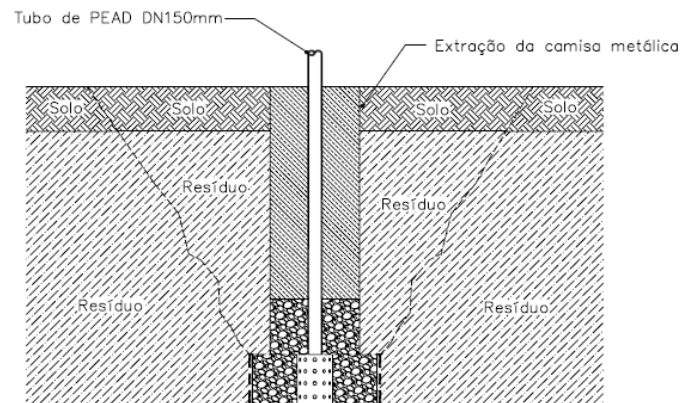


Figura 14 – Terceira etapa de adaptação do poço tipo Ranzine.

Fonte: SCS Engineers (2008)

Além desses poços de extração, o aterro possui poços verticais perfurados e poços horizontais para aumentar a eficiência da extração do biogás.

### 2.1.2 Lixão de Seropédica

O município de Seropédica pertence à Região Metropolitana do Rio de Janeiro, e está localizado a oeste da Baixada Fluminense, a aproximadamente 75 km da capital, a uma altitude de 26 metros acima do mar. Suas divisas são: a leste e nordeste, com os municípios de Japeri e Queimados; a sudeste com o município de Nova Iguaçu; a sul com o Rio de Janeiro; a Leste com Itaguaí e, a norte e noroeste com o município de Paracambi.

Possui uma área de 283.794 km<sup>2</sup> e uma população de 78.183 mil habitantes no ano de 2011. A Figura 15 apresenta o mapa de localização do município de Nova Iguaçu (IBGE, 2010).



Figura 15 – Mapa de localização do município de Seropédica.

O *lixão* de Seropédica ocupa uma área total de aproximadamente 29.000 m<sup>2</sup> e operou durante 50 anos. Está localizado a leste da cidade de Seropédica, e circundado ao sul pela Rua Ladeira, a leste pela Rua D, ao norte pelo rio Valão dos Bois e a oeste pelo Ramal Ferroviário Japeri-Mangaratiba. A distância da área ao centro urbano é de aproximadamente sete quilômetros.

### 2.1.2.1 Clima

Segundo a classificação de Koppen, o clima é do tipo Cwa, ou seja, quente e úmido, com a estação chuvosa no verão. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.225 milímetros e a temperatura média anual é de 23,4°C, com média máxima de 29,2°C e mínima de 19,2°C.

### 2.1.2.2 Histórico do Lixão de Seropédica

Em 2012 o *lixão* de Seropédica foi remediado e encerrado. Ele operava há mais de 50 anos, ocupando uma área total aproximada de 29.000m<sup>2</sup> (Figuras 17 a 20). O *lixão* recebia apenas os resíduos da cidade de Seropédica, de origem domiciliar, podas de árvores e galhos, resíduos de varrição e limpeza de feiras livres, não incluindo os resíduos de serviços de saúde (Figuras 16, 17, 18, e 19).

Diariamente, eram recebidas aproximadamente 40 toneladas de resíduos por dia, porém não existia um controle rigoroso em relação quantitativo do despejo dos resíduos. Não havia balança no *lixão* e o resíduo não era pesado em outros locais. Também não existia sistema de drenagem de líquidos (lixiviado), gases ou de águas superficiais (FRAL, 2011).



Figura 16 – Localização da área de estudo (sem escala).  
Fonte: FRAL (2011).



Figura 17 – Portão de acesso à área do Vazadouro. Fonte: FRAL (2011).



Figura 18 – Vista da área de deposição do Vazadouro. Fonte: FRAL (2011).



Figura 19 – Típico veículo descarregando resíduos no *lixão* na presença de catadores. Fonte: FRAL (2011).

### 2.1.2.3 Características e Descrição do Lixão de Seropédica

O encerramento e remediação do *Lixão* de Seropédica visou a reconformação geométrica do maciço, implantação dos sistemas de drenagem pluvial, cobertura final dos resíduos, plantio de mudas para a revegetação do entorno, implantação do sistema de monitoramento geotécnico e ambiental, cercamento da área, e também a implantação do sistema de gás com drenos verticais e horizontais (Figuras 20 e 21).



Figura 20 – Portão de acesso à área do *lixão* pós remediação.

Fonte: Jornal Atual (2013).





Figura 21 – Detalhe da área do *lixão* pós remediação.

Fonte: Jornal Atual (2013).

#### 2.1.2.4 Sistema de gás do Lixão de Seropédica

Foram instalados, segundo projeto (FRAL, 2011), drenos de contato horizontais e 7 drenos verticais. Não há informação do número de drenos horizontais instalados.

##### *Drenos de contato (horizontais)*

Os drenos horizontais de contato são elementos lineares, de seção retangular integralmente envolvida por geotêxtil não tecido de gramatura 300 g/m<sup>2</sup>, constituídos por brita, com inclinação longitudinal de fundo mínima igual a 1,5%. Sua construção foi executada através de escavação dos resíduos, no sentido do caimento do terreno, com profundidade média de 2,0 metros. Sobre os drenos de contato, após a construção dos mesmos, o restante da vala escavada foi preenchido com resíduos. Os drenos de contato são diretamente conectados à trincheira drenante.

##### *Drenos verticais*

Os drenos verticais de gases foram construídos com tubos perfurados de concreto armado (Classe EA-3), com diâmetro de 0,60 metros, justapostos uns sobre os outros, formando uma coluna vertical, e implantados em valas escavadas com 2m de profundidade, apoiados sobre um “berço” de rachão, devidamente interligado com os elementos horizontais de drenagem (drenos de contato). Os drenos verticais são espaçados de aproximadamente 40m entre eles. Os furos existentes ao longo do tubo de concreto apresentam diâmetro entre 15 e 20mm, alinhados transversalmente formando linhas circulares espaçadas de 0,20 metros, sendo ainda, em linhas adjacentes, desencontrados em metade do espaçamento transversal.

O interior da tubulação foi preenchido com rachão, e o exterior foi circundado por uma tela metálica Telcon Q335, formando um cilindro de 1,20m de diâmetro, centralizado em relação ao tubo de concreto, também preenchida por rachão.

## **2.2 Ensaio de Campo**

### **2.2.1 Equipamentos utilizados nos ensaios**

#### **2.2.1.1 Analisador de Gás**

Para as determinações das concentrações dos gases foi utilizado o analisador GEM 2000 do Fabricante LANDTEC, que possui a capacidade de leitura e análise de:

- % de composição de metano (CH<sub>4</sub>);
- % de composição de dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>);
- % de composição de oxigênio (O<sub>2</sub>);

De acordo com LANDTEC (2009) a leitura de metano é filtrada por uma frequência de absorção infravermelha de 3,41µm (nominal), que é a frequência específica para cadeias de hidrocarbonetos. A calibração dos instrumentos usa mesclas de metano certificadas.

A leitura de dióxido de carbono é filtrada por uma frequência de absorção infravermelha de 4,29 µm (nominal), que é a frequência específica para dióxido de carbono. Portanto, quaisquer outros gases geralmente encontrados em aterros sanitários não afetarão a leitura do dióxido de carbono.

O sensor de oxigênio é de um tipo de célula galvânica, que praticamente não sofre influência de CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>, diferentemente de muitos outros tipos de célula de oxigênio.

O equipamento GEM 2000 foi utilizado nesta pesquisa por ser um equipamento adquirido com recursos de pesquisa da UERJ e ainda por ser o mesmo tipo de equipamento utilizado na operação da CTR de Nova Iguaçu.

A calibração do equipamento é feita anualmente pela própria empresa criadora do equipamento, mas sempre no dia do ensaio, o GEM 2000 utilizado para a pesquisa era aferido por meio da autocalibração com a utilização de três cilindros em concentrações diferentes de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> da própria CTR Nova Iguaçu.



Figura 22 – Analisador GEM 2000

Fonte: Landtec (2012)

#### 2.2.1.2 Manômetro

O manômetro digital portátil Dwyer modelo 477-2 com faixa de leitura de 0 a 10 kPa, sensibilidade de 3,0 Pa, foi utilizado para fazer a medição da pressão dos gases, este equipamento é adequado às baixas pressões, como encontradas em camada de cobertura de aterros de RSU.



Figura 23 – Manômetro

#### 2.2.1.3 Termômetro

O termômetro digital modelo APPA Mt-520 de sensibilidade de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , foi utilizado para a medição da temperatura. O terminal de entrada do aparelho é para termopar tipo K e a faixa de leitura varia de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $1.300^{\circ}\text{C}$ . A Figura 24 mostra esse equipamento utilizado.



Figura 24 – Termômetro

#### 2.2.1.4 Barômetro

O barômetro digital portátil Lufft modelo C300 com faixa medição de 750 a 1100 hPa, foi utilizado para fazer a medição da pressão atmosférica.



Figura 25 – Barômetro

### 2.2.2 Metodologia utilizada nos ensaios com Dispositivos de Medição de Pressão e Concentração (DMPC)

Foram instalados, em junho de 2012, no Vale 3 da CTR Nova Iguaçu os Dispositivos de Medição de Pressão e Concentração (DMPC), seguindo a metodologia descrita por Maciel (2003).

Os dispositivos foram confeccionados no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em um período de intercâmbio, financiado pelo Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Capes – PROCAD.

Conforme a Figura 26, os Dispositivos DMPC foram fabricados com conexões de PVC (Cloroeto de Polivinila) do tipo CAP, com diâmetro nominal de 100 mm. Os CAP foram perfurados na face plana para adaptação, através de rosqueamento e colagem com silicone, de um bico em latão, onde foi conectada uma mangueira de PVC com diâmetro interno de 5,0 mm. Foi colocado na abertura do CAP uma tela em aço galvanizado com o objetivo de evitar a obstrução do CAP quando o mesmo estiver em contato com o lixo.





Figura 26 – Detalhe da fabricação do dispositivo de DMPC.

As Figuras 27, 28 e 29 mostram o esquema e as etapas de montagem do dispositivo DMPC em campo. A primeira etapa consistiu na realização de furo, com profundidade igual a da camada de cobertura e diâmetro um pouco superior a 100 mm, por meio de trado manual e cavadeira manual. Na segunda etapa, coloca-se uma camada de 5 cm espessura de brita nº 4 para evitar que o dispositivo fique em contato direto com os resíduos e facilitar a drenagem dos gases no seu interior. Após este procedimento, posiciona-se o DMPC em cima da camada de brita e, por fim, realiza-se o preenchimento do furo até a superfície utilizando o material que foi escavado.



Figura 27 – Esquema do dispositivo de DMPC



Figura 28 – Detalhe da instalação do dispositivo de DMPC na camada de cobertura.





Figura 29 – Detalhe da instalação do dispositivo de DMPC concluída na camada de cobertura.

A Figura 30 apresenta a localização dos pontos dos dispositivos (D) implantados na área do Vale 3, assim como na Tabela 13 está apresentada a profundidade da camada de cobertura determinada nos furos de instalação. Os ensaios de Placa de Fluxo foram realizados a uma distância de aproximadamente 2 m de cada dispositivo DMPC.

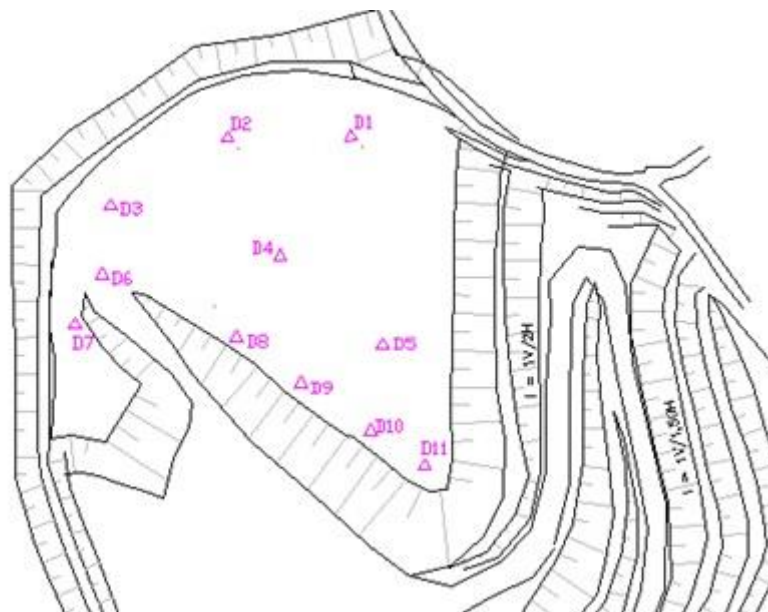


Figura 30 – Localização dos dispositivos (D) de DMPC na área do Vale 3 (sem escala).

Tabela 13 - Espessura da Camada de cobertura

<b>D 1</b>	0,25 m
<b>D 2</b>	0,28 m
<b>D 3</b>	0,25 m
<b>D 4</b>	0,32 m
<b>D 5</b>	0,24 m
<b>D 6</b>	0,32 m
<b>D 7</b>	0,28 m
<b>D 8</b>	0,27 m
<b>D 9</b>	0,17 m
<b>D 10</b>	0,30 m
<b>D 11</b>	0,33 m

Tais ensaios não foram realizados no *Lixão* de Seropédica devido à falta de autorização para fazer as perfurações. Dos 11 dispositivos de DMPC instalados na CTR Nova Iguaçu, somente 6 puderam ser utilizados, devido a operação do aterro ter passado com uma retro-escavadeira na área cobrindo-os e com isso impossibilitando a análise.

### 2.2.3 Metodologia utilizada nos ensaios com placa de fluxo

As determinações dos fluxos dos gases CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> através da camada de cobertura da CTR Nova Iguaçu e do Lixão de Seropédica foram realizadas com o uso da metodologia descrita e desenvolvida por Maciel (2003). E utilizada por outros autores como Mariano (2008), Lopes (2011) entre outros, descritos no Capítulo 2. A metodologia consiste na cravação da placa de Fluxo no solo da cobertura e uma posterior medição da concentração dos gases no interior da placa, com medições também de pressão e temperatura internas e externas ao longo do tempo.

A placa de Fluxo utilizada para determinação dos fluxos utilizada nesta pesquisa de gases é semelhante àquela descrita por Maciel (2003), mas com adaptações (diminuição da profundidade de cravação de 0,10 para 0,03 m), com o

objetivo de tornar mais rápido o processo de cravação da placa no solo e evitar maiores perturbações na área de investigação.

A placa foi construída com lateral de aço galvanizado de 2 mm de espessura, com topo em acrílico cristal com 8 mm de espessura, fixado na parte metálica com dois parafusos em cada lateral e vedado com espuma de poliuretano de alta densidade. No topo da câmara, existem duas conexões de saída (tipo encaixe rápido) onde, por meio de uma mangueira flexível de polietileno, são conectados os equipamentos de medição de gases e de pressão. A câmara também possui entradas para adaptação de equipamento para medição da temperatura interna do gás (Figuras 31 a 32).



Figura 31 – Detalhe da placa de fluxo utilizada em campo e demais equipamentos.

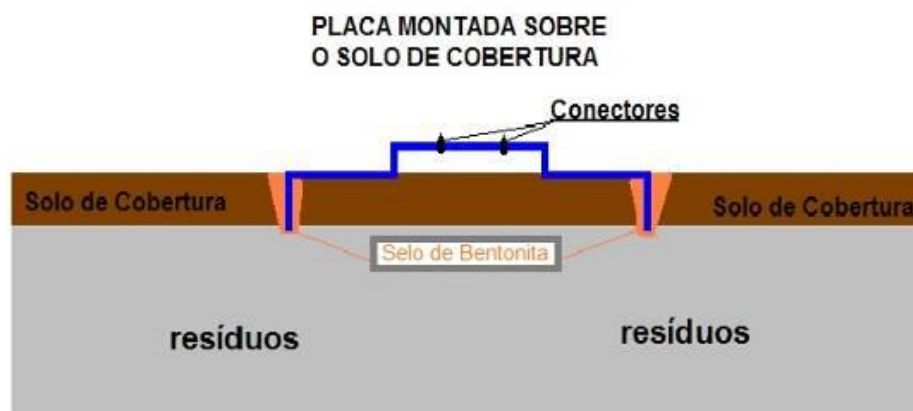


Figura 32 – Esquema da placa de fluxo (Maciel, 2003)

A instalação da placa de fluxo estática se deu da seguinte forma:

- Inicialmente foi escolhido o local de realização do ensaio, em local plano e distante de possíveis fissuras.
- Posteriormente, posicionou-se a placa no local da investigação para a marcação do seu perímetro, removendo-se em seguida a placa deste local, onde uma pequena vala é escavada com o cuidado para não se perder as características geotécnicas da área a ser analisada, colocou-se bentonita na vala escavada.
- Em seguida, posicionou-se novamente a placa de fluxo no local do ensaio, pressionando-se a caixa no solo de forma que a cravação seja vertical, com o conector de saída aberto de maneira que não ocorra acúmulo de gases no interior da placa.
- Após a cravação da placa no solo, o solo local é colocado no entorno da placa manualmente.
- Logo após, faz-se o acoplamento dos equipamentos de leitura. A leitura da concentração dos gases na placa de fluxo estática iniciou-se logo após a sua cravação e este momento foi considerado o instante inicial de cada ensaio.

A Figura 33 ilustra as etapas de instalação da placa de fluxo na camada de cobertura até a sua primeira leitura.

(Continua)



(Conclusão)



Figura 33 – Instalação da placa de fluxo.

Foram realizados 12 ensaios para determinação do fluxo, deste total, seis ensaios foram realizados na CTR Nova Iguaçu e seis ensaios no *Lixão* de Seropédica, objetivando o monitoramento das emissões nas duas áreas que possuem tamanhos semelhantes em torno de 3.000 m<sup>2</sup>. As Figuras 34 e 35 apresentam um o esquema da localização dos pontos onde foram realizados os ensaios nas duas áreas.

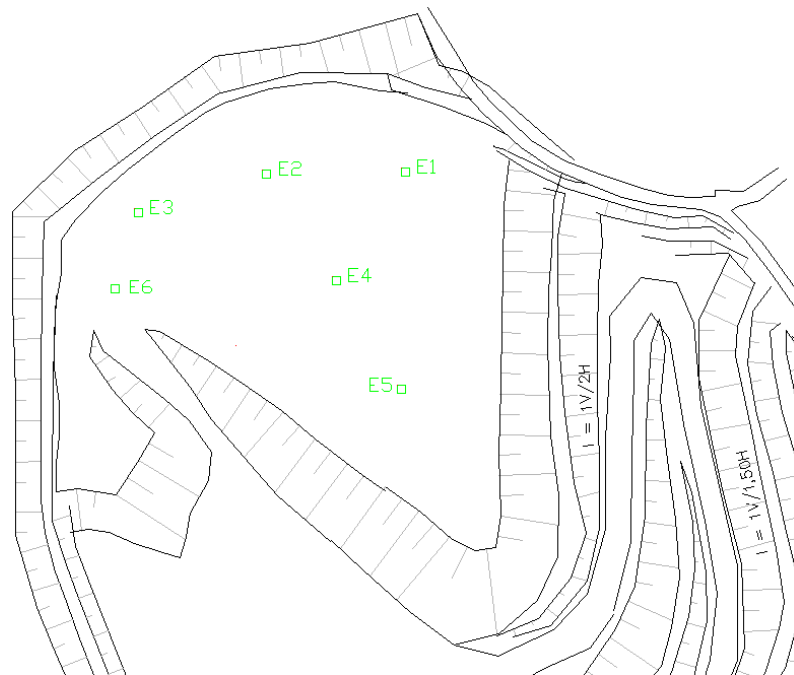


Figura 34 – Localização dos ensaios de placa de fluxo na área do Vale 3 da CTR Nova Iguaçu (sem escala). Fonte: CTR Nova Iguaçu.

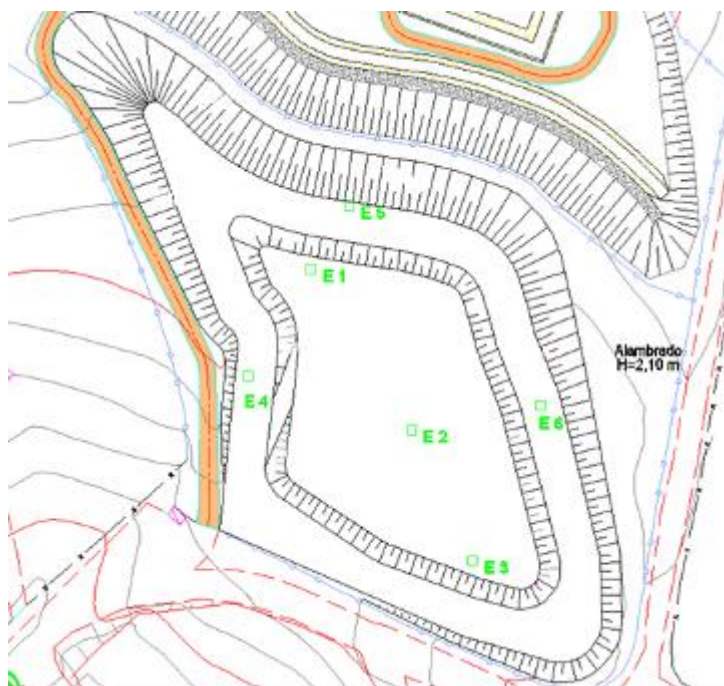


Figura 35 – Localização dos ensaios de placa de fluxo na área do *Lixão* de Seropédica (sem escala). Fonte: FRAL (2011).

#### 2.2.4 Localização dos drenos (PDR) da CTR Nova Iguaçu

Para a medição da concentração  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  nos nove drenos disponíveis na área foram utilizados os dados do próprio aterro, que são aferidos diariamente com o mesmo equipamento utilizado nesta pesquisa, o GEM 2000. Através de medição simples e pontual, o operador conecta o dispositivo de entrada do equipamento no dispositivo de saída do PDR. A Figura 36 apresenta a localização dos PDR analisados, ressaltando-se que os ensaios de placa foram realizados a cerca de 8 metros de distância dos drenos.

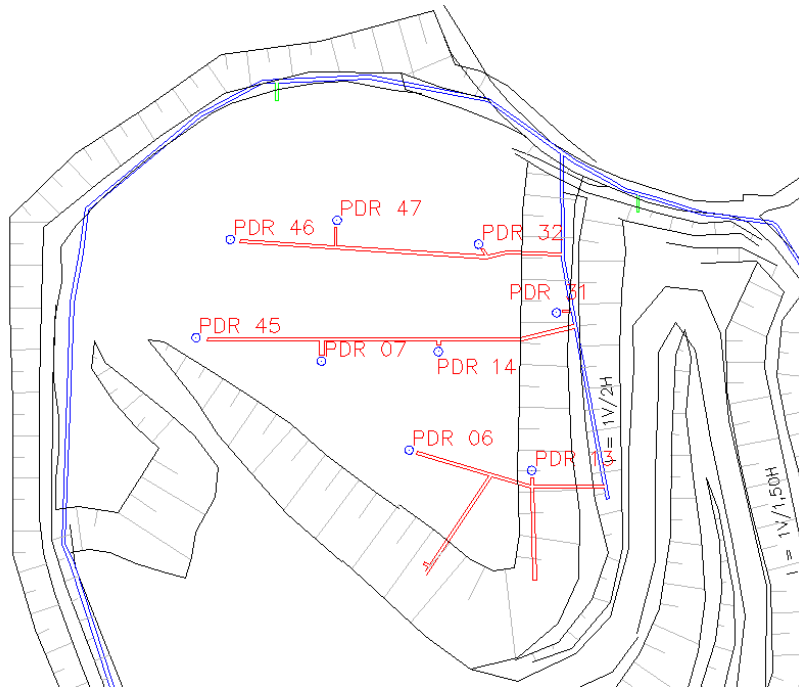


Figura 36 – Localização dos PDR (sem escala). Fonte: CTR Nova Iguaçu

### 2.2.5 Localização dos drenos do Lixão de Seropédica

A Figura 37 apresenta a localização dos drenos que o Lixão de Seropédica possui, totalizando 7 drenos. Dos 7 drenos existentes a medição foi realizada apenas em 3 drenos do platô superior, não sendo possível fazer a medição nos drenos do talude.

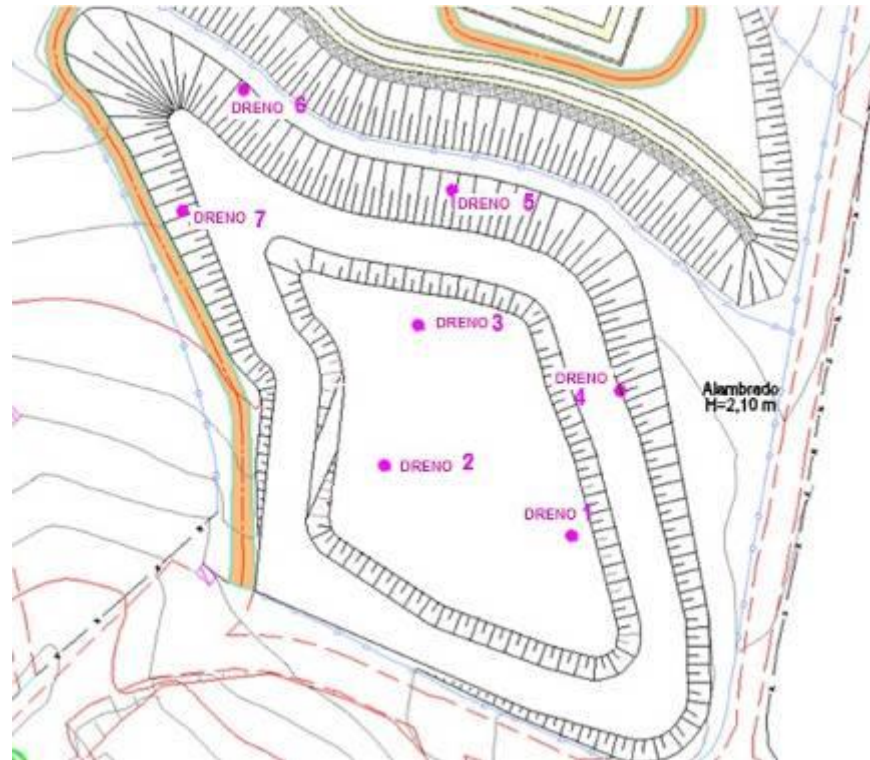


Figura 37 – Localização dos drenos no *Lixão* de Seropédica (sem escala). Fonte: FRAL (2011).

Para a medição da concentração nos drenos, foi utilizada a metodologia descrita por Mariano (2008). Inicialmente, isolou-se o dreno do ambiente externo através do recobrimento de toda a área exposta do dreno com uma lona de polietileno e compactou-se o solo ao redor de todo o dreno, com o objetivo de evitar o contato do gás que sai do dreno com a atmosfera ou a entrada de ar no dreno. Em seguida, foi realizado um furo na borda da lona, apenas para a passagem da mangueira do medidor de concentração dos gases. Após a mangueira ser acoplada no equipamento, a mesma era aberta para que ocorresse a leitura e, após a realização da leitura, a mangueira era fechada e o equipamento desacoplado da mesma.

As leituras iniciaram-se logo após a mangueira ser acoplada ao equipamento de leitura e esse momento foi considerado o instante inicial de cada ensaio. Foi adotado como intervalo de leitura do ensaio 5 minutos para 1 hora de ensaio. A Figura 38 ilustra a realização dos ensaios nos drenos. Destaca-se que não ocorre coleta, aproveitamento energético nem a queima dos gases na área estudada.



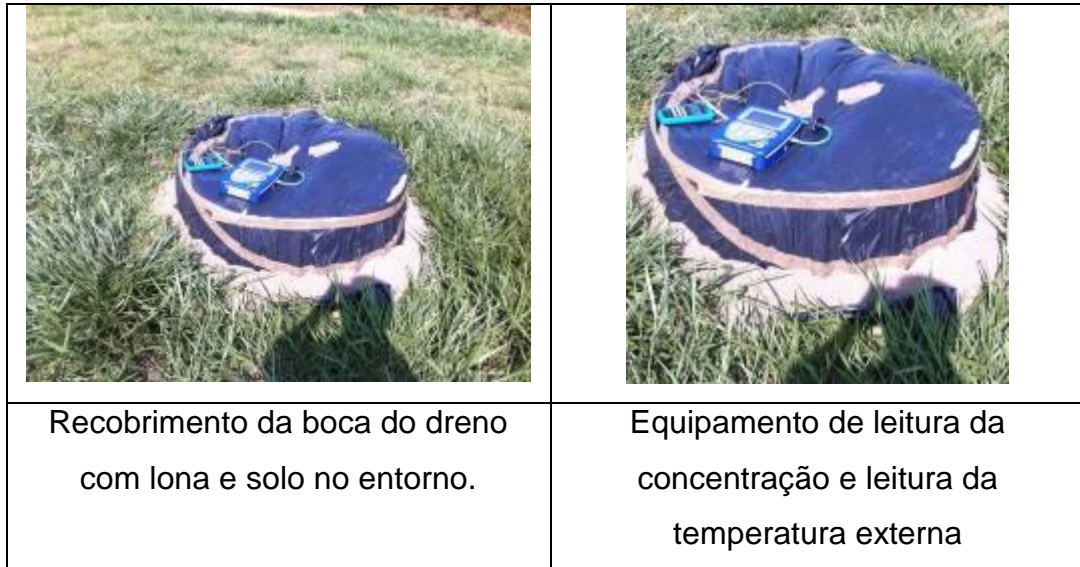


Figura 38 – Procedimento para determinação da concentração nos drenos do *Lixão de Seropédica*.

#### 2.2.6 Amostragem de solo e Medidas de Umidade e massa específica “in situ”

Foram coletados 50 quilos de solo em cada uma das áreas de estudo com o uso de pás e acondicionados em sacos plásticos, com identificação feita através de etiquetas. Este solo foi enviado ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) da UERJ, para que fossem realizadas as análises de caracterização completa.

Ao final de cada ensaio de placa de fluxo nas duas áreas de estudo, foram coletadas amostras de solo. Ao retirar a placa, foram retiradas, com a ajuda de um anel amostrador, amostras de solo para determinação em laboratório da massa específica e da umidade natural do solo (Figura 39).



Cravação do anel	Retirada do anel com solo
	
	
Preparação	Preparação para levar na estufa

Figura 39 – Coleta do anel para ensaio de solo.

Em outro momento, no dia 4 de fevereiro de 2012, foi realizada ida a campo com o objetivo de se obter a massa específica “in situ”, também nas duas áreas de estudo, acompanhado de técnico especializado do LMS. O método utilizado foi o do frasco de areia (F). O local escolhido para o Ensaio F1 foi na área com maior declividade da CTR Nova Iguaçu, com alta capacidade de escoamento de água, sendo o local pouco úmido da área. Para o Ensaio F2 a área escolhida apresenta menor declividade (onde ocorreu menos recalque), com alta capacidade de acúmulo de água, sendo o local bastante úmido da área. A Figura 40 indica a localização, junto com demais pontos experimentais, os dois ensaios de frasco de areia realizados na área.

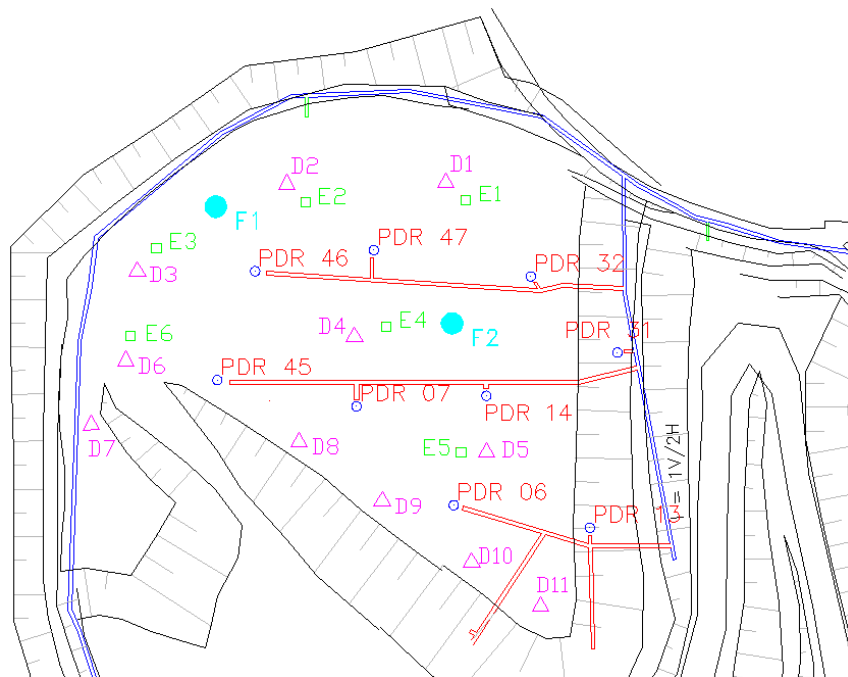


Figura 40 – Localização dos Ensaios **F1** e **F2** realizados utilizando o Método Frasco de Areia da CTR Nova Iguaçu (sem escala). Fonte: CTR Nova Iguaçu.

Os Ensaios F1 e F2 da área do *Lixão* de Seropédica aconteceram um no platô superior e outro na berma. A Figura 42 localiza os dois ensaios realizados na área junto com demais pontos experimentais.

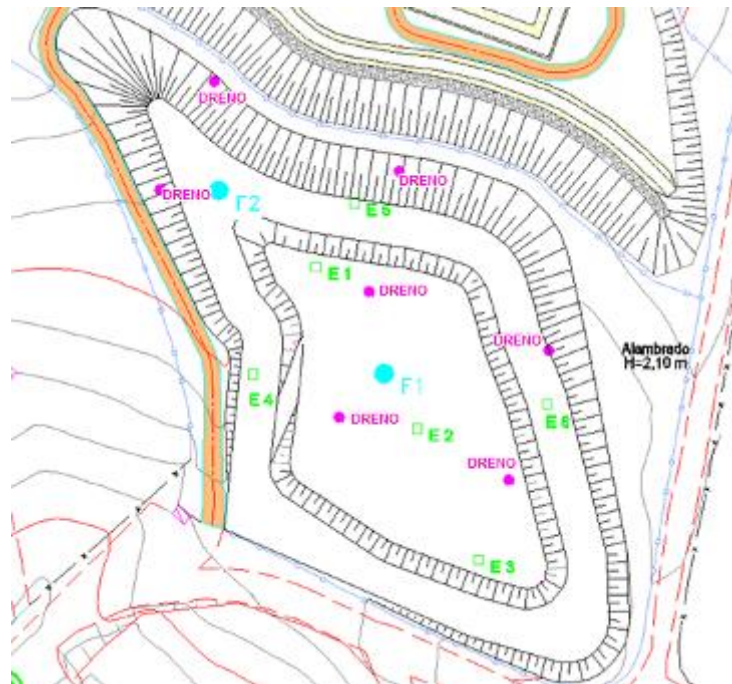


Figura 41 – Localização dos Ensaios **F1** e **F2** realizados utilizando o Método Frasco de Areia no *Lixão* de Seropédica (sem escala). Fonte: FRAL 2011.

Vargas (1977) descreve a realização do frasco de areia, onde para determinar a massa específica aparente do solo compactado e sua umidade, tira-se do solo uma amostra, da qual deve ser determinado o volume, o peso e a umidade. O volume pode ser determinado cravando-se um cilindro de volume conhecido no solo ou escavando-se um furo cilíndrico no terreno e medindo seu volume por meio do processo de verter nele areia seca, por meio de um dispositivo apropriado. Este dispositivo consta de um balão, munido de escala, adaptado a um funil e provido de registro. Abrindo-se o registro, a areia verterá para dentro do furo aberto no terreno, enchendo-o. Determinar-se o volume do furo pela leitura da escala que dá o volume de areia pura que fluiu do balão. O peso do solo, contido no cilindro de volume conhecido, ou no furo cujo volume foi medido, é facilmente obtido por pesagem direta na balança, no próprio campo (Figura 42).



Figura 42 – Detalhe dos procedimentos do método frasco de areia.

### 2.3 *Ensaio de Laboratório*

A caracterização do solo usado na cobertura dos resíduos nas duas áreas de estudo foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos da UERJ, de acordo com as normas técnicas indicadas a seguir:

- Análise granulométrica (NBR-7181/88);
- Limite de liquidez (NBR-6459/84);
- Limite de plasticidade (NBR-7180/88);
- Peso específico dos grãos ( $\gamma_s$ )- método do picnômetro (NBR-6508/84);
- Ensaio Proctor Normal (NBR-7182-88);

Também, foram determinados grau de saturação, porosidade e índice de atividade de argila.

### 2.4 *Dados climáticos*

No Quadro 1, verifica-se que, no mês de outubro de 2012, entre os dias 12 e 30, a temperatura variou de 33,82°C (máxima) a 16,53°C (mínima), e a precipitação média para este período foi de aproximadamente 3,10 mm.

Quadro 1: Dados climatológicos do mês de out/2012 para o Rio de Janeiro. (Estação Automática - Vila Militar)

<b>Data</b>	<b>Temperatura mínima (°C)</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
12/10/2012	21,22	22,98	16
13/10/2012	19,63	21,82	19
14/10/2012	19,40	22,55	5
15/10/2012	16,53	24,52	0
16/10/2012	16,63	28,67	0
17/10/2012	18,97	29,32	0

18/10/2012	22,02	31,13	0
19/10/2012	22,07	24,38	2
20/10/2012	20,92	28,82	0
21/10/2012	21,65	33,82	1
22/10/2012	22,72	31,03	5
23/10/2012	26,17	30,33	3
24/10/2012	23,75	29,08	8
25/10/2012	21,80	26,53	0
26/10/2012	22,60	27,30	0
27/10/2012	23,12	32,85	0
			(conclusão)

(Conclusão)

<b>Data</b>	<b>Temperatura mínima (°C)</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
28/10/2012	23,85	29,27	0
29/10/2012	24,07	29,87	0
30/10/2012	22,90	31,37	0

Fonte: INMET

No Quadro 2 a seguir, verifica-se que no mês de novembro de 2012, entre os dias 07 e 15, a temperatura variou de 34,60°C (máxima) a 15,50°C (mínima), e a precipitação média para este período foi de aproximadamente 9,0 mm.

Quadro 2: Dados climatológicos do mês de nov/ 2012 para o Rio de Janeiro.  
(Estação Automática - Seropédica)

<b>Data</b>	<b>Temperatura mínima (°C)</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
07/11/2012	20,90	31,80	17
08/11/2012	19,50	31,70	19
09/11/2012	21,30	32,28	16
10/11/2012	25,70	34,60	0
11/11/2012	21,90	26,50	0
12/11/2012	20,32	22,13	15
13/11/2012	19,23	21,28	11
14/11/2012	18,90	21,30	3
15/11/2012	15,50	25,00	0

Fonte: INMET

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes aos ensaios laboratoriais de caracterização do solo; ensaios de solos realizados em campo; ensaios utilizando a placa de fluxo, ensaios nos drenos e as considerações sobre as relações entre as condições “in situ” da camada de cobertura e as emissões encontradas.

#### 3.1 *Ensaio Laboratoriais de caracterização do solo*

Os ensaios de laboratório são de fundamental importância para prever o comportamento do solo, nas diversas condições hidráulicas e estruturais a que o mesmo venha a ser submetido.

Os parâmetros de caracterização física do solo utilizado na cobertura do Vale 3 da CTR de Nova Iguaçu e do *Lixão* de Seropédica, foram obtidos segundo as metodologias da ABNT a partir de amostras retiradas da própria cobertura.

##### 3.1.1 Resultados da caracterização do solo da CTR Nova Iguaçu

##### *Análise Granulométrica, Limites de Atterberg e Peso Específico dos Grãos.*

A Figura 43 apresenta a curva granulométrica do solo retirado da camada de cobertura da CTR Nova Iguaçu. De acordo com a escala granulométrica da ABNT, este solo é composto de 4% de pedregulho, 55% de areia, 21% de argila e 20% silte, sendo uma areia argilo-siltosa.



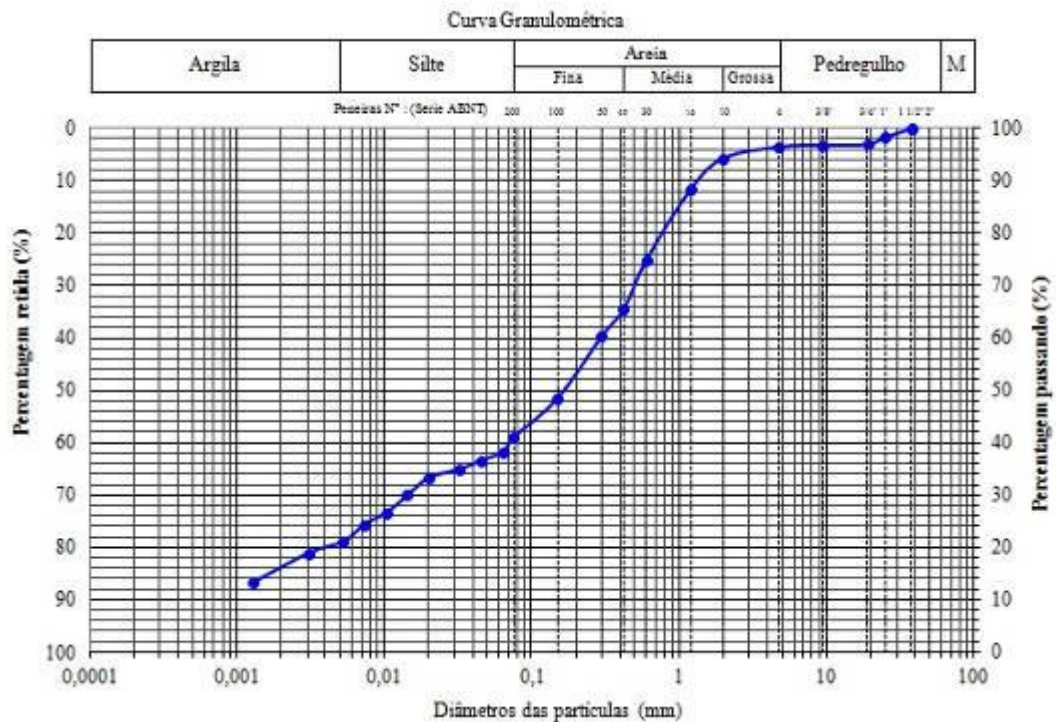


Figura 43 – Curva granulométrica do solo do Vale 3 da CTR Nova Iguaçu.

Os limites de Atterberg determinados para este solo são: Limite de liquidez (LL) = 35,43%, Limite de plasticidade (LP) = 23,26%. O Índice de plasticidade (IP) é de 12,18%. Esse material apresenta índice de atividade (IA) igual a 0,76 sendo, portanto um solo inativo ( $IA < 1,25$ ). O peso específico dos grãos foi de  $27,04 \text{ kN/m}^3$ .

### Compactação Proctor Normal

O principal objetivo desse ensaio é obter parâmetros de compactação ótimos do solo e utilizá-los na avaliação do grau de compactação da cobertura da CTR Nova Iguaçu junto com massas específicas secas verificadas “in situ”. A Figura 44 apresenta a curva de compactação obtida em laboratório para o solo da camada de cobertura da CTR Nova Iguaçu.

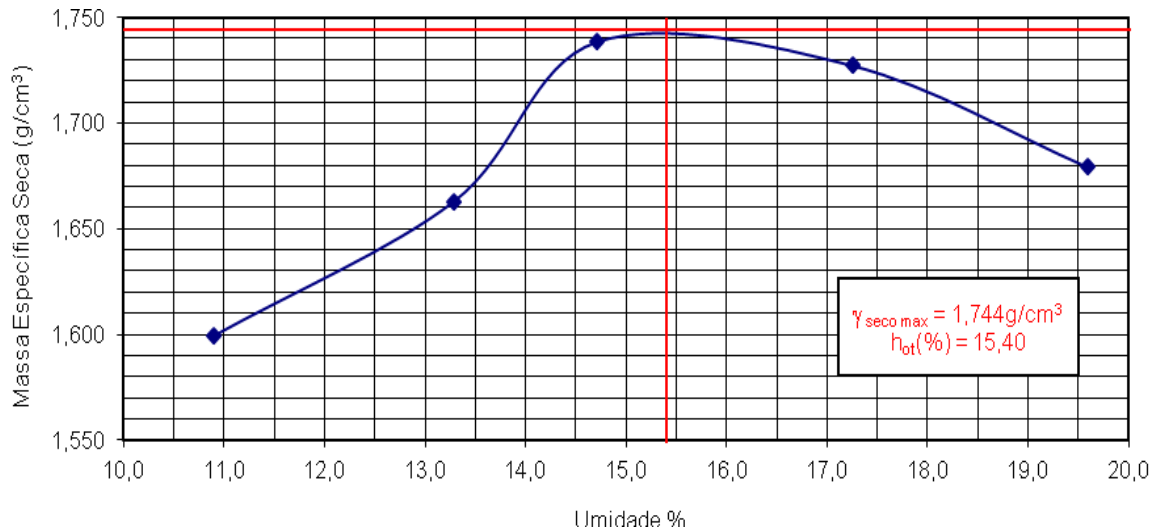


Figura 44 – Curva de compactação do solo do Vale 3 da CTR Nova Iguaçu.

A curva indica que o peso específico aparente seco máximo foi de 17,44 kN/m<sup>3</sup> e a umidade ótima foi de 15,40%.

#### Determinação da Massa específica “in situ” – Frasco de areia

##### *Ensaio F1*

Foram realizados dois ensaios de campo com a utilização da metodologia de frasco de areia, descrita no item 3.3.7. A Figura 45 apresenta o resultado do Ensaio F1, indicando o ponto determinado no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.

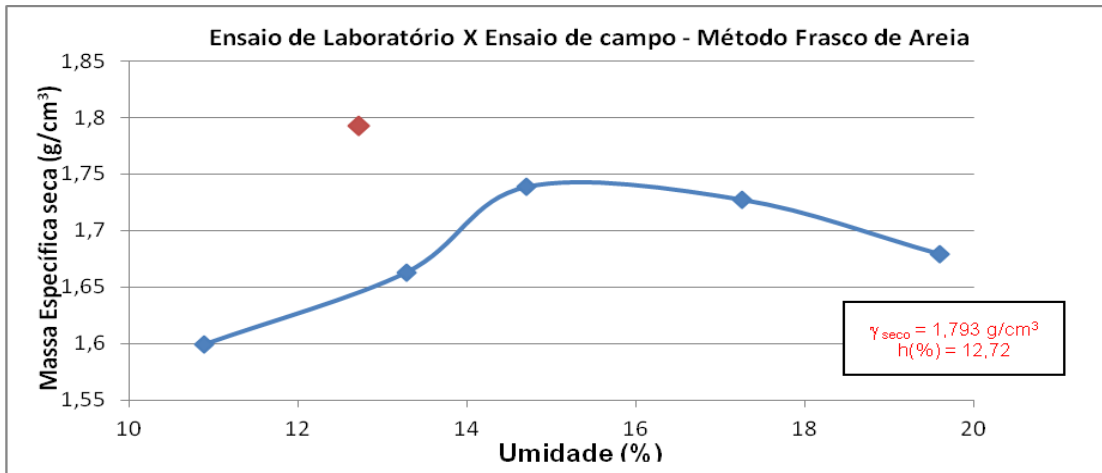


Figura 45 – Ensaio F1- Ponto determinado no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório

A área onde ocorreu o ensaio F1 é o local com maior declividade da CTR Nova Iguaçu, com alta capacidade de escoamento de água, sendo o local pouco úmido da área. A curva indica que o ponto do peso específico foi de 17,93 kN/m<sup>3</sup> acima do peso específico máximo determinado em laboratório e a umidade 12,72% que está abaixo da umidade ótima.

### Ensaio F2

A Figura 46 apresenta o Ensaio F2 onde se verifica que, diferente do ponto anterior, esse está no ramo úmido da curva de compactação.

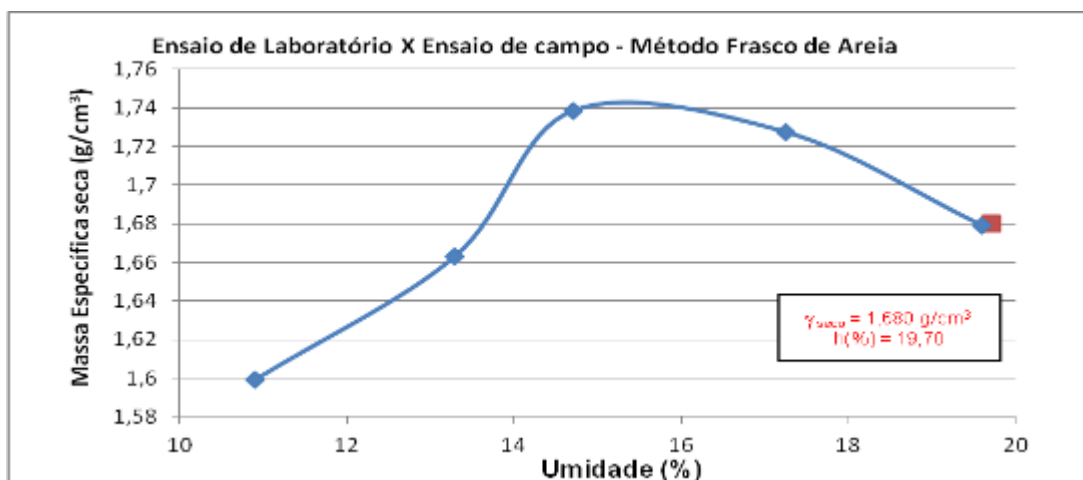


Figura 46 – Ensaio F2- Ponto determinado no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.

A área onde ocorreu o Ensaio F2 é o local com menor declividade (mais recalque) da CTR Nova Iguaçu, com alta capacidade de acúmulo de água, sendo o local mais úmido da área. A curva indica que o ponto do peso específico foi de  $16,80 \text{ kN/m}^3$  abaixo do peso específico determinado em laboratório e a umidade de  $19,07\%$  que está acima da umidade ótima.

Determinação da massa específica “in situ” – Anel de adensamento

Após cada ensaio de placa de fluxo, foi coletado um anel de solo para determinação da massa específica seca e umidade. A Figura 47 compara o resultado do ensaio de compactação de laboratório (Curva Proctor) e a massa específica seca e umidade determinada através dos anéis.

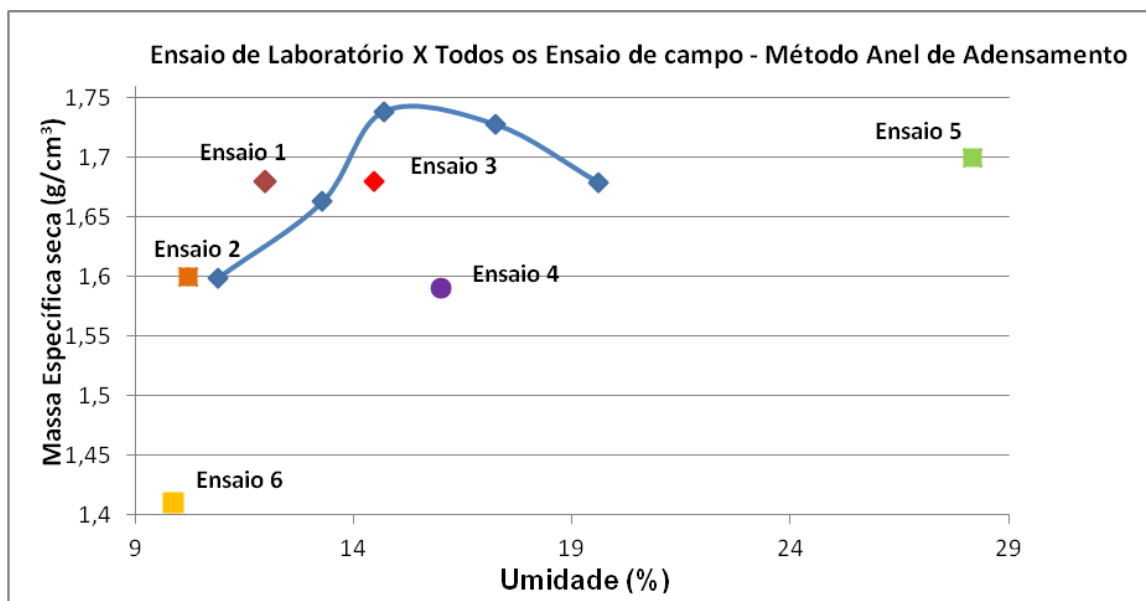


Figura 47 - Pontos determinados no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.

Todos os ensaios de anel de adensamento apresentaram o peso específico abaixo do peso específico máximo determinado em laboratório, sendo observadas diferenças em suas umidades. Os Ensaios 1, 2, 3 e 6 apresentaram uma umidade abaixo da umidade ótima encontrada. Já os Ensaios 4 e 5 apresentaram uma

umidade acima da umidade ótima encontrada, sendo o Ensaio 6 o que apresentou os menores números para ambos.

A Figura 48 e a Tabela 14 resumem todos os ensaios realizados em conjunto com o encontrado em laboratório e os de frascos de areia.

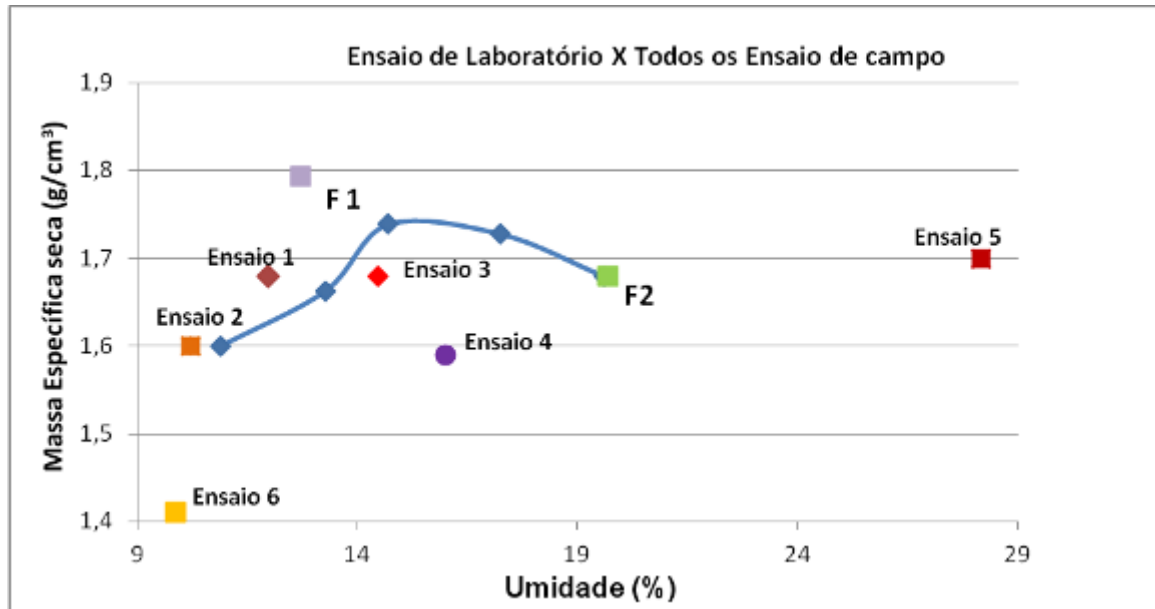


Figura 48 – Pontos dos ensaios de frasco de areia e anel de adensamento determinados no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.

Tabela 14 – Resumo dos pesos específicos aparentes secos, umidades encontradas em laboratório e campo, Grau de Compactação e desvio de umidade.

Tipos de ensaios	Peso específico aparente seco (kN/m <sup>3</sup> )	Umidade (%)	GC%	$\Delta h =$
			$\gamma_s \text{ campo} / \gamma_s \text{ Max} \times 100\% =$	$h_{\text{ótima}} - h_{\text{campo}}$
Ensaio de Laboratório	17,44	15,40	-	-
Ensaio F1 - Frasco de Areia	17,93	12,72	102,80	2,68
Ensaio F2 - Frasco de Areia	16,80	19,07	96,33	-3,67
E1 – Anel de adensamento	16,80	11,98	96,33	3,42
E2 – Anel de adensamento	16,00	10,23	91,74	5,17

(Continua)

(Conclusão)

<b>Tipos de ensaios</b>	<b>Peso específico aparente seco (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>GC% <math>\gamma_s</math> campo / <math>\gamma_s</math> Max X 100% =</b>	<b><math>\Delta h =</math> hótima - hcampo</b>
E3 – Anel de adensamento	16,80	14,48	96,33	0,92
E4 – Anel de adensamento	15,90	16,01	91,16	-0,61
E5 – Anel de adensamento	17,00	28,18	97,47	-12,78
E6 – Anel de adensamento	14,10	9,87	80,84	5,53

De acordo com o esquema apresentado no item 3.3.7, o Ensaio F1 (Frasco de Areia 1) foi realizado aproximadamente a uma distância de 5 metros dos Ensaios 2 e 3 e de 10 m dos Ensaios 1 e 6. Os pesos específicos encontrados para esses 4 ensaios de anel tiveram valores menores que o peso específico encontrado no Ensaio F1. Em relação à umidade, os Ensaios 1, 2, 3 e 6 tiveram valores menores que o encontrado no Ensaio F1. Vale ressaltar que o Ensaio 6 de anel de adensamento foi o que obteve o menor peso específico de 14,10 kN/m<sup>3</sup> e menor valor de umidade 9,87%, em comparação aos valores encontrados nos outros ensaios de anel, frasco de areia e o ensaio de laboratório.

Já o Ensaio F2 foi realizado próximo aos Ensaios de anel de adensamento 4 e 5. O peso específico e a umidade do Ensaio 4 está abaixo do peso específico e umidade determinados pelo Ensaio F2, enquanto para o Ensaio 5 esses valores são maiores, especialmente a umidade.

Na tabela 14 anteriormente descrita são apresentados os valores do grau de compactação dos solos. Exceto para o Ensaio 6, que obteve um grau de compactação de 80,84%, os demais ensaios apresentaram GC acima de 90%, sendo ainda em sua maioria acima de 95. Mariano (2008) encontrou grau de compactação inferior a 90% para 13 ensaios, grau de compactação entre 90 e 95% para dois ensaios e grau de compactação superior a 95% para 4 ensaios de um total de 19 ensaios realizados. Catapreta (2008) encontrou em seu estudo uma compactação maior que 100% e destacou que houve excesso de compactação. Já

Maciel (2009) em seu estudo encontrou grau de compactação > 95%, na Célula Experimental do Aterro da Muribeca/PE . Lopes (2011) pesquisou mais recentemente a mesma célula e encontrou um grau de compactação variando de 82,6% a 116,6% na mesma célula experimental utilizada por Maciel (2009).

Quanto menos compactado for o solo maior será sua permeabilidade ao gás, pois a compactação é um método de estabilização e melhoria do solo através de processo manual ou mecânico, visando reduzir o volume de vazios do solo. A compactação tem em vista estes dois aspectos: aumentar a intimidade de contato entre os grãos e tornar o aterro mais homogêneo melhorando as suas características de resistência, deformabilidade e permeabilidade (PINTO, 2000).

### 3.1.2 Resultados da caracterização do solo do Lixão de Seropédica

#### Análise Granulométrica, Limites de Atterberg e Peso Específico dos Grãos.

A Figura 49 apresenta a curva granulométrica do respectivo solo. De acordo com a escala granulométrica da ABNT, este solo é composto de 64% de areia, 22% silte e 14% de argila, sendo uma areia silto-argilosa.

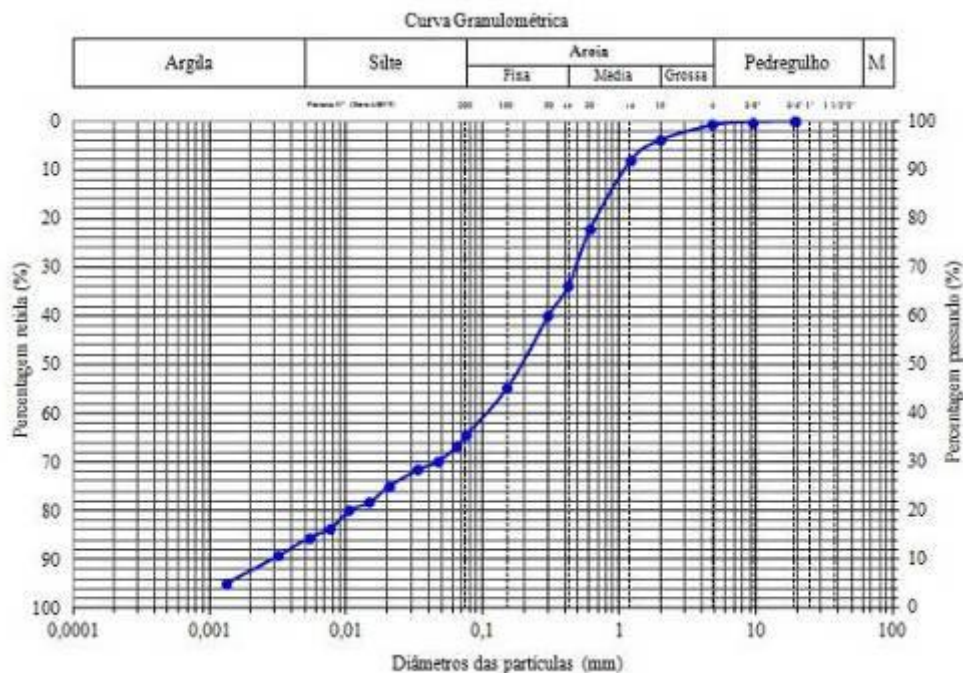


Figura 49 – Curva granulométrica do solo do *Lixão* de Seropédica.

Os limites de Atterberg determinados para este solo são: Limite de liquidez (LL) = 33,6%, Limite de plasticidade (LP) = 20,2%. O Índice de plasticidade (IP) é de 13,5%. Esse material apresenta índice de atividade (IA) igual a 1,69 sendo, portanto um solo ativo ( $IA > 1,25$ ). O peso específico dos grãos foi de  $27,18 \text{ kN/m}^3$ .

### Compactação Proctor Normal

A Figura 50 apresenta a curva de compactação obtida para o solo da camada de cobertura do *Lixão* de Seropédica.

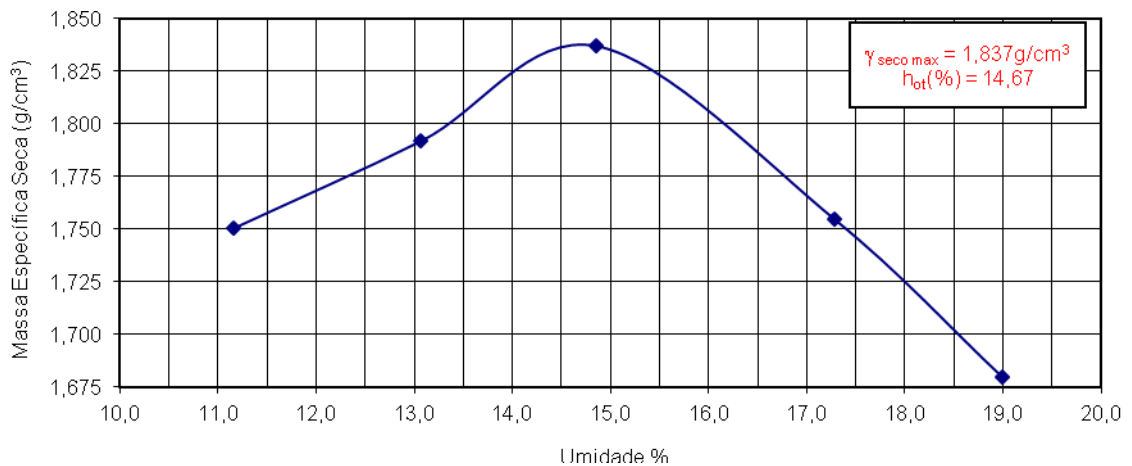


Figura 50 – Curva de compactação do solo do *Lixão* de Seropédica.

A curva indica que o peso específico aparente seco máximo foi de  $18,37 \text{ kN/m}^3$  e a umidade ótima foi de 14,67%.



Determinação do peso específico “in situ” – Frasco de areia

*Ensaio F1*

Foram realizados dois ensaios de campo com a utilização da metodologia de frasco de areia, descrita no item 3.3.7. A Figura 51 apresenta o resultado do Ensaio F1 indicando o ponto determinado no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.

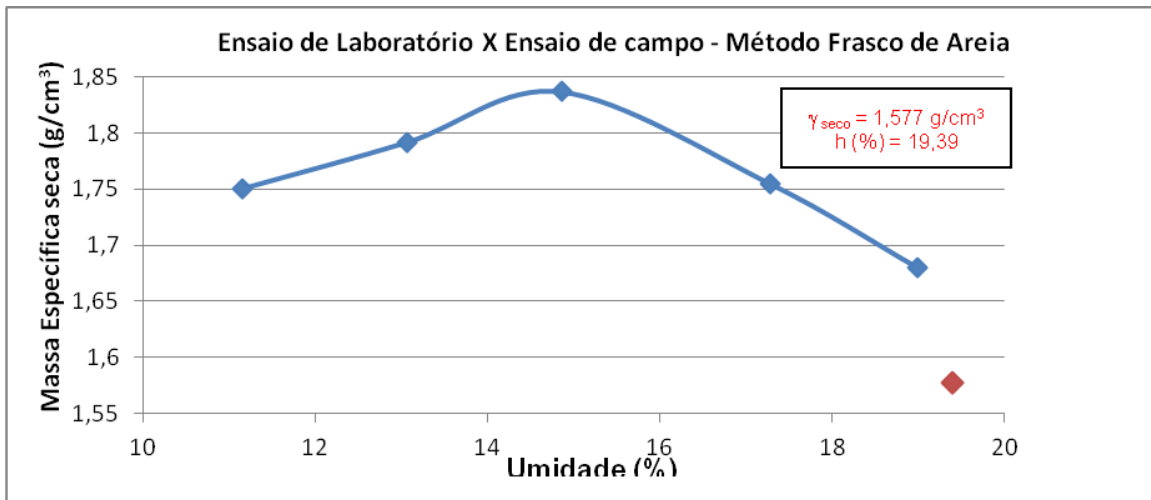


Figura 51 – Ensaio F1 - Ponto determinado no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.

A área onde ocorreu o Ensaio F1 foi o platô superior do *lixão*. A curva indica que o ponto do peso específico foi de 15,77 kN/m<sup>3</sup>, abaixo do peso específico máximo determinado em laboratório e a umidade 19,39%, que está acima da umidade ótima. E esse está no ramo úmido da curva de compactação.

*Ensaio F2*

A Figura 52 apresenta o Ensaio F2 onde se verifica que este também encontra-se no ramo úmido da curva de compactação.

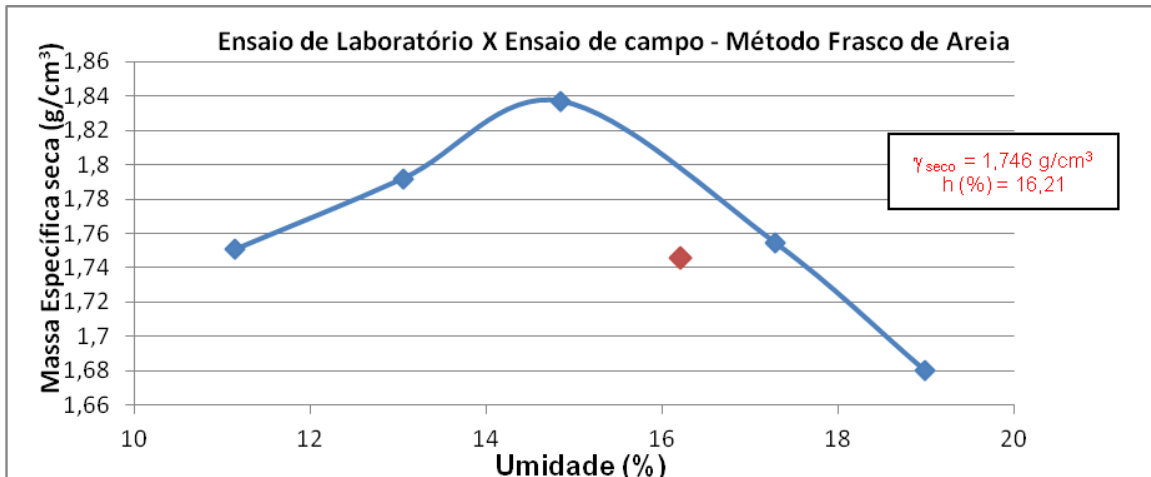


Figura 52 – Ensaio F2 - Ponto determinado no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.

A área onde ocorreu o Ensaio F2 foi a berma. A curva indica que o ponto do peso específico foi de  $17,46 \text{ kN/m}^3$ , abaixo do peso específico determinado em laboratório e a umidade de 16,21% que está acima da umidade ótima.

#### Determinação do peso específico “in situ” – Anel de adensamento

Após cada ensaio de placa de fluxo, foi coletado um anel de solo para determinação da massa específica seca e umidade. A Figura 53 compara o resultado do ensaio de compactação de laboratório (Curva Proctor) e a massa específica seca e umidade determinada através dos anéis.

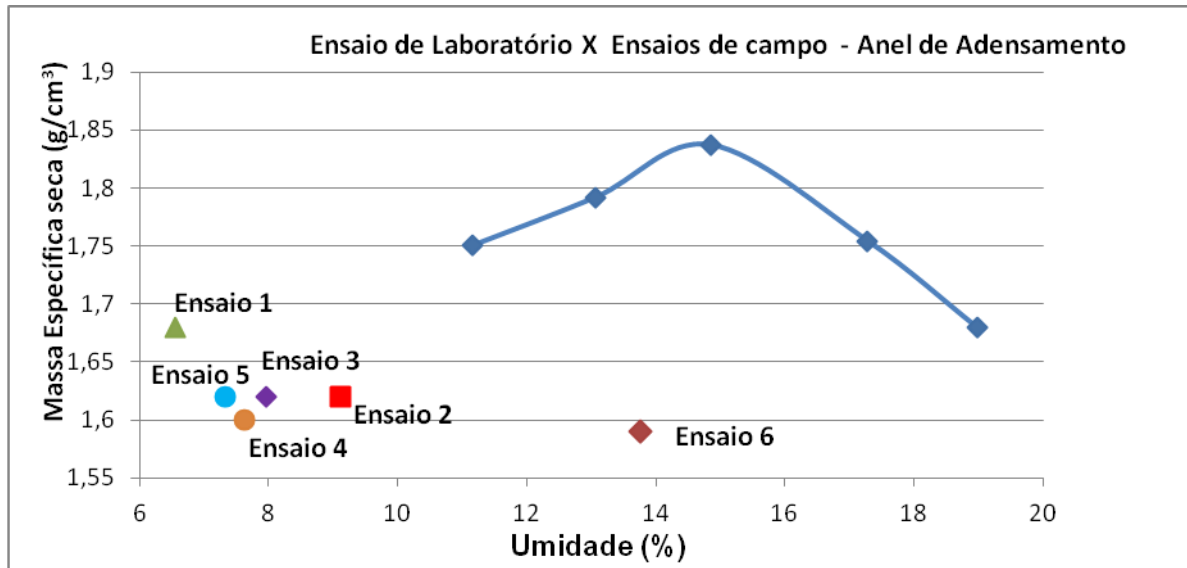


Figura 53 - Pontos determinados no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.

Todos os ensaios apresentaram o peso específico e umidade abaixo do peso específico máximo e umidade ótima determinado em laboratório. Todos os ensaios estão no ramo seco, diferente do encontrado nos 2 ensaios de frasco de areia (F1 e F2).

A Figura 54 e a Tabela 15 resumem todos os ensaios realizados em conjunto com o encontrado em laboratório e os frascos de areia.

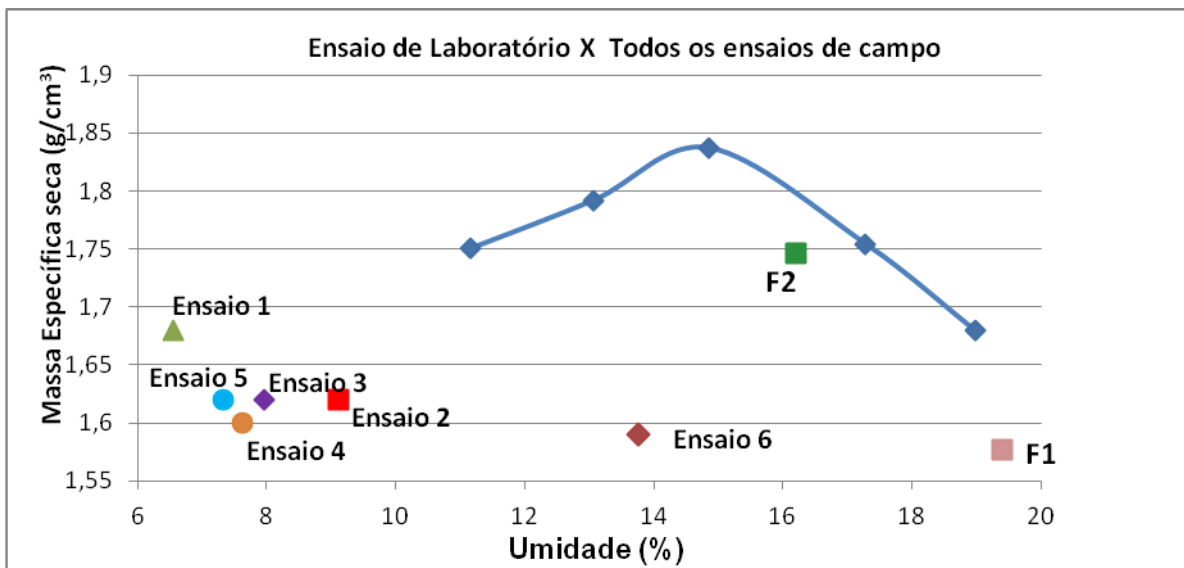


Figura 54 – Pontos de dos ensaios de frasco de areia e anel de adensamento determinados no campo em relação à curva de compactação obtida em laboratório.

Tabela 15 – Resumo dos pesos específicos aparente seco, umidades encontradas em laboratório e campo, Grau de Compactação e desvio de umidade.

<b>Tipos de ensaios</b>	<b>Peso específico aparente seco (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>GC%</b> $\gamma_s \text{ campo} / \gamma_s \text{ Max} \times 100\% =$	<b><math>\Delta h =</math></b> $h_{\text{ótima}} - h_{\text{campo}}$
Ensaio de laboratório	18,37	14,67	-	-
Ensaio F1 - Frasco de areia	15,77	19,39	85,84	-4,72
Ensaio F2 - Frasco de areia	17,46	16,21	95,04	-1,54
E1 – Anel de adensamento	16,80	6,56	91,45	8,11
E2 – Anel de adensamento	16,20	9,12	88,18	5,55
E3 – Anel de adensamento	16,20	7,97	88,18	6,70
E4 – Anel de adensamento	16,00	7,63	87,09	7,04
E5 – Anel de adensamento	16,20	7,33	88,18	7,34
E6 – Anel de adensamento	15,90	13,77	86,55	0,9

O Ensaio F1 (frasco de areia 1) foi realizado próximo aos Ensaio de anel de adensamento 1, 2 e 3. Os pesos específicos encontrados nesses três ensaios tiveram valores maiores que o peso específico encontrado no Ensaio F1, enquanto a umidade teve ficou abaixo do encontrado em laboratório.

O Ensaio F2 foi realizado próximo aos ensaios de anel de adensamento 4, 5 e 6. Os pesos específicos e umidade encontrados para esses três ensaios estão abaixo do determinado no Ensaio F2.

Em relação ao grau de compactação somente o Ensaio 1 teve valor acima de 90 %. Este local onde ocorreu o Ensaio 1 fica no topo do *Lixão* de Seropédica conforme descrito no item 3.3.7. Os demais ensaios tiveram GC em torno de 88%. Mariano (2008) encontrou valores semelhantes com estes apresentados em 13 ensaios dos 19 realizados no Aterro sanitário de Aguazinha, PE.

### **3.2 Ensaio de Campo**

Os resultados foram divididos em ensaios realizados na CTR Nova Iguaçu e ensaios realizados no *Lixão* de Seropédica.

#### **3.2.1 Ensaio realizado na CTR Nova Iguaçu**

Foram realizados seis ensaios de Placa de Fluxo (E1, E2, E3, E4, E5 e E6), seis Instalações de Dispositivo de Medição de Pressão e Concentração do Biogás - DMPC (D1, D2, D3, D4, D5 e D6) e duas análises de concentração nos drenos existentes (PDR 6, PDR 7, PDR 13, PDR14, PDR 31, PDR 32, PDR45, PDR46, PDR47).

Esses ensaios foram realizados de outubro a dezembro de 2012 no Vale 3 da CTR Nova Iguaçu. A área possui uma camada de cobertura monolítica e de acordo com informações do aterro apresenta uma espessura final de 0,8 m, sendo uma camada intermediária. Os dados dos drenos foram obtidos através do acompanhamento diário que é executado pela operação do aterro, e os mesmos foram informados na mesma data dos ensaios.

#### **Ensaio de Placa de Fluxo Estática na CTR Nova Iguaçu**

Foram obtidas as seguintes informações por meio desses ensaios: concentração dos gases, temperatura interna e externa e pressão interna e externa. Essas informações foram utilizadas para o cálculo de fluxo de gás.

Nas Figuras 55 a 66 abaixo são apresentados os gráficos da variação da concentração dos gases em função do tempo de duração do ensaio e a temperatura do dia do ensaio em função do tempo.

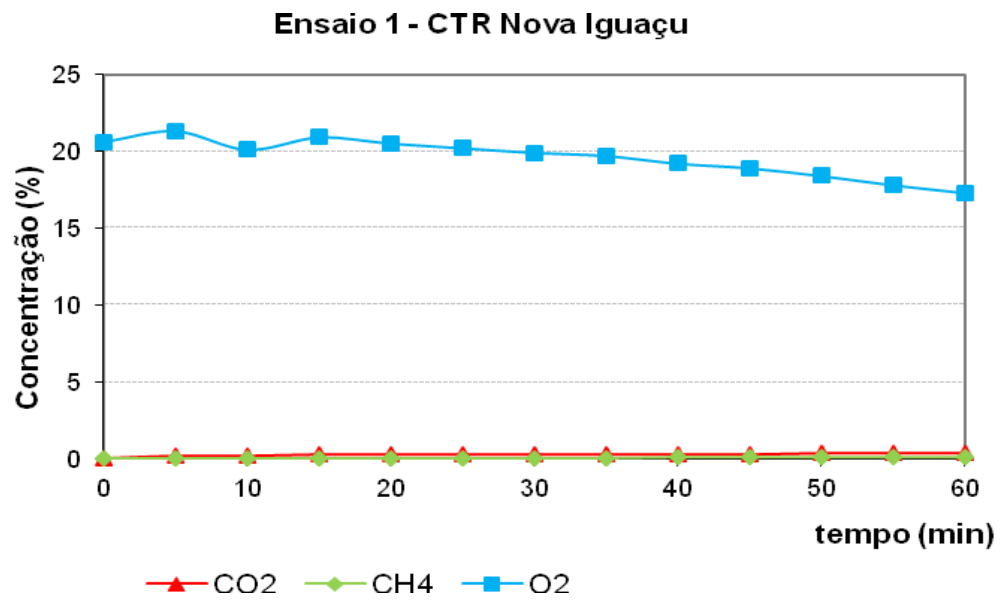


Figura 55 – Ensaio de placa de fluxo E1.

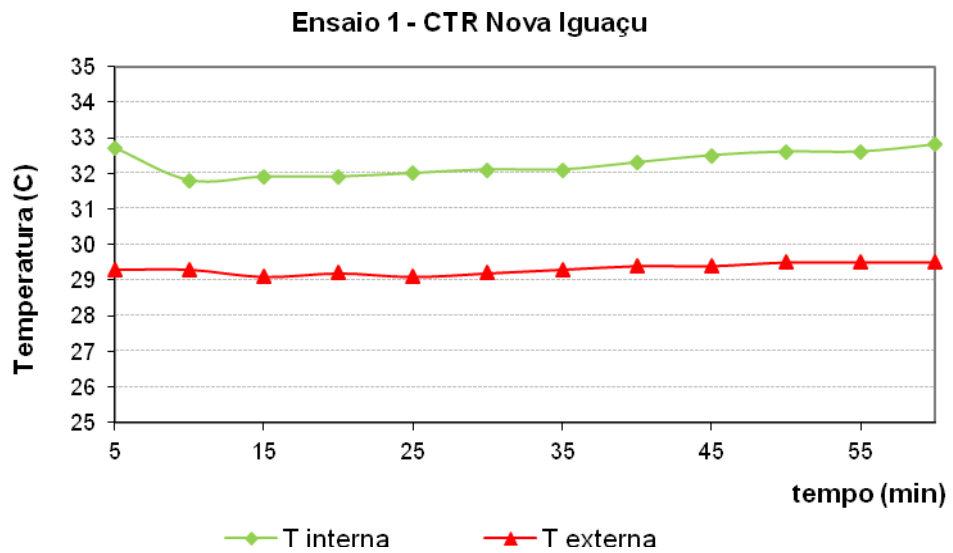


Figura 56 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E1.

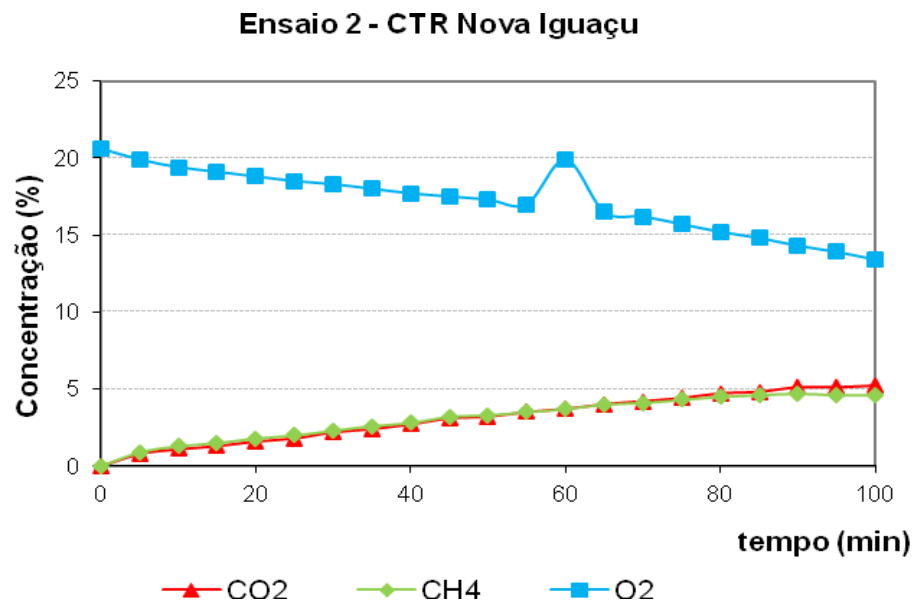


Figura 57 – Ensaio de placa de fluxo E2.

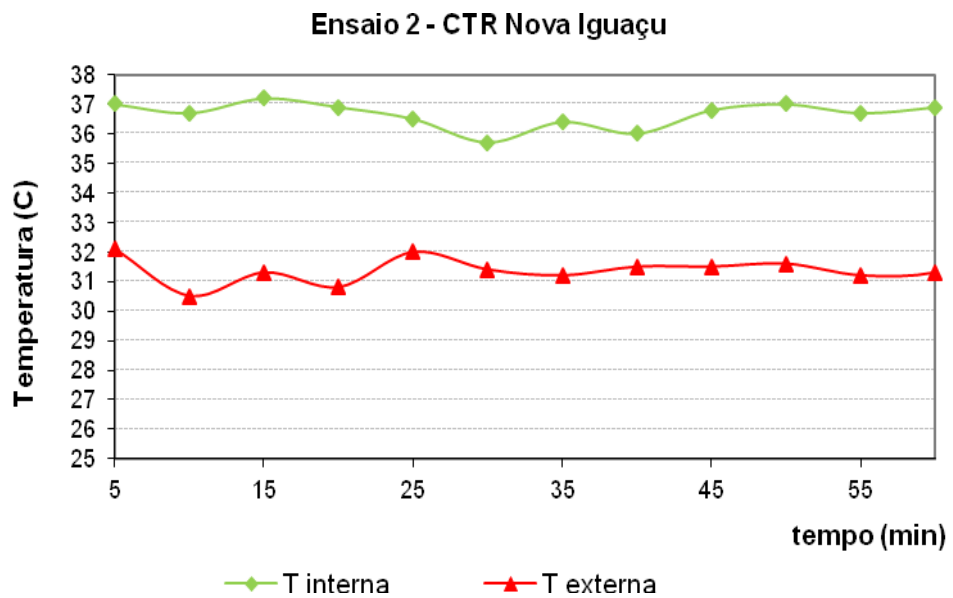


Figura 58 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E2.

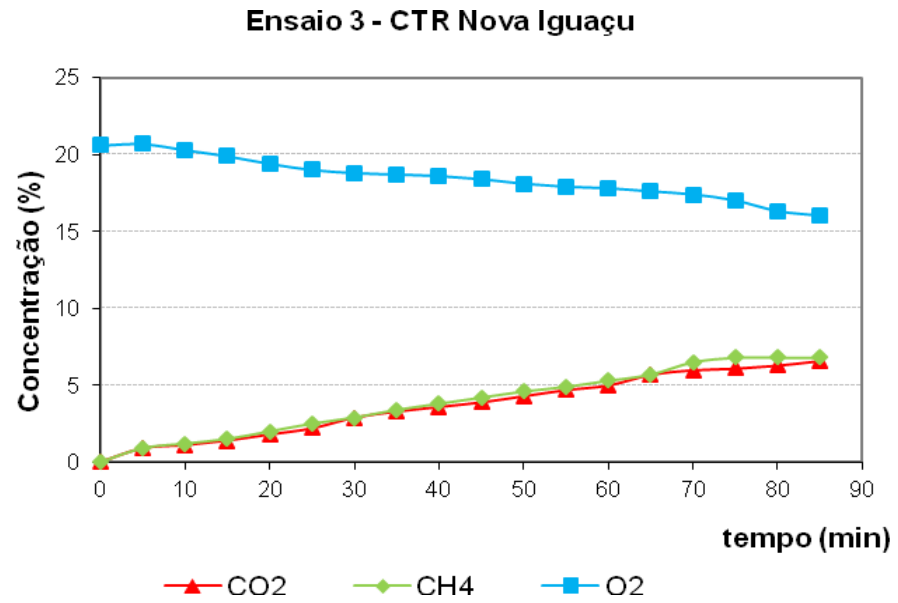


Figura 59 – Ensaio de placa de fluxo E3.

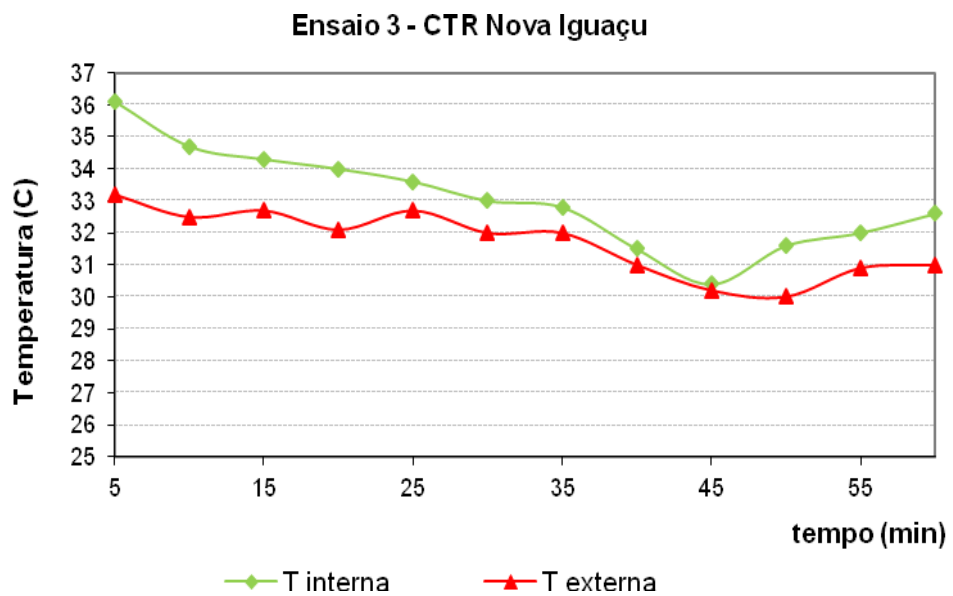


Figura 60 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E3.



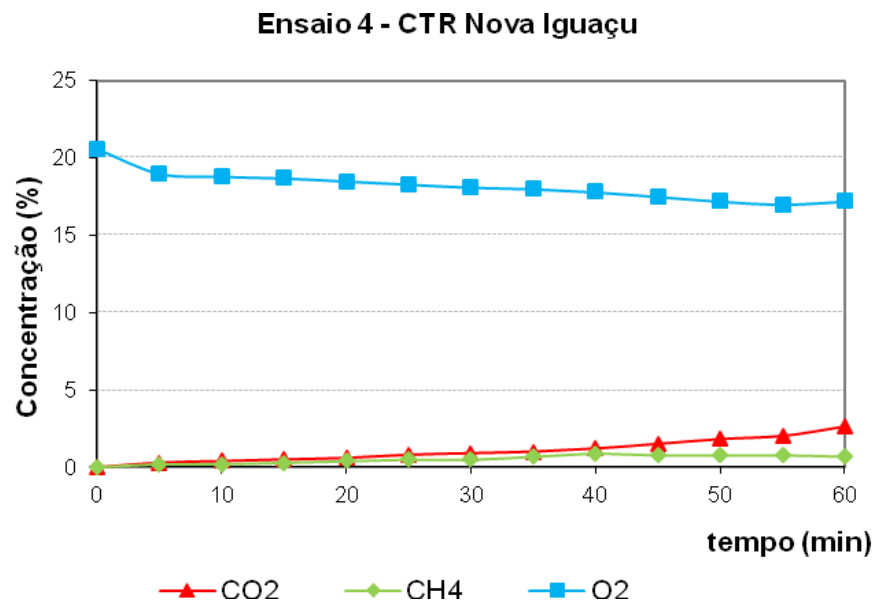


Figura 61 – Ensaio de placa de fluxo E4.

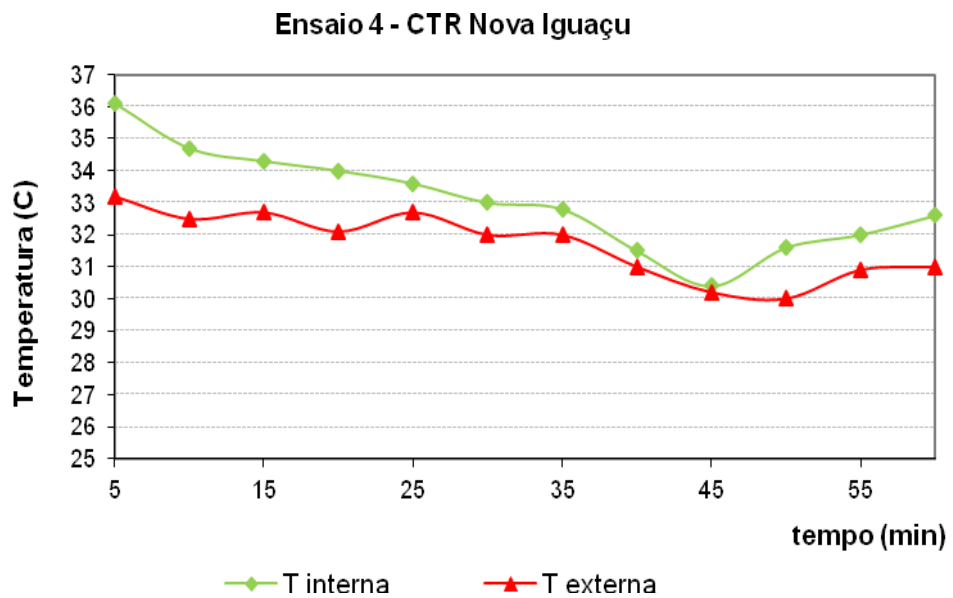


Figura 62 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E4.

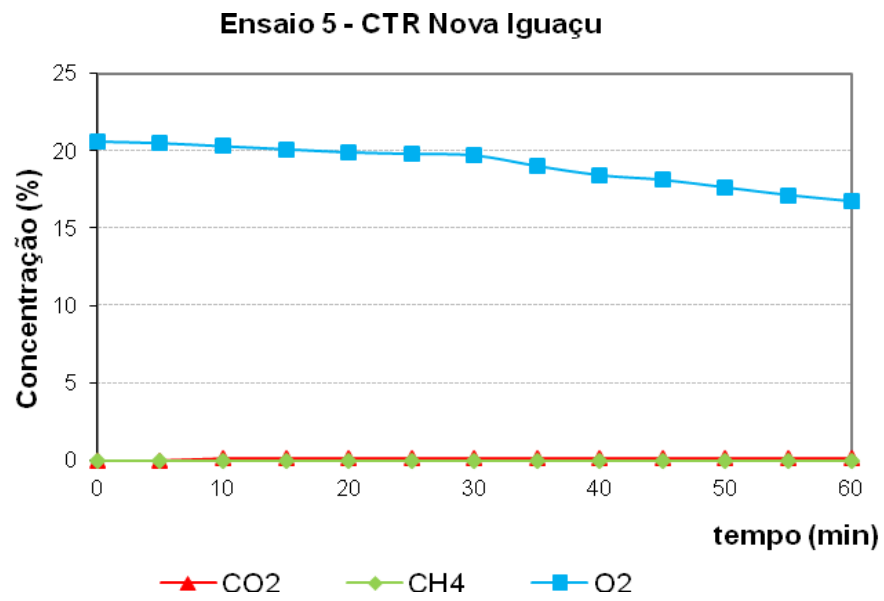


Figura 63 – Ensaio de placa de fluxo E5.

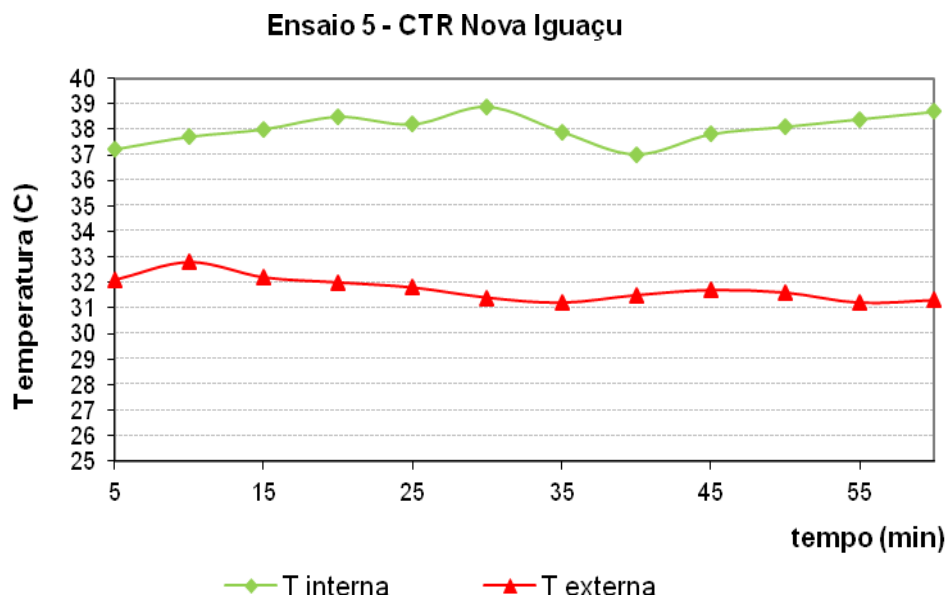


Figura 64 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E5.

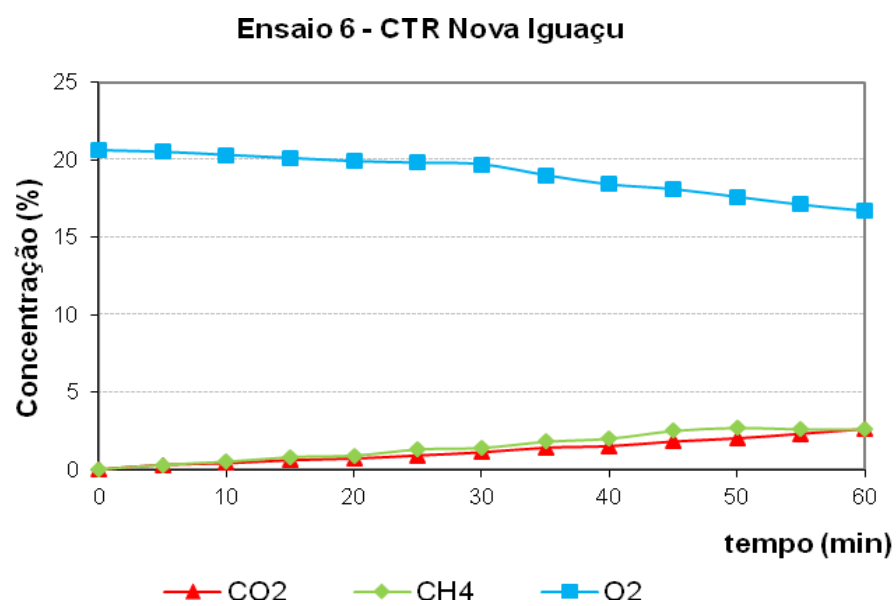


Figura 65 – Ensaio de placa de fluxo E6.

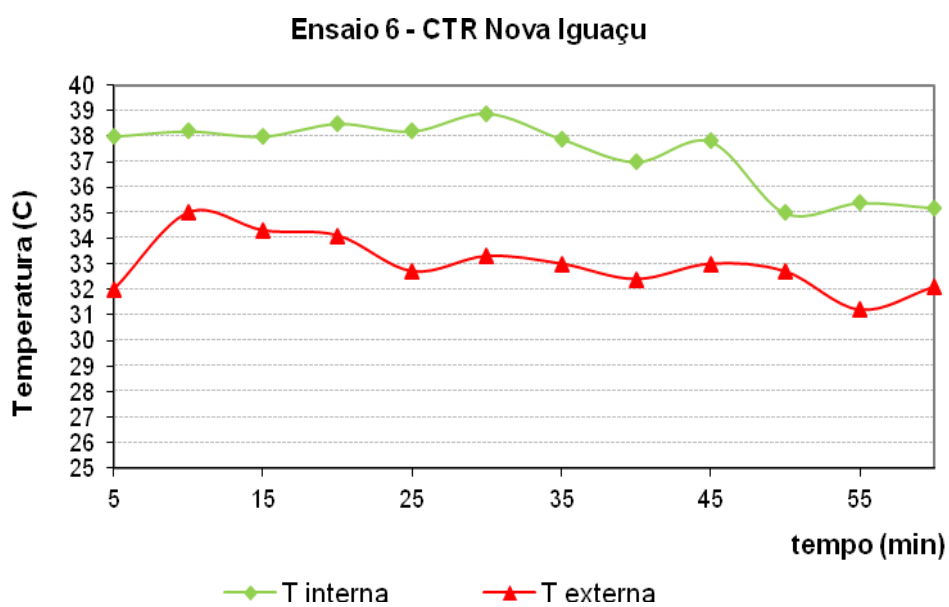


Figura 66 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E6.

Tabela 16 – Resultados finais dos dados obtidos nos ensaios de placa de fluxo no Vale 3 da CTR Nova Iguaçu.

Ensaio	Data	Concentração Final dos gases na Placa de Fluxo (%)			Temperatura Final (°C)		Tipo de camada de cobertura	Duração do ensaio (min)
		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Interna	Externa		
E 1	17/10/12	0,1	0,4	17,3	30,9	29,8	Monolítica	60
E 2	17/10/12	4,6	5,2	13,4	37,9	31,2	Monolítica	100
E 3	12/11/12	6,8	6,6	16,0	32,9	31,0	Monolítica	85
E 4	12/11/12	0,7	2,6	17,2	32,6	31,0	Monolítica	65
E 5	12/11/12	0,1	0,0	16,7	38,7	31,3	Monolítica	60
E 6	12/11/12	2,6	2,6	16,7	35,2	32,1	Monolítica	60

As curvas de variação de CH<sub>4</sub> apresentam comportamento semelhante com o decorrer do tempo, isto é, o aumento da concentração de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> e a diminuição da concentração de O<sub>2</sub>. Esse tipo de comportamento mostra coerência com o verificado em Maciel e Jucá (2002); Maciel (2003); Mariano (2008), Fernandes (2009) e Lopes (2011).

Maciel (2003) e Mariano (2008) destacam que nos primeiros 30 – 60 min de análise, ocorre a variação máxima na concentração do CH<sub>4</sub> com o tempo, após este intervalo inicial, a concentração aumenta a taxas decrescentes.

Isto ocorre, pois no início do ensaio a concentração do gás no interior da placa é nula (C=0) e, neste instante, o gradiente de concentração é máximo e equivale à própria concentração do gás sob a camada de cobertura. Com o decorrer do ensaio, a concentração interna aumenta, o gradiente de concentração decresce e, conseqüentemente, o fluxo de gás é reduzido segundo previsto na Lei de Fick (Mariano, 2008).

Em todas as análises de Placa de Fluxo, realizadas no Sub-aterro 3 da CTR Nova Iguaçu, com os poços de extração ligados, foi constatado que a concentração de gases pela cobertura do aterro é praticamente inexistente em um ensaio e nos demais varia, atingindo um valor máximo de 6,8 % de CH<sub>4</sub>. Silva e Ritter (2011)

encontraram valores para CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> quase nulos em ensaios realizados no Vale 1 do mesmo aterro, tanto na camada monolítica quanto em barreira capilar. De acordo com Silva (2011) esta pequena presença de gases registrados está relacionada com o balanceamento diário dos poços de extração do biogás.

Fernandes (2009) encontrou valores semelhantes como uma concentração final de 5,2% em um ponto do Aterro experimental em Belo Horizonte em um ensaio na camada de cobertura tipo barreira capilar.

As curvas de O<sub>2</sub> foram praticamente decrescentes, sugerindo que não houve entrada de oxigênio durante os ensaios, seja pelas conexões, pelos tubos ou pelas laterais da placa. No Ensaio 2 é possível verificar um aumento rápido e posteriormente uma estabilização do O<sub>2</sub>. Isso pode ter sido causado por algum tipo de entrada de ar atmosférico. Em campo no momento que ocorreu essa variação, a atitude foi cobrir mais ainda placa com solo e jogar água no seu entorno. O Ensaio 2 apresentou o menor percentual de O<sub>2</sub> com 13,4% e a menor concentração de CH<sub>4</sub> junto com o ensaio 5 com a concentração de 0,1%.

Em relação à variação da temperatura observou-se que a temperatura interna da placa é influenciada pela temperatura externa, isto é pela temperatura ambiente. É possível observar que em todos os resultados as curvas apresentam a mesma forma e todas as temperaturas internas foram maiores que as externas. As análises de pressão dos gases precisam ser melhor investigadas pois apresentaram números nulos e em 2 ensaios valores iniciais negativos, por esse motivo não foram apresentadas. As possíveis razões para este fato foram: a sensibilidade do manômetro e o sistema de gás ligado.

#### Fluxo de Gás Pela Camada de Cobertura

Para a determinação do fluxo de gás foi utilizada a metodologia descrita por Maciel (2003). Por meio da avaliação da massa (ou volume) de CH<sub>4</sub> aprisionada no interior da placa de fluxo com o tempo foi possível determinar o fluxo de gás na camada, ou seja, a emissão de CH<sub>4</sub> está relacionada com a velocidade de aumento da concentração do gás no interior da câmara. É importante explicar que os volumes foram normalizados para as Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTTP).

A Equação 3 representa a forma de determinação do fluxo volumétrico nos ensaios e Placa de fluxo estática.

$$J = V_p/A \times (\Delta C/\Delta t) \quad \text{Eq. 3}$$

onde:

$J$  = fluxo volumétrico ( $\text{NI}/\text{m}^2/\text{s}$ )

$V_p$  = volume útil da câmara de fluxo (l)

$A$  = área de solo coberto pela câmara ( $\text{m}^2$ )

$\Delta C/\Delta t$  = variação da concentração do gás (% vol.) com o tempo (s)

#### Determinação do Fluxo de $\text{CH}_4$

A Figura 67 ilustra a variação da massa de  $\text{CH}_4$  com o tempo nos seis ensaios realizados no Vale 3 da CTR de Nova Iguaçu. Os dados básicos do monitoramento são apresentados no Apêndice (A.1) desta dissertação.

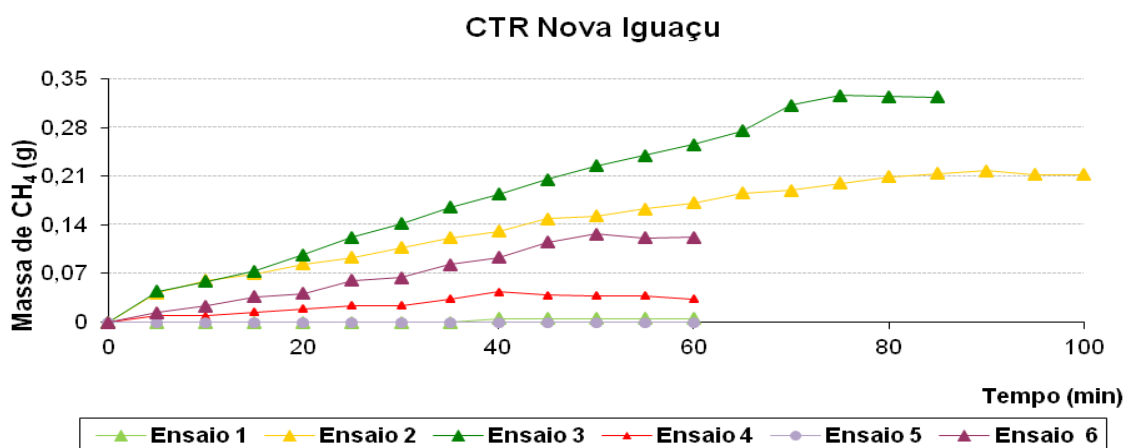


Figura 67 - Variação da massa de  $\text{CH}_4$  de todos os ensaios realizados com o tempo na Placa de fluxo.

Nota-se que a variação mássica do CH<sub>4</sub> com o tempo apresenta um comportamento semelhante aos encontrados nos gráficos de Concentração X Tempo, apresentados anteriormente. De acordo com Maciel (2003) o fluxo de CH<sub>4</sub> deve ser calculado no intervalo inicial de cada ensaio para assim obter a máxima taxa de percolação do gás no solo.

A Tabela 17 apresenta os valores de fluxo de CH<sub>4</sub> através da camada. Conforme já explicitado os valores são mínimos, sendo o maior fluxo encontrado o do Ensaio 3 com 35,23 g/m<sup>2</sup>.dia .

Tabela 17 – Fluxo de CH<sub>4</sub> através da camada de cobertura no Vale 3 da CTR Nova Iguaçu.

<b>Ensaio</b>	<b>Data</b>	<b>Fluxo (J CH<sub>4</sub>) g/m<sup>2</sup>.dia</b>	<b>Tipo de camada de cobertura</b>
<b>E 1</b>	17/10/12	0,74	Monolítica
<b>E 2</b>	17/10/12	20,11	Monolítica
<b>E 3</b>	12/11/12	35,23	Monolítica
<b>E 4</b>	12/11/12	6,66	Monolítica
<b>E 5</b>	12/11/12	0,00	Monolítica
<b>E 6</b>	12/11/12	19,51	Monolítica

Scheutz *et al.* (2003) também encontraram emissões mínimas de CH<sub>4</sub> variando de -0,01 a 10 g/m<sup>2</sup>.dia em camadas semelhante a uma barreira capilar, com 0,80 m de solo argiloso compactado acima de uma camada de 0,40 m de areia, porém com extração de biogás, o que influencia significativamente na minimização das emissões.

Mariano (2008) encontrou fluxos como estes em um ensaio dos 19 realizados no aterro de Aguazinha, tendo nesse ensaio um fluxo de 18 g/m<sup>2</sup>.dia. Nos demais ensaios o fluxo variou de 39 a 401 g/m<sup>2</sup>.dia.

Fernandes (2009) também encontrou valores mínimos como estes em um ensaio realizado no dique do Aterro Experimental de Belo Horizonte sem extração de biogás, apresentando fluxos mínimos de CH<sub>4</sub>, com valores de 13,45 g/m<sup>2</sup>.dia.

Lopes (2011) também encontrou emissões baixas de CH<sub>4</sub> em uma camada de cobertura convencional com vegetação em um estudo com diversos tipos de

camada de cobertura no aterro controlado de Muribeca, encontrando fluxos de  $\text{CH}_4$  variando de  $43,9 \text{ g/m}^2 \cdot \text{dia}$  a  $18,0 \text{ g/m}^2 \cdot \text{dia}$ , porém sem extração de biogás.

### Determinação do Fluxo de $\text{CO}_2$

A Figura 68 ilustra o fluxo de  $\text{CO}_2$  que foi obtido utilizando a mesma metodologia descrita para o gás  $\text{CH}_4$ . Em todos os ensaios de placa de fluxo foi medida a concentração de  $\text{CO}_2$  em função do tempo.

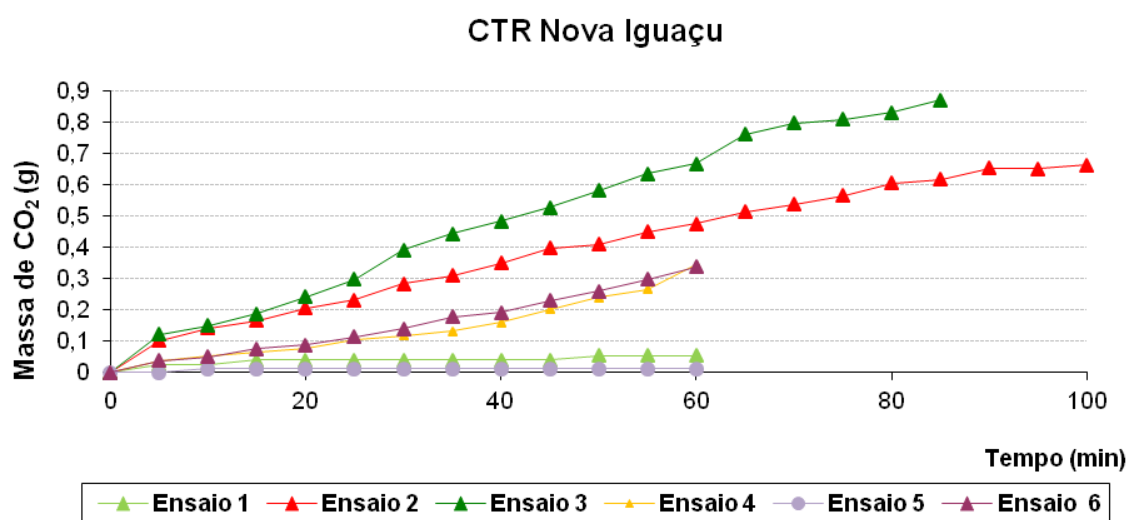


Figura 68: Variação da massa de  $\text{CO}_2$  de todos os ensaios realizados com o tempo na Placa de fluxo.

A curva demonstra que a presença em massa (g) de  $\text{CO}_2$  é significativa, sendo o Ensaio 3 com maior fluxo. As curvas também mostram comportamentos semelhantes qualitativamente e as mesmas fases das curvas de  $\text{CH}_4$ .

A Tabela 18 apresenta dos fluxos encontrados em  $\text{g/m}^2 \cdot \text{dia}$ . O fluxo variou entre  $1,95$  e  $8,21 \text{ g/m}^2 \cdot \text{dia}$ , indicando um fluxo menor do que encontrado para o gás metano.

Tabela 18 - Fluxo de  $\text{CO}_2$  através da camada no Vale 3 da CTR Nova Iguaçu.

Ensaio	Data	Fluxo ( $\text{J CO}_2$ ) $\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$	Tipo de camada de cobertura
--------	------	--	--------------------------------



<b>E 1</b>	17/10/12	8,21	Monolítica
<b>E 2</b>	17/10/12	7,87	Monolítica
<b>E 3</b>	12/11/12	6,06	Monolítica
<b>E 4</b>	12/11/12	3,98	Monolítica
<b>E 5</b>	12/11/12	1,95	Monolítica
<b>E 6</b>	12/11/12	5,91	Monolítica

### Resultados CTR Nova Iguaçu – Drenos

Os resultados das concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> dos drenos existentes na área de estudo, na CTR Nova Iguaçu, foram disponibilizados pela CTR Nova Iguaçu.

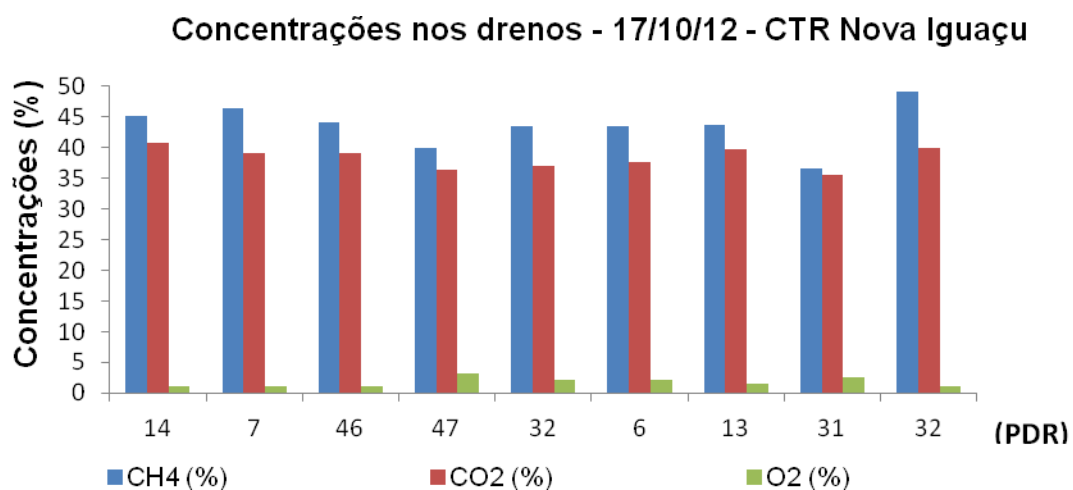
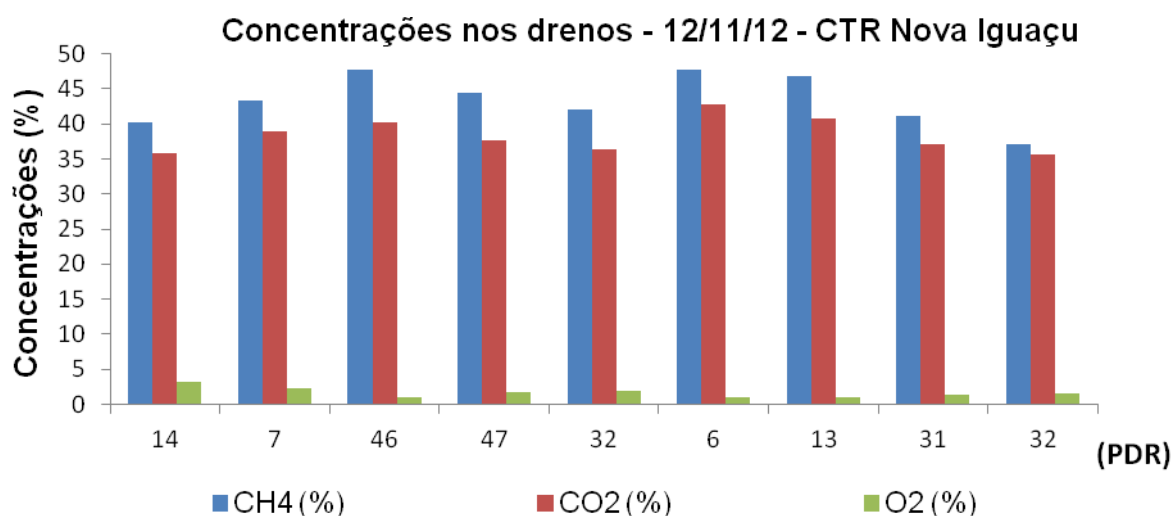


Figura 69 – Ensaio 1 - Concentrações encontradas nos Drenos – CTR Nova Iguaçu

Fi



Fi

gura 70 – Ensaio 2 - Concentrações encontradas nos Drenos – CTR Nova Iguaçu.

As concentrações encontradas nos drenos são altas com variações mínimas em cada dreno (PDR). Nesta pesquisa são apresentadas somente duas medições realizadas nos drenos, mas segundo a CTR esse procedimento é feito diariamente, e os valores encontrados no monitoramento do aterro não fogem dos apresentados, com concentrações em torno de 50% de CH<sub>4</sub> e 40% de CO<sub>2</sub> diariamente. Mariano (2008) encontrou valores nos drenos semelhantes com os da CTR Nova Iguaçu. Foram realizados 16 ensaios de fluxo nos drenos e destes foram encontrados variações de CH<sub>4</sub> de 38% a 64% e para o CO<sub>2</sub> foram encontradas concentrações de 34% a 48%.

#### Resultados CTR Nova Iguaçu – DMPC

Conforme descrito no item 3.2.2, os DMPC foram instalados, mas em todas as seis leituras realizadas na CTR Nova Iguaçu, os dados não expressaram confiabilidade, devido à área possuir um sistema ativo de extração de gás, o que ocasionou medidas erradas e até negativas e por esse motivo não foram apresentadas nesta dissertação.

#### 3.2.1.1 Considerações sobre as Relações entre Condições “*in Situ*” da Camada de Cobertura e as Emissões Encontradas

A camada de cobertura da área de estudo disponibilizada dentro do Vale 3 da CTR Nova Iguaçu, é construída com o solo de uma jazida local, uma areia argilo-siltosa, que foi compactada, com espessura em torno de 0,80 m.

A Tabela 19 resume os dados obtidos em termos de grau de compactação, variação de umidade em relação a umidade ótima, e medidas de fluxo de gás e percentual de metano medidos através de ensaio de placa. Os valores de fluxo e teor de metano, conforme já apresentado são baixos. No entanto, numa tentativa de correlacionar condições de umidade e compactação com emissão, se observam que para os três locais que apresentam maior fluxo e concentrações de metano e gás carbônico, as umidades estão no ramo seco da curva de compactação e em dois locais o grau de compactação acima de 90%, enquanto no outro tem 80%. Coincidentemente o único local que tinha acúmulo de água no dia do ensaio, estando, portanto, com teor de umidade muito alto, apresenta emissão zero.

Tabela 19 - Resumo dos ensaios

<b>Ensaio</b>	<b>GC%</b> $\frac{\gamma_s \text{ campo}}{\gamma_s \text{ Max}} \times 100\% =$	$\Delta h =$ $h_{\text{ótima}} - h_{\text{campo}}$	<b>Fluxo (J CH<sub>4</sub>)</b> <b>g/m<sup>2</sup>.d</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
<b>E 1</b>	96	3	0,7	0,1	0,4
<b>E 2</b>	92	5	20,1	4,6	5,2
<b>E 3</b>	96	1	35,2	6,8	6,6
<b>E 4</b>	91	-1	6,7	0,7	2,6
<b>E 5</b>	97	-13	0,0	0,1	0,0
<b>E 6</b>	81	5	19,6	2,6	2,6

Mariano (2008) destaca que um dos fatores que influenciaram as emissões de gases em seu estudo foi o Grau de compactação e saturação e que as maiores emissões foram verificadas em locais com grau de compactação entre 75% e 90%. Para locais com grau de compactação acima de 90% o percentual de retenção de CH<sub>4</sub> foi superior a 90%.

Os valores mínimos de fluxo encontrados para os 6 ensaios de placa de fluxo, corroboram com os valores encontrados Scheutz *et al.* (2003), apresentados no item 2.7 sendo que para a CTR de Nova Iguaçu os fluxos foram um pouco maiores, com o ensaio 3 apresentando o maior fluxo de 35,23 g/m<sup>2</sup>.dia.

### 3.2.2 Ensaio Realizados no Lixão de Seropédica

Foram realizados seis ensaios de Placa de Fluxo e três análises de concentração nos drenos. Esses seis ensaios de Placa de fluxo foram realizados em outubro de 2012 no Lixão de Seropédica. A camada de cobertura existente possui uma camada de 0,50 m de solo argiloso compactada, seguida por uma camada de 0,60 m de solo e ainda mais 0,10 m de composto onde foi feito o plantio de grama (FRAL, 2011).

Os resultados das concentrações finais dos gases e da temperatura encontrados nos ensaios de Placa de Fluxo são apresentados na Tabela 19.

Foram obtidas as seguintes informações: concentração dos gases, temperatura interna e externa e a pressão interna e externa. Essas informações foram utilizadas para o cálculo de fluxo de gás.

Nas Figuras 71 a 82 abaixo são apresentados os gráficos da variação da concentração dos gases em função do tempo de duração do ensaio e a temperatura do dia do ensaio em função do tempo.

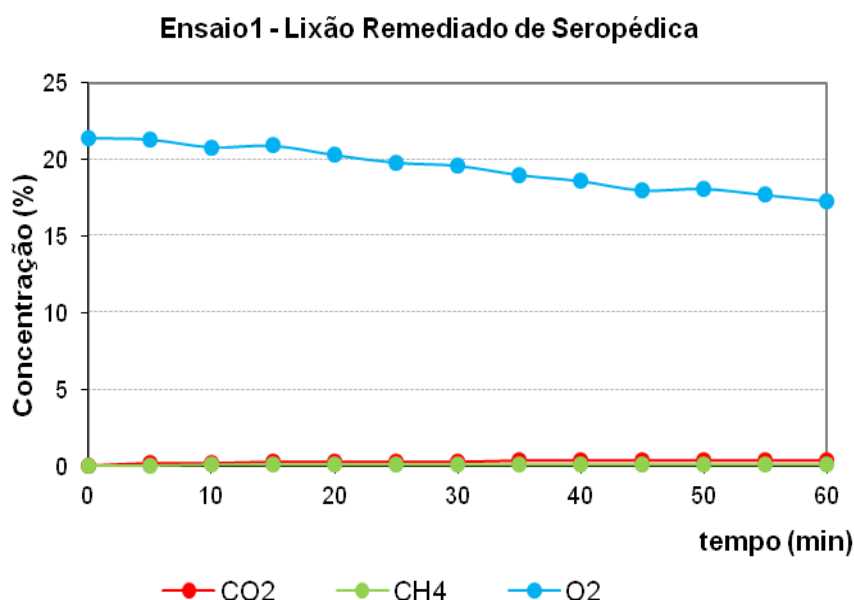


Figura 71 – Ensaio de placa de fluxo E1.

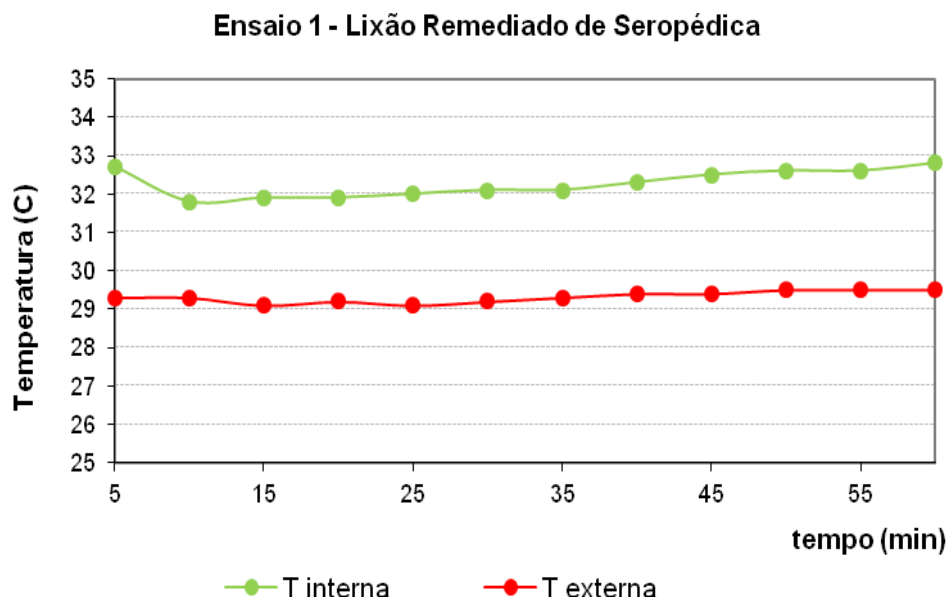


Figura 72 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E1.

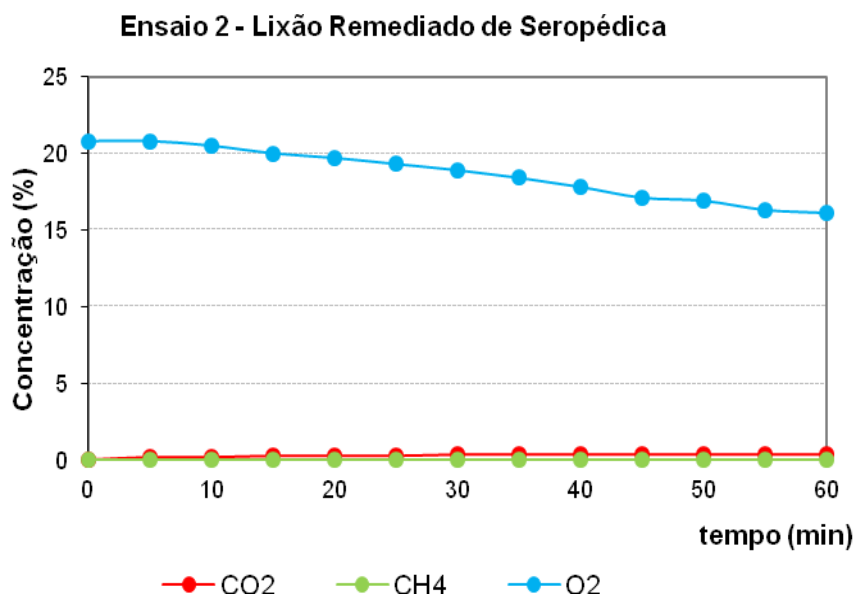


Figura 73 – Ensaio de placa de fluxo E2.

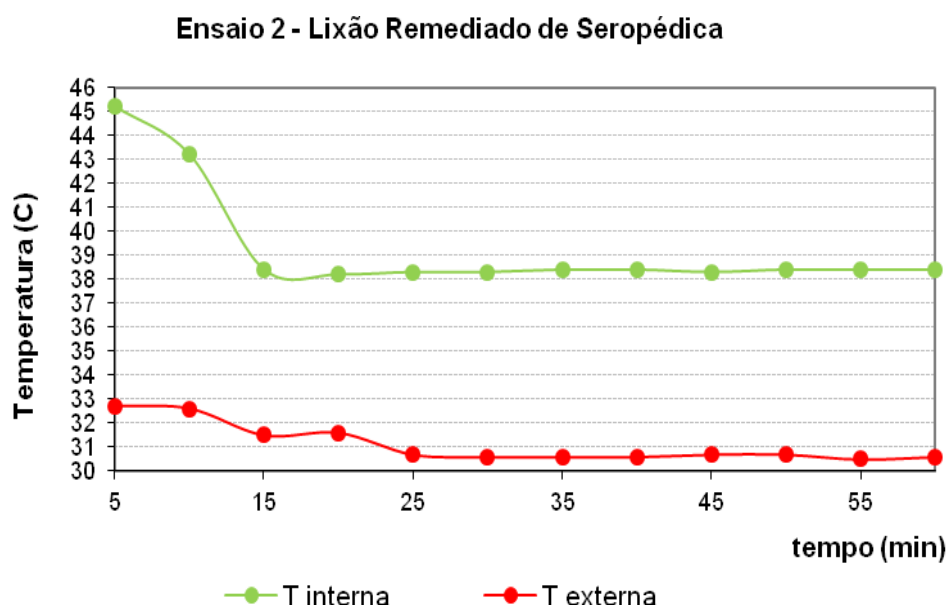


Figura 74 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E2.

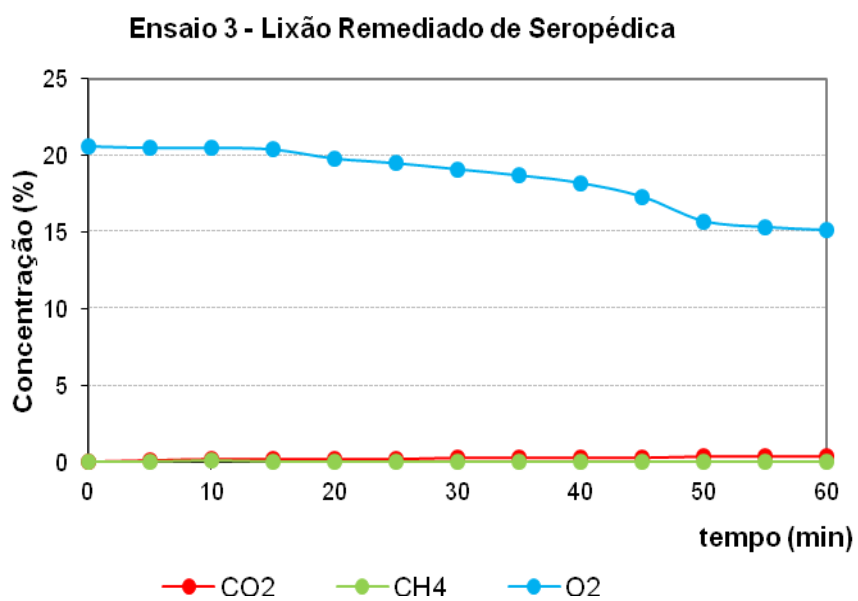


Figura 75 – Ensaio de placa de fluxo E3.

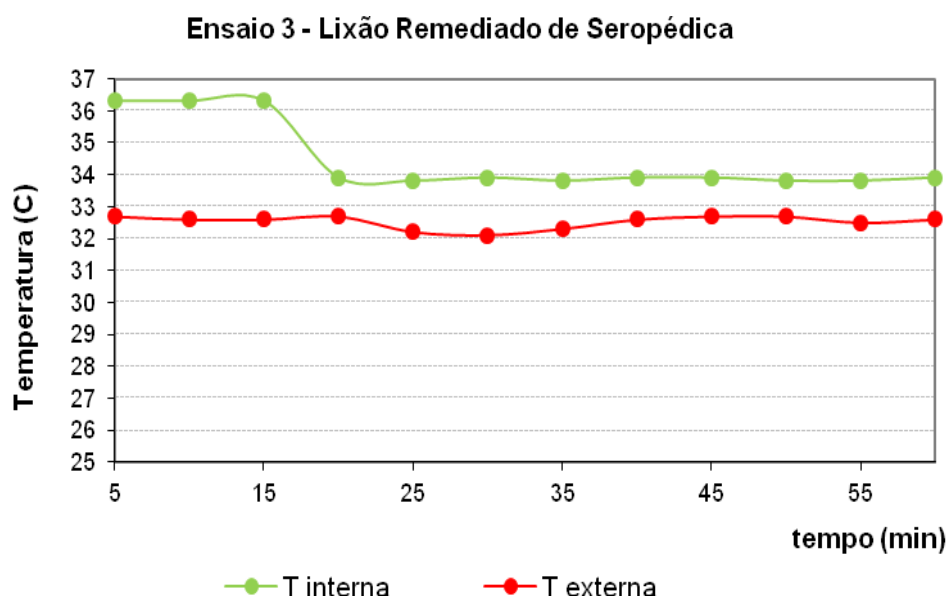


Figura 76 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E3.

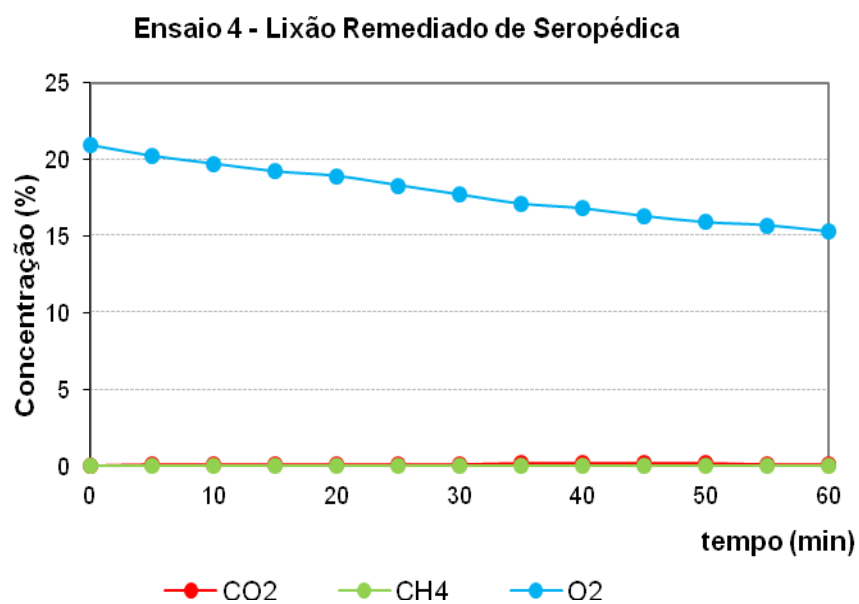


Figura 77 – Ensaio de placa de fluxo E4.



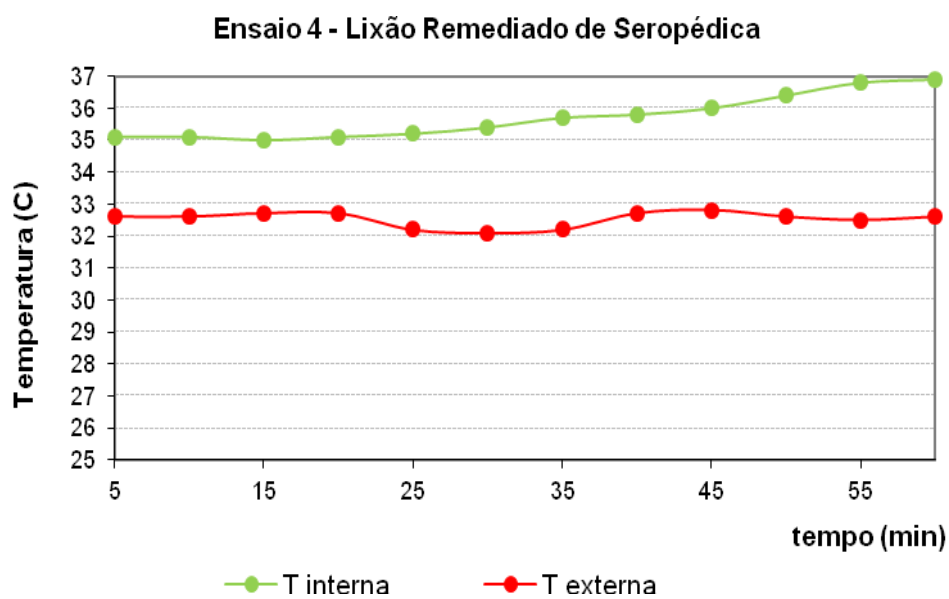


Figura 78 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E4.

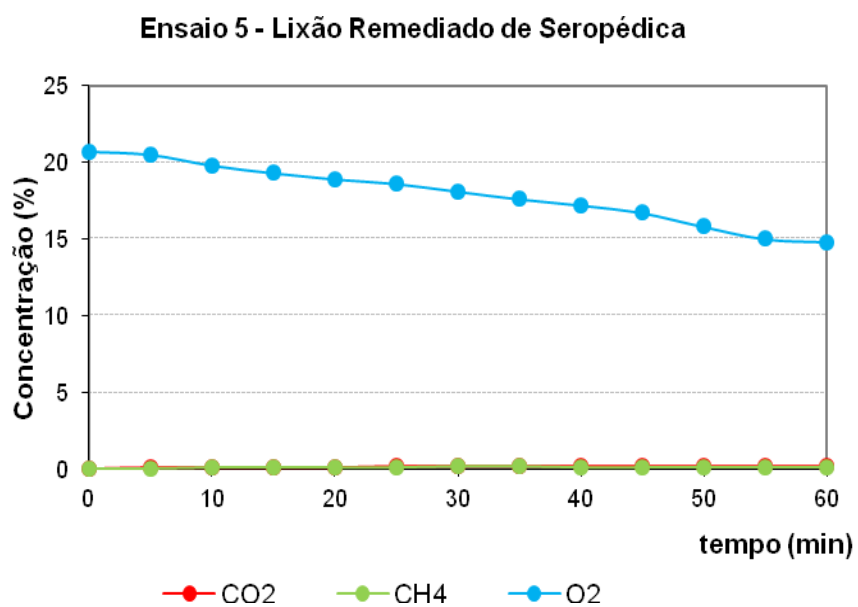


Figura 79 – Ensaio de placa de fluxo E5.

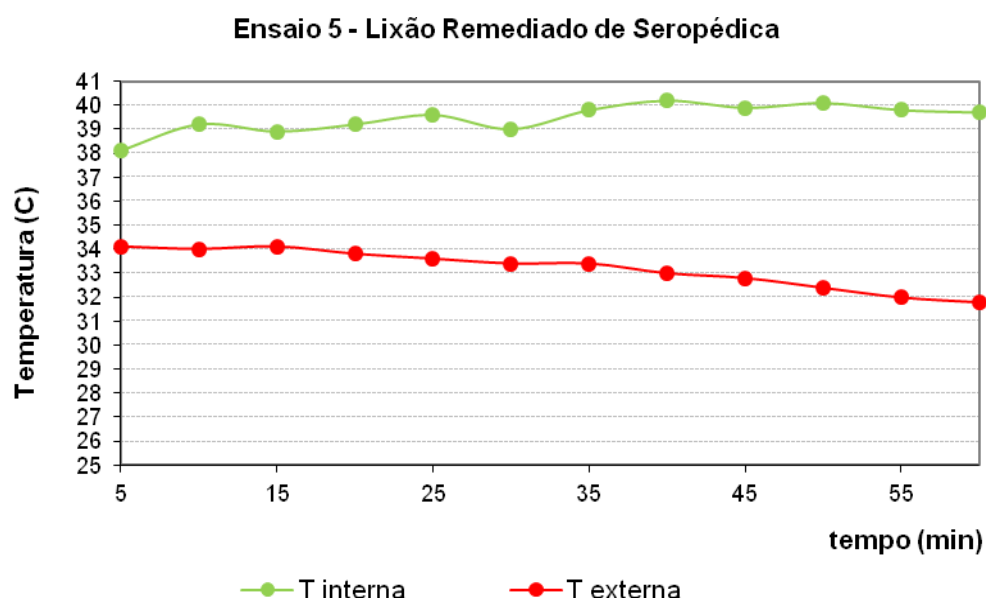


Figura 80 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E5.

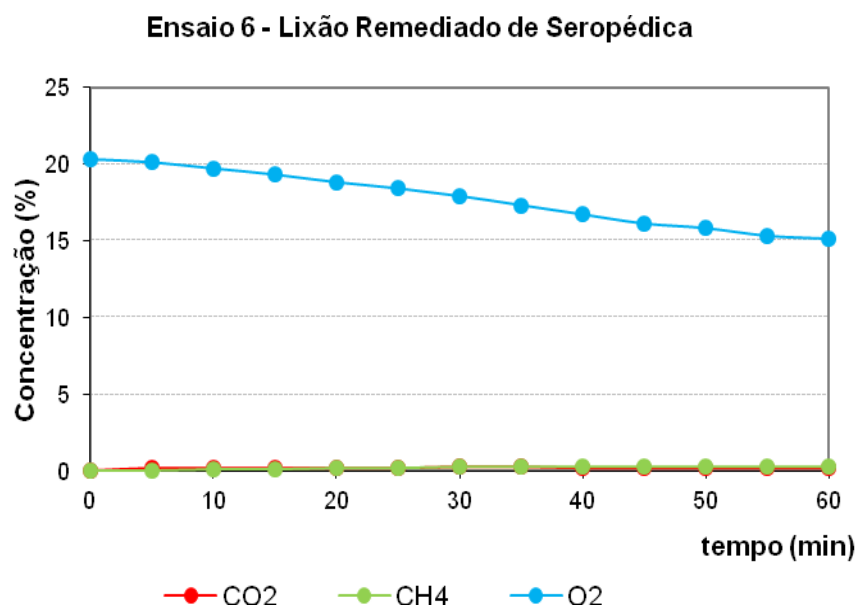


Figura 81 – Ensaio de placa de fluxo E6.

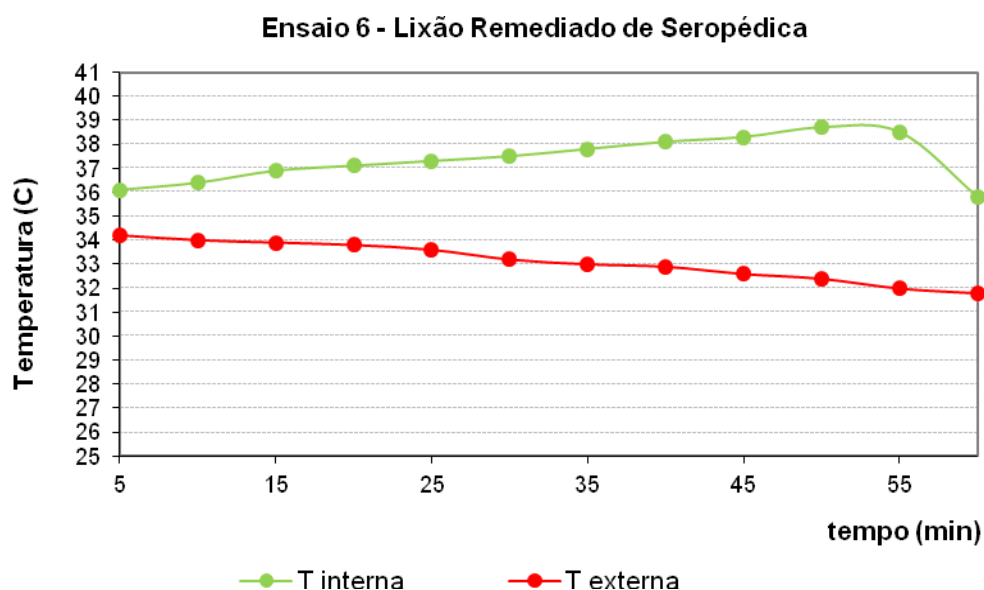


Figura 82 – Temperatura interna e externa do ensaio de placa de fluxo E6.

Tabela 20 – Resultados finais dos dados obtidos nos ensaios de placa de Fluxo no Lixão de Seropédica.

Ensaio	Data	Concentração final dos gases na Placa de Fluxo (%)			Temperatura Final (°C)		Tipo de camada de cobertura	Duração do ensaio (min)
		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Interna	Externa		
E 1	29/10/12	0,1	0,4	17,3	32,8	29,5	Monolítica	60
E 2	29/10/12	0,0	0,4	16,1	38,4	30,6	Monolítica	60
E 3	30/10/12	0,0	0,4	15,1	33,9	32,6	Monolítica	60
E 4	30/10/12	0,0	0,1	15,3	36,9	32,6	Monolítica	60
E 5	30/10/12	0,1	0,2	14,8	39,7	31,8	Monolítica	60
E 6	30/10/12	0,3	0,2	15,1	35,8	31,8	Monolítica	60

As curvas de O<sub>2</sub> são sempre decrescentes, sugerindo que não houve entrada de oxigênio durante o ensaio, seja pelas conexões, pelos tubos ou pelas laterais da placa.

Em todas as análises de placa de fluxo, realizadas no lixão de Seropédica, foi constatado que a concentração de gases pela cobertura do aterro é praticamente inexistente, variando entre 0,0 e 0,4% de CH<sub>4</sub>, também não sendo diferente para o CO<sub>2</sub>. Esses resultados indicam a possível não existência de fluxo pela camada, possivelmente pela presença dos 7 drenos, fazendo com que esses sejam o caminho preferencial. E ainda o tipo de compactação, a espessura da camada e o material utilizado para o recobrimento. Esse tipo de comportamento mostra coerência com o verificado por Moreira *et al.* (2011).

Em relação à variação da temperatura observou-se que a temperatura interna da placa é influenciada pela temperatura externa, isto é pela temperatura ambiente. É possível observar que em todos os resultados que as curvas apresentam a mesma forma e todas as temperaturas internas foram maiores que as externas.

As análises de pressão dos gases precisam ser mais bem investigadas, pois apresentaram valores nulos. A possível razão para este fato foi a sensibilidade do manômetro.

A Tabela 21 apresenta os fluxos de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> para cada ensaio.

Tabela 21 - Fluxo de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> através da camada no Lixão de Seropédica.

<b>Ensaio</b>	<b>Data</b>	<b>Fluxo (J CH<sub>4</sub>) g/m<sup>2</sup>.d</b>	<b>Fluxo (J CO<sub>2</sub>) g/m<sup>2</sup>.d</b>	<b>Tipo de camada de cobertura</b>
<b>E 1</b>	29/10/12	0,7	8,2	Monolítica
<b>E 2</b>	29/10/12	0,0	7,8	Monolítica
<b>E 3</b>	30/10/12	0,7	6,0	Monolítica
<b>E 4</b>	30/10/12	0,0	4,0	Monolítica
<b>E 5</b>	30/10/12	1,4	3,9	Monolítica
<b>E 6</b>	30/10/12	2,1	5,9	Monolítica

Os fluxos de CH<sub>4</sub> em g/m<sup>2</sup>.dia foram baixíssimos e os de CO<sub>2</sub> apresentaram valores baixos. Mariano (2008) encontrou valor tão baixo em somente um ensaio dos 19 ensaios realizados. Lopes (2011) destaca em seu estudo fluxos baixos semelhantes a esses em alguns pontos, devido, segundo a autora, as chuvas em dias anteriores aos ensaios.

Para todos os ensaios realizados no Lixão de Seropédica o período anterior sem chuva foi de no máximo 2 dias. Estando o solo bastante úmido no dia dos ensaios.

### Resultados Lixão de Seropédica – Drenos

Foram realizados no total 3 ensaios sendo 1 em cada dreno no mês de novembro de 2012. As Figuras 83 a 85 apresentam a variação de concentração dos gases em função do tempo de ensaio.

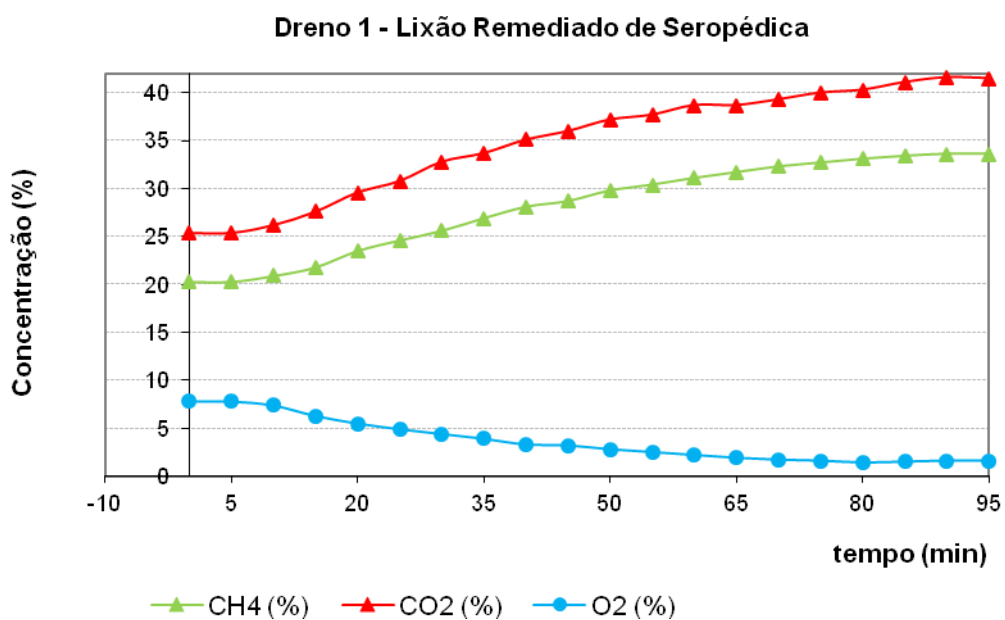


Figura 83 – Resultados do **Ensaio 1** de drenos no Lixão de Seropédica.

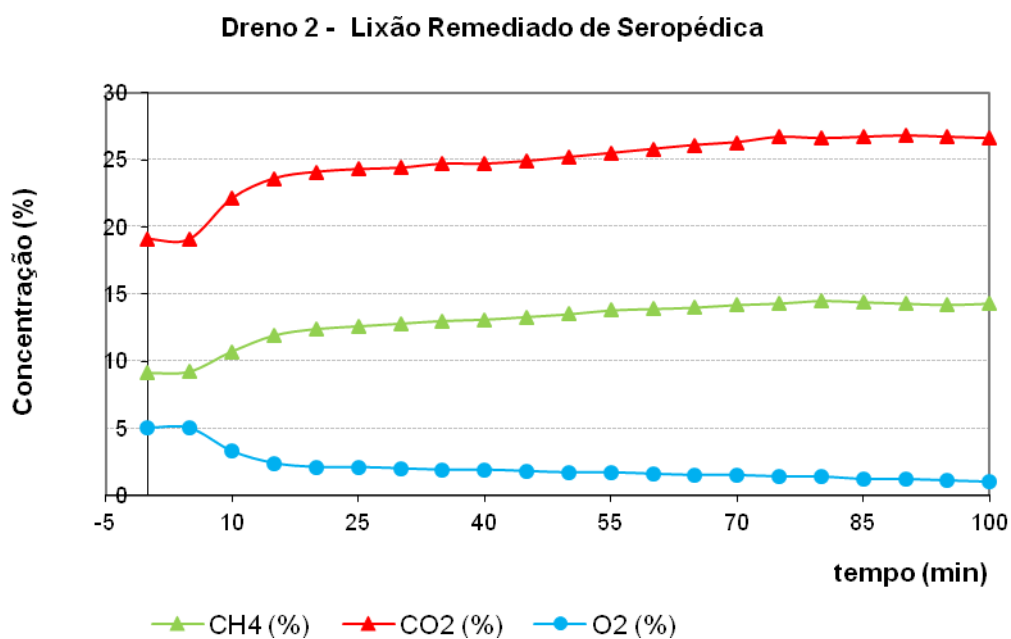


Figura 84 – Resultados do **Ensaio 2** de drenos no Lixão de Seropédica.

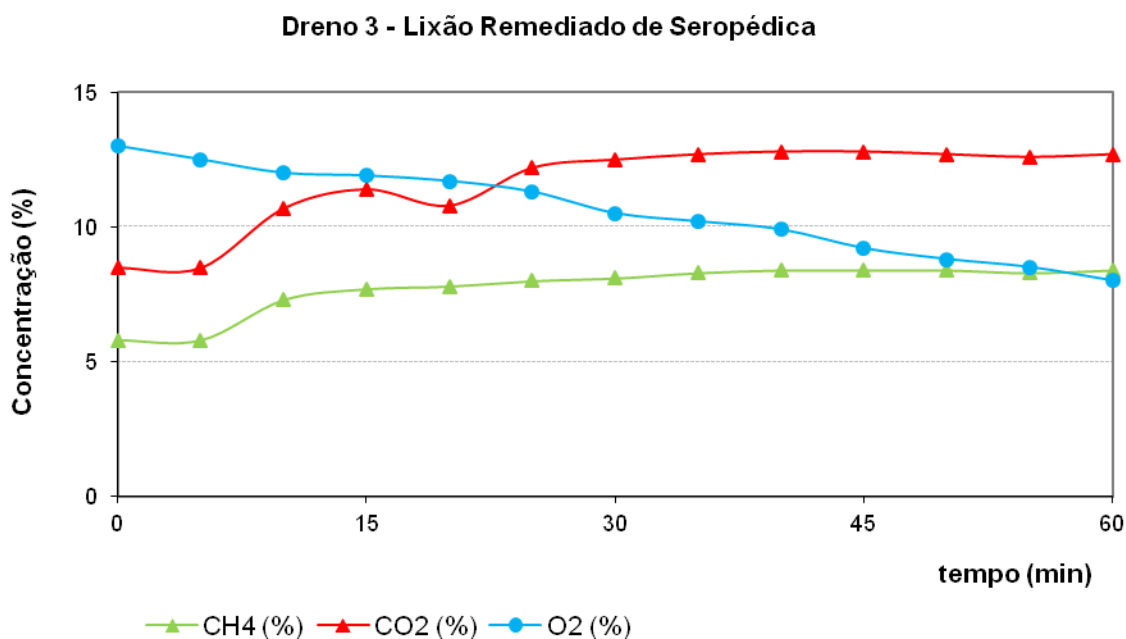


Figura 85 – Resultados do **Ensaio 3** de drenos no Lixão de Seropédica.

A menor concentração de CH<sub>4</sub> encontrada foi no dreno 3 com 5,8% e a maior com 36,6 % no ensaio 1. Esses valores são significativos, considerando que no *lixão*

de Seropédica não existe sistema de tratamento de gases, nem a queima dos mesmos.

Os gráficos mostram que as concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> foram crescentes e a de O<sub>2</sub> decrescente, indicando que não houve a entrada de ar. A inclinação é mais acentuada nos primeiros 5 minutos de ensaio. Após esses minutos iniciais as curvas tendem a manter-se constantes, indicando a estabilização da concentração dos gases corroborando com o resultados encontrados por Mariano (2008) e Fernandes (2009).

### 3.2.2.1 Considerações sobre as Relações entre as Condições “in Situ” da Camada de Cobertura e as Emissões Encontradas

O solo utilizado na construção da camada de cobertura foi uma areia silto argilosa compactada com 1,10 m de espessura e prevista em projeto, ainda uma fina camada de composto com a presença de grama, que remete as camadas metanotróficas. O grau de compactação esteve em torno de 88% e a umidade no ramo seco da curva. Somente as análises realizadas através da metodologia do frasco de areia identificaram o ponto da umidade no ramo úmido da reta. Os dias que antecederam os ensaios de frascos de areia foram de muita chuva. Ainda em relação a compactação da camada de cobertura somente o ensaio 1 esteve com compactação > 90%, sendo observado neste ensaio o menor fluxo de CH<sub>4</sub>.

Foram realizados 3 ensaios no platô superior do lixão e 3 na berma. Considerando os fluxos baixos encontrados através da camada de cobertura do Lixão, algumas considerações podem ser efetuadas:

- 1) a espessura da camada, com 1,10 m de espessura, com graus de compactação próximo a 90%, e a presença de vegetação;
- 2) a presença de chuva nos dias que antecederam os ensaios;
- 3) e presença de 7 drenos de gás, construídos no processo de remediação do Lixão.

## 4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- ✓ As metodologias da placa de fluxo e análise dos drenos, bem como suas configurações, mostraram-se adequadas para a realização dos ensaios, cujos procedimentos foram simples;
- ✓ A placa de fluxo pode ser usada como instrumento de acompanhamento nos projetos de extração ativa de gás, de forma a indicar locais com maior emissão fugitiva de gases e propiciar eventuais correções no projeto, como por exemplo, instalações de novos poços;
- ✓ Entendeu-se que existe uma eficiência do sistema ativo de extração de gás para impedir as emissões de gases fugitivos pela camada de cobertura do aterro da CTR Nova Iguaçu. A análise de resultados mostrou a quase inexistência de emissões fugitivas de metano através da camada de cobertura, quando os poços de biogás estavam ligados;
- ✓ No Lixão de Seropédica notou-se que os drenos formam caminhos preferenciais para a saída dos gases;
- ✓ Foram encontradas concentrações quase nulas pela camada de cobertura no lixão de Seropédica;
- ✓ O fluxo de  $\text{CO}_2$  em massa e em volume foi maior que o fluxo de  $\text{CH}_4$  sugerindo que, além de uma retenção física dos gases, existe uma possível atenuação biológica do  $\text{CH}_4$ , por meio de bactérias metanotróficas, que transformam parte do  $\text{CH}_4$  que atravessam a camada de cobertura em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ .
- ✓ Mais análises de placa de fluxo e drenos serão necessárias para se avaliar melhor as emissões do lixão de Seropédica.



#### **4.1 Sugestões para pesquisas futuras**

- ✓ Realizar análises de placa de fluxo, umidade e temperatura em meses diferentes;
- ✓ Realizar novas medições de emissões fugitivas, fluxo de percolados pela cobertura, umidade e temperatura em outros tipos de camadas de cobertura;
- ✓ Realizar os mesmos ensaios desta pesquisa nos outros aterros e também em diferentes épocas do ano para desta forma ter uma boa representatividade, estudar com mais dados a influência que tem os fatores climatológicos na emissão de gases.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 10004*. Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABRELPE. *Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil*. (2011). 184 p. São Paulo. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_2011.php](http://www.abrelpe.org.br/panorama_2011.php)>. Acesso em: 21 de janeiro de 2013.

AUGENSTEIN, D.;PACEY, J. (1991) *Modelling landfill methane generation*. Proceedings of the Third International Landfill Symposium. Sardenha, Italia. v. 1, p115-148.

ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas (1984). Apresenta os projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Procedimento. *NBR 8.419*.

BOGNER, J., DIAZ, C., ABDELRAFIE AHMED, M., GAO, Q., FAAIJ, A., MARECKOVA, K., HASHIMOTO, S., ZHANG, T., PIPATTI, R. (2007). Chapter Waste Management, in: *Climate Change 2007: Mitigation Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

BAHR, T.; FRICKE, K; HILLEBRECHT, K.; KOLSH, F.; REINHARD, B. (2006) *Clean Development Mechanism – Tratamento de resíduos sólidos e oxidação de gás metano para minimização de emissões*.

BAIRD, Colin. (2011) *Química Ambiental*. 4ª edição. Porto Alegre: ARTEMED. 844 p.

BRASIL. *Lei nº 12.305*, de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BENDER, M.; CONRAD, R. (1995) *Effect of CH<sub>4</sub> concentrations and soil conditions on the induction of CH<sub>4</sub> oxidation activity*. Soil Bio. Biochem. Vol. 27, No. 12, pp. 1517-1527.

BORJESSON, G., and SVENSSON, B. H. (1997). "*Seasonal and diurnal methane emissions from a landfill and their regulation by methane oxidation*". Waste Management Research, 15, 33-54.

CABRAL, A.R.; ARTEAGA, K.; RANNAUD, D.; AÏT-BENICHOUS, S.; POUËT, M.F.; ALLAIRE, S.; JUGNIA L-B.; GREER, C. W. (2007) *Analysis of methane oxidation and dynamics of methanotrophs within a passive methane oxidation barrier*. In: Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.

COSSU, R.; MUNTONI, A.; CHIARANTINI, L.; MASSACCI, G.; SERRA, P.; SCOLLETTA, A.; STERZI, G. (1997) *Biogas emission measurements using static and dynamic flux*, v. 4, p 103-114.

CZEPIEL, P.M.; MOSHER, B.; HARRISS, R. C. (1996) *Quantifying the effect of oxidation on landfill methane emissions*. Journal of Geophysical Research, v. 101, No D11, p 711-719.

COELHO, H. M. G, LANGE, L. C., SIMÕES, G. F., FERREIRA, C. F. A., VIANA, D. F. (2005) *Avaliação do desempenho de camadas de cobertura intermediárias e finais em células experimentais de disposição de resíduos sólidos urbanos*. IN; Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 23º, Campo Grande/MS.

CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G. F. (2011) *Utilização de resíduos de construção e demolição para cobertura intermediária de resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários*. IN; Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 26º, 2011, Porto Alegre/RS.

CHEN, H.; CONG, H.; ZHANG, M.; WU, W.; LIU, Y., FENG, J.(2011) *Impact of using high-density polyethylene geomembrane layer as landfill intermediate cover on landfill gas extraction*. Waste Management 31, pp. 821–822. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).

ENGEORPS - Engecorps Corpo de Engenheiros Consultores Ltda – Projeto e Memorial da Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu, 2002.

EPA. (2010). *Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources*. Relatório preparado pela Agência Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), Departamento de Programas Atmosféricos. Disponível na página da internet <http://www.epa.gov/methane/sources.html>. Acesso em Janeiro de 2011. 194p.

ENVIRONMENT AGENCY (2004) *Guidance on monitoring landfill gas surface emissions*, Landfill Directive vol.07, Bristol, UK. Setembro, 2004.

FRAL. (2011) *Projeto Executivo de Remediação e Encerramento do Vazadouro de Seropédica*. Seropédica, Rio de Janeiro. Fevereiro/2011. 188 p.

FERNANDES, J. G. (2009) *Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário Experimental*. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, MG, <[dspace.lcc.ufmg.br/dspace/.../1/juliana\\_gon\\_alves\\_Fernandes .pdf](http://dspace.lcc.ufmg.br/dspace/.../1/juliana_gon_alves_Fernandes.pdf)> acesso em 19 de dezembro de 2012.

GEBERT, J.; RACHOR, I.; GRÖNGRÖFT, A.; PFEIFFER, E. (2011a) *Temporal variability of soil gas composition in landfill covers*. Waste Management 31, pp. 935–945. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).

GEBERT, J.; RÖWER, I. U.; SCHARFF, H.; RONCATO, C. D. L.; CABRAL, A. R. (2011 b) *Can soil gas profiles be used to assess microbial CH<sub>4</sub> oxidation in landfill covers?* Waste Management 31, pp. 987–994. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).

HUMER, M.; LECHNER, P. (1999) *Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfills*. Waste Management & Research, v.17, p 443-452.

HUBER-HUMER, M.; Kjeldsen P.; Spokas, K. (2011a) *Special issue on landfill gas emission and mitigation*. Waste Management 31, pp. 821–822. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).

HUBER-HUMER, M.; Tintner, J.; Böhm, C.; Lechner, P. (2011b) *Scrutinizing compost properties and their impact on methane oxidation efficiency*. Waste Management 31, pp. 871–883. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).

IBGE, *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (2010). [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados\\_dou/RJ2010.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_dou/RJ2010.pdf). acesso em 16 de janeiro de 2012.

IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008)*. Rio de Janeiro. 219 p. Disponível em: < [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condição devida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condição%20devida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>. Acesso em: 20 fevereiro de 2012.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) *Good Practice Guidance Management in National Greenhouse Gas Inventories*.

LOPES, R.L. (2011). *Infiltração de água e emissão de metano em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. 250p.

LOPES, R.L.; MACIEL, F.J.; JUCÁ, J. F.T. (2012) *Evaluation of methane emissions from an experimental landfill of solid waste in muribeca /pe-brazil*. Revista aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. Vol. 5, No 1, 107 - 116.

MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F. T. (2011) *Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large-scale Experimental Cell in Brazil*. Waste Management 31, pp. 966–977. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).

MARINHO, F. A. M.; SOUZA, L. (2010) *Projeto de Pesquisa sobre sistema de cobertura de Aterro de RSU para oxidação biológica do metano*. Revista Limpeza Pública, no. 73, p. 6-13.

MOREIRA, F. G. S.; GOMES, E. R.; SAMPAIO, N. L. M.; SOUSA, B.S.; MOREIRA, D. R.; ALCÂNTARA, P. B. (2011) *Análise da Concentração do Biogás No Lixão de Juazeiro do Norte-Ce - 63ª Reunião Anual da SBPC*. Disponível em <http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/resumos/resumos/5821.htm>. Acessado em 21 de janeiro de 2013.

MACIEL, F. J. (2003) *Estudo da Geração, Percolação e Emissão de Gases no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca/PE*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 173 p.

MARIANO, M.O.H. (2008) *Avaliação da retenção de gases em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.

MATTOS, C. C. L. V.; SILVA, M. A. R.; OLIVEIRA, M. N.; COMBAT, I. B. (1996) *Boletim Agrometeorológico*, UFRRJ. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 5, n. 1, p. 208 - 215, 1998.

NIKIEMA, J., BRZEZINSKI, R., & HEITZ, M. (2007). *Elimination of methane generated from landfills by biofiltration: a review*. Rev Environ Sci Biotechnol , 6:261-284.

PARK S.; LEE, C. RYU, SUNG, K. (2009) *Biofiltration for Reducing Methane Emissions from Modern Sanitary Landfills at the low methane generation stage*. Water Air Soil Pollute. 196:19–27

PINTO, C. S. (2000). *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. Ed. Oficina de Textos.

Portal de Nova Iguaçu (2012) <http://viaiguassu.com/modules/googlemaps/>> acesso em 16 de janeiro de 2012

PALMISSANO, A.C e BARLAZ, M.A. (1996) *“Microbiology of solid waste”* CRS Press, Inc. Boca Raton, Florida –USA.

Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (2012) [http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/ndir1529/PNRS\\_consultaspublicas.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/ndir1529/PNRS_consultaspublicas.pdf)

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - (2010) *Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável*, Ministério do Meio Ambiente – MMA, São Paulo.

RACHOR, I.; GEBERT, J.; GRÖNGRÖFT, A.; PFEIFFER, E. (2001) *Assessment of the methane oxidation capacity of compacted soils intended for use as landfill cover materials*. Waste Management 31, pp. 833–842. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).

SIMÕES, G.F. (2007) *Avaliação do desempenho de barreiras evapotranspirativas utilizadas em camadas de cobertura final de aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos. Relatório Técnico Final de Projeto de Pesquisa*, FAPEMIG, Processo EDT 2158/03. 54p.

SCHEUTZ, C.; PEDICONE, A.; PEDERSEN, G.B.; KJELDSSEN, P. (2011a) *Evaluation of respiration in compost landfill biocovers intended for methane*

*oxidation*. Waste Management 31, pp. 895–902. journal homepage: [www.elsevier.com/](http://www.elsevier.com/).

SCHEUTZ, C.; FREDENSLUND, A. M.; CHANTON, J.; PEDERSEN, G.B.; KJELDSEN, P. (2011b) *Mitigation of methane emission from Fakse landfill using a biowindow system*. Waste Management 31, pp. 409–433. journal homepage: [www.elsevier.com/](http://www.elsevier.com/).

SCHEUTZ, C.; BOGNER, J.; CHANTON, J.P; BLAKE, D.; MORCET, M.; KJELDSEN, P. (2003) *Comparative oxidation and net emissions of CH<sub>4</sub> and selected non-methane organic compounds in landfill cover soils*. Environmental Science and Technology, 37, pp. 5143-5149.

SCHEUTZ, C.; KJELDSEN, P.; BOGNER, J.; DE VISSCHER, A.; GEBERT, J.; HILGER, H.A.; HUBER-HUMER, H.; SPOKAS, K. (2009) *Microbial methane oxidation process and technologies for mitigation on of landfill gas emissions*. Waste Management 31, pp. 1018–1028. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).

SPOKAS, K. A.; BOGNER J. E. Limits and dynamics of methane oxidation in landfill cover soils (2011). *Mitigation of methane emission from Fakse landfill using a biowindow system*. Waste Management 31, pp. 823–832. Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).

SILVA, E.G.M. (2011) *Estudo Experimental de gases em Camadas de Cobertura no Aterro Sanitário de Nova Iguaçu*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 109 p.

SILVA, E.G.M E RITTER, E. (2011) *Fluxo de Gases em Camadas de Cobertura Monolítica e Barreira Capilar no Aterro Sanitário de Nova Iguaçu (RJ)* VII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e VI Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Belo Horizonte, cd-rom.



SCS ENGINEERS – Projeto e Melhorias no Sistema de captação do Biogás da CTR Nova Iguaçu. (2008).

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S., 1993. *Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues*. IRWIN/McGRAWHILL, USA.

TEIXEIRA, P. F.; LIOTTI, R. G.; TORVES, J. C.; FINOTTI, A. R. CABRAL, A. ; VAZOLLER, R. F. TEIXEIRA, C. E.; MARINHO, F.A.M. (2007). Processo de Oxidação do metano através das bactérias metanotróficas em coberturas de aterros sanitários. In: VI Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados – Salvador, BA.

UBAVIN, D.; VOJNOVIC, Z.; VUJIC, G.; BATINIC, B.; AND STANISAVLJEVIC., N. *Influence of ambient temperature to methane production at msw landfill of novi sad*. Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Venice, Italy; 2010

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY ; USEPA. 1991. *"Seminar Publication design and construction of RCRA/CERCLA final Covers"*. EPA/625/4-91/025.

VARGAS, M. (1914). *Introdução à mecânica dos solos*. São Paulo, Mcgraw-Hill do Brasil, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977, pg 33-37.

VIANA, T.A.P. *Análise das Estimativas de Emissão de Metano Por Aterros Sanitários em Projetos de MDL no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

**APÊNDICE 1 - Ensaio de Laboratório para Determinação da Granulometria, Limites de Atterberg, Densidade e Compactação da CTR Nova Iguaçu.**

PROJETO: Mestrado	AMOSTRA: N1
LOCAL: CTR Nova Iguaçu	
DESCRIÇÃO: Camada de cobertura	Data : 14/02/2013

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE**

Cápsula N°	304	361
Solo um.+tara(g)	95,38	97,08
Solo seco+tara(g)	94,19	95,86
Tara (g)	16,63	15,66
Água (g)	1,19	1,22
Solo seco (g)	77,56	80,2
Teor de umid.%	1,53	1,52
Média %	1,53	

**PENEIRAMENTO GROSSO**

Peneiras		Peso da massa seca (g)		% pas. am. total
N°(ASTM)	mm (ABNT)	Retido	Passando	
2"	50	0,00		100
1 1/2"	38	0,00		100
1"	25	32,18	1929,54	98
3/4"	19	27,32	1902,22	97
3/8"	9,5	2,53	1899,69	97
4	4,8	6,11	1893,58	97
10	2	42,47	1851,11	94

**PENEIRAMENTO GROSSO (g)**

Amostra total úmida	1990,00	Peneiras		Peso da massa seca (g)		% pas. am. parcial	% pas. am. total
		N°	mm	Retido	Passando		
Solo seco retido #10	110,6						
Solo úmido pas. #10=(A-B)	1879,4	16	1,20	5,62	84,19	93,7	88
Solo seco pas.#10=C/(100+h)	1851,1	30	0,60	12,84	71,35	79,4	75
Amostra total seca =B+D	1961,7	40	0,42	9,02	62,33	69,40	65
<b>PENEIRAMENTO FINO (g)</b>		50	0,30	4,76	57,57	64,10	60
Peso da amostra úmida=PU	91,18	100	0,15	11,34	46,23	51,47	49
Peso am.seca=PU/(100+h)	89,81	200	0,075	7,18	39,05	43,48	41

### SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Leitura (L)	Correção devido à temper.	Leitura corrigida (LC)	Altura de queda (LQ)	Diâmetro dos grãos (mm)	% Passando am. total
14/02/13	08:50	30	30,0	1025,0	-2,0	23,00	11,29	0,064	38
	08:51	60	30,0	1024,0	-2,0	22,00	11,46	0,046	37
	08:52	120	30,0	1023,0	-2,0	21,00	11,62	0,032	35
	08:55	300	30,0	1022,0	-2,0	20,00	10,98	0,020	33
	09:00	600	30,0	1020,0	-2,0	18,00	11,30	0,014	30
	09:10	1200	30,0	1018,0	-2,0	16,00	11,63	0,010	27
	09:30	2400	29,0	1017,0	-2,3	14,70	11,85	0,007	25
	10:10	4800	29,0	1015,0	-2,3	12,70	12,18	0,005	21
	12:50	14400	27,0	1014,0	-2,6	11,40	12,39	0,003	19
15/02/13	08:50	86400	30,0	1010,0	-2,0	8,00	12,95	0,001	13
Densímetro:	21768/11		Gs =	2,704	Proveta N°	23	Área =	29,706	cm <sup>2</sup>
Volume:	48,066								



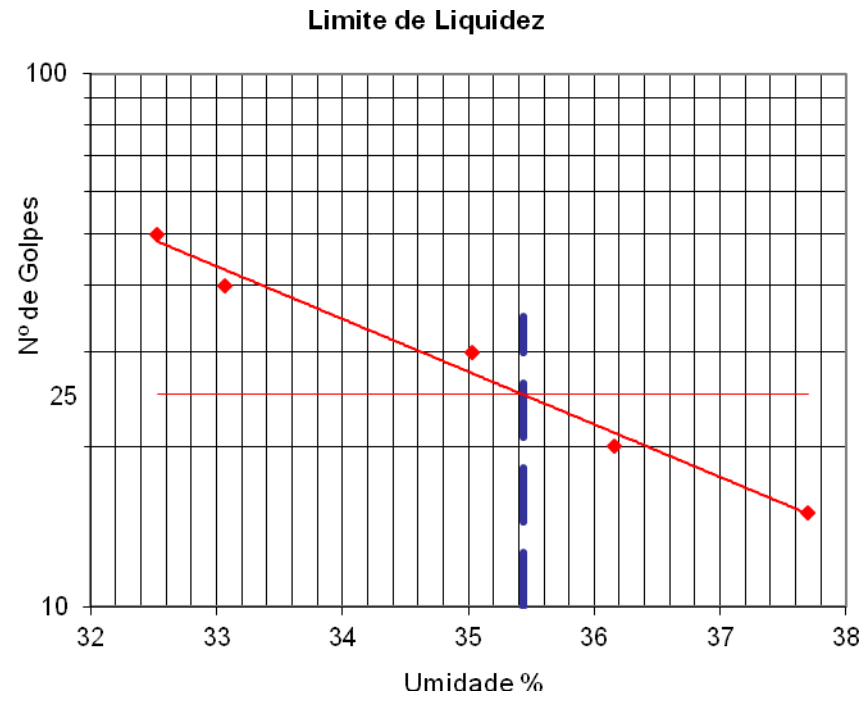
**LIMITE DE LIQUIDEZ**

Cápsula N°	Cáp.e Solo Úmido (g)	Cáp. e Solo Seco (g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)	N° de Golpes
443	20,52	17,14	6,75	3,38	10,39	32,53	50
482	20,71	17,38	7,31	3,33	10,07	33,07	40
484	23,21	19,36	8,37	3,85	10,99	35,03	30
405	21,62	17,82	7,31	3,80	10,51	36,16	20
449	20,55	16,98	7,51	3,57	9,47	37,70	15

**LIMITE DE PLASTICIDADE**

Cápsula N°	Cáp.e Solo Úmido (g)	Cáp. e Solo Seco (g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)	Limite de Plastic.(%)
437	10,06	9,73	8,32	0,33	1,41	23,40	23,3
477	9,93	9,60	8,18	0,33	1,42	23,24	
496	9,33	8,95	7,36	0,38	1,59	23,90	
417	9,24	8,92	7,50	0,32	1,42	22,54	
441	9,15	8,86	7,61	0,29	1,25	23,20	

<b>LL (%)</b>	<b>35,43</b>
<b>LP (%)</b>	<b>23,26</b>
<b>IP (%)</b>	<b>12,18</b>



**DENSIDADE REAL DOS GRÃOS**

Ensaio Nº		1	2	3
Temperatura da água e solo °C	T	26	26	26
Picnômetro No		26	27	28
Picnômetro + solo seco (g)		51,55	51,14	47,71
Picnômetro (g)		32,80	32,92	29,76
Picnômetro + água (g)	Pw	85,31	87,97	80,50
Picnômetro + solo + água (g)	Pws	97,10	99,44	91,79
Solo seco (g)	Ps	18,75	18,22	17,95
Água deslocada $Ps + Pw - Pws$ (g)		6,96	6,75	6,66
Fator de correção	K	1,0028	1,0028	1,0028
Densidade real dos grãos	Gs	2,702	2,707	2,703
$PsK / (Ps + Pw - Pws)$	Média	2,704		

### ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Molde N°	25		25		15		3		65	
Água adicionada (g)	300		400		500		600		700	
Am. úmida+molde (g)	9022		9254		9505		8356		9217	
Peso do molde (g)	5298		5298		5305		4135		5070	
Peso am. úmida (g)	3724		3956		4200		4221		4147	
Vol. molde (cm <sup>3</sup> )	2100		2100		2106		2084		2065	
Mas.esp.úm.(g/cm <sup>3</sup> )	1,773		1,884		1,994		2,025		2,008	
Cápsula N°	511	364	593	368	557	521	340	11	351	534
Am úmida+tara (g)	92,54	94,52	91,36	93,40	87,04	86,42	88,82	86,06	82,76	83,75
Am. seca+tara (g)	84,65	86,86	82,10	84,35	77,36	76,97	78,30	75,57	71,94	72,00
Tara (g)	12,06	16,71	13,10	15,53	10,84	13,39	17,35	14,76	16,56	12,24
Peso da água (g)	7,89	7,66	9,26	9,05	9,68	9,45	10,52	10,49	10,82	11,75
Peso da am. seca (g)	72,59	70,15	69,00	68,82	66,52	63,58	60,95	60,81	55,38	59,76
Umidade (%)	10,87	10,92	13,42	13,15	14,55	14,86	17,26	17,25	19,54	19,66
Umidade média (%)	10,9		13,3		14,7		17,3		19,6	
Mas.esp.sec.(g/cm <sup>3</sup> )	1,599		1,663		1,739		1,727		1,679	

Golpes por camada ( 5 camadas)	12
Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,744
Umidade ótima (%)	15,4
CBR (%)	22,5
Expansão (%)	0,29



**APÊNDICE 2** - Ensaio de Laboratório para Determinação da Granulometria, Limites de Atterberg, Densidade e Compactação.

PROJETO:Mestrado	AMOSTRA:S1
LOCAL: Lixão de Seropedica	
DESCRIÇÃO:Camada de cobertura	Data : 14/01/2013

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE**

Cápsula N°	583	362
Solo um.+tara(g)	96,25	94,50
Solo seco+tara(g)	95,44	93,72
Tara (g)	12,80	15,47
Água (g)	0,81	0,78
Solo seco (g)	82,64	78,25
Teor de umid.%	0,98	1,00
Média %	0,99	

**PENEIRAMENTO GROSSO**

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am. total
N°(ASTM)	mm(ABNT)	Retido	Passando	
2"	50	0,00		100
1 1/2"	38	0,00		100
1"	25	0,00		100
3/4"	19	0,00		100
3/8"	9,5	3,27	1977,90	100
4	4,8	11,75	1966,15	99
10	2	61,13	1905,02	96

**PENEIRAMENTO GROSSO (g)**

**PENEIRAMENTO FINO (g)**

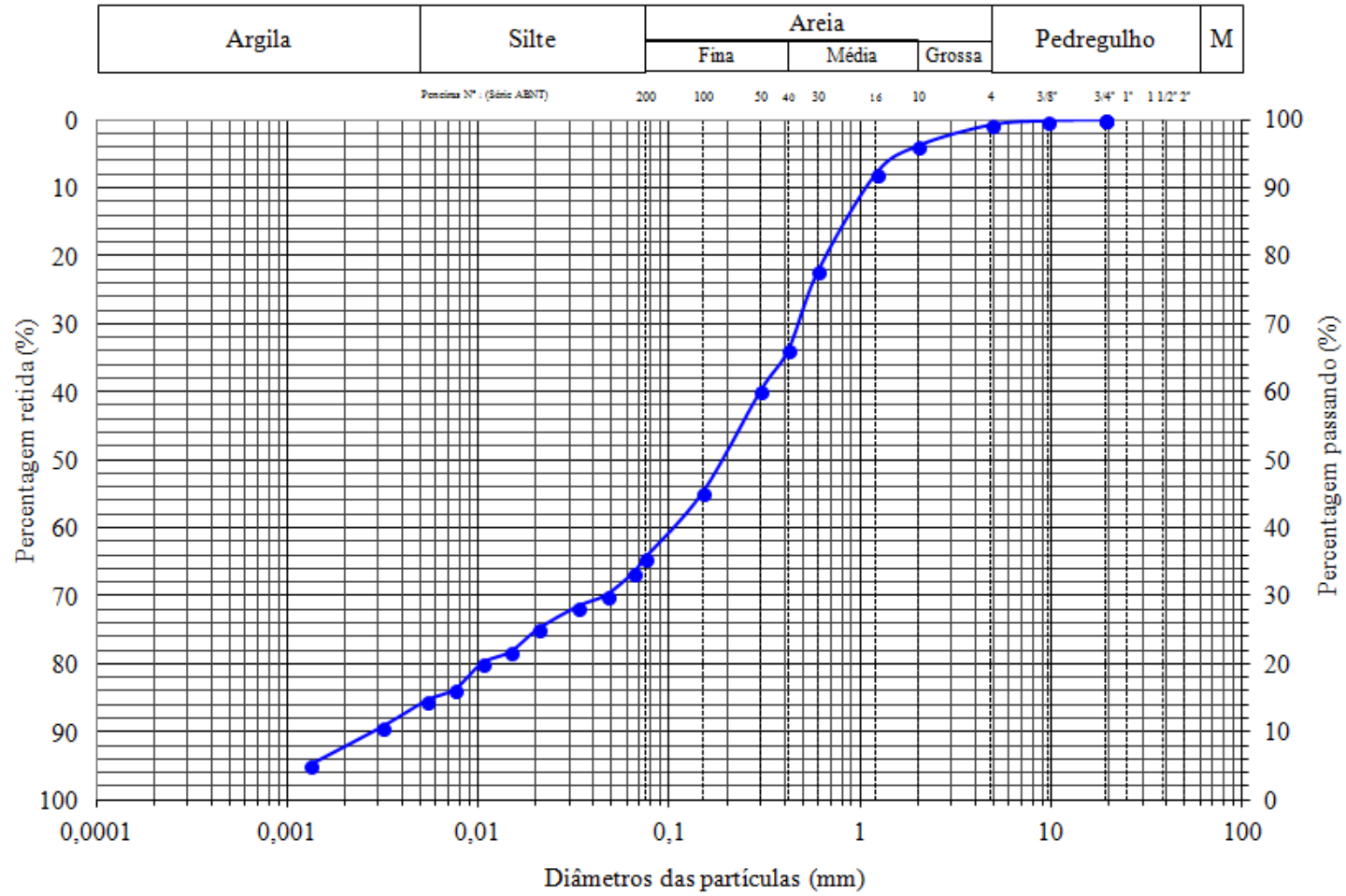
Amostra total úmida	2000,00	Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am. parcial	% pas. am. total
		N°	mm	Retido	Passando		
Solo seco retido #10	76,2	16	1,20	3,96	87,12	95,7	92
Solo úmido pas. #10=(A-B)	1923,9	30	0,60	13,51	73,61	80,8	78
Solo seco pas.#10=C/(100+h)	1905,0	40	0,42	10,97	62,64	68,77	66
Amostra total seca =B+D	1981,2	50	0,30	5,72	56,92	62,49	60
<b>PENEIRAMENTO FINO (g)</b>		50	0,30	5,72	56,92	62,49	60

Peso da amostra úmida=PU	91,98	100	0,15	14,08	42,84	47,04	45
Peso am.seca=PU/(100+h)	91,08	200	0,075	9,16	33,68	36,98	36

### SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Leitura (L)	Correção devido à temper.	Leitura corrigida (LC)	Altura de queda (LQ)	Diâmetro dos grãos (mm)	% Passando am. total
14/02/13	09:05	30	30,0	1022,0	-2,0	20,00	11,79	0,065	33
	09:06	60	30,0	1020,0	-2,0	18,00	12,11	0,047	30
	09:07	120	30,0	1019,0	-2,0	17,00	12,28	0,033	28
	09:10	300	30,0	1017,0	-2,0	15,00	11,77	0,021	25
	09:15	600	30,0	1015,0	-2,0	13,00	12,10	0,015	22
	09:25	1200	30,0	1014,0	-2,0	12,00	12,26	0,011	20
	09:45	2400	29,0	1012,0	-2,3	9,70	12,64	0,008	16
	10:25	4800	29,0	1011,0	-2,3	8,70	12,81	0,005	15
	13:05	14400	27,0	1009,0	-2,6	6,40	13,18	0,003	11
15/02/13	09:05	86400	30,0	1005,0	-2,0	3,00	13,74	0,001	5
Densímetro:	21768/11		Gs =	2,718	Proveta N°	16	Área =	28,748	cm <sup>2</sup>
Volume:	48,066								

Curva Granulométrica



**DENSIDADE REAL DOS GRÃOS**

Ensaio N°		1	2	3
Temperatura da água e solo °C	T	26	26	26
Picnômetro No		22	23	24
Picnômetro + solo seco (g)		52,95	50,17	51,32
Picnômetro (g)		34,33	31,67	32,48
Picnômetro + água (g)	Pw	84,33	85,76	84,30
Picnômetro + solo + água (g)	Pws	96,09	97,43	96,18
Solo seco (g)	Ps	18,62	18,50	18,84
Água deslocada $Ps + Pw - Pws$ (g)		6,86	6,83	6,96
Fator de correção	K	1,0028	1,0028	1,0028
Densidade real dos grãos	Gs	2,722	2,716	2,714
$PsK / (Ps + Pw - Pws)$	Média	2,718		

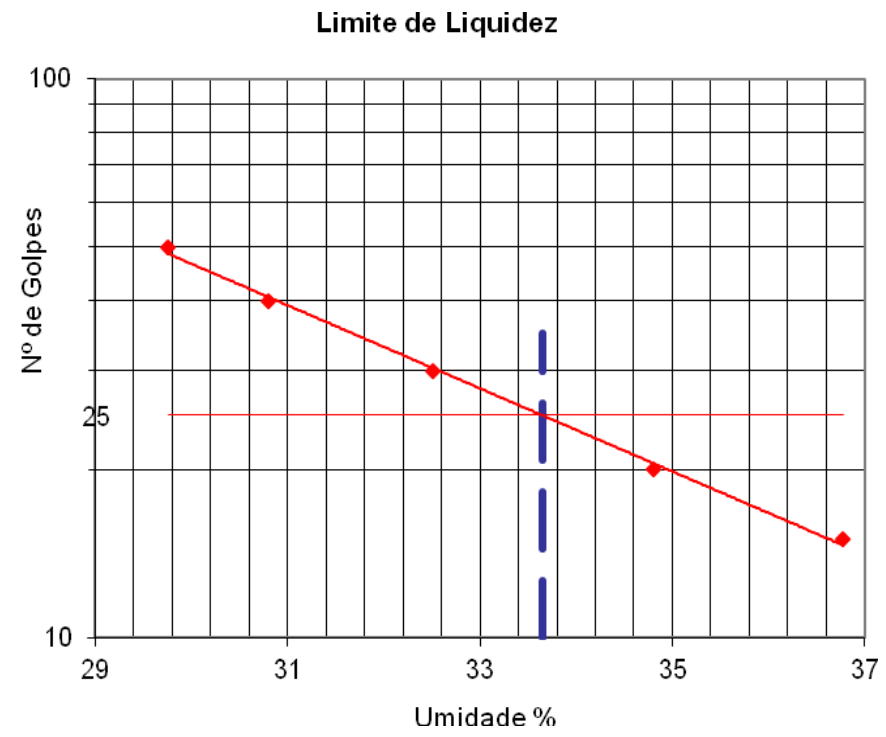
**LIMITE DE LIQUIDEZ**

Cápsula N°	Cáp.e Solo Úmido (g)	Cáp. e Solo Seco (g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)	N° de Golpes
402	19,87	17,01	7,40	2,86	9,61	29,76	50
485	20,00	17,00	7,26	3,00	9,74	30,80	40
414	19,58	16,54	7,19	3,04	9,35	32,51	30
479	18,55	15,40	6,35	3,15	9,05	34,81	20
487	21,84	17,92	7,26	3,92	10,66	36,77	15

**LIMITE DE PLASTICIDADE**

Cápsula N°	Cáp.e Solo Úmido (g)	Cáp. e Solo Seco (g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)	Limite de Plastic.(%)
475	9,21	8,77	6,54	0,44	2,23	19,73	20,2
492	10,83	10,38	8,21	0,45	2,17	20,74	
454	8,81	8,37	6,21	0,44	2,16	20,37	
431	10,09	9,64	7,37	0,45	2,27	19,82	
446	10,22	9,77	7,54	0,45	2,23	20,18	

<b>LL (%)</b>	<b>33,65</b>
<b>LP (%)</b>	<b>20,17</b>
<b>IP (%)</b>	<b>13,48</b>



### ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Molde N°	37		36		28		7		22	
Água adicionada (g)	300		400		500		600		700	
Am. úmida+molde (g)	9367		9566		9561		9665		9302	
Peso do molde (g)	5273		5305		5238		5395		5102	
Peso am. úmida (g)	4094		4261		4323		4270		4200	
Vol. molde (cm <sup>3</sup> )	2104		2103		2049		2075		2101	
Mas.esp.úm.(g/cm <sup>3</sup> )	1,946		2,026		2,110		2,058		1,999	
Cápsula N°	546	549	517	582	570	581	523	575	363	318
Am úmida+tara (g)	88,96	87,35	88,62	87,32	89,26	85,33	93,08	95,82	94,59	97,18
Am. seca+tara (g)	81,23	79,86	79,85	78,68	79,57	76,24	81,31	83,46	81,90	84,36
Tara (g)	12,19	12,45	12,43	12,86	14,43	14,96	13,24	11,93	15,08	16,83
Peso da água (g)	7,73	7,49	8,77	8,64	9,69	9,09	11,77	12,36	12,69	12,82
Peso da am. seca (g)	69,04	67,41	67,42	65,82	65,14	61,28	68,07	71,53	66,82	67,53
Umidade (%)	11,20	11,11	13,01	13,13	14,88	14,83	17,29	17,28	18,99	18,98
Umidade média (%)	11,2		13,1		14,9		17,3		19,0	
Mas.esp.sec.(g/cm <sup>3</sup> )	1,751		1,792		1,837		1,755		1,680	

Golpes por camada ( 5 camadas)	12
Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,837
Umidade ótima (%)	14,7
CBR (%)	16,8
Expansão (%)	0,24

### APÊNDICE 3 – Ensaio de Placa Nova Iguaçu

Data:17/10/12

Horadeinício:10:07

CoordenadasGPS:Ponto184-S22.67321W043.48009

Rach.:SIM

Placa:Quadrada

Clima:Nublado

Nºdoensaio:Ensaio01

Camada:Monolítica

Hora	Intervalo	Concentrações			Temp.int.	Temp.ext.	Pressão	Pressãoatm
	tempo(min)	CH4(%)	CO2(%)	O2(%)			interna	
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
10:07	5	0.0	0.2	21.3	31.0	28.9	-4/0	1002.6
10:12	10	0.0	0.2	20.1	31.4	28.7	-4/0	1002.5
10:17	15	0.0	0.3	20.9	31.2	29.1	-4/0	1002.7
10:22	20	0.0	0.3	20.5	32.0	29.4	-4/0	1002.7
10:27	25	0.0	0.3	20.2	31.3	30.3	-5/0	1002.7
10:32	30	0.0	0.3	19.9	31.8	30.0	-4/0	1002.8
10:37	35	0.0	0.3	19.7	31.3	29.5	-4/0	1002.8
10:42	40	0.1	0.3	19.2	31.5	29.9	-5/0	1002.8
10:47	45	0.1	0.3	18.9	31.5	30.0	-4/0	1003.0
10:52	50	0.1	0.4	18.4	31.6	29.9	-5/0	1003.0
10:57	55	0.1	0.4	17.8	31.6	29.4	-4/0	1003.0
11:02	60	0.1	0.4	17.3	30.9	29.8	-4/0	1003.0



ata: 17/10/12  
 ora de início: 12:40 Rach.: SIM  
 coordenadas GPS: Ponto 185 - S 22.67270 W  
 43.48036

Placa:Quadrada  
 Clima:Ensolarado

Nº do ensaio:Ensaio02  
 Camada:Monolítica

Hora	Intervalo tempo (min)	Concentrações			Temp. int. °C	Temp. ext. °C	Pressão interna Pa	Pressão atm hPa
		CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)				
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
12:40	5	00.9	00.8	19.9	37.0	32.1	0	1001.1
12:45	10	01.3	01.1	19.4	36.7	30.5	0	1001.2
12:50	15	01.5	01.3	19.1	37.2	31.3	0	1001.1
12:55	20	01.8	01.6	18.8	36.9	30.8	-4/0	1001.2
13:00	25	02.0	01.8	18.5	36.5	32.0	0	1001.1
13:05	30	02.3	02.2	18.3	35.7	31.4	0	1001.1
13:10	35	02.6	02.4	18.0	36.4	31.2	0	1001.2
13:15	40	02.8	02.7	17.7	36.00	31.5	0	1001.1
13:20	45	03.2	03.1	17.5	36.8	31.5	0	1001.1
13:25	50	03.3	03.2	17.3	37.0	31.6	0	1001.1
13:30	55	03.5	03.5	17.0	36.7	31.2	0	1001.1
13:35	60	03.7	03.7	19.9	36.9	31.3	0	1001.1
13:40	65	04.0	04.0	16.5	37.2	32.2	0	1001.2
13:45	70	04.1	04.2	16.2	37.6	31.3	0	1001.1
13:50	75	04.3	04.4	15.7	36.9	30.6	0	1001.1
13:55	80	04.5	04.7	15.2	36.4	32.1	0	1001.1
14:00	85	04.6	04.8	14.8	36.7	31.2	0	1001.1
14:05	90	04.7	05.1	14.3	37.1	31.0	0	1001.1
14:10	95	04.6	05.1	13.9	37.5	31.1	0	1001.1
14:15	100	04.6	05.2	13.4	37.9	31.2	0	1001.1

ta:12/11/12

ra:início:8:40

ordenadasGPS:Ponto196-S22.67300W043.48086

Rach.:Não

Placa:Quadrada

Clima:Ensolarado

Nºdoensaio:Ensaio03

Camada:Monolítica

Hora	Intervalo	Concentrações			Temp.int.	Temp.ext.	Pressão	Pressãoatm
	tempo(min)	CH4(%)	CO2(%)	O2(%)			interna	
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
8:40	5	00.9	00.9	20.7	28.5	27.0	4	1001.5
8:45	10	01.2	01.1	20.3	28.6	27.2	4	1001.6
8:50	15	01.5	01.4	19.9	29.5	27.7	0	1001.7
8:55	20	02.0	01.8	19.4	30.3	28.3	0	1001.7
9:00	25	02.5	02.2	19.0	29.4	28.9	0	1001.7
9:05	30	02.9	02.9	18.8	29.2	28.3	0	1001.7
9:10	35	03.4	03.3	18.7	30.0	28.9	0	1001.6
9:15	40	03.8	03.6	18.6	30.1	29.2	0	1001.7
9:20	45	04.2	03.9	18.4	29.0	28.9	0	1001.7
9:25	50	04.6	04.3	18.1	28.9	28.5	0	1001.8
9:30	55	04.9	04.7	17.9	29.0	28.4	0	1001.8
9:35	60	05.3	05.0	17.8	31.0	28.0	0	1001.8
9:40	65	05.7	05.7	17.6	30.9	28.8	0	1001.8
9:45	70	06.5	06.0	17.4	31.6	29.5	0	1001.8
9:50	75	06.8	04.4	17.0	32.0	30.7	0	1001.8
9:55	80	07.2	06.0	16.3	32.8	30.0	0	1001.8
10:00	85	07.1	06.8	16.0	32.9	31.0	0	1001.8

ta:12/11/12  
 radeinício:8:40  
 ordenadasGPS:Ponto197-S22.67318W043.48048

Placa:Quadrada  
 Clima:Ensolarado

Nºdoensaio:Ensaio04  
 Camada:Monolítica

Hora	Intervalo	Concentrações			Temp.int.	Temp.ext.	Pressão	Pressãoatm
	tempo(min)	CH4(%)	CO2(%)	O2(%)			interna	
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
10:40	5	00.2	00.3	19.0	36.1	33.2	0	1001.3
10:45	10	00.2	00.4	18.8	34.7	32.5	0	1001.5
10:50	15	00.3	00.5	18.7	34.3	32.7	0	1001.5
11:00	20	00.4	00.6	18.5	34.0	32.1	-4/0	1001.5
11:05	25	00.5	00.8	18.3	33.6	32.7	0	1001.5
11:10	30	00.5	00.9	18.1	33.0	32.0	0	1001.4
11:15	35	00.7	01.0	18.0	32.8	32.0	0	1001.4
11:20	40	00.9	01.2	17.8	31.5	31.0	0	1001.5
11:25	45	00.8	01.5	17.5	30.4	30.2	0	1001.4
11:30	50	00.8	01.8	17.2	31.6	30.0	0	1001.3
11:35	55	00.8	02.0	17.0	32.0	30.9	0	1001.3
11:40	60	00.7	02.6	19.9	32.6	31.0	0	1001.3
11:45	65	00.6	02.9	16.5	33.0	31.5	0	1001.3

ta:12/11/12  
 radeinício:12:20  
 ordenadasGPS:Ponto198-S22.67337W043.48019

Placa:Quadrada  
 Clima:Ensolarado

Nºdoensaio:Ensaio05  
 Camada:Monolítica

Hora	Intervalo	Concentrações			Temp.int.	Temp.ext.	Pressão	Pressãoatm
	tempo(min)	CH4(%)	CO2(%)	O2(%)			interna	
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
12:20	5	00.0	00.1	19.9	37.2	32.1	0	1001.2
12:25	10	00.0	00.1	19.4	37.7	32.8	0	1001.2
12:30	15	00.0	00.2	19.1	38.0	32.2	0	1001.2
12:35	20	00.0	00.1	18.8	38.5	32.0	0	1001.2
12:40	25	00.0	00.1	18.5	38.2	31.8	0	1001.1
12:45	30	00.0	00.1	18.3	38.9	31.4	0	1001.1
12:50	35	00.0	00.1	18.0	37.9	31.2	0	1001.1
12:55	40	00.0	00.1	17.7	37.0	31.5	0	1001.1
13:00	45	00.0	00.1	17.5	37.8	31.7	0	1001.1
13:05	50	00.0	00.1	17.3	38.1	31.6	0	1001.1
13:10	55	00.0	00.1	17.0	38.4	31.2	0	1001.1
13:15	60	00.0	00.1	19.9	38.7	31.3	0	1001.1

ta:12/11/12

ra:início:14:00

Rach.:Não

Placa:Quadrada

Clima:Ensolarado

Nºdoensaio:Ensaio06

Camada:Monolítica

ordenadasGPS:Ponto198-S22.67277W043.48082

Hora	Intervalo	Concentrações			Temp.int.	Temp.ext.	Pressão	Pressãoatm
	tempo(min)	CH4(%)	CO2(%)	O2(%)			interna	
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
14:00	5	00.3	00.3	20.5	38.0	32.0	-4	1000.4
14:05	10	00.5	00.4	20.3	38.2	35.0	0	1000.4
14:10	15	00.8	00.6	20.1	38.0	34.3	0	1000.4
14:15	20	00.9	00.7	19.9	38.5	34.1	0	1000.3
14:20	25	01.3	00.9	19.8	38.2	32.7	0	1000.4
14:25	30	01.4	01.1	19.7	38.9	33.3	0	1000.4
14:30	35	01.8	01.4	19.0	37.9	33.0	0	1000.1
14:35	40	2.0	01.5	18.4	37.0	32.4	0	1000.4
14:40	45	02.5	01.8	18.1	37.8	33.0	0	1000.8
14:45	50	02.7	02.0	17.6	35.0	32.7	0	1000.4
14:50	55	02.6	02.3	17.1	35.4	31.2	0	1000.0
14:55	60	02.6	02.6	16.7	35.2	32.1	0	1000.4

## APENDICE 4 – Ensaio de Placa *Lixão* de Seropédica

ata: 29/10/12

ora de início: 8:55

coordenadas GPS: Ponto 186 - S 22.73828 W

43.68356

Rach.: SIM

Placa:Quadrada  
Clima:Ensolarado

Nº do ensaio:Ensaio01  
Camada:Monolítica

Hora	Intervalo tempo (min)	Concentrações			Temp. int. °C	Temp. ext. °C	Pressão interna Pa	Pressão atm hPa
		CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)				
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
8:55	5	0.0	0.2	21.3	32.7	29.3	0	1008.3
9:00	10	0.1	0.2	20.8	31.8	29.3	0	1008.4
9:05	15	0.1	0.3	20.9	31.9	29.1	0	1008.3
9:10	20	0.1	0.3	20.8	31.9	29.2	0	1008.3
9:15	25	0.1	0.3	20.6	32.0	29.1	0	1008.4
9:20	30	0.1	0.3	20.5	32.1	29.2	0	1008.5
9:25	35	0.1	0.4	20.1	32.1	29.3	0	1008.5
9:30	40	0.1	0.4	19.8	32.3	29.4	0	1008.5
9:35	45	0.1	0.4	19.6	32.5	29.4	0	1008.3
9:40	50	0.1	0.4	19.4	32.6	29.5	0	1008.4
9:45	55	0.1	0.4	18.9	32.6	29.5	0	1008.4
9:50	60	0.1	0.4	18.5	32.8	29.5	0	1008.4

ata: 29/10/12

ora de início: 14:30

coordenadas GPS: Ponto 188- S 22.73829 W

43.68310

Rach.: SIM

Placa:Quadrada  
Clima:Ensolarado

Nº do ensaio:Ensaio02  
Camada:Monolítica

Hora	Intervalo tempo (min)	Concentrações			Temp. int. °C	Temp. ext. °C	Pressão interna Pa	Pressão atm hPa
		CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)				
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
4:30	5	0.0	0.2	20.8	45.2	32.7	0	1006.5
4:35	10	0.0	0.2	20.5	43.2	32.6	0	1006.5
4:40	15	0.0	0.3	20.3	38.4	31.5	0	1006.5
4:45	20	0.0	0.3	20.3	38.2	31.6	0	1006.5
4:50	25	0.0	0.3	20.1	38.3	30.7	0	1006.5
4:55	30	0.0	0.4	19.8	38.3	30.6	0	1006.4
5:00	35	0.0	0.4	19.6	38.4	30.6	0	1006.4
5:05	40	0.0	0.4	19.5	38.4	30.6	0	1006.5
5:10	45	0.0	0.4	19.3	38.3	30.7	0	1006.5
5:15	50	0.0	0.4	18.8	38.4	30.7	0	1006.5
5:20	55	0.0	0.4	18.5	38.4	30.5	0	1006.5
5:25	60	0.0	0.4	18.3	38.4	30.6	0	1006.5

ta:30/10/12

radeinício:8:40

ordenadasGPS:Ponto191-S22.73845W043.68353

Rach.:Não

Placa:Quadrada

Clima:Ensolarado

Nºdoensaio:Ensaio03

Camada:Monolítica

Hora	Intervalo	Concentrações			Temp.int.	Temp.ext.	Pressão	
	tempo(min)	CH4(%)	CO2(%)	O2(%)			interna	Pressãoatm
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
:55	5	0.0	0.1	20.5	36.3	32.7	0	1004.9
0:00	10	0.1	0.2	20.5	36.3	32.6	0	1004.9
0:05	15	0.0	0.2	20.4	36.3	32.6	0	1004.8
0:10	20	0.0	0.2	20.3	33.9	32.7	0	1004.8
0:15	25	0.0	0.2	20.2	33.8	32.2	0	1004.8
0:20	30	0.0	0.3	20.0	33.9	32.1	0	1004.8
0:25	35	0.0	0.3	19.9	33.8	32.3	0	1004.8
0:30	40	0.0	0.3	19.5	33.9	32.6	0	1004.8
0:35	45	0.0	0.3	19.3	33.9	32.7	0	1004.8
0:40	50	0.0	0.4	18.8	33.8	32.7	0	1004.8
0:45	55	0.0	0.4	18.5	33.8	32.5	0	1004.8
0:50	60	0.0	0.4	18.3	33.9	32.6	0	1004.8

ta:30/10/12

radeinício:8:40

ordenadasGPS:Ponto192-S22.73779W043.68377

Rach.:sim

Placa:Quadrada

Clima:Ensolarado

Nºdoensaio:Ensaio04

Camada:Monolítica

Hora	Intervalo	Concentrações			Temp.int.	Temp.ext.	Pressão	
	tempo(min)	CH4(%)	CO2(%)	O2(%)			interna	Pressãoatm
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
:05	5	0.0	0.1	20.9	35.1	32.6	0	1003.1
:10	10	0.0	0.1	20.6	35.1	32.6	0	1003.1
:15	15	0.0	0.1	20.5	35.0	32.7	0	1003.1
:20	20	0.0	0.1	20.3	35.1	32.7	0	1003.1
:25	25	0.0	0.1	19.9	35.2	32.2	0	1003.2
:30	30	0.0	0.1	19.7	35.4	32.1	0	1003.2
:35	35	0.0	0.2	19.4	35.7	32.2	0	1003.2
:40	40	0.0	0.2	18.9	35.8	32.7	0	1003.2
:45	45	0.0	0.2	18.5	36.0	32.8	0	1003.1
:50	50	0.0	0.2	17.8	36.4	32.6	0	1003.1
:55	55	0.0	0.1	17.5	36.8	32.5	0	1003.1
:00	60	0.0	0.1	17.2	36.9	32.6	0	1003.1

ta:30/10/12

radeinício:

ordenadasGPS:Ponto193-S22.73767W043.68414

Rach.:sim

Placa:Quadrada

Clima:Ensolarado

Nºdoensaio:Ensaio05

Camada:Monolítica

Hora	Intervalo	Concentrações			Temp.int.	Temp.ext.	Pressão	Pressãoatm
	tempo(min)	CH4(%)	CO2(%)	O2(%)			interna	
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
:30	5	0.0	0.1	20.5	38.1	34.1	0	1003.0
:35	10	0.1	0.1	19.8	39.2	34.0	0	1003.1
:40	15	0.1	0.1	19.3	38.9	34.1	0	1003.1
:45	20	0.1	0.1	18.9	39.2	33.8	0	1003.1
:50	25	0.1	0.2	18.6	39.6	33.6	0	1003.2
:55	30	0.2	0.2	18.1	39.0	33.4	0	1003.1
0:00	35	0.2	0.2	17.6	39.8	33.4	0	1003.1
0:05	40	0.1	0.2	17.2	40.2	33.0	0	1003.1
0:10	45	0.1	0.2	16.7	39.9	32.8	0	1003.1
0:15	50	0.1	0.2	15.8	40.1	32.4	0	1003.1
0:20	55	0.1	0.2	15.0	39.8	32.0	0	1003.1
0:25	60	0.1	0.2	14.8	39.7	31.8	0	1003.1

ta:30/10/12

radeinício:

ordenadasGPS:Ponto194-S22.73819W043.68392

Rach.:sim

Placa:Quadrada

Clima:Ensolarado

Nºdoensaio:Ensaio06

Camada:Monolítica

Hora	Intervalo	Concentrações			Temp.int.	Temp.ext.	Pressão	Pressãoatm
	tempo(min)	CH4(%)	CO2(%)	O2(%)			interna	
Início	0	i=	i=	i=	°C	°C	Pa	hPa
1:00	5	0.0	0.2	20.1	36.1	34.2	0	1003.0
1:05	10	0.1	0.2	19.7	36.4	34.0	0	1003.0
1:10	15	0.1	0.2	19.3	36.9	33.9	0	1003.0
1:15	20	0.2	0.2	18.8	37.1	33.8	0	1003.0
1:20	25	0.2	0.2	18.4	37.3	33.6	0	1003.0
1:25	30	0.3	0.3	17.9	37.5	33.2	0	1003.0
1:30	35	0.3	0.3	17.3	37.8	33.0	0	1003.0
1:35	40	0.3	0.2	16.7	38.1	32.9	0	1003.0
1:40	45	0.3	0.2	16.1	38.3	32.6	0	1003.1
1:45	50	0.3	0.2	15.8	38.7	32.4	0	1003.1
1:50	55	0.3	0.2	15.3	38.5	32.0	0	1003.1
1:55	60	0.3	0.2	15.1	35.8	31.8	0	1003.1