

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**RELAÇÕES ENTRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO SANITÁRIO E
VARIAÇÕES NO POTENCIAL ELÉTRICO NATURAL**

Fernanda Cavallari

Prof. Dr. César Augusto Moreira

Rio Claro (SP)

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

FERNANDA CAVALLARI

RELAÇÕES ENTRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO
SANITÁRIO E VARIAÇÕES NO POTENCIAL ELÉTRICO
NATURAL

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP

2013

551 Cavallari, Fernanda
C377r Relações entre produção de biogás em aterro sanitário e
variações no potencial elétrico natural / Fernanda Cavallari. -
Rio Claro, 2013
50 f. : il., figs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas
Orientador: César Augusto Moreira

1. Geofísica. 2. Resíduos sólidos. 3. Biodegradação. I.
Título.

FERNANDA CAVALLARI

RELAÇÕES ENTRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO
SANITÁRIO E VARIAÇÕES NO POTENCIAL ELÉTRICO
NATURAL

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. César Augusto Moreira (orientador)

Prof. Dr. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro

Prof. Dr. Valdir Schalch

Rio Claro, 28 de NOVEMBRO de 2013

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

*Com todo o meu carinho, dedico à minha mãe
e à minha tia Thelma por todo apoio, amor e
confiança depositados em mim durante todos
esses anos de minha formação.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço Aquele com maior importância e significado na minha vida, Deus, que me proporciona a vida e energias positivas para me guiar sempre para o melhor caminho.

Agradeço também...

À pessoa na qual me espelho e que fez e faz de tudo para que eu complete mais esta etapa na minha vida, Claudia Gomes de Oliveira, a minha eterna e amada mãe na qual tenho muito orgulho e agradeço cada instante pela oportunidade de ser sua filha. Obrigada por seu amor incondicional e saiba que nada disso seria possível se eu não tivesse alguém tão especial como você no meu caminho.

À minha família querida, meu irmão Victor Cavallari, meus avós João e Maria de Lourdes, tia Luciana Vieira e todos os meus familiares, que sempre me incentivaram a alcançar meus objetivos, em especial a tia e madrinha Thelma Oliveira que sempre depositou sua confiança, amor e orgulho em mim.

Ao meu namorado e porto seguro Carlos Eduardo Tibério Jr., que sempre me apoiou e que me faz a pessoa mais feliz.

As minhas fiéis e companheiras amigas Jill Valeriano, Julie Valeriano, Marina Miragaia e Marília Gama que em todo momento fizeram da nossa amizade uma prova de que a distância nunca foi capaz de nos afastar e desvencilhar um sentimento tão sincero e verdadeiro.

As minhas companheiras de república, primeiramente a Júlia Ponzio que me acompanhou desde o primeiro dia, passando por inúmeras situações engraçadas e dificuldades que fazem parte da minha história em Rio Claro. As meninas da república Patins, Fernanda Menin, Mariana Caninêo, Raissa Nobre, Pamela Moreno e Paula Junqueira, que se tornaram irmãs verdadeiras sempre me dando suporte, trazendo alegria para meus dias e me ensinando como a vida pode ser simples e prazerosa.

As minhas colegas de sala, Aline Yoshida, Fernanda Esteves, Juliana Caruso, Livia Helene, Tatiana Sakagami, Raquel Reis que atravessaram esse mar de tormentas que é a graduação ao meu lado, me ajudando e sempre nutrindo ideais e objetivos semelhantes. O meu muito obrigado pelo o apoio!

A todos os meus amigos que conheci durante a graduação, colegas de sala da Engenharia Ambiental - turma de 2010, as meninas da república NaBoa e os meninos das repúblicas Noea e Xisnaisse.

Ao meu orientador, Prof. Dr. César Augusto Moreira, que sempre acreditou no meu potencial estando ao meu lado no desenvolvimento dessa pesquisa, encabeçando novas ideias propostas e me guiando no desenvolvimento profissional. Sua dedicação só demonstrou que pessoas iluminadas são ricas em conhecimentos e tem a dávida de compartilhá-los da melhor maneira possível.

Ao Leonardo Paioli Carrazza, pelo auxílio na execução das atividades propostas por essa pesquisa e pelo caminho trilhados para alcançar esse objetivo.

Ao grupo de pesquisa no aterro sanitário de Rio Claro – SP coordenado pelo Prof. Marcus Castro, possibilitando a execução dessa pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio e financiamento a esta pesquisa.

RESUMO

A adaptação de métodos e técnicas de investigação na área de Geociências é algo crescente diante da diversidade de objetos de estudo e subáreas que surgiram nos últimos anos. A geofísica é uma ciência que estuda materiais geológicos, estruturas e camadas, sejam constituintes da Terra, por meio da análise de parâmetros físicos intrínsecos como densidade, radioatividade, dentre outros, por meio de instrumentos que permitem medidas indiretas que dispostos sobre a superfície, possibilitam investigações em centenas de metros de profundidade. O Potencial Espontâneo é um método geofísico baseado no fenômeno de geração de potencial elétrico natural a partir de diversos processos físicos e químicos. Variações no potencial de oxidação são comuns durante o processo de degradação de matéria orgânica contida em resíduos dispostos em aterros sanitários. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema estático de monitoramento do potencial elétrico natural, gerado pela decomposição de matéria orgânica contida em resíduos dispostos no aterro sanitário municipal de Rio Claro (SP), cruzando as medidas da vazão de biogás em drenos do aterro sanitário, com medidas de potencial elétrico natural, obtidos pela técnica de perfilagem geofísica. Os parâmetros físicos foram sensíveis as vazões variáveis de biogás, fato que indica a viabilidade de estudos geofísicos no planejamento de sistemas de captação de biogás para geração energética.

Palavras-chave: geofísica, potencial elétrico natural, resíduos sólidos, biodegradação

ABSTRACT

The adaptation of methods and research's techniques in Geosciences is increasing in front on diversity of objects of study and subareas that have emerged in recent years. The geophysics is a science that studies geologic materials, structures and layers, are constituents of the Earth, through intrinsic physics parameters analyses as density, radioactivity, among other, using instruments that allow indirect measures that arranged on the surface enables investigations into hundreds meters of depth. The Spontaneous Potential is a geophysical method based on the phenomenon of generation of natural electric potential from various physical and chemical processes. Variations of oxidation potential are commons during the degradation process of organic matter contained in waste disposed in landfills. This study proposes the development of a static monitoring of the electric potential natural, generated by the decomposition of organic matter contained in waste disposed in landfill of Rio Claro (SP), crossing the measures of biogas with natural electric potential measures, obtained by geophysical profiling technique. The physical parameters were sensitive to biogas flow variables, which indicate the feasibility of geophysical studies in planning systems to biogas capture for energy generation.

Keywords: geophysics, natural electric potential, solid waste, biodegradation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da área com drenos estudados	14
Figura 2	Fases da decomposição da matéria orgânica em aterros	19
Figura 3	Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia	20
Figura 4	Fontes dos efeitos de potencial elétrico espontâneo	24
Figura 5	Modelo de geobateria	25
Figura 6	Arranjo base fixa em aquisição por perfilagem	26
Figura 7	Localização da área com drenos estudados	28
Figura 8	Equipamento LANDTEC GEM-2000	29
Figura 9	Procedimento de fechamento do dreno de biogás para efetuar a aquisição de dados	30
Figura 10	Adaptadores de chapa galvanizada	30
Figura 11	Etapas de aquisição dos dados geofísicos	31
Figura 12	Potencial espontâneo x profundidade para o dreno 5 entre 30/05/12 e 25/09/12	32
Figura 13	Potencial espontâneo x profundidade para o dreno 5 entre 09/10/12 e 05/02/13	33
Figura 14	Potencial espontâneo x profundidade para o dreno 5 entre 20/02/13 e 29/05/13	34
Figura 15	Potencial espontâneo x profundidade para o dreno 28 entre 30/05/12 e 25/09/12	35
Figura 16	Potencial espontâneo x profundidade para o dreno 28 entre 09/10/12 e 05/02/13	36
Figura 17	Potencial espontâneo x profundidade para o dreno 28 entre 20/02/13 e 29/05/13	37
Figura 18	Variação da vazão de biogás (m ³ /h) (curva) para o dreno 5 versus a variação da precipitação (mm) (barras) no período estudado	40
Figura 19	Variação da vazão de biogás (m ³ /h) (curva) para o dreno 28 versus a variação da precipitação (mm) (barras) no período estudado	40
Figura 20	Variação do potencial elétrico natural (mV) (curva) para as profundidades de 250 cm, 300 cm e 350 cm do dreno 5 versus a variação da precipitação (mm) (barras) no período estudado	41
Figura 21	Variação do potencial elétrico natural (mV) (curva) para as profundidades de 250 cm, 300 cm e 350 cm do dreno 28 versus a variação da precipitação (mm) (barras) no período estudado	42
Figura 22	Regiões de acentuados valores de potencial elétrico natural (mV) (curva) para as profundidades de 250 cm do dreno 28 comparadas com variação da precipitação (mm) (barras) no período estudado	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS	11
2. OBJETIVO.....	13
3. ÁREA DE ESTUDOS E VIAS DE ACESSO	14
3.1. Geologia regional	15
3.1.1. Geologia local	17
4. PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS	18
5. GEOFÍSICA	23
5.1. Método do Potencial Espontâneo (SP)	24
5.1.1. Arranjo	26
5.2. Trabalhos de aplicação do SP em estudos ambientais	27
6. MATERIAIS E MÉTODOS	28
6.1. Seleção dos pontos de amostragem.....	28
6.2. Aquisição de dados	29
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
8. CONCLUSÕES.....	44
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

O Brasil sofreu inúmeras, rápidas e profundas mudanças estruturais no século XX, como os processos de crescimento populacional, urbanização, metropolização, industrialização e de transformações de hábitos de consumo (Frésca, 2007). Dentre os problemas decorrentes da ausência de planejamento urbano e do rápido crescimento demográfico, aliados ao aumento do poder de compra da população, repercutem na crescente geração de resíduos e consequentes impactos de ordem social e ambiental (Pereira, 2012).

O expressivo crescimento da geração desses resíduos é seguido por mudanças significativas em sua composição, características e aumento da periculosidade (OMS, 2007; EPA, 2010). E essas mudanças decorrem especialmente dos modelos de desenvolvimento pautados pela obsolescência programada dos produtos, pela descartabilidade e pela mudança nos padrões de consumo baseados no consumo excessivo e supérfluo (Jacobi, 2011).

Os resíduos domiciliares no Brasil são predominantemente compostos por matéria orgânica, cenário diferente encontrado nos países desenvolvidos, como por exemplo, os Estados Unidos, onde a composição dos resíduos sólidos domiciliares é composta predominantemente por materiais recicláveis (IPT, 2000). A porcentagem de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos nacionais foi de 51,4% contra 31,9% de recicláveis e 16,7% de outros tipos de materiais (ABRELPE, 2011).

A grande quantidade de matéria orgânica contida no resíduo brasileiro contribui significativamente para os impactos ambientais associados à disposição dos resíduos orgânicos em aterros, como geração de gases de efeito estufa e de líquidos percolados com elevado potencial de contaminação de solos e das águas superficiais e subterrâneas, geração de odores e atração de vetores de doenças. (Castro, 2001). Por conta da geração de percolados e gases, é necessário que seja adequada a gestão desses resíduos.

O percolado é um subproduto formado em aterro e que tem influência direta da umidade em sua formação. A ocorrência em maiores volumes se dá em áreas que apresentam maiores índices pluviométricos. O percolado produzido é um dos fatores de maior limitação para a disposição de resíduos orgânicos sobre o solo, uma vez que sua migração, desde a superfície do terreno até o nível freático, pode transportar uma série de compostos químicos e agentes biológicos.

Outro subproduto gerado a partir da decomposição da matéria orgânica é o biogás. Os resíduos são recobertos e isolados do contato atmosférico por uma camada de solo após o

preenchimento total de células de disposição. Este contexto permite a instalação de condições físico-químicas redutoras nos resíduos, algo que colabora para a proliferação de colônias de microrganismos anaeróbicos. A digestão anaeróbia de resíduos orgânicos é um processo microbiano de flora mista, onde a matéria orgânica, em ausência de oxigênio molecular, é convertida basicamente em metano e dióxido de carbono (Massey & Pohland, 1978).

Atualmente, existem alguns projetos já desenvolvidos e em desenvolvimento para utilização do biogás proveniente de aterro sanitário, como alternativa para gerar energia elétrica, com um enorme benefício para o setor elétrico e o ambiente.

Os primeiros projetos de aproveitamento energético de biogás tiveram início nos anos 70 nos Estados Unidos, com o objetivo de controlar as emissões de metano e aproveitar uma nova fonte de energia frente à crise do petróleo. Posteriormente, países da Europa também iniciaram projetos semelhantes. Atualmente existem mais de 500 aterros no mundo possuem plantas de aproveitamento energético de biogás (Ensinas, 2003).

No Brasil, dois grandes projetos de aproveitamento de biogás foram desenvolvidos na cidade de São Paulo, no aterro Bandeirantes com área de 140 hectares, e no aterro São João com 84 hectares, cujo objetivo dessas plantas é a produção de energia elétrica proveniente da queima do biogás (ICLEI, 2009).

A Alemanha é líder em aproveitamento de biogás em suas atividades, o abastecimento da frota de veicular de aterro sanitário com biogás é uma das alternativas de aproveitamento mais utilizadas nesse país, assim como a utilização de energia térmica proveniente da queima do biogás, onde o calor produzido é transportado para a indústria de papel e celulose, localizada nas mediações do aterro (ICLEI, 2009).

Porém não existe ainda um método que estime com precisão a emissão de gases de aterros (Tarazona, 2010). No entanto, muitas técnicas têm sido desenvolvidas e estudadas para diversas situações, como estimativa de emissões em áreas pontuais ou em grandes áreas.

Neste contexto, a geofísica pode ser uma alternativa, pois a ação de micro-organismos anaeróbios gera potencial elétrico passível de medição por meio de instrumentos analíticos como sensores de potencial redox ou equipamentos geofísicos (Nyquist, 2002; Naudet, 2003).

Atualmente os métodos geofísicos são bastante utilizados em estudos ambientais em áreas de disposição de resíduos sólidos, devido ao caráter não invasivo e ao baixo custo, com o objetivo de delinear plumas de contaminação em solo e água subterrânea (Malagutti *et al.*, 1997; Elis & Zuquette, 2002; Stevanto, *et al.*, 2003).

2. OBJETIVO

Este projeto propõe o seguinte objetivo:

- Analisar de forma integrada dados de potencial elétrico natural, produção de biogás e pluviosidade, obtidos para um aterro sanitário, na tentativa de avaliar eventuais correlações entre parâmetros, sob a ótica de processos de decomposição de matéria orgânica.

3. ÁREA DE ESTUDOS E VIAS DE ACESSO

A área de estudo é o aterro municipal de Rio Claro, cidade do interior do Estado de São Paulo (a 190 km da Capital) (Figura 1).

O município de Rio Claro possui média pluviométrica de 1.400mm/ano e um regime de chuva dividido em período de seca, entre abril e setembro, e um período chuvoso que dura de outubro a março, e corresponde a 80% das precipitações anuais (Troppmair, 1992).



Figura 1. Localização da área com drenos estudados

A principal via de acesso ao aterro sanitário é a rodovia Cornélio Pires (SP-127), próximo ao bairro Jardim Novo, situado no alto topográfico divisor de águas entre o Ribeirão Claro e o Córrego da Servidão, ambos na bacia do Rio Corumbataí, fazendo com que o nível d'água da região do aterro varie entre 5,0m e 14,0m. Possui uma área de aproximadamente 142.000,00 m² e está em operação desde 2001, com previsão de vida útil de 16,2 anos, segundo apresentado no Relatório Ambiental Preliminar (RAP).

O aterro recebe em média 5.000 toneladas de resíduos sólidos domésticos por mês, e segundo dados da Secretaria Municipal de Planejamento, Desenvolvimento e Meio Ambiente

(SEPLADEMA) a média diária de disposição de resíduos no aterro em 2011 foi de 180,21 t/dia (Antonio, 2012).

A Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental - CETESB divulgou o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares referentes ao ano de 2011, dados revelam a classificação do aterro sanitário de Rio Claro, que até 2010 era “adequada”, passou a ser considerada “controlada”, com redução da nota atribuída pelo Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR) para 6,6 (Antonio, 2012). Atualmente, o IQR relativo ao ano de 2012 é equivalente a 7,7.

O aterro possui quatro lagoas de estabilização, uma anaeróbia e seguida de lagoa aerada (dois aeradores), facultativa/sedimentação e de maturação. Porém, em função da baixa eficiência do sistema de tratamento em atendimento aos padrões de lançamento para corpos d’água, o sistema opera em regime fechado e o efluente é enviado para tratamento em estação de efluentes de Rio Claro.

3.1. Geologia regional

Datando do Neo-Carbonífero - Eo-Permiano, o Grupo Itararé comporta uma variedade de fácies: arenitos, siltitos, varvitos e diamictitos, além da variedade composicional do ambiente de posicional. A sequência sedimentar apresenta diamictitos como corpos descontínuos, gerados por fluxo gravitacional, por vezes, quase tilitos (Schneider *et al.*, 1974). Conforme Soares (1972), o pacote arenoso situado no grupo mostra variação granulométrica com a predominância das classes médias a grosseiras (presença de níveis conglomeráticos), apresenta estratificação cruzada acanalada e plano - paralela – e, intercalando tais camadas de arenitos, situam-se siltitos cinza e mesmo ritmitos e folhelhos. Conforme descrito por Simões & Fittipaldi (1992), os fósseis identificados foram artrópodes e esporos e pólen.

Com idade Eo - Permiano, a Formação Tatuí apresenta contato (de superfície erosional) com o Grupo Itararé caracterizando a separação dos processos glaciais e pós-glaciais – (Soares, 1972). A litologia predominante é de siltitos e siltitos arenosos com ambiente deposicional misto, ou seja, planície costeira e plataformal. Soares (1972) dividiu a formação em quatro classes descontínuas – siltitos de variadas cores e, níveis com lentes arenosas, conglomeráticas e calcárias – no geral, a parte superior tem arenitos grossos - conglomeráticos ricos em clastos de sílex marcando o contato com a formação superior. Na formação em questão, tem os fósseis de peixes Chondrichthyes (Simões & Fittipaldi, 1992).

A Formação Irati é subdividida em duas subsequências: Membro Taquaral e Membro Assistência (Barbosa & Gomes, 1958).

Membro Taquaral (base) - Composto, segundo Schneider *et al.*, 1974, por folhelhos, siltitos e argilitos – sedimentos que foram retrabalhados por agentes marinhos e oriundos do topo da Formação Tatuí.

Membro Assistência (topo) - Formado por folhelhos, folhelhos pirobetuminosos e calcários dolomíticos e, as características deposicionais e litológicas compreendem um ambiente com influências marinhas de águas calmas e áreas plataformais, de acordo com Schneider *et al.*, 1974. Os fósseis, encontrados na Formação Irati e catalogados por Simões & Fittipaldi (1992), restringem-se em artrópodes malacóstracos e insetos, amniotas mesossaurídeos, peixes Chondrichthyes e Osteichthyes e esporos e pólen, licófitas e gimnospermas.

A Formação Corumbataí foi originada no Meso - Neo Permiano. Na parte inferior, têm-se intercalações de argilitos, siltitos, arenitos finos, níveis com calcários dolomíticos e presença de coquinas; e, a parte superior possui siltitos contendo lentes areníticas finas - o contato basal é interdigitado, enquanto que, o do topo é discordante. Scheneider *et al.*, 1974, identificaram algumas feições na sequência, tais como, estratificações plano - paralela e cruzada de pequeno porte, acamamento flaser, marcas ondulares, estromatólitos, entre outras – o ambiente deposicional característico da parte basal é de águas rasas, condições redutoras e influência de marés, com porção superior o ambiente é marinho de águas rasas e condições oxidantes.

No registro fossilífero desta formação ocorre: bivalves, artrópodes Conchostráceos, peixes Chondrichthyes, esporos e pólen, licófitas, glossopteridales e gimnospermas, segundo estudos de Simões & Fittipaldi, 1992.

Com idade do Triássico, a Formação Pirambóia contém unidades litológicas compostas por arenitos com granulometria média a fina, cor amarela esbranquiçada ou avermelhada, com grãos sub arredondados e polidos, além de, intercalações com finas camadas de argilitos e siltitos – também apresentam algumas estruturas sedimentares como estratificações cruzada, planar e acanalada nos arenitos e estratificação plano - paralela nos níveis lamíticos (Schneider *et al.*, 1974). O ambiente deposicional é continental fluvial e desértico. Simões & Fittipaldi, 1992, catalogaram os fósseis: artrópodes Conchostráceos e ostracodes.

Datada do Quaternário, a Formação Rio Claro caracteriza-se por arenitos pouco consolidados, friáveis, com lentes de argilas e, níveis conglomeráticos e seixos quartzosos na

base a qual possui um contato discordante e, ambiente sedimentar como continental aluvionar e lacustre, além de presença de colúvios. Segundo Schneider *et al.*, 1974, as estruturas sedimentares preservadas nas unidades litológicas são: estratificação cruzada e, estruturas de dissecamento e de corte. Segundo A Formação Rio Claro preserva restos vegetais de angiospermas (Simões & Fittipaldi, 1992).

3.1.1. Geologia local

A área de estudo está localizada na zona rural do município de Rio Claro (SP), onde ocorrem as Formações Corumbataí e Rio Claro.

A Formação Corumbataí é caracterizada pela presença de argilitos, siltitos e folhelhos arroxeados e marrom-avermelhados, às vezes esverdeados, com intercalações de arenitos, leitos carbonáticos e coquinas. Esta formação é alvo para a indústria cerâmica (Zaine, 1994). Este autor caracteriza o contato da Formação Rio Claro com a Corumbataí por um nível de conglomerados cuja espessura é de aproximadamente 10 centímetros. Ainda segundo o autor, a litologia da Formação Rio Claro consiste em arenitos fino a médio com colorações variadas, tais como esbranquiçada, amarelada, avermelhada e arroxeadas, podendo variar para frações mais grossas e até conglomeráticas. A formação também pode apresentar alguns níveis pelíticos.

4. PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A matéria orgânica presente em aterros sanitários é frequentemente recoberta por camadas sucessivas de resíduos, posteriormente isolado do contato atmosférico por uma camada de solo após o preenchimento total das células de disposição. Este contexto permite a instalação de condições físico-químicas redutoras nos resíduos, algo que colabora para a proliferação de colônias de microrganismos anaeróbicos. A digestão anaeróbia de resíduos orgânicos é um processo microbiano de flora mista, onde a matéria orgânica, em ausência de oxigênio molecular, é convertida a gases compostos predominantemente de metano e dióxido de carbono (Massey & Pohland, 1978).

O dióxido de carbono tem uma densidade superior à do ar e elevada solubilidade na água, estando a sua drenagem natural associada à circulação dos lixiviados (chorume). O metano em sua forma gasosa ocupa espaços disponíveis na massa de resíduos e frequentemente escapa para a atmosfera (LIPOR, 2008).

A decomposição na matéria orgânica dos resíduos sólidos em um aterro é composta por cinco fases descritas a seguir (Pohland & Harper, 1985):

- Fase I – Ajuste Inicial: deposição dos resíduos sólidos no aterro, onde ocorre as primeiras mudanças nos parâmetro ambientais, onde ocorre o processo de degradação aeróbia devido a presença de oxigênio atmosférico na matéria orgânica.
- Fase II – Transição: passagem da condição aeróbia para anaeróbia, onde o receptor primário de elétrons passa a ser nitratos e sulfatos ao invés do oxigênio, com surgimento de produtos metabólicos intermediários, como ácidos orgânicos voláteis.
- Fase III – Acidificação: reações de hidrólise e fermentação da fração orgânica dos resíduos torna predominante ácidos orgânicos voláteis e consequente queda no pH, com liberação e assimilação de nitrogênio e fósforo, além do aparecimento de hidrogênio.
- Fase IV – Metanogênese: consumo contínuo de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e produtos intermediários para a formação de metano e dióxido de carbono, constituintes básicos do biogás.
- Fase V – Maturação Final: a redução na disponibilidade de nutrientes provoca a diminuição na atividade biológica, com conseqüente queda ou término na produção de biogás.

As fases supracitadas podem ser observadas na figura a seguir (figura 1):

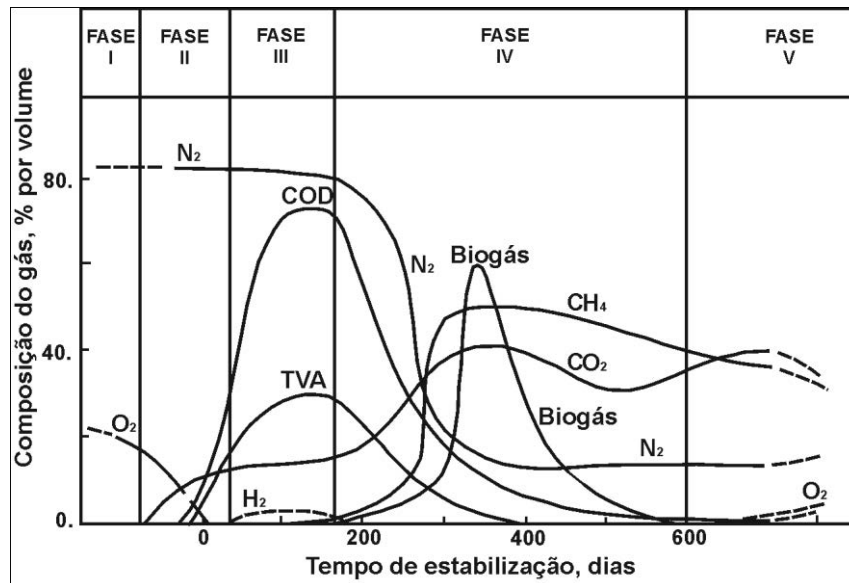


Figura 2. Fases da decomposição da matéria orgânica em aterros (Pohland & Harper, 1985).

A digestão anaeróbia, realizada por micro-organismos na fração orgânica dos resíduos, pode ser dividida em um processo de quatro fases, que são: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Ghosh, 1981; Yang & Guo, 1990; Pelczar Jr., 1996; Bengtsson, 2008; Leite, 2009).

- Hidrólise Enzimática: neste contexto, a hidrólise é um processo onde a matéria orgânica é transformada em compostos dissolvidos de menor peso molecular, em presença de água, por ação de bactérias fermentativas;
- Acidogênese: os produtos gerados na hidrólise são absorvidos por bactérias acidogênicas fermentativas e excretados como substâncias orgânicas simples, como ácidos graxos voláteis tais como ácido acético, fórmico, propiônico, butírico e láctico, além do etanol e compostos minerais como CO_2 , H_2 , NH_3 e H_2S . Neste processo, a maioria das bactérias são obrigatoriamente anaeróbias, além de espécies facultativas que metabolizam o material orgânico pela via oxidativa.
- Acetogênese: os ácidos graxos e etanol formados são transformados em acetato e hidrogênio, com conversão de produtos gerados por acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção de metano. A acetogênese é importante na conversão de matéria orgânica em energia na forma de metano, pois a conversão do substrato à acetato deve ser rápida para a produção energética seja economicamente viável, pois o acetato é o principal precursor do metano.
- Metanogênese: o acetato e o hidrogênio são convertidos em metano por metanobactérias. O metano também pode ser produzido por bactérias acetotróficas a

partir da redução do ácido acético, ou por hidrogenotróficas a partir da redução de dióxido de carbono. Cerca de 70% do metano gerado é proveniente da redução de acetato, enquanto que aproximadamente 30% provêm da redução de CO₂ com H₂.

Estas fases ocorrem de forma seqüencial e resulta em produtos de complexidade decrescente (Figura 3).

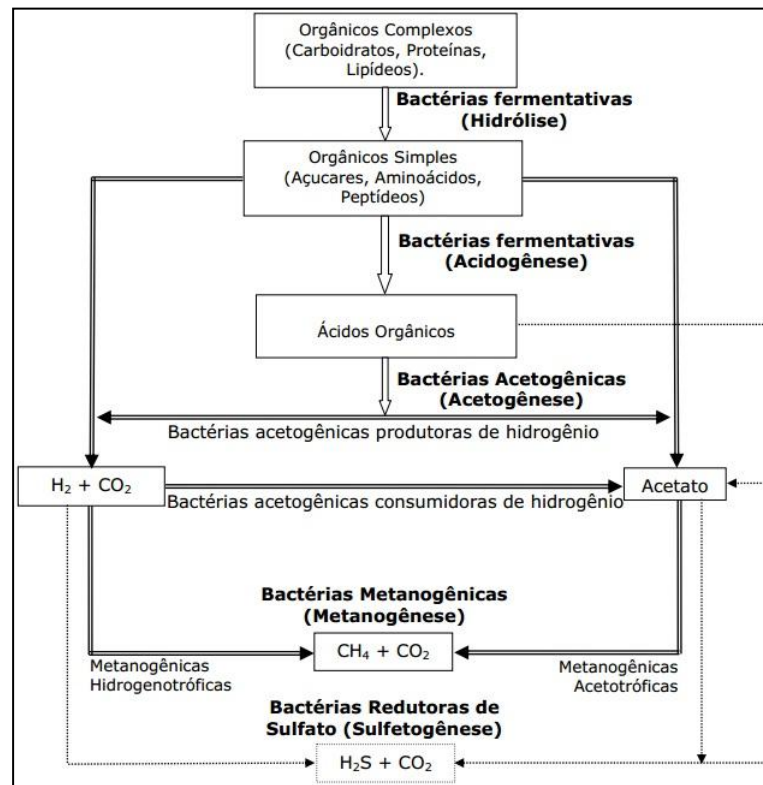
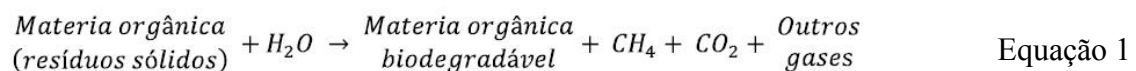


Figura 3. Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (Adaptado de Pelczar Jr., 1996).

A decomposição anaeróbia da matéria orgânica dos resíduos necessita de quantidades consideráveis de água para solubilização e geração de substrato orgânico, além de gases (Equação 1):



Desta forma, as condições hidrológicas e climáticas do local afetam significativamente a velocidade e a taxa de produção de biogás (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Os principais produtos deste processo são CO₂, CH₄, amônia (NH₄), gás sulfídrico (H₂S), e matéria orgânica resistente. O CO₂ e o CH₄ constituem mais de 99% do total dos gases produzidos na maioria dos processos de conversão (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

4.1. Fatores fundamentais para produção de biogás

A composição e quantidade de resíduo depositado, tamanho das partículas depositadas, temperatura e índice de pluviosidade no local, o teor de umidade na massa de resíduos, o grau de compactação do resíduo, desoxigenação da massa, o pH e a idade do aterro, são fatores que influenciam a produção de biogás em aterros (CHESF, 1987):

- Composição dos resíduos: potencial de geração de metano é proporcional a quantidade de material orgânico no resíduo.
- Tamanho das partículas depositadas: quanto menor a unidade ou partícula do resíduo disposto, maior será a área da superfície específica. A partícula de resíduo com uma área superficial maior decomporá mais rapidamente do que uma partícula com uma área menor (Fernandes, 2009).
- Temperatura: o intervalo ideal para a digestão anaeróbia é entre 29°C e 38°C para as bactérias mesófilas e entre 49°C e 70°C para as termófilas. Abaixo de 10°C ocorre uma queda brusca na taxa de geração do metano. Tipicamente, a própria decomposição fornece calor suficiente para que ocorra a metanogênese. As bactérias metanogênicas termófilas geralmente produzem maiores taxas de geração de biogás, embora na maioria dos aterros predomine a fase mesófila (McBean *et al.*, 2005).
- Pluviosidade: a água é fundamental no processo químico da fermentação anaeróbia e produção de biogás, além de servir como meio de transporte para produtos gerados pelo processo de decomposição. Viabiliza a mistura entre componentes solúveis e participa na transformação dos componentes orgânicos em metano e dióxido de carbono na fase anaeróbia (Braz, 2001).
- Umidade: essencial à vida das bactérias decompositoras, pois sob teores de aproximadamente 60% em peso, aumenta a geração de biogás.
- Concentração de oxigênio: a matéria orgânica deve sofrer decomposição em ambiente redutor para geração de metano, condições geradas a partir da cobertura dos resíduos com terra ou com o próprio resíduo.
- pH: bactérias metanogênicas atingem maior produtividade com pH entre 6,8 e 7,2. Em fase inicial, os aterros apresentam pH ácido, que tende a neutralidade a partir da fase metanogênica.
- Idade do aterro: o tempo de atraso e de conversão são variáveis relevantes na geração de gases em aterros. O tempo de atraso ou retardo é o período iniciado na disposição dos resíduos até o início da geração de metano. O tempo de conversão é o período

também iniciado na disposição dos resíduos, mas que segue até o final da geração do metano (Fernandes, 2009).

Outros fatores que influenciam a taxa de geração de gás são disponibilidade de nutrientes, presença de bactérias, potencial oxidação-redução, compactação e porosidade dos resíduos, profundidade da massa de resíduos, operação do aterro e processamento de resíduos diversos (Brito Filho, 2005).

Estudo realizado em uma célula experimental no aterro sanitário de Belo Horizonte (MG) indicou que o excesso de umidade e o elevado nível de líquidos no interior do aterro foram, possivelmente, os fatores que inibiram o processo de digestão anaeróbia no interior do aterro em vários momentos. Foi verificada uma diminuição da produção de biogás com o aumento no teor de oxigênio, associado provavelmente a infiltração de água da chuva e/ou ar atmosférico pelas fraturas na cobertura do aterro (Catapreta & Simões, 2009).

Neste sentido, é importante ressaltar que o Brasil possui na maior parte de seu território condições de climáticas favoráveis para a produção de biogás (Leite, 2005).

5. GEOFÍSICA

A geofísica é uma ciência que estuda materiais geológicos, estruturas e camadas, sejam constituintes da Terra ou de outros planetas, por meio da análise de parâmetros físicos intrínsecos como densidade, radioatividade, magnetização, além de outros, por meio de instrumentos que permitem medidas indiretas e que possibilitam investigações que variam de centímetros a centenas de metros de profundidade.

Uma das principais vantagens da aplicação das técnicas geofísicas em relação aos métodos tradicionais de investigação de subsuperfície, como, por exemplo, as sondagens, é a rapidez na avaliação de grandes áreas com custo relativamente menor.

Além disso, os levantamentos geofísicos propiciam a execução de perfis contínuos, possibilitando a identificação com maior precisão das variações laterais decorrentes das mudanças litológicas ou originadas pela presença da contaminação subterrânea (CETESB, 1999). Suas desvantagens estão associadas a necessidade de equipamentos específicos para medição de propriedades físicas intrínsecas ao ambiente geológico, susceptíveis a interferências antrópicas como transformadores elétricos e linhas de alta tensão.

Recentemente os métodos elétricos são aplicados de forma crescente no diagnóstico de subsuperfície em aterros sanitários de resíduos sólidos domiciliares, devido à eficiência, baixo custo e possibilidade de investigações indiretas. Dentre os objetivos neste tipo de estudo, é possível destacar o delineamento de plumas de contaminação devido ao elevado conteúdo de sólidos totais dissolvidos (Góis *et al.*, 1997; Malagutti *et al.*, 1997; Elis & Zuquette 2002; Stevanto *et al.*, 2003).

Os métodos elétricos e eletromagnéticos são excelentes ferramentas ao estudo de aterros sanitários, pois parâmetros físicos como condutividade elétrica, cargabilidade e potencial elétrico natural, são sensíveis à presença de contaminantes como chorume, além de possibilitarem investigações acerca de processos de consumo de resíduos ou contaminantes.

Embora existam diversos estudos que descrevem o emprego de métodos geofísicos no diagnóstico ambiental de aterros, grande parte destes trabalhos versa essencialmente a caracterização de área com percolação de chorume. Contudo, são escassos os trabalhos que visam determinar relações entre resistividade elétrica, potencial elétrico natural e processos biológicos e físico-químicos e suas relações com a produção de chorume e biogás em aterros (Georgaki *et al.*, 2008; Moreira *et al.*, 2011).

5.1. Método do Potencial Espontâneo (SP)

O Potencial Espontâneo é um método geofísico baseado no fenômeno de geração de potencial elétrico natural a partir de diversos processos físicos e químicos. Seu uso primordial remonta trabalhos descritos no final do século XIX, essencialmente baseado na diferença de potencial elétrico ou potencial de oxidação entre corpos de minério metálico e as rochas em redor (Telford *et al.*, 1990).

Originalmente o potencial espontâneo (SP) teve sua aplicação na prospecção mineral, onde suas anomalias poderiam estar associadas à presença de corpos sulfetados e condutores. Em casos de prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas, os aquíferos são invariavelmente associados à presença de fraturas armazenadoras de água que consistem em zonas de maior percolação/infiltração das águas subterrâneas, podendo ser identificadas através deste método (Figura 4) (Gallas, 1999, 2000, 2005; Gallas & Augusto Filho, 1999).

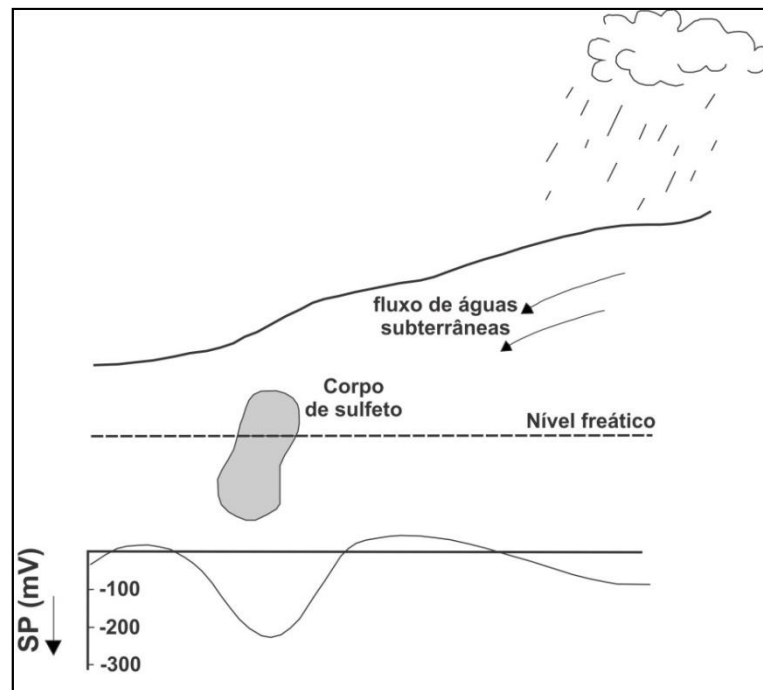


Figura 4. Fontes dos efeitos de potencial elétrico espontâneo (Milsom, 2003).

O modelo classicamente aceito para o fenômeno de potencial redox é proposto por Sato & Mooney em 1960, atribuído para um depósito mineral (Figura 5). Um corpo de sulfeto maciço contido no ambiente geológico, posicionado parcialmente abaixo do nível freático e parcialmente acima do nível freático, resulta em condições distintas de oxidação (Nyquist & Corry, 2002).

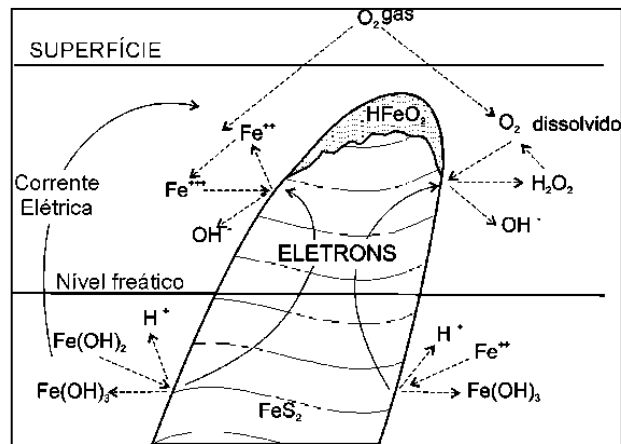


Figura 5. Modelo de geobateria (Sato & Mooney, 1960).

A porção em contato com o oxigênio atmosférico é susceptível a oxidação e transformação dos minerais, enquanto que a porção contida sob a água subterrânea reside em condições redutoras. Os processos de redução resultam na liberação de elétrons, conduzidos para posições oxidantes por fluxo eletrônico estabelecido ao longo do corpo de minério. Este aporte de elétrons supre a perda por oxidação nas porções superiores e caracterizam o depósito com potencial elétrico negativo, quando investigado em superfície (Figura 4).

Esse modelo apresenta algumas deficiências (Nyquist & Corry, 2002):

- Gradientes: íons transportados ao longo das linhas de campo requerem gradientes de voltagem razoavelmente suave, mas grandes gradientes foram medidos na superfície e subsolo.
- Falta do polo positivo: a geobateria requer um polo positivo e outro negativo. Os dados mostram que as medições feitas SP sobre a superfície, no subsolo e em furos, embora apresente o corpo de minério, invariavelmente, gera anomalias negativas em relação a uma estação de base localizada fora do corpo de minério.
- Nível freático: não há explicação para anomalias associadas com o corpo de minério completamente acima do nível freático, onde não existe condutor central inerte.
- Estabilidade: Medições diretas mostram que as anomalias associadas com massa de sulfeto enterrada são estáveis por pelo menos uma década, e presumivelmente, ao longo do tempo geológico.

Quanto aos fenômenos de geração de potencial espontâneo, são classificados em (Nyquist & Corry, 2002):

- Potencial de membrana: associado com gradientes de concentração de espécies iônicas no solo. Íons apresentam mobilidades e taxas de difusões distintas em meios porosos devido a diferenças de raio iônico, o que gera diferenças de potencial elétrico.
- Potencial Biolétrico: a seletividade de íons e bombeamento de água pelas raízes das plantas pode gerar diferenças de potencial elétrico, pois as raízes são membranas íon seletivas. Mudanças abruptas no sinal ocorrem em mudança na vegetação, acompanhadas por mudança na composição do solo ou rochas em subsuperfície.
- Potencial de Fluxo: ocorre devido a um incremento no potencial quando a água ou outro fluido cruza um meio poroso ou fraturado. Em áreas de alta pluviosidade, de topografia baixa e rochas porosas, o potencial fluxo pode apresentar grande amplitude.
- Potencial mineral: As maiorias das anomalias de SP reportadas estão associadas com depósitos minerais. Esse potencial aparentemente aumenta decorrente de reações geoquímicas de oxidação-redução.

5.1.1. Arranjo

Os dois arranjos de campo mais comumente utilizados são o gradiente e o de base fixa. O arranjo gradiente que emprega uma separação fixa entre os eletrodos. Após a medida da diferença de potencial entre os eletrodos, o conjunto é deslocado, por meio da movimentação de um dos eletrodos no sentido de caminhamento e fixação do outro na posição do primeiro.

O arranjo de base fixa é baseado num eletrodo fixo em estação de base, fora da área de exploração, e um eletrodo de medição móvel, movimentado de forma constante (Figura 6).

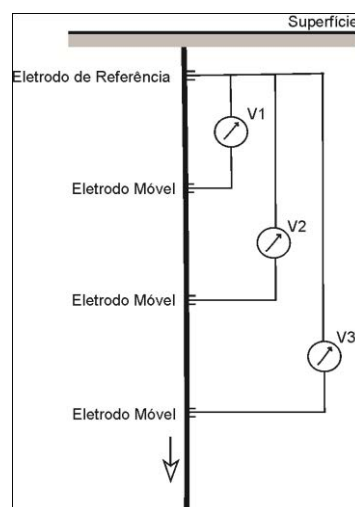


Figura 6. Arranjo base fixa em aquisição por perfilagem

5.2. Trabalhos de aplicação do SP em estudos ambientais

O Potencial Espontâneo é um método geofísico baseado no fenômeno de geração de potencial elétrico natural a partir de diversos processos físicos e químicos. Seu uso em pesquisa mineral é amplamente difundido e remontam trabalhos descritos no final do século XIX, essencialmente baseado na diferença de potencial elétrico ou potencial de oxidação entre corpos de minério metálico e as rochas em redor (Telford *et al.*, 1990).

Variações no potencial de oxidação são comuns durante o processo de degradação de matéria orgânica contida em resíduos dispostos em aterros sanitários (Baker & Cull, 2004; Revil *et al.*, 2005; Mota *et al.*, 2004).

Possui aplicações em estudos hidrogeológicos e ambientais, além de uso em larga escala em perfilações na pesquisa de hidrocarbonetos. Medidas de parâmetros físicos como resistividade elétrica e potencial espontâneo fazem parte da rotina de investigações em furos exploratórios ou para detalhamento em campos petrolíferos, devido à possibilidade de estimativa de parâmetros litológicos como permeabilidade, porosidade, granulometria, tipos de rochas, dentre outros (Asquith & Gibson, 1982).

Em relação à correlação existente entre o potencial espontâneo e medidas de potencial de oxidação/redução (Eh), é possível observar em trabalhos como de Vichabian (1999), que ao medir anomalias de potencial espontâneo associadas a derrames de hidrocarbonetos encontrou medidas negativas, que foi atribuída a zonas redutoras criadas por bactérias, apesar da ausência de medidas geoquímicas ou microbianas. Assim, predomina neste contexto o fenômeno de potencial redox.

Entretanto, Perry (1996), obteve medidas negativas de potencial espontâneo associadas a vazamento recente de combustível de tanques de armazenamento subterrâneos. Neste caso, o fenômeno de geração predominante é de potencial de fluxo.

O trabalho de Nash (1997) descreve medidas de condutividade elétrica elevadas e associadas a valores positivas de potencial espontâneo, obtidos ao longo de uma área impactada por derrame de hidrocarbonetos. O tempo de residência do hidrocarboneto no solo é fundamental para a ação de processos iniciais de oxidação por contato atmosférico, seguido por processos oxidativos em condições de indisponibilidade de oxigênio livre, ou seja, ação de microorganismos redutores. O autor avalia os resultados sob esta ótica, e interpreta que o potencial elétrico decresce progressivamente na zona redutora, aumenta drasticamente na frente de oxidação/redução.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Seleção dos pontos de amostragem

A seleção dos pontos de amostragem de biogás no aterro teve como princípio básico a abrangência de todos os fatores que podem influenciar na composição e na vazão dos gases como a disposição de resíduos, vazão, áreas com idades distintas de operação.

Em parceria com o Prof. Dr. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro (DGA-IGCE-UNESP) e sua equipe Bruno Guilherme Zanatta, Sarita Magnan Antonio, Natasha Marques Pereira, Flavio Roberto Franceschi e Olivia Gotardo foram realizadas quatro campanhas semanais onde foram obtidas medidas de velocidade, temperatura e concentração de CH_4 , CO_2 e O_2 do biogás, para seleção de drenos contrastantes. O resultado desta etapa possibilitou a seleção de dois drenos com características distintas atribuídas a idade dos resíduos.

O dreno 5 cruza resíduos mais antigo, cuja porção basal remonta ao início da operação do aterro, enquanto que o dreno 28 esta localizado numa região com resíduos lançados há poucos anos e que recentemente atingiu a capacidade de recebimento de materiais, baseado no projeto construtivo do aterro (Figura 7).



Figura 7. Localização da área com drenos estudados.

6.2. Aquisição de dados

Este trabalho utilizou dados de produção de biogás adquiridos em período concomitante a coleta de dados geofísicos, reunidos e apresentados no trabalho de Antonio (2012). Neste sentido, os procedimentos de medidas, equipamentos e acessórios utilizados, seguem fielmente a metodologia proposta pela autora supracitada.

Para medidas de produção e composição de biogás, foi utilizado o medidor desenvolvido pela Landtec, modelo GEM-2000, elaborado para medidas de concentrações de CO_2 , CH_4 e O_2 e outros gases presentes, além de pressão barométrica, pressão relativa e temperatura (Figura 8).



Figura 8. Equipamento Landtec, modelo GEM-2000 (Antonio, 2012).

Diversos drenos são mantidos acessos para queima do biogás pra redução do risco de explosividade, previamente apagados para o procedimento seguinte (Figuras 9A e 9B). Na tentativa de atenuar a influencias atmosféricas, os drenos eram previamente vedados com antecedência de 1 hora das medidas, por meio do recobrimento com filme plástico (Figuras 9C e 9D).

A medida consiste na perfuração do isolamento plástico e inserção de sensor até uma profundidade de 10cm, mantida pelo tempo de 1 minuto para estabilidade das medidas. As medidas foram posteriormente tabeladas armazenadas.

A velocidade de fluxo de gás foi quantificada por meio de um termo-anemômetro digital portátil, fabricado pela Testo, modelo 405-V1, com precisão de 5%.

A intensidade dos ventos na área de estudos é bastante superior a velocidade de fluxo de biogás nos drenos. Desta forma, na tentativa de atenuação deste fator de influencia, as medidas forma efetuadas por meio da inserção do medidor em adaptadores acoplados nas extremidades dos drenos. (Figura 10).



Figura 9. Procedimento de fechamento do dreno de biogás para efetuar a aquisição de dados (Antonio, 2012)



Figura 10. Adaptadores de chapa galvanizada (Antonio, 2012)

A aquisição de dados geofísicos contou com medidas de potencial elétrico natural contaram inicialmente com as perfurações verticais (figura 11A e 11B) para instalação dos cabos elétricos. Como é necessária a utilização de eletrodos não polarizáveis, foram elaborados sensores desenvolvidos a base de grafita, que apresenta espaçamento de 40 cm entre os eletrodos (Figura 11C).

Foram efetuados também, campanhas de ensaios preliminares para ajuste dos parâmetros de aquisição no instrumental geofísico e definição do cronograma de aquisição de dados. Desta forma, foram definidas aquisições concomitantes de dados geofísicos e medidas de vazão e velocidade a cada 15 dias.

Para tanto, foi utilizada a técnica de perfilagem geofísica para leitura do parâmetro potencial elétrico natural, onde foi adotado o arranjo de base fixa, com eletrodo de referência fixo mais próximo da superfície e sensores móveis a cada 40 cm em profundidade.

Para aquisição dos dados foi utilizado o resistivímetro Terrameter SAS 4000 (Figura 11D), que possibilita leituras de resistividade elétrica, cargabilidade e potencial elétrico natural, por meio de ciclos periódicos de leitura em intervalos de tempo programados.

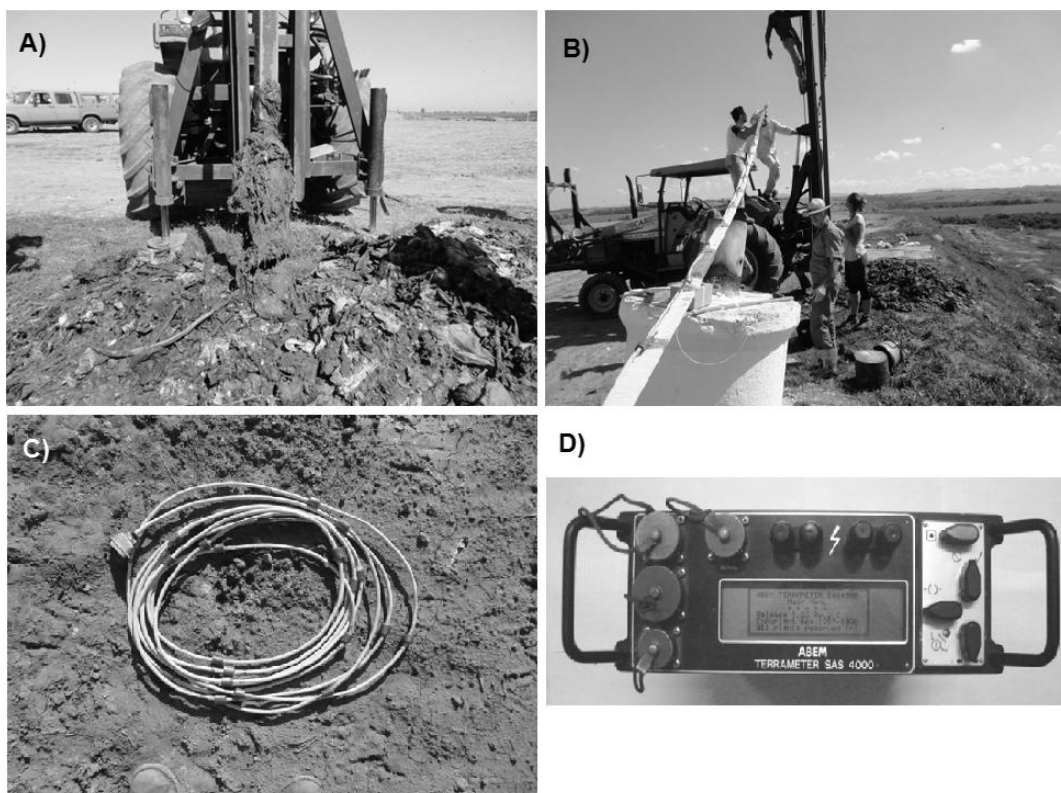


Figura 11. Etapas de aquisição dos dados geofísicos: A) Perfuração de poço. B) Procedimento de instalação. C) Cabo para medidas de potencial elétrico natural. D) Equipamento de medidas (resistivímetro).

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com relação aos dados geofísicos, foram elaborados gráficos quinzenais referentes a cada dia de campo, nos quais cruzam o parâmetro estudado, potencial elétrico natural em milivolts (mV) e profundidade de perfilagem em centímetros (cm) (Figuras 13 a 18).

Figura 12. Potencial espontâneo x profundidade para o dreno 5 entre 30/05/12 e 25/09/12.

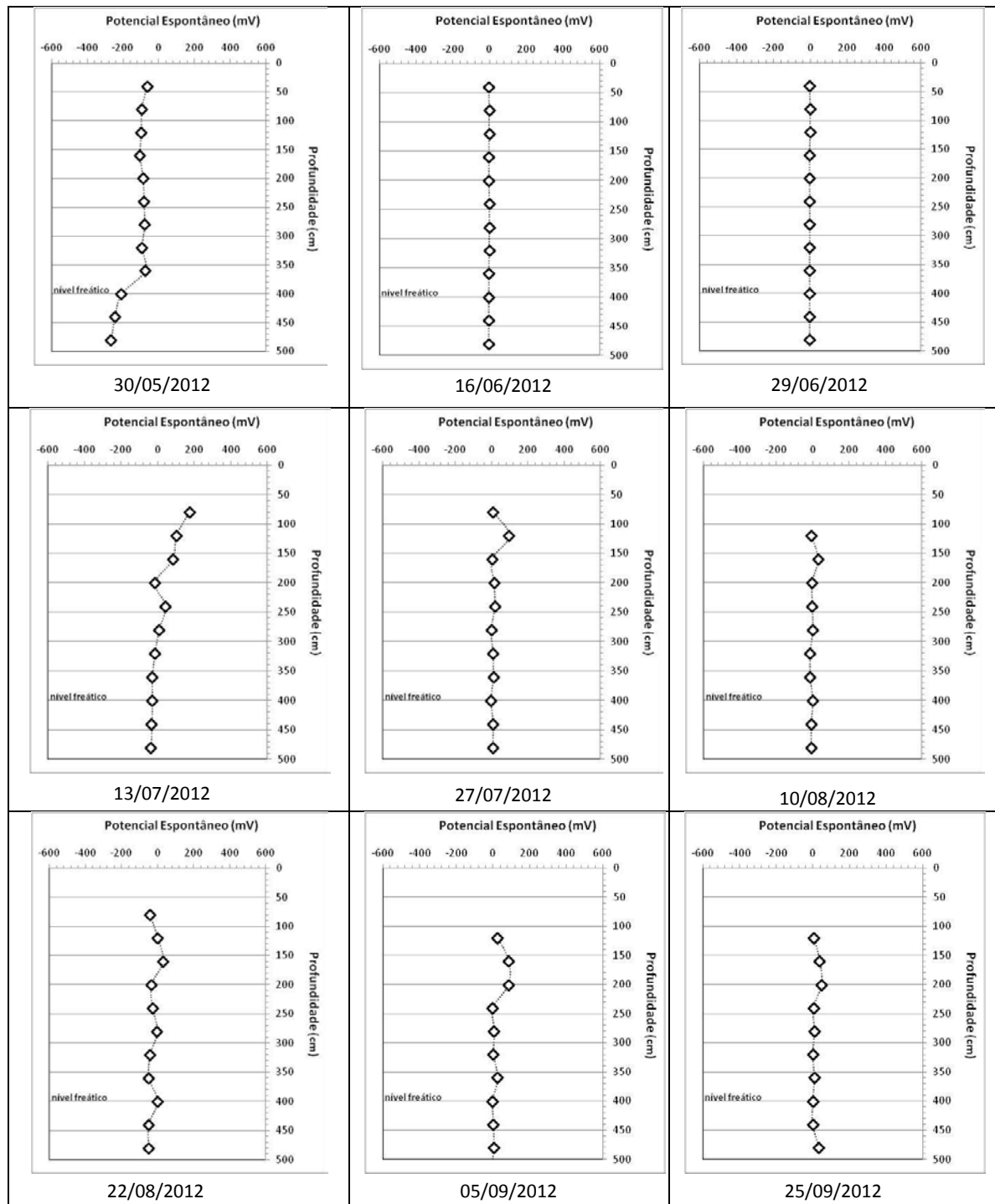


Figura 13. Potencial espontâneo x profundidade dreno 5 entre 09/10/12 e 05/02/13.

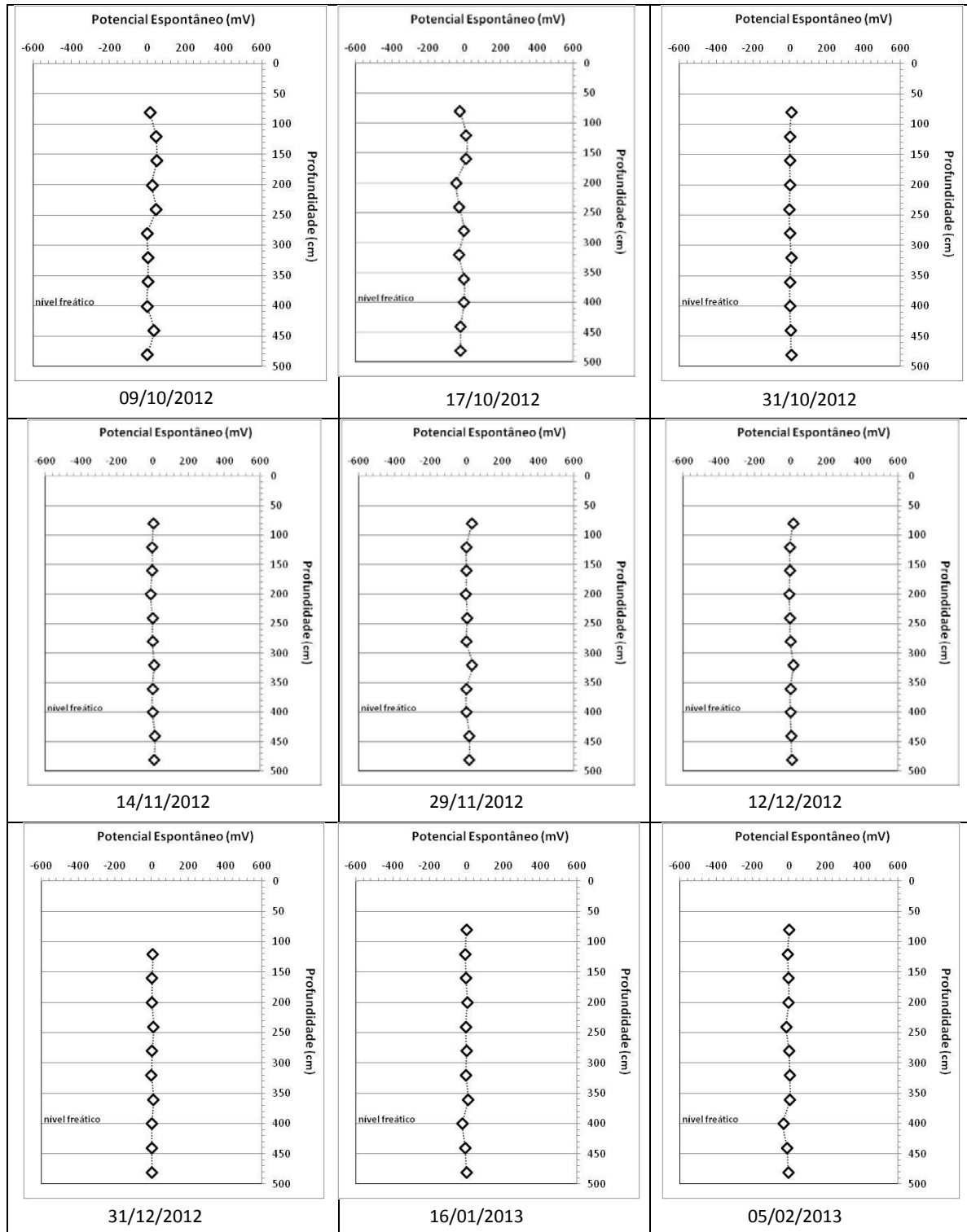


Figura 14. Potencial espontâneo x profundidade dreno 5 entre 20/02/13 e 29/05/13.

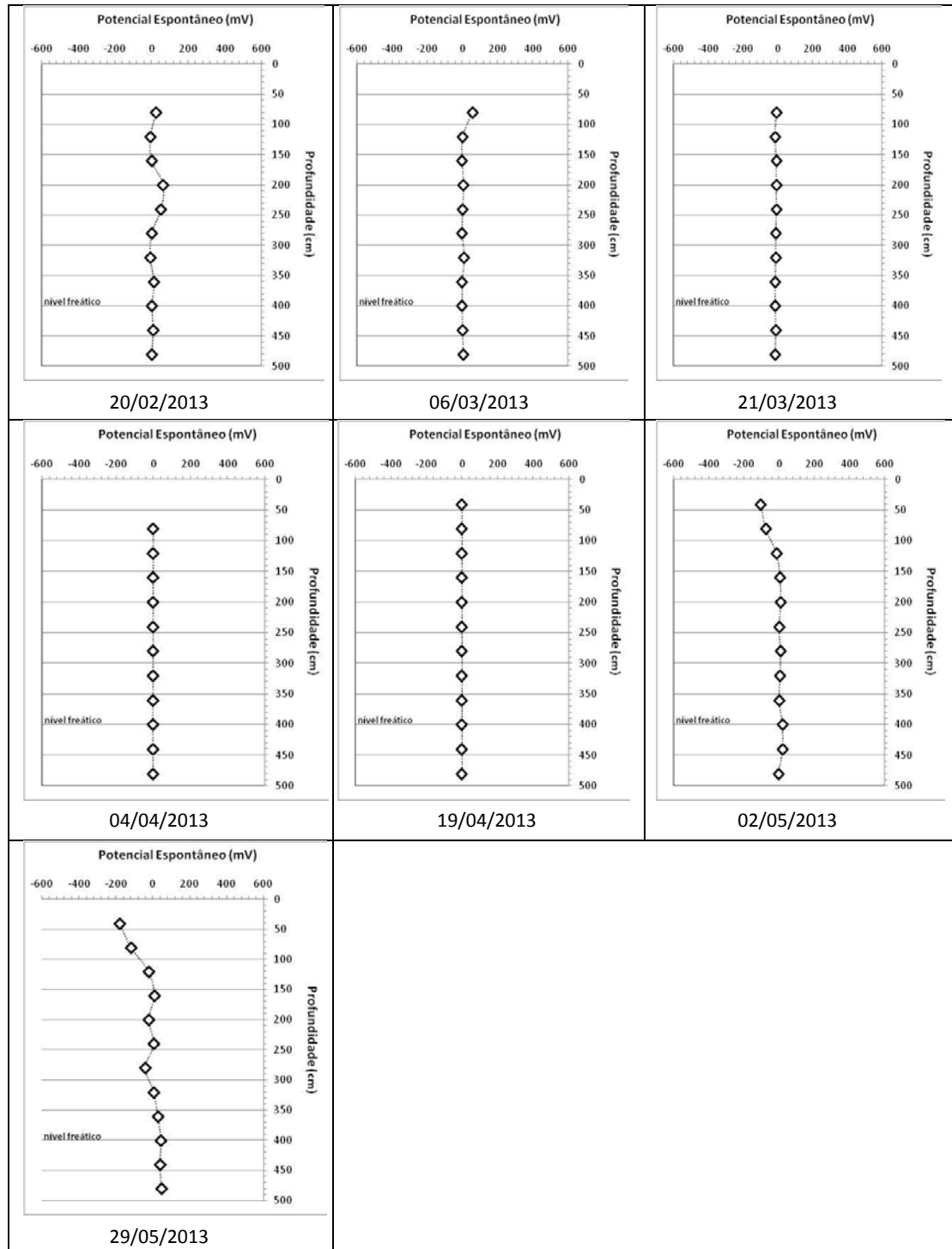
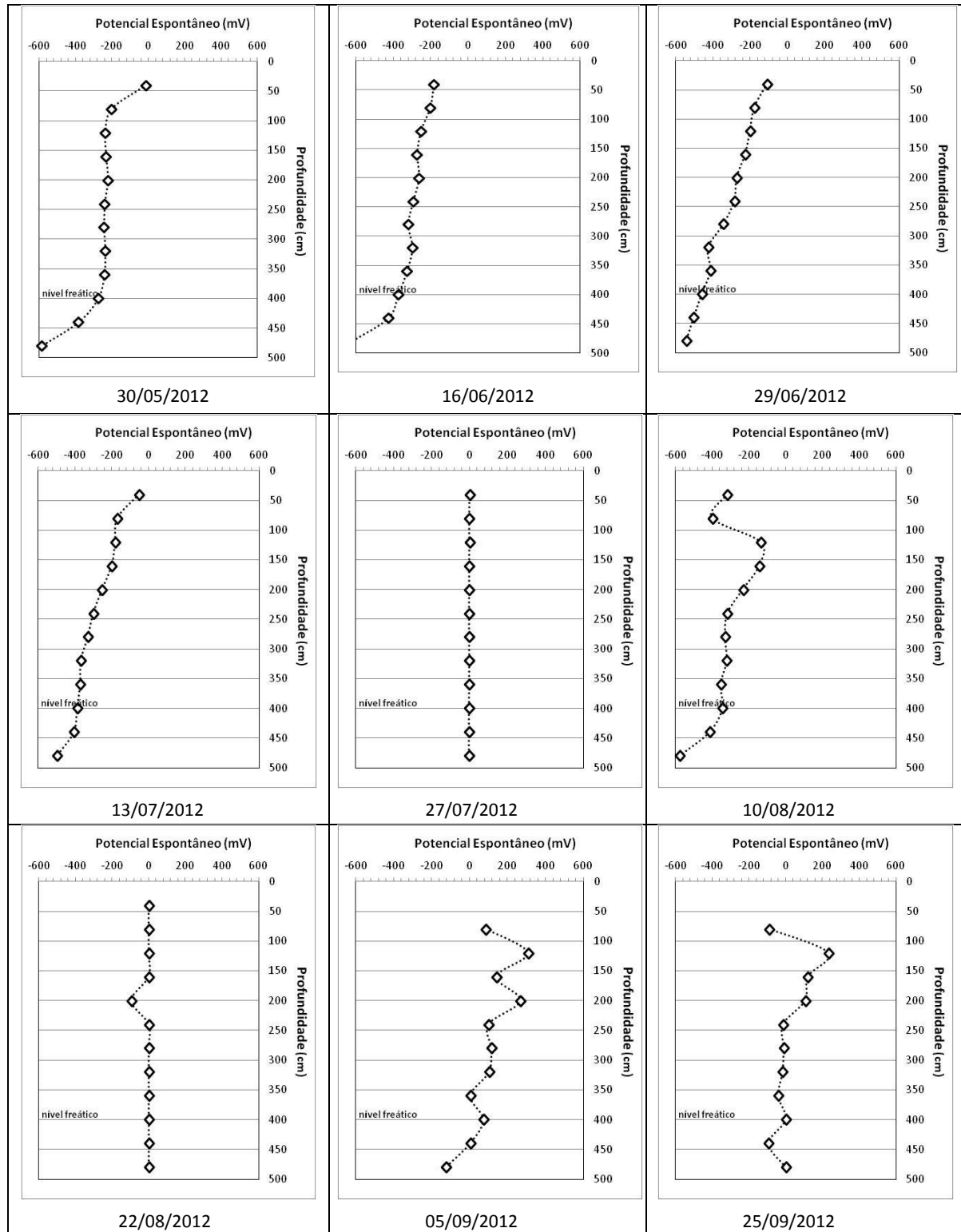


Figura 15. Potencial espontâneo x profundidade para o dreno 28 entre 30/05/12 e 25/09/12.



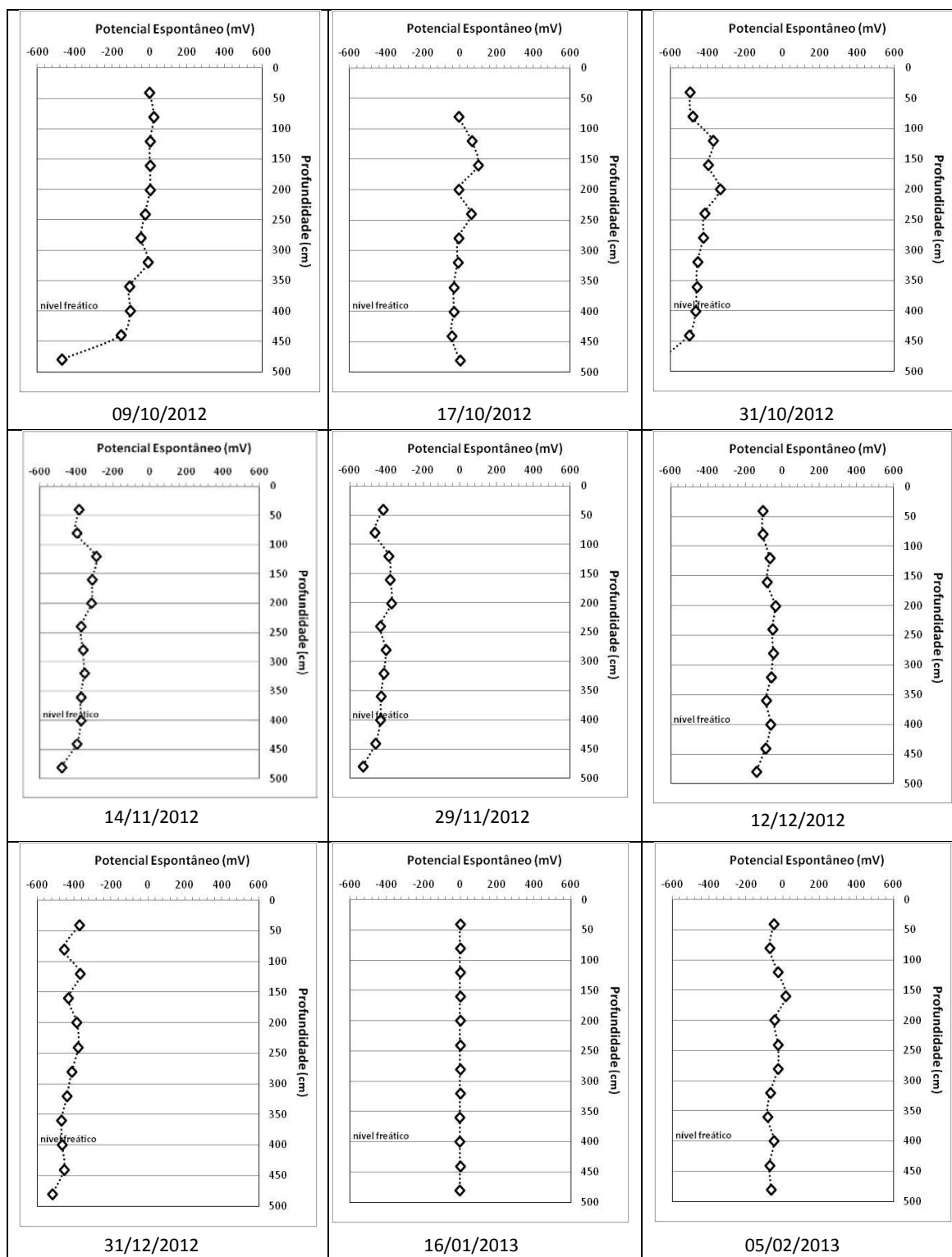
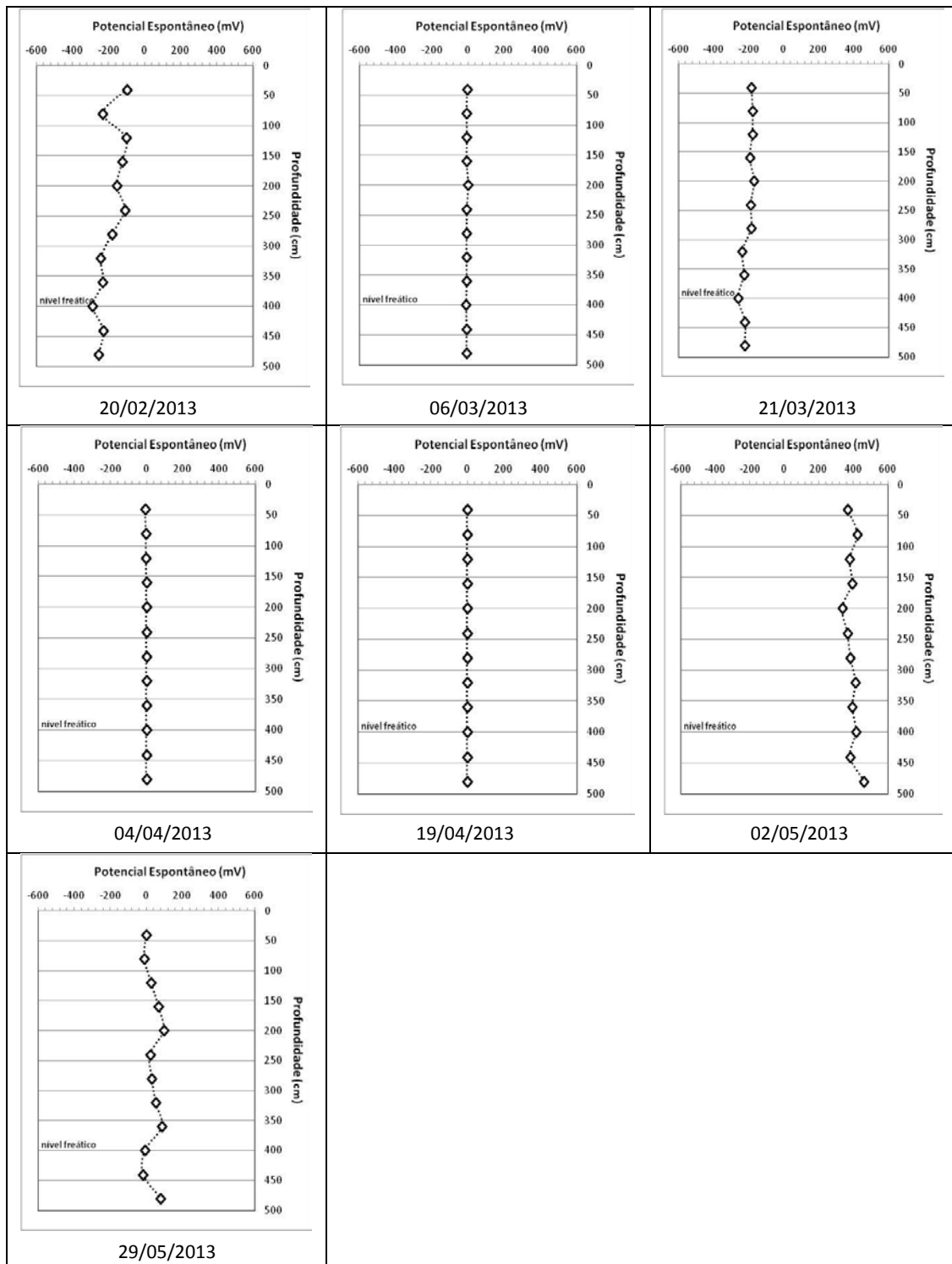


Figura 17. Potencial espontâneo x profundidade dreno 28 entre 20/02/13 e 29/05/13.



Ausência de medidas em alguns dias monitorados (27/07/12, 22/08/12, 16/01/23, 06/03/13, 04/04/13, 19/04/13) pode ser atribuída a equívocos na seleção do eletrodo de referência e na operação do equipamento. Esses dados foram desconsiderados na elaboração dos gráficos comparativos (Figuras 20 e 21).

Os resultados das análises de concentração de metano, oxigênio e gás carbônico, presentes no biogás analisado não apresentavam grande diferença quando comparados entre drenos, com variações de 4% para metano, 2% para gás carbônico e 0,24% para oxigênio (Antonio, 2012; Gotardo, 2013). Assim, as comparações com os parâmetros tempo e potencial elétrico natural consideram apenas a vazão de biogás para os drenos 5 e 28 (Tabela 1).

Tabela 1. Resultado das análises de vazão de biogás (Antonio, 2012; Gotardo, 2013).

Dias	Vazão (m³/h)	
	Dreno 05	Dreno 28
31/05/2012	41,69	94,94
14/06/2012	36,86	102,67
28/06/2012	45,65	98,04
12/07/2012	36,39	110,34
26/07/2012	36,11	121,10
09/08/2012	31,46	98,96
22/08/2012	35,82	67,82
05/09/2012	39,92	63,79
19/09/2012	77,33	127,01
03/10/2012	56,45	86,47
17/10/2012	47,19	75,49
31/10/2012	38,59	78,73
14/11/2012	47,99	100,87
28/11/2012	34,59	75,35
12/12/2012	34,70	86,44
09/01/2013	58,03	63,90
24/01/2013	39,64	93,17
08/02/2013	37,04	73,29
20/02/2013	67,54	53,14
07/03/2013	30,82	72,86
21/03/2013	44,17	61,78
04/04/2013	42,37	65,38
18/04/2013	39,89	77,73
02/05/2013	32,62	70,49
29/05/2013	41,72	58,64

É possível observar a partir dos dados de vazão que as áreas mais antigas do aterro (região do Dreno 5) apresentam baixa produção de biogás, em contraste com áreas de disposição mais recentes (região do dreno 28), uma vez que a produção de biogás diminui com o tempo de disposição dos resíduos, decorrente do consumo da matéria orgânica (Antonio, 2012; Gotardo, 2013).

Em termos comparativos, a região do dreno 28 possivelmente predomina a fase metanogênica, na qual há consumo contínuo de nutrientes e matéria orgânica para a formação de metano e dióxido de carbono. Nessa fase a produção de biogás é mais acentuada em relação a outras etapas do processo, com pico da produção segundo a proposta de Pohland & Harper (1985). O dreno 5 provavelmente está posicionado numa área com quantidades e

disponibilidade reduzida de nutrientes, fatores que provocam a diminuição na atividade biológica, com consequente queda ou término na produção de biogás.

A partir dos gráficos quinzenais de potencial elétrico natural, elaborados na mesma base gráfica com o objetivo de auxiliar a análise comparativa entre gráficos do mesmo dreno e drenos distintos, é possível observar valores relativamente constantes com a profundidade de até 4,0m, onde ocorre o nível freático local, comprovado durante a abertura dos poços. A espessura total da camada de resíduos nas regiões do dreno 5 e 28 variam de 17m a 20m, assentados em manta que impermeabiliza a célula de disposição de resíduos. Desta forma, o nível freático considerado neste trabalho consiste na zona saturada ou coluna de chorume contida nos resíduos.

Considerada a variação temporal para o período de 1 ano, foram elaborados gráficos que cruzam pluviosidade e vazão de biogás, para avaliação da influência de oxigenação e aumento do teor de umidade na degradação da matéria orgânica (Figuras 18 e 19).

Outro parâmetro que influencia a produção de biogás é a pluviosidade (Antonio, 2012; Gotardo, 2013). As figuras 18 e 19 apresentam os gráficos que demonstram que a produção de biogás diminui nos períodos secos, pois a baixa umidade provoca a redução da atividade biológica, dificulta a degradação predominantemente anaeróbia da matéria orgânica.

A vazão de biogás medidas entre os dias 09/08/2012 e 05/09/2012 é uma evidência desse fenômeno. Este período apresenta baixa vazão nos drenos e corresponde a uma época de estiagem. Com o início das chuvas a partir do dia 19/09/2012 ocorre de forma concomitante o aumento da produção de biogás nos drenos (Antonio, 2012; Gotardo, 2013).

Porém, o excesso de pluviosidade diminui a vazão, pois condições de umidade superficial do solo podem impedir a migração do gás para o exterior, através da cobertura do aterro (Brito Filho, 2005). Como observado nos dias 14/06/2012 e 9/09/2012, houve redução na produção de biogás para o dreno 28 após a ocorrência de dias chuvosos sucessivos. O excesso de chuvas provoca o aumento de oxigênio na massa de resíduos e inibe o processo de degradação anaeróbia.

Os dados de vazão de biogás evidenciam que para áreas com disposição de resíduos mais antigos a degradação anaeróbia da matéria orgânica sobre pouca influência da precipitação, algo válido para o período supracitado (Antonio, 2012; Gotardo, 2013).

Para os gráficos que cruzam o potencial elétrico natural e a pluviosidade, foram adotadas três profundidades distintas de 250 cm, 300 cm e 350 cm com o objetivo de avaliar influência da profundidade na atividade microbiana, isto é, onde ocorre maior atividade de biodegradação dos resíduos depositados.

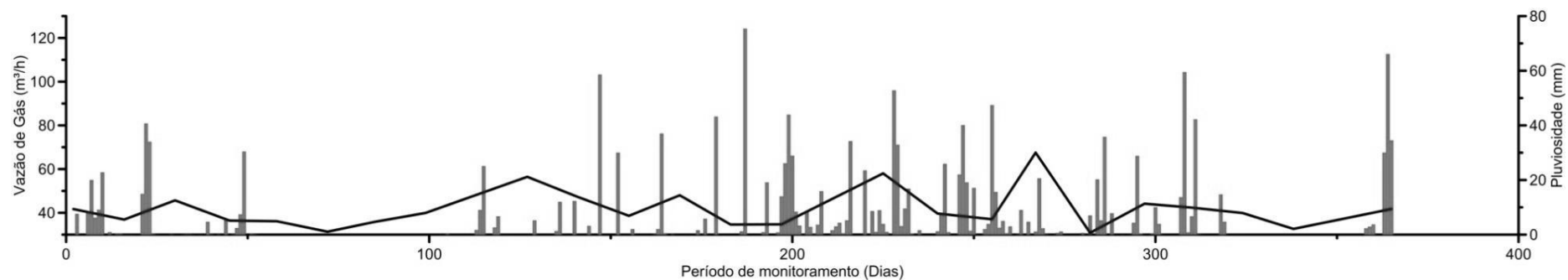


Figura 18. Variação da vazão de biogás (m^3/h) (curva) para o dreno 5 *versus* a variação da precipitação (mm) (barras) no período estudado.

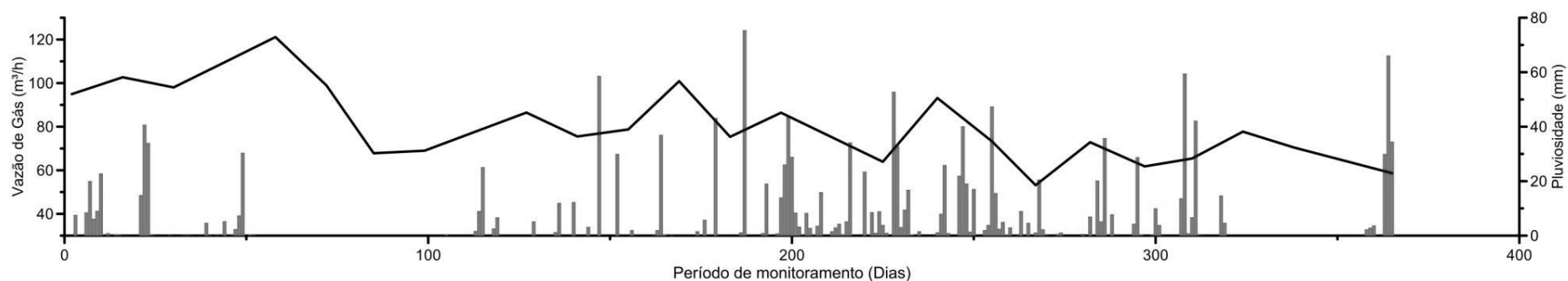


Figura 19. Variação da vazão de biogás (m^3/h) (curva) para o dreno 28 *versus* a variação da precipitação (mm) (barras) no período estudado.

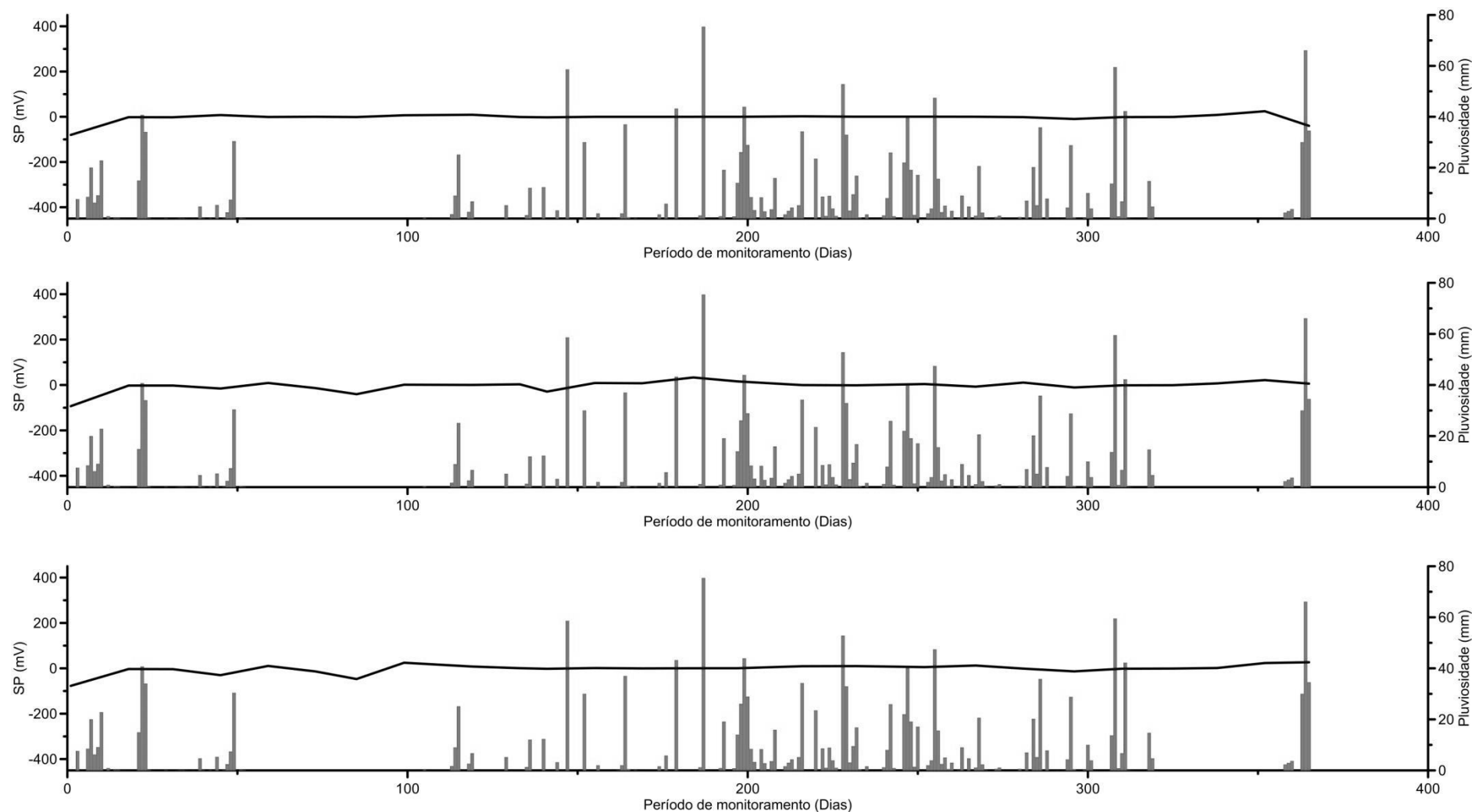


Figura 20. Variação do potencial elétrico natural (mV) (curva) para as profundidades de 250 cm, 300 cm e 350 cm do dreno 5 *versus* a variação da precipitação (mm) (barras) no período estudado.

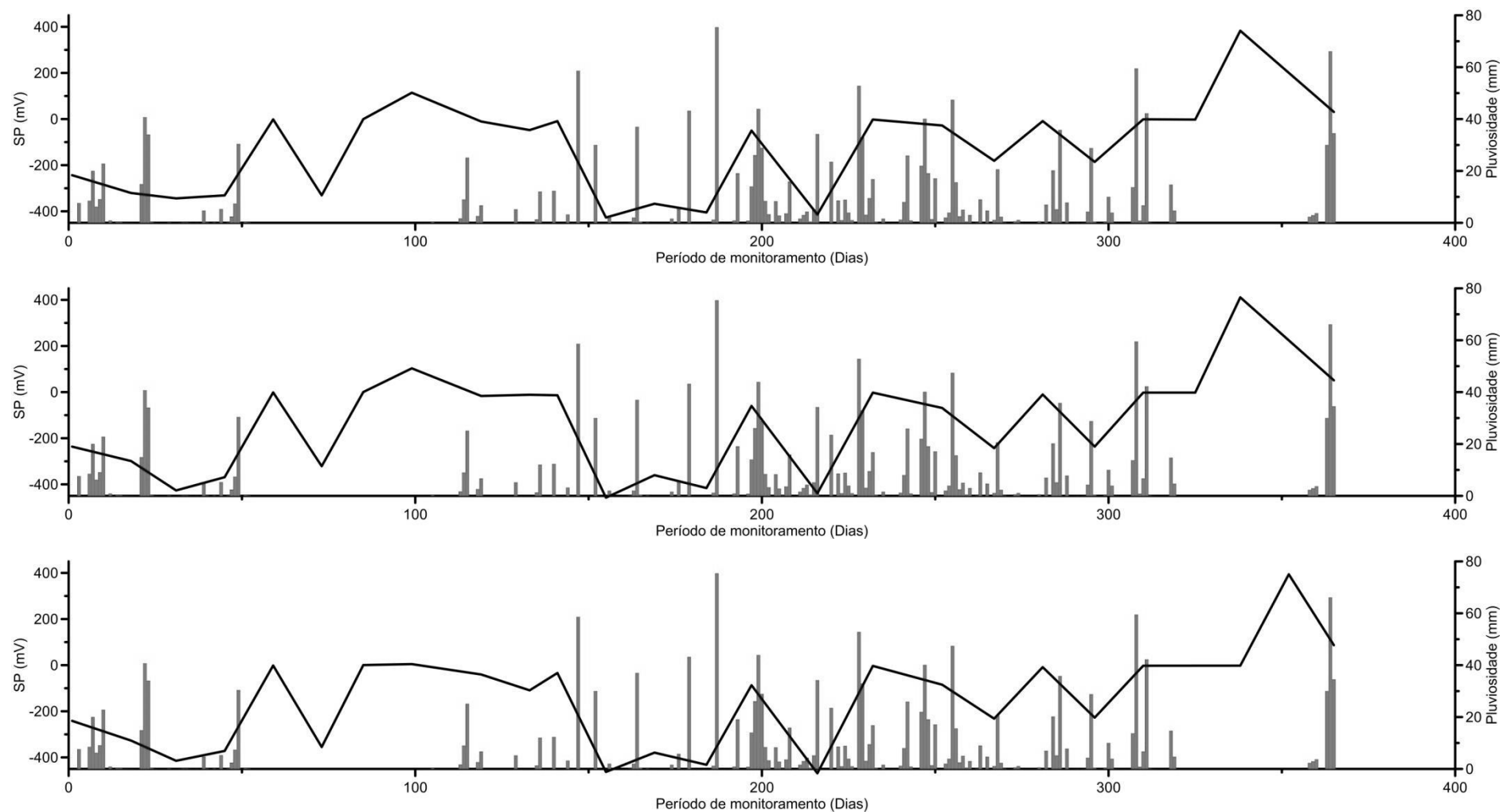


Figura 21. Variação do potencial elétrico natural (mV) (curva) para as profundidades de 250 cm, 300 cm e 350 cm do dreno 28 *versus* a variação da precipitação (mm) (barras) no período estudado.

A matéria orgânica presente em aterros sanitários é frequentemente recoberta por camadas sucessivas de resíduos, posteriormente isolado do contato atmosférico por uma camada de solo após o preenchimento total das células de disposição. Como observado nas referências bibliográficas, a profundidade é um dos fatores que corroboram para a instalação de condições físico-químicas adequadas para degradação de resíduos por bactérias anaeróbias.

A análise dos gráficos para diversas profundidades indicam que o potencial elétrico natural tende para valores mais negativos com o aumento da profundidade, fato que evidencia o aumento da atividade biodegradativa.

Os gráficos anuais servem de base comparativa entre os drenos. Nas figuras 20, referentes aos dados coletados do dreno 5, o parâmetro quase não sofre alterações diante da pequena atividade bioquímica diante da drástica redução da oferta de matéria orgânica. Em contraste, no dreno 28, o potencial elétrico natural apresenta grandes variações no período estudado, atribuído em grande parte ao fenômeno de potencial redox atuante na matéria orgânica (Figuras 21), corroborado pelos trabalhos de Naudet *et al.* (2003), Naudet *et al.* (2004) e Moreira *et al.* (2011), em detrimento do potencial elétrico gerado pelo fluxo de soluções inorgânicas em aquíferos porosos e fraturadas. Neste sentido, o período de tempo estimado para o retorno aos valores singulares do potencial elétrico natural tende a indicar o tempo necessário para o consumo do material orgânico a partir da decomposição rápida.

Como observado nos gráficos, também é possível identificar que a umidade é o fator limitante primordial na taxa de decomposição de resíduo (McBean *et al.*, 1995; Reinhart, 1996), apresentando os maiores picos de potencial elétrico natural em períodos onde não há ocorrência de chuva (figura 22).

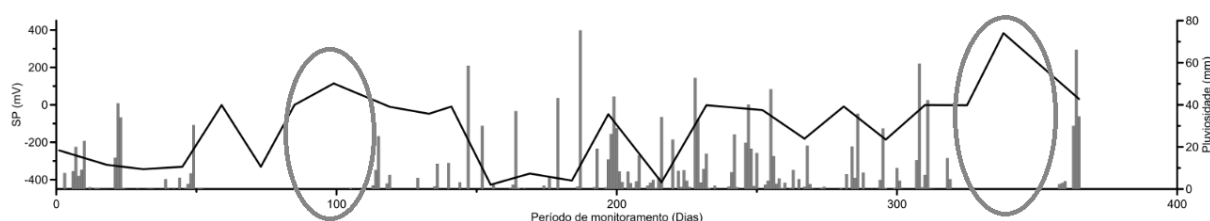


Figura 22. Regiões de acentuados valores de potencial elétrico natural (mV) (curva) para as profundidades de 250 cm do dreno 28 comparadas com variação da precipitação (mm) (barras) no período estudado.

8. CONCLUSÕES

Os resultados geofísicos indicam a sensibilidade do parâmetro físico potencial elétrico natural aos processos e produtos de degradação que envolve o consumo de matéria orgânica em aterro, além de possibilitar algumas inferências acerca de relações entre potencial elétrico natural, idade dos resíduos e a produção de biogás para o conjunto de drenos avaliados.

A produção de biogás é um importante fator indicativo da idade dos resíduos e da disponibilidade de matéria orgânica passível de biodegradação. A produção de biogás relativamente menor para o dreno 5 possivelmente indica que o maior período de permanência dos resíduos no aterro possibilitou um avanço no consumo da matéria orgânica, em contraste com o dreno 28, relativamente recente e com maior disponibilidade de matéria orgânica passível de decomposição (Antonio, 2012; Gotardo, 2013). As reações químicas que descrevem a geração de biogás em aterro envolvem matéria orgânica e água.

A proximidade dos drenos analisados e o regime análogo de ação da chuva permitem atribuir às diferenças na vazão de biogás especificamente a disponibilidade de matéria orgânica passível de consumo (Antonio, 2012; Gotardo, 2013). É provável que grande parte da matéria orgânica disponível na região do dreno 5 tenha sido consumida, enquanto na região do dreno 28 haja grande disponibilidade de material. Aparentemente, a atividade biodegradativa na região do dreno 28 é mais intensa devido a maior disponibilidade de matéria orgânica.

Esta atividade é refletida num potencial elétrico natural mais eletronegativo, atenuada na região no dreno 5, diante a menor quantidade de matéria orgânica em processo de biodegradação, indicado no potencial elétrico menos eletronegativo.

Em contrapartida, a idade dos resíduos não influencia na composição do biogás, visto que as quantidades de CH_4 , CO_2 e O_2 foram equivalentes e constantes nos drenos analisados (Antonio, 2012; Gotardo, 2013). Diante da sensibilidade dos valores de potencial elétrico natural na atividade biodegradativa e na produção de biogás, os dados do projeto de pesquisa em curso no aterro sanitário de Rio Claro (SP), descritos neste trabalho, demonstram aplicabilidade no mapeamento de áreas com potencial para geração de biogás em aterros, cuja intensidade de degradação ou vazão de biogás é inversamente proporcional ao potencial elétrico natural, ou seja, as maiores vazões de biogás estão associadas a áreas mais eletronegativas, podendo proporcionar a ampliação de drenos de captação de gás e,

consequentemente, resultar no incremento na produção e eficiência deste tipo de sistema de geração energética.

Reduzir a liberação de CH_4 na atmosfera e, de forma concomitante, proporcionar uma alternativa de produção energética a partir da queima de biogás, são soluções técnicas que possibilitam a redução do aquecimento global e a geração de energia elétrica em sistema com mínimo impacto ambiental.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEM (2006) Terrameter SAS 4000 / SAS 1000 - Instruction Manual, 136f.

AD-NETT. Anaerobic Digestion of Agro-Industrial Wastes: Information Networks. Technical Summary on Gas Treatment. Netherlands, 2000. 31p

ANP – Agência Nacional do Petróleo. Portaria 128, de 28 de agosto de 2001. 10p.

ANTONIO, S. M. **Análise da variação da vazão e da concentração do metano presentes nos gases gerados no aterro sanitário de Rio Claro – SP.** Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Rio Claro, São Paulo, 2012.

ASQUITH, G.B. & GIBSON, C.R. (1982) Basic Well Log Analysis for Geologists. American Association of Petroleum Geologists, Oklahoma, 234p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011.** São Paulo: 2012. Disponível em <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2011.pdf>>. Acesso em 20 set. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419*: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. São Paulo, 1984.

BARBOSA, O. & GOMES, F. A. **Pesquisa de Petróleo na Bacia do Rio Corumbataí.** São Paulo, DNPM/DGM, 1958. BOL. 171.

BAKER, S. S. & CULL, J. P. 2004. **Streaming potential and groundwater contamination. Exploration Geophysics**, nº 35, p. 41-44.

BENGTSSON, S. et al. **Acidogenic fermentation of industrial wastewaters: Effects of chemostat retention time and pH on volatile fatty acids production.** Biochemical Engineering Journal, **40:492, 2008.**

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento. **O Aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários: Unindo o inútil ao sustentável.** Rio de Janeiro, 2008.

BRAZ, J. A. **III-113-Avaliação do potencial energético do biogás de aterro sanitário gerado pelos resíduos sólidos domésticos do município de Rio Claro.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa/PB. Anais. João Pessoa: ABES, 2001.

BRITO FILHO, L. F. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. Dissertação** (Mestre em Ciências de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

CASTRO, M. C. A. A. de. **Avaliação de um sistema australiano de lagoas no tratamento conjunto de esgoto sanitário e líquidos percolados**. 246 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001

CATAPRETA, C.A.A., SIMÕES, G.F. (2009). **Monitoramento da qualidade do biogás gerado em aterro sanitário experimental**. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

CETESB – Companhia De Tecnologia de Saneamento Ambiental. Pesquisa sobre emissões de metano dos depósitos de lixo no Brasil. São Paulo, 1999.

CETESB – Companhia De Tecnologia de Saneamento Ambiental. Biogás: Pesquisas e Projetos no Brasil. São Paulo, 2006.

CHESF- Companhia Hidroelétrica de São Francisco. Resíduos **Sólidos Urbanos (Lixo)**. Departamento de Engenharia de Geração / Divisão de Tecnologia de Energia. Inventário de Fontes Energéticas Brasileiras. Volume II: Tecnologias. Rio de Janeiro, 1987.

COSTA, D.F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 194f. Dissertação (Mestrado em Energia), PIPGE/USP, São Paulo, 2006.

ELIS, V.R.; ZUQUETTE, L.V. 2002. Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. Rev. Bras. Geociências, 32(1):119-134.

ENSINAS, A.V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas/SP**. (Dissertação de Mestrado) Universidade de Campinas, UNICAMP. Campinas, 2003.

EPA – Environment Protection Agency. *Climate Change and Waste*. Reducing Waste Can Make a Difference. Disponível em: <
<http://www.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/cc-waste.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2013.

FERNANDES, J. G. **Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário Experimental**. Escola de engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, UFGM, Belo Horizonte, 2009.

FRÉSCA, F. R. C. **Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2007.

GALLAS, J. D. F., 1999. Geofísica - Uma Aplicação em Área Urbana de Ocorrência de Colapso de Terreno. Acta Geologica Leopoldensia, **XXIII**: 103-109.

GALLAS, J. D. F., 2000. Principais Métodos Geoeletricos e suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 174pp.

GALLAS, J.D.F., TAIOLI, F., SILVA, S.M.C.P., COELHO, O.G.W.; PAIM, P.S.G. 2005. Contaminação por chorume e sua detecção por resistividade. Revista Brasileira de Geofísica, 23(1): 51–59.

GALLAS, J. D. F.; AUGUSTO FILHO, O., 1999. Ensaio de Eletroresistividade SP e IP em Área de Risco Associado a Colapso de Terreno. Anais VI Cong. Intern. SBGf, RJ. CD-ROM.

GEORGAKI, I.; SOUPIOS, P.; SACAS, N.; VERVERIDIS, F.; TRANTAS, E.; VALLIANATOS, F. & MANIOS, T. (2008) **Evaluating the use of electrical resistivity imaging technique for improving CH₄ and CO₂ emission rate estimations in landfills.** Sci Total Environ, Vol. 389, pp. 522–531.

GHOSH, S. **Kinetics of acid-phase fermentation anaerobic digestion.** Biotechnology Bioeng., **2:301, 1981.**

GÓIS, J.R., PINHEIRO JR. V.; RIGOTI, A.; 1997. Mapeamento geoeletrico do aterro sanitário da Lamenha Pequena. In: 5th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, São Paulo, Vol 2, p1216-12

GOTARDO, O. Análise da influencia da precipitação e do tempo de disposição de resíduos domiciliares na vazão de biogás em um aterro sanitário. In: Simpósio sobre resíduos sólidos, 3, 2013, São Carlos/SP. Anais. São Carlos, 2013.

GUTTMANN, A.M. **Utilização do método geofísico eletromagnético transiente (TEM) no aterro sanitário de Gramacho, Duque de Caxias, estado do Rio de Janeiro.** (Dissertação de Mestrado) Rio de Janeiro, RJ.

HYOUNG-SOO K & YEONGHWA K. 1997. **Geoelectrical Monitoring in Nanji Waste Landfill.** Anais do V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, V1, São Paulo, SP, p. 417–42

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.** 219 p. (Departamento de População e Indicadores Sociais). Rio de Janeiro: 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2013

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe. **Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários.** São Paulo, 2009

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, 1996. Investigação geofísica com métodos sísmicos e elétricos em área sobrejacente ao túnel sul, alça Sena Madureira, próximo à estaca 1019+18,36m. Relatório IPT-34.114, 33pp.

IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo / CEMPRE – Compromisso Empresarial Para Reciclagem. **Lixo municipal. Manual de Gerenciamento Integrado**. 2a ed., São Paulo-SP, 2000, p.370.

KEAREY, P.; BROOKS, B.M.; HILL, I. **An Introduction to Geophysical Exploration**. 3ª ed. Reino Unido, 272p.

JACOBI, P.R. BESEN, G.R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios as sustentabilidade. Estudos Avançados. Vol. 25, no. 71. São Paulo. p. 135-158.

LEITE, L. E. H. B. C., MAHLER, C. F., BRITO FILHO, L. F. (2005). **Avaliação do potencial de recitas derivadas do biogás de aterros**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

LIPOR. **Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto**. Disponível em: <http://www.lipor.pt>. Acesso em 25 mar. 2013.

LOWRIE, W. **Fundamentals of geophysics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 381p.

MALAGUTTI, W., BRAGA, A.C.O., ELIS, V.R., TANDEL, R.Y.; PORSANI, J.L. 1997. Aplicação integrada de técnicas geofísicas no aterro sanitário de Rio Claro-SP – resultados preliminares. In: 5th International Congress of the brazilian Geophysical Society, São Paulo, Vol 2, p422-425

MASSEY, M.L.; POHLAND, F.G. Phase separation of anaerobic stabilization by kinetic controls. *J. Water pollut. Control. Fed.* 50:2204, 1978.

McBEAN, E.A.; ROVERS, F.A.; FARQUHAR, G.J. Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall: 2005. p. 521.

MILSOM, J. **Field geophysics: the geological field guide series**. 3. ed. London: Wiley, 2003. 249p.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. O.; FRIES, M. (2009) **Degradação de resíduos e alterações na resistividade elétrica, pH e Eh**. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 27, n2, p.283-293. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbg/v27n1/a05v27n1.pdf>>. Acesso em 10 dez. de 2012.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. O.; HANSEN, M.A.F. (2011) Estimativa do tempo de produção de chorume em aterro controlado por meio de medidas de resistividade elétrica. Revista Brasileira de Geociências, vol. 41, n.3, p.549-557. Disponível em <http://www.ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/rbg/article/view/21281/17148> . Acesso em 10 ago. de 2012

MOTA, R.; MONTEIRO SANTOS, F. A.; MATEUS, A.; MARQUES, F. O.; GONÇALVES, M. A.; FIGUEIRAS, J.; AMARAL, H. (2004) Granite fracturing and incipient pollution

beneath a recent landfill facility as detected by geoelectrical surveys. *Journal of Applied Geophysics*, vol. 57, p.11-22.

NASH, M. S., ATEKWANA, E. AND SAUCK W.A., 1997: Geophysical investigation of anomalous conductivity at a hydrocarbon contamination site. In *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*. P. 675 – 683

NAUDET, V.; REVIL, A.; BOTTERO, J. Y.; BÉGASSAT, P. (2003) **Relationship between self-potential (SP) signals and redox conditions in contaminated groundwater**. *Geophysical Research Letters*, vol. 30, n° 21, p. 1-4.

NAUDET, V.; REVIL, A.; RIZZO, E.; BOTTERO, J. Y.; BÉGASSAT, P. **Groundwater redox conditions in a contaminant plume from geoelectrical investigations**. *Hydrogeology and Earth System Sciences*, vol. 8, no 1, p.8-22, 2004.

NYQUIST, J.E. CORRY, C.E. 2002. **Self-potencial: The ugly duckling of environmental geophysics**. *The Leading Edge*, p. 446-451.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **The World Health Report 2007 – A safer future: global public health security in the 21st. century**. Disponível em: <<http://www.who.int/whr/2007/en/index.html>>. Acesso em: 18 mar. 2013.

PELCZAR JR, M.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: MAKRON Books, 1996. Vol. II. 517 p.

PEREIRA, J. C., *Motores e Geradores – Princípio de funcionamento, instalação e manutenção de grupos diesel geradores*, 2006. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br>>. Acesso em: 16 mai. 2013.

PEREIRA. S. S. **Reflexões sobre o Processo de Urbanização e a Necessidade de Gestão Ambiental: O Caso dos Resíduos de Serviço de Saúde da Cidade de Campina Grande/PB**. 2012. *Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade*. Vol. 2. no.1, p.87-103.

PERRY, J. W., CORRY, C. E., MADDEN, T. R. (1996), **Monitoring leakage from underground storage tanks using spontaneous polarization (SP) method**, *SEG Expanded Abstr.*, 15, 932 – 93

POHLAND, F. G.; GOULD, J. P. **Co-disposal of municipal refuse and industrial waste sludge in landfills**. *Water Science Technology*. v.18, n.12, p.177-192. (1986).

POHLAND, F.G.; HARPER, S.R. **Critical review and sumary of leachate and gas production from landfills**. Tech. project n.E20 G01, dec. (1985).

Reinhart, D.R., (1996) **"Full-Scale Experiences with Leachate Recirculating Landfills - Case Studies,"** *Waste Management and Research*, 14: 347.

RELATÓRIO AMBIENTAL PRELIMINAR – RAP. **Aterro sanitário e industrial do município de Rio Claro – SP.** Ação engenharia. São Paulo – SP.

REVIL, A.; CARY, L.; FAN, Q.; FINIZOLA, A.; TROLAND, F. 2005. **Self-potential signals associated with preferential ground water flow pathways in a buried paleo-channel.** Geophysical Research Letters, vol. 32, p. 1 a 4.

SATO, M.; MOONEY, H.M. 1960. The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials. Geophysics, **25**: 226-249.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. **Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná.** Porto Alegre, Anais XXVIII Congr. Bras. Geol., SBG, 1974. (v.1) 41 - 65pp.

SIMÕES, M. G. & FITTIPALDI, F. C. 1992. **Fósseis da Região de Rio Claro.** Rio Claro, Arquivo Municipal, 77pp.

SILVA, T. N. **Diagnóstico da produção de biogás em um aterro sanitário: estudo do caso no aterro bandeirantes.** Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí, 2006

SILVA, W.R.. **Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais.** 201 p. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba. 2009.

SOARES, P. C. 1972. **O limite glacial – pós - glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, (v.44) 333 - 342pp

STEVANATO, R., FERREIRA, F.J.F., PEGORARO, M.; TAVARES, F.S. 2003. **Imageamento elétrico 2-D e polarização induzida na detecção de pluma de contaminação no aterro sanitário de Itajaí-SC.** In: 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, CDRom, 6p

TARAZONA, C.F., Estimativa de produção de gás em aterros de resíduos sólidos urbanos. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. (2004) **Applied Geophysics.** 2º ed., New York: Cambridge University Press, 774 p.

YANG, S. T.; GUO, M. **Kinetics of methanogenesis from whey permeate in packed bed immobilized cells bioreactor.** Biotechnology Bioengineering, 36:427, 1990.

THEMELIS, N.J.; ULLOA, P.A. (2007) **Methane generation in landfills.** Renewable Energy, vol. 32, p. 1243-1257.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL S. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues.** USA: McGraw-Hill, 1993. 978 p.

TROPPMAIR, H. **Atlas da Qualidade Ambiental e de Vida de Rio Claro**. 1992.

USTRA, A. T.; ELIS, V. R.; MONDELLI, G.; ZUQUETTE, L. V.; GIACHETTI, H. L. (2011) Case study: a 3D resistivity and induced polarization imaging from downstream a waste disposal site in Brazil. *Environmental Earth Science*, v. 64, p. 1-10.

VICHABIAN, Y., REPPERT, P., MORGAN, F. D. (1999), **Self-potential mapping of contaminants**. Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, Environ. And Eng. Geophys. Soc., Oakland, Calif., 14–18 Marc

YANG, S. T.; GUO, M. **Kinetics of methanogenesis from whey permeate in packed bed immobilized cells bioreactor**. *Biotechnology Bioengineering*, 36:427, 1990.

ZAINE, J. E. 1994. **A geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Estadual Paulista, Unesp, Rio Claro, São Paulo.