

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

LEONARDO PAIOLI CARRAZZA

RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM ATERRO SANITÁRIO E
RELAÇÕES COM A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

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 Geólogo.

Orientador: prof. Dr. Cesar Augusto Moreira

Rio Claro - SP
2013

551 Carrazza, Leonardo Paioli
C313r Resistividade elétrica em aterro sanitário e relações com a
produção de biogás / Leonardo Paioli Carrazza. - Rio Claro,
2013
38 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geologia) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas
Orientador: Cesar Augusto Moreira

1. Geofísica. 2. Eletorresistividade. I. Título.

LEONARDO PAIOLI CARRAZZA

RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM ATERRO SANITÁRIO E RELAÇÕES COM A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

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 Geólogo.

Comissão Examinadora

PROF. DR. CESAR AUGUSTO MOREIRA (orientador)

PROF. DR. JOÃO CARLOS DOURADO

PROF. DR. MARCUS CESAR AVEZUM ALVES DE CASTRO

Rio Claro, 11 de NOVEMBRO de 2013.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS:

Em primeiro lugar quero agradecer a todos os envolvidos no projeto de pesquisa. A começar pelo professor orientador Dr. César Augusto Moreira pela contribuição com conhecimento, auxílio na elaboração da monografia, ajuda na coleta e tratamento de dados e, mais importante, por estar sempre aberto para novas discussões sobre o resultado deste trabalho. A seguir, gostaria de agradecer à Fernanda Cavallari (estudante) por ajudar a realizar esse trabalho, além de Paula Junqueira (estudante) que assim como a Fernanda e o professor César, ajudaram também com a coleta de dados. Agradeço muito o professor Dr. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro e suas orientandas Sarita Magnan e Natasha, por terem contribuído com dados de vazão de biogás e de pluviosidade. Agradeço também o professor Dr. João Carlos Dourado que corrigiu esse trabalho desde que era um projeto de pesquisa e TCC parcial, contribuindo com observações. Por fim, agradeço ao CEAPLA da Unesp de Rio Claro pelos dados de pluviosidade utilizados neste trabalho.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer imensamente a todos os professores do curso de graduação de Geologia na Unesp, os quais contribuíram e muito compartilhando seus conhecimentos com os alunos. Agradeço também meus pais Sylvia Leda Paioli Carrazza e Mário Carrazza por terem ajudado revisando este trabalho, além de salvarem (muitas) cópias por segurança em seus computadores. Quero agradecer imensamente também cada amigo, mesmo os que desistiram anteriormente do curso, porque querendo ou não tiveram certa contribuição em elaborações de trabalhos e discussões muito produtivas. Mais do que especialmente, agradeço aos amigos Rafael Paes, Igor Pelaes, Paulo Vedovello, José Gustavo Cristóvão de Macedo e aos amigos geólogos Luis Fernando Cordido e Pedro Lemos Camarero, pois ajudaram tanto no trabalho quanto na convivência fora da faculdade.

Em terceiro lugar, gostaria de agradecer a Ideval Souza Costa, chefe do Museu de Geologia da USP, que foi quem me apresentou inicialmente à geologia em 2007.

A todos vocês, o meu sincero MUITO OBRIGADO!

"(...)When you got nothing, you got nothing to lose (...)"

Like a Rolling Stone, Bob Dylan

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
3. TRABALHOS RELACIONADOS À TEMÁTICA.....	13
3.1 Fatores responsáveis pela geração de biogás.....	13
3.2 Exemplos de estudos envolvendo geofísica com meio ambiente e trabalhos sobre produção de biogás.....	14
4. LOCAL DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO.....	17
5. GEOLOGIA REGIONAL.....	19
5.1 Geologia Local.....	21
6. MÉTODOS GEOFÍSICOS.....	22
6.1 Eletrorresistividade.....	22
7. AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS.....	24
8. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	26
8.1 Discussão dos resultados.....	35
9. CONCLUSÕES.....	37
10. REFERÊNCIAS.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área com posição aproximada dos drenos (5 e 28) estudados (modificado de Google Earth).....	17
Figura 2 - Localização de todos os drenos do aterro de Rio Claro-SP com indicação das fases realizadas (ANTONIO, 2012).....	18
Figura 3 – Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro, Limeira, Piracicaba (SP). Perinotto & Zaine, modificado de Soares & Landim (1975).....	19
Figura 4 – Propagação de campo elétrico em meio tridimensional, por meio de dispositivo de quatro eletrodos (adaptado de Knödel, 2007).....	23
Figura 5 – Termo anemômetro TESTO modelo 405-V1 (ANTONIO, 2012).....	25
Figura 6A – Perfuração para instalação do cabo (arquivo pessoal).....	25
Figura 6B – Cabo para medidas de potencial elétrico natural e resistividade elétrica (arquivo pessoal).....	25
Figura 6C – Procedimento de instalação (arquivo pessoal).....	25
Figura 6D – Equipamento de medidas, resistivímetro (arquivo pessoal).....	25

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Resistividade elétrica x profundidade dreno 5 dias 30-05-12 a 25-09-12 (arquivo pessoal).....	26
Quadro 2 – Resistividade elétrica x profundidade dreno 5 dias 09-10-12 a 05-02-13 (arquivo pessoal).....	27
Quadro 3 – Resistividade elétrica x profundidade dreno 5 dias 20-02-13 a 29-05-13 (arquivo pessoal).....	28
Quadro 4 – Resistividade elétrica x profundidade dreno 28 dias 30-05-12 a 25-09-12 (arquivo pessoal).....	29
Quadro 5 – Resistividade elétrica x profundidade dreno 28 dias 09-10-12 a 05-02-13 (arquivo pessoal).....	30
Quadro 6 – Resistividade elétrica x profundidade dreno 28 dias 20-02-13 a 29-05-13 (arquivo pessoal).....	31
Tabela 1 – Vazão de biogás nos drenos 5 e 28 durante o período de monitoramento (ANTONIO, 2012; GOTARDO, 2013).....	32
Quadro 7 – Resistividade (linha) x Pluviosidade (barras) para as profundidades de 260cm (A), 300cm (B) e 340cm (C) referentes ao dreno 5. Vazão de gás (linha) x Pluviosidade (barras) para o dreno 5. (Arquivo pessoal, elaborado em Grapher 8).....	33
Quadro 8 – Resistividade (linha) x Pluviosidade (barras) para as profundidades de 260cm (A), 300cm (B) e 340cm (C) referentes ao dreno 28. Vazão de gás (linha) x Pluviosidade (barras) para o dreno 28. (Arquivo pessoal, elaborado em Grapher 8).....	34

Resumo – O biogás de aterro sanitário pode ser uma alternativa de recurso energético como combustível em geradores de energia elétrica, porém, são escassas as técnicas para a prospecção do gás. Aterros sanitários costumam receber resíduos domiciliares, os quais são constituídos por quantidades significativas de matéria orgânica, cuja decomposição por atividade anaeróbica é responsável pela produção do biogás. A geofísica é uma ferramenta já consagrada em estudos ambientais e a eletrorresistividade, um método empregado em estudos de zonas contaminadas por lixiviado, necrochorume, além do monitoramento do fluxo desses contaminantes. Sendo assim, a eletrorresistividade não possui aplicação em estudos que visam encontrar zonas com acúmulo de biogás em aterros sanitários. Para este estudo, foram selecionados dois drenos de biogás do aterro sanitário do município de Rio Claro-SP: um com disposição de resíduos que corresponde ao início das atividades no aterro e outro com disposição mais recente. O resultado consiste em uma produção de biogás muito mais intensa no dreno cuja disposição foi mais recente se comparada ao dreno mais antigo. O presente trabalho consiste em um monitoramento de um ano, com coleta de dados a cada quinze dias. Esses dados foram tabelados no programa Excel 2010 e gerados gráficos de resistividade x profundidade. A seguir, foram escolhidos os intervalos de profundidade cuja variação de resistividade foi mais significativa, para posterior realização de gráficos de pluviosidade x resistividade no programa Grapher 8, além do gráfico de vazão de gás em (m^3/h), durante o período de monitoramento. A escolha de gráficos com pluviosidade se justifica pelo fato de a mesma influenciar diretamente nos valores de resistividade elétrica. O resultado demonstra que um horizonte no dreno cuja disposição de resíduos ocorreu há menos tempo, pode ter acumulações de biogás, e que seriam necessários estudos mais aprofundados para confirmar a presença ou não do gás. Por fim, o método se mostrou eficaz, contudo, para a aplicação de qualquer método geofísico, é necessário o conhecimento sobre suas limitações; neste caso, a influência da pluviosidade e também o fato das medições serem realizadas em um ponto fixo, ou seja, não demonstra qualquer variação lateral.

Palavras chave - Eletrorresistividade, Resistividade Elétrica, Biogás, Aterro Sanitário

Abstract – The landfill biogas can be an alternative energetic resource as a fuel to electrical energy generators, although, there are not too many techniques to prospect the gas. Usually, landfills receive home waste, which in most are constituted by organic matter whose degradation by anaerobic activity produces the biogas. Geophysics is an important tool in environmental studies and the electrorresistivity, an important method employed in contaminated areas by slurry or necroslurry, including a monitoring for each contaminator flow. The electrorresistivity has not too much application in finding biogas. For this work, two biogas drains in Rio Claro-SP landfill were selected: one whose waste disposition correspond to the initial activities in the landfill and another drain whose disposition started more recently. The result consists in a higher biogas production if compared to the biogas from the older drain. The present paper consists in a monitoring along one year, with dates collection in each fifteen days. These dates were tabled in Excel 2010 program and graphics of resistivity x depth were generated. Hereafter, most variable resistivity values depth were chosen, to further graphics pluviosity x resistivity generation in Grapher 8 program and the biogas output (m^3/h) in monitoring period. The use of pluviosity parameter can be justified by its influence above resistivity. The results show that there is a horizon with possibly biogas accumulation. Lastly, the method was effective, although, for any application of geophysical methods, the knowledge about its limitations is necessary; in this case the influence of pluviosity and also that the measurements were made in one single point, it will not show any side variation.

Key words – Electrorresistivity, Electrical Resistivity, Biogas, Landfill

1. INTRODUÇÃO

Toda atividade humana produz resíduos, usualmente denominados de lixo. À medida que o ser humano foi evoluindo, diretamente proporcional a esta evolução, cresceu a complexidade do lixo descartado, a advento da manufatura e produção de bens de consumo em larga escala (ZAFFALON, 2009). É coletado apenas cerca de 37% do resíduo produzido no Brasil e somente uma fração deste é tratado. Segundo o IBGE (2000), são coletadas no Brasil, aproximadamente, 228.413 toneladas de resíduos sólidos diariamente, sendo 125.281 toneladas referentes aos resíduos domiciliares (ICLEI-Brasil, 2009). O restante será encaminhado a depósitos a céu aberto ou barrancas de rios.

De acordo com CEMPRE-IPT (1996), o aterro nada mais é que um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo que permite a confinação segura em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. Um dos principais produtos da decomposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários é o biogás.

A produção de biogás depende de diversos fatores, tais como composições dos resíduos, ambiente anaeróbico, umidade, acidez e temperatura. Em materiais como papelão e restos de alimentos, a geração de biogás ocorre no segundo ano após a deposição dos resíduos, ao passo que em materiais como metais e madeira, ocorrem aproximadamente no sexto ano após a deposição (MARIOTONI & CUNHA, 2006). O biogás pode ser utilizado para produção de energias térmica, elétrica e combustível para veículos (ICLEI-Brasil, 2009).

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, pois a viabilidade deste procedimento reside muitas vezes na semelhança entre o parâmetro ou elemento analisado.

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 (KEAREY, 2002).

Perfilagem é uma área da geofísica aplicada na aquisição de dados e análise de propriedades físicas em poços ou furos exploratórios por meio de instrumental semelhante ao

utilizado em aquisições terrestres, embora com sensores de leitura adaptados para perfurações (ELLIS & SINGER, 2008).

Possui aplicações em estudos hidrogeológicos e ambientais, mas com uso em larga escala 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).

2. OBJETIVOS

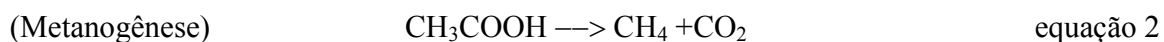
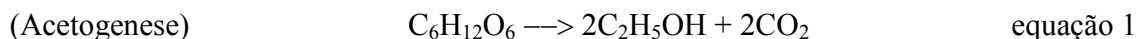
O estudo visa realizar medidas de resistividade elétrica ao lado de dois drenos de biogás no aterro sanitário municipal de Rio Claro-SP e verificar a possibilidade de a eletrorresistividade ser eficaz para encontrar horizontes com acúmulo de biogás.

3. TRABALHOS RELACIONADOS À TEMÁTICA

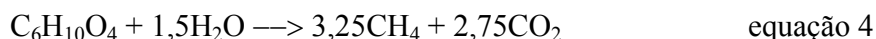
3.1 Fatores responsáveis pela geração de biogás em aterros

Reações biogeoquímicas são iniciadas imediatamente após cobertura de resíduos em aterros. Os compostos orgânicos são oxidados em processos aeróbicos nas posições rasas, onde ocorre aeração por aporte de oxigênio atmosférico ou infiltração de águas meteóricas, em reações semelhantes à combustão, com geração de CO_2 e vapor de água. A ação de processos de biodegradação da matéria orgânica gera dois sub-produtos principais: chorume e biogás.

O efeito de processos químicos e biológicos é acentuado por digestão anaeróbica em três estágios principais (THEMELIS & ULLOA, 2007). A princípio ocorre hidrólise de matéria orgânica complexa por ação de bactérias fermentativas em moléculas solúveis. Na sequência estas moléculas são convertidas em ácidos orgânicos simples como ácido acético, ácido propiônico, ácido butírico e etanol, além de CO_2 e H_2 . No terceiro estágio ocorre a geração de CH_4 por bactérias metanogênicas, pela quebra de ácidos em CH_4 e CO_2 ou pela redução de CO_2 e H_2 (Equações 2, 3 e 4).



A quantidade máxima de biogás que pode ser produzida por decomposição anaeróbica pode ser determinada de forma aproximada (Equação 4).



Esta reação exotérmica libera uma pequena quantidade de calor e produz um gás com teores médios de 54% de CH_4 e 46% de CO_2 . O biogás gerado em aterros contém também vapor

de água próximo do ponto de saturação, além de pequenas quantidades de NH_4 , H_2 , H_2S e outros constituintes menores.

Existem diversos fatores a serem atendidos para que haja continuidade do processo anaeróbico. Contudo, é fundamental que haja um suprimento constante do principal reagente envolvido no processo, ou seja, água (THEMELIS & ULLOA, 2007).

3.2 Exemplos de estudos envolvendo geofísica com meio ambiente e trabalhos sobre produção de biogás

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).

Métodos geofísicos podem ser muito utilizados para estudos ambientais. A eletrorresistividade é uma ferramenta consagrada nesses estudos, possuindo muitas aplicações. Contudo, além da eletrorresistividade, outros métodos geofísicos são utilizados em estudos ambientais, mas com a finalidade de detectar fluxos de contaminantes, plumas de contaminação, etc., isto é, são raros estudos com geofísica que visam tentar correlacionar valores adquiridos por seus métodos com produção de biogás. A seguir estão citados trabalhos com aplicação de métodos geofísicos em estudos ambientais.

O trabalho de Moreira, Braga & Fries (2009) aplicou a eletrorresistividade no aterro sanitário do município de Cordeirópolis-SP. No trabalho, o aterro foi dividido em seções de acordo com o ano em que foram contruídas. Valores de baixa resistividade estavam associados à quantidade significativa de sais dissolvidos, indicando uma evolução contínua no processo de consumo da matéria orgânica nos anos de 2004 a 2007, em que houve elevada produção de chorume e grande quantidade de íons dissolvidos.

No trabalho de Costa Silva, Malagutti Filho & Moreira (2009), a eletrorresistividade foi aplicada para o estudo da contaminação subterrânea do cemitério municipal de Vila Rezende, no município de Piracicaba-SP. Com a aplicação, foi possível a identificação de plumas de

contaminação por causa do necrochorume. Após o estabelecimento dessas zonas contaminadas, foram sugeridos meios de controlar a contaminação.

O trabalho de Ustra *et al.* (2011), teve como foco a aplicação dos métodos geofísicos da eletrorresistividade e da polarização induzida no aterro sanitário do município de Bauru, Estado de São Paulo. Os dados foram coletados com base no arranjo dipolo-dipolo. A investigação dos dados coletados foi feita construindo-se modelos em 3D que mostram a variação de ambos parâmetros em profundidade, a fim de encontrar zonas com plumas de contaminação. Essas plumas foram identificadas como alta cargabilidade e baixa resistividade.

No trabalho de Lollo *et al.* (2011), os métodos geofísicos de eletrorresistividade, polarização induzida e GPR foram aplicados no município de Ilha Solteira-SP, a fim de identificar solos colapsíveis, contudo, os dados obtidos pelo GPR foram afetados por interferências e não foram discutidos. Os dados foram obtidos pelo arranjo dipolo-dipolo e o estudo mostrou as variações do solo em profundidade e de suas propriedades físicas, podendo caracterizá-lo como colapsível ou não.

O trabalho de Bortolin & Malagutti Filho (2012) teve como objetivo a aplicação do método da eletrorresistividade no aterro controlado do município de Rio Claro-SP com a finalidade de encontrar plumas de contaminação de resíduos urbanos. Para tanto foram realizadas sondagens elétricas verticais (SEVs) para a coleta de dados de resistividade elétrica. Zonas com resistividade mais baixa foram caracterizadas como plumas de contaminação. Além de identificar essas plumas, os autoras determinaram a direção do fluxo de contaminantes como para sudeste.

Oliveira, Moreira & Menezes (2010) aplicaram a polarização induzida em um depósito de resíduos do município de Caçapava do Sul-RS. A aquisição dos dados foi realizada com oito linhas de caminhamento (direção N-S), com 5 metros de espaçamento entre eletrodos e 10 metros de separação entre linhas. A camada de resíduos sólidos pôde ser caracterizada como baixa cargabilidade em condições de nível freático raso, podendo caracterizar uma polarização eletrolítica.

Moreira, Braga & Hansen (2011) aplicaram o método da eletrorresistividade para estimar o tempo de produção de chorume no aterro controlado do município de Cordeirópolis-SP. A aquisição de dados foi realizada pelas 25 sondagens elétricas verticais no arranjo Schlumberger. Os dados de resistividade elétrica obtidos foram interpretados como camadas de solo, resíduos ou soleira de diabásio. Os autores estimaram 21 anos como o tempo máximo de produção e

percolação de chorume nas valas do aterro em um contexto de solo argiloso. No caso da soleira, o tempo foi estimado em 8 anos.

Elis *et al.* (2008) fizeram uma comparação entre o arranjo dipolo-dipolo axial e Schlumberger utilizando-os em dois lugares: o campo de teste do IAG (USP-SP) e um depósito de resíduos no município de Ribeirão Preto-SP, usando sondagem elétrica vertical. Os autores ressaltam a importância da utilização dos métodos elétricos para identificação de zonas saturadas e as sondagens elétricas verticais podem auxiliar em encontrar zonas de contaminação.

Georgaki *et al.* (2008) aplicaram a eletrorresistividade em um depósito de resíduos chamado Pera Galini, na ilha de Creta no sul da Grécia para identificar a produção de gás carbônico e metano, utilizando caminhamentos elétricos. Com a eletrorresistividade foi possível determinar a espessura dos resíduos, a presença de chorume ou água (valores de baixa resistividade), composição dos resíduos e épocas de alto e baixo fluxo de gás.

Antonio (2012) realizou um trabalho de medição da variação da produção e composição do biogás do aterro municipal de Rio Claro-SP. Analisando todos os gráficos, as conclusões tiradas foram que os resíduos sólidos do aterro estão ainda na fase metanogênica e apresentam matéria orgânica ainda passível de ser decomposta, mesmo se tratando de drenos mais antigos, na faixa de 8 a 9 anos de disposição de resíduos. Além disso, os valores do metano presentes no biogás não mostraram influência com a precipitação (pluviosidade).

O trabalho de Marques (2012) foi realizado no aterro sanitário de Rio Claro-SP com o objetivo principal de avaliar o potencial de geração de gás metano no aterro. Para isso, inicialmente foram selecionadas áreas cujas disposições de resíduos ocorreram em épocas distintas. Os resultados demonstraram que os resíduos com massa mais úmida, seja pelo clima chuvoso (pluviosidade), seja pela recirculação de lixiviado, são mais propícios para a geração do gás metano.

4. LOCAL DE ESTUDO 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). A principal via de acesso é a rodovia Cornélio Pires (SP-127), próximo ao Bairro Jardim Novo. O aterro recebe em média 5 mil toneladas de resíduos sólidos domésticos por mês, possui uma área de 142 mil m² e está em atividade desde 2001.

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).



Figura 1 – Localização da área com posição aproximada dos drenos (5 e 38) estudados (modificado de Google Earth)

A CETESB divulgou o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares referente ao ano de 2012, os dados revelam a classificação do aterro sanitário de Rio Claro é “adequada” com nota atribuída pelo Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR) 7,5 .

A figura 2 a seguir mostra a posição dos drenos e as respectivas atividades realizadas no aterro (ANTONIO, 2012).

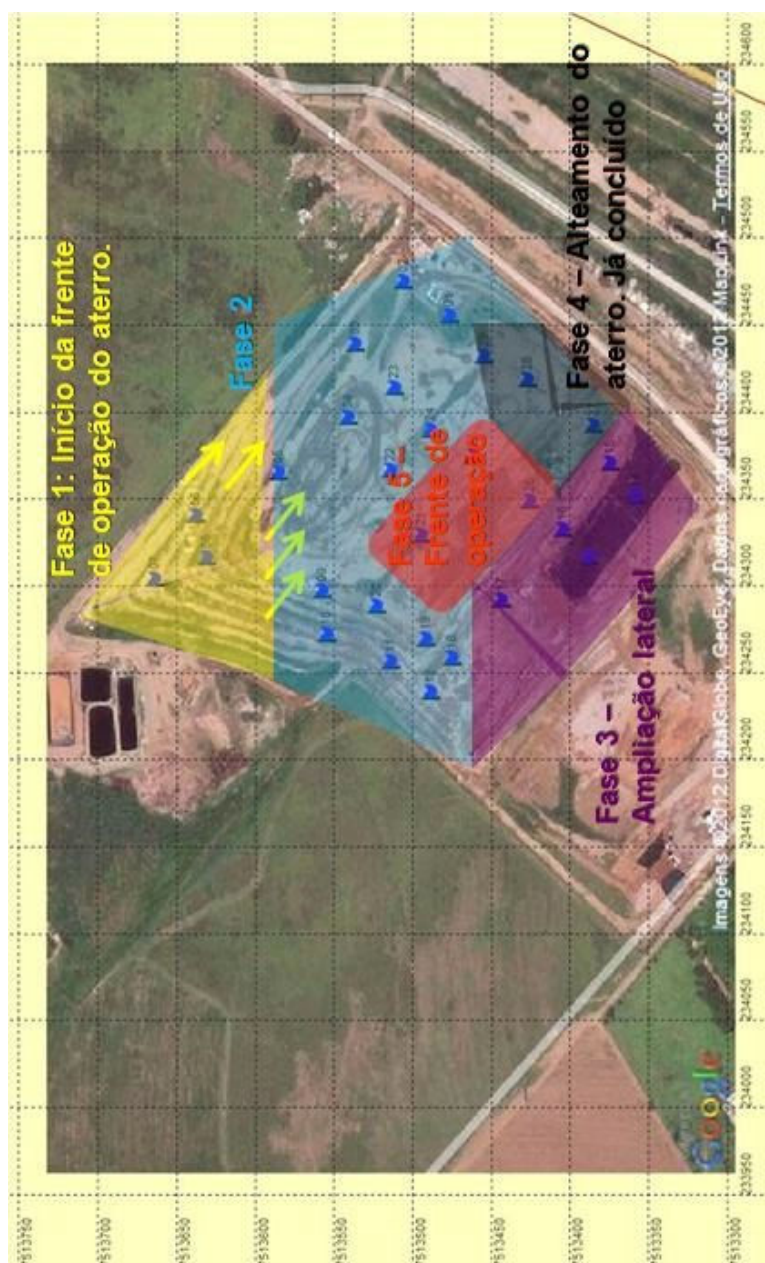


Figura 2 – Localização de todos os drenos do aterro de Rio Claro-SP com indicação das fases realizadas (ANTONIO, 2012)

5. GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná. A coluna estratigráfica de Perinotto & Zaine (2008), modificada de Soares & Landim (1975) mostra os litotipos desta bacia na região de Rio Claro (Figura 3).

ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espos. (m)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	ARENITOS POUCO CONSOLIDADOS COM LENTES DE ARGILAS E NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE (Arenitos = reservatórios de água subterrânea em profundidade da região de Rio Claro)	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRE. COLUVIÕES
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	ARENITOS CONGLOMERÁTICOS E ARENITOS SILICIFICADOS / FERRICRETES	CONTINENTAL: LEQUES ALUVIAIS, FLUVIAL E LACUSTRE
MESOZÓICA	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	DERRAMES DE BASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE. DIQUES E SOLEIRAS DE DIABÁSIO (Basalto e diabásio = matéria-prima para brita)	MAGMATISMO FISSURAL
	JURÁSSICO		BOTUCATU		100	ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRÃOS BEM ARREDONDADOS E BEM ESFÉRICOS. POUCA ARGILA <i>Argila = matéria-prima para cerâmica</i>	CONTINENTAL: DESÉRTICO
	TRIÁSSICO		PIRAMBOIA		150	ARENITOS COM GRÃOS ARREDONDADOS E ESPERDIDOS. DIVERSOS NÍVEIS DE LAMITOS	CONTINENTAL: FLUVIAL E DESÉRTICO
			CORUMBATAI		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS E COQUINAS (Argilitos = matéria-prima para cerâmica e tijolos na região de Rio Claro)	CONTINENTAL: LACUSTRE TRANSICIONAL: PLANÍCIE DE MARÉ
PALEOZÓICA	PERMIANO	PASSA DOIS	IRATI		40	FOLHELHOS, SILTITOS, FOLHELHOS PIROBETUMINOSOS, CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS (Folhelhos são rochas com alta quantidade de matéria orgânica na região de Rio Claro, que se transformam em petróleo)	TRANSICIONAL: LAGUNA MARINHO RASO: PLATAFORMA
			TATUI		50	SILTITOS E SILTITOS ARENOSOS	TRANSICIONAL: PLANÍCIE COSTEIRA MARINHO RASO: PLATAFORMA
		ITARARÉ	Grupo ITARARÉ (dividido no Estado de São Paulo)		900	ARENITOS, SILTITOS, VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS TILITOS) (Arenitos = reservatórios de água subterrânea em profundidade da região)	CONTINENTAL (GLACIAL): ALUVIAL - LEQUES E FLUVIAL; LACUSTRE TRANSICIONAL: DELTAS MARINHO (GLACIO-MARINHO): PLATAFORMAL
			EMBASAMENTO			GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS, QUARTZITOS	
	CARBONÍFERO						
	Pré-Cambriano						

Figura 3 – Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro/Limeira/Piracicaba (SP). Perinotto & Zaine (2008), modificado de Soares & Landim (1975).

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 plataformar. 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 subseqüências: 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 seqüência, 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).

5.1 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 (ZAINÉ, 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.

6. MÉTODOS GEOFÍSICOS

A geofísica é uma ciência que estuda feições geológicas em subsuperfície, visando encontrar contrastes de propriedades físicas dessas feições. As propriedades podem ser naturais; gravimetria (densidade) e magnetometria (campo magnético) ou então artificiais; polarização induzida.

Métodos geofísicos podem ser empregados em estudos ambientais. A Eletrorresistividade é uma ferramenta já consagrada em trabalhos de caracterização e monitoramento de áreas contaminadas, como aterros de resíduos sólidos, cemitérios e áreas industriais (MOREIRA, BRAGA & FRIES, 2009; COSTA SILVA, MALAGUTTI FILHO & MOREIRA, 2009; MOREIRA & BRAGA, 2009).

6.1 Eletrorresistividade

A Eletrorresistividade é um método geofísico que consiste na geração artificial de correntes elétricas que são introduzidas no solo e as diferenças de potencial resultantes são lidas na superfície. Os desvios do padrão de diferenças de potencial esperado do solo homogêneo fornecem informações sobre a forma e as propriedades elétricas das inomogeneidades de subsuperfície (KEAREY, 2002).

O método de Eletrorresistividade é baseado na propagação em subsuperfície de campo elétrico gerado artificialmente, pela injeção de corrente elétrica (I) a partir de dispositivos eletródico (TELFORD *et al.*, 2004). O potencial elétrico (ΔV) produzido pela passagem deste campo em subsuperfície é captado por meio de um circuito receptor e medido por auxílio de um voltímetro (Figura 3). A aplicação da Lei de Ohm considerando o arranjo entre os eletrodos, representado por um fator denominado K, permite medidas do parâmetro resistividade aparente (ρ_a) para vários níveis de profundidade (Equação 5):

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad \Omega.m \text{ (equação 5)}$$

O coeficiente K pode ser definido conforme a equação 6:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que A e B são os eletrodos que emitem a corrente elétrica, e M e N os eletrodos que realizam a leitura dos valores de resistividade, ou seja, que recebem a corrente de volta.

Variações de resistividade elétrica são esperadas em processos naturais de biodegradação da matéria orgânica, podendo este método ser aplicado à estudos ambientais. Tais variações podem estar associadas ao conteúdo de água no local e até mesmo com a produção de gás. Neste sentido, o método geofísico de eletrorresistividade é aplicável em estudos ambientais.

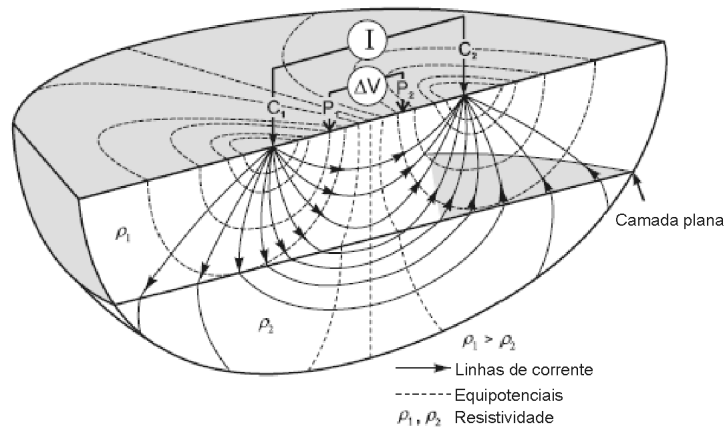


Figura 4 - Propagação de campo elétrico em meio tridimensional, por meio de um dispositivo de quatro eletrodos (Adaptado de Knödel, 2007).

Sua vantagem reside na simplicidade no instrumental envolvido e versatilidade de aquisição de dados em pequenas áreas, além da variabilidade do parâmetro físico quando medido no ambiente geológico. As principais desvantagens associadas ao método são a necessidade de cabos de conexão entre os sensores de leitura e o equipamento, além da elevada susceptibilidade a ruídos produzidos por sistemas elétricos como transformadores, aterramentos e motores, elementos que podem inviabilizar ensaios em grandes áreas ou em ambiente urbano.

O método investiga as propriedades elétricas de corpos subjacentes à superfície. Desta maneira, a resistividade elétrica pode indicar corpos muito condutores (apresentando baixa resistividade) ou então isolantes (com resistividade elevada). Assim, o método busca encontrar contrastes entre corpos. Estes contrastes são aproveitados tanto em pesquisa mineral quanto em estudos ambientais.

7. AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

Inicialmente foram selecionados dois dutos de gás que apresentam características distintas por conta da deposição atual ou antiga de resíduos. O dreno 5 cruza resíduos mais antigos, cuja porção basal remonta ao início da operação do aterro (fase 1), enquanto que o dreno 28 está localizado numa região com resíduos lançados nas atividades da fase 4 do aterro, ou seja, são mais recentes que os do dreno 5 e recentemente atingiu a capacidade de recebimento de materiais (ANTONIO, 2012).

As medidas de resistividade elétrica foram realizadas em um monitoramento de um ano, com coleta de dados a cada 15 dias, iniciado em 30 de maio de 2012 e encerrado em 29 de maio de 2013.

Essas medidas contaram inicialmente com a elaboração de cabos elétricos com sensores desenvolvidos a base de grafita, acopláveis ao equipamento geofísico denominado resistivímetro. Foi utilizado o resistivímetro Terrameter SAS 4000, que possibilita leituras de resistividade elétrica, cargabilidade e potencial elétrico natural, por meio de ciclos periódicos de leitura em intervalos de tempo programados. O arranjo utilizado foi o Wenner e a técnica foi a de perfilagem geofísica.

Para a medição da velocidade do biogás, foi utilizado o termo-anemômetro digital TESTO modelo 405-V1 (figura 5). Os procedimentos para medição da velocidade do biogás estão descritos em Antonio (2012).

Os dados de resistividade foram tabelados no programa Excel 2010 e foram gerados gráficos resistividade x profundidade. Em seguida foram escolhidos as profundidades 260cm, 300cm e 340cm, pois apresentavam maior variação. Esses dados foram utilizados para gerar gráficos de resistividade x pluviosidade no programa Grapher 8. Os dados de pluviosidade foram fornecidos pelo CEAPLA da Unesp de Rio Claro.



Figura 5 – Termo anemômetro TESTO modelo 405-V1 (ANTONIO, 2012).

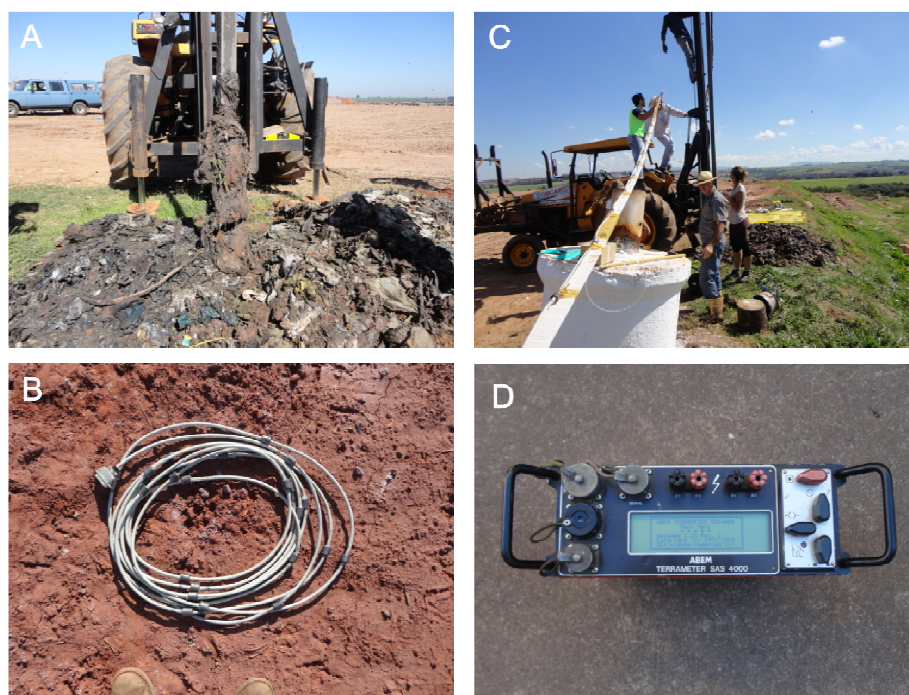
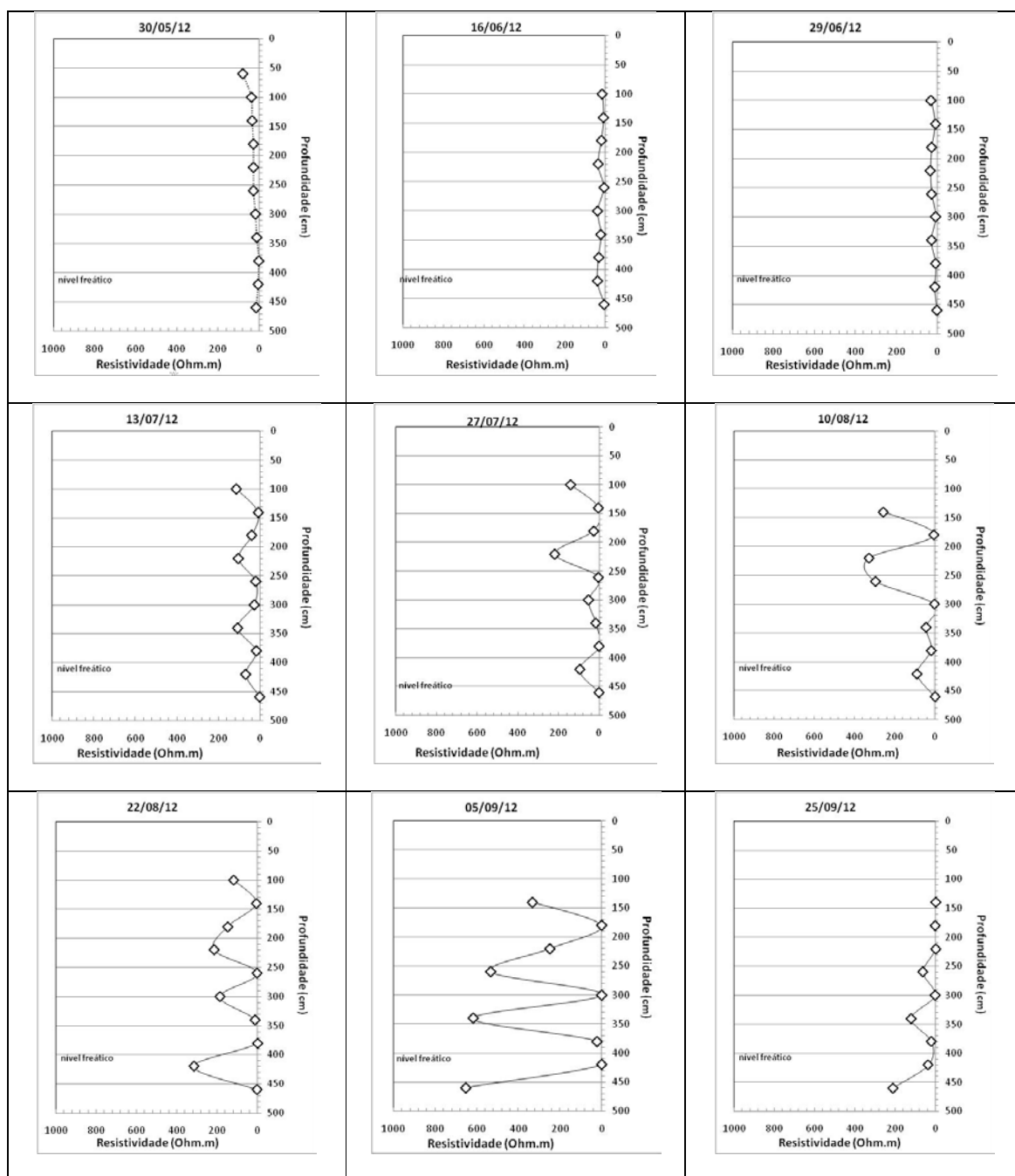


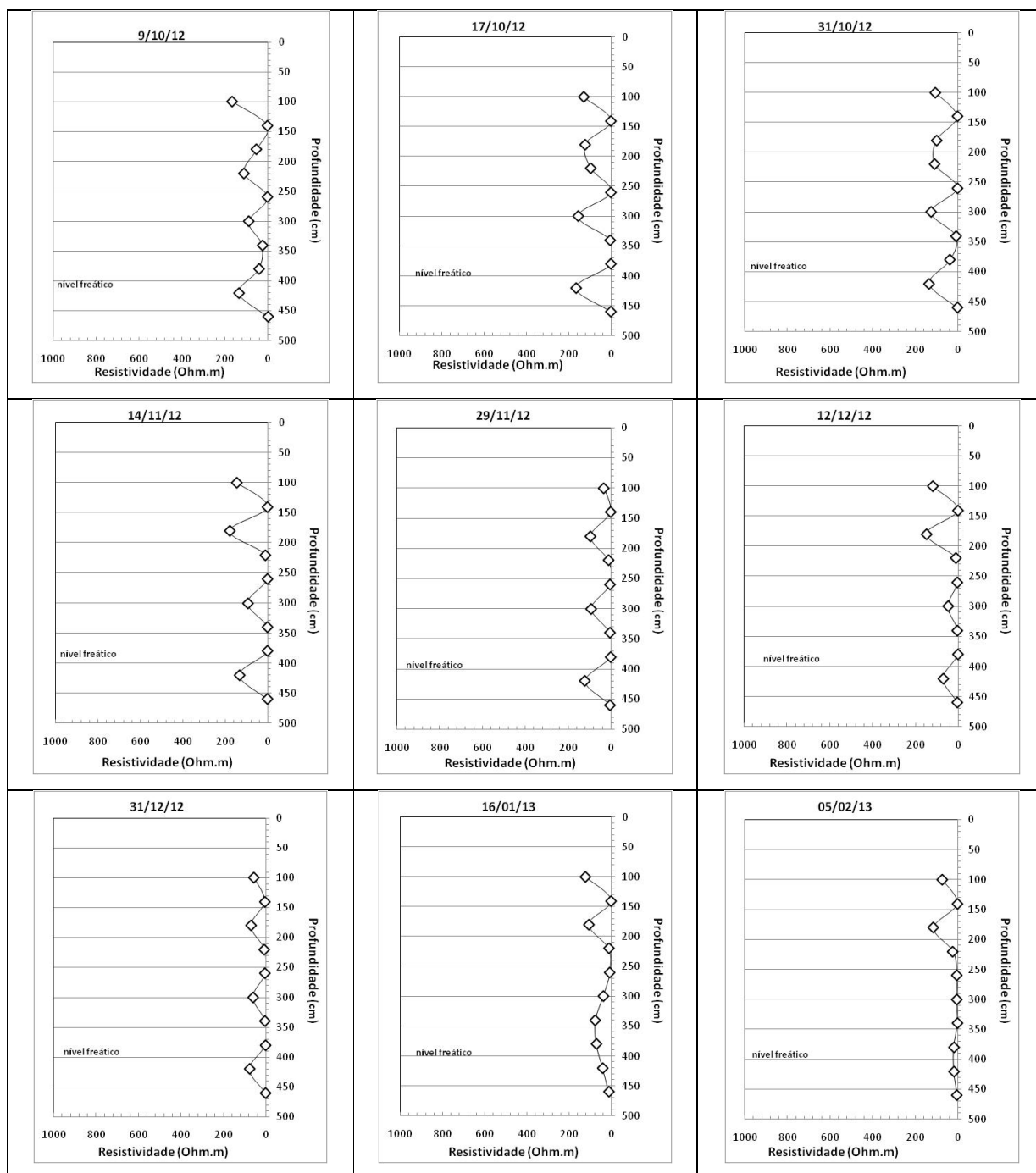
Figura 6 - A) Perfuração para instalação do cabo. B) Cabo para medidas de potencial elétrico natural e resistividade elétrica. C) Procedimento de instalação. D) Equipamento de medidas, resistímetro. (Arquivo pessoal).

8. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

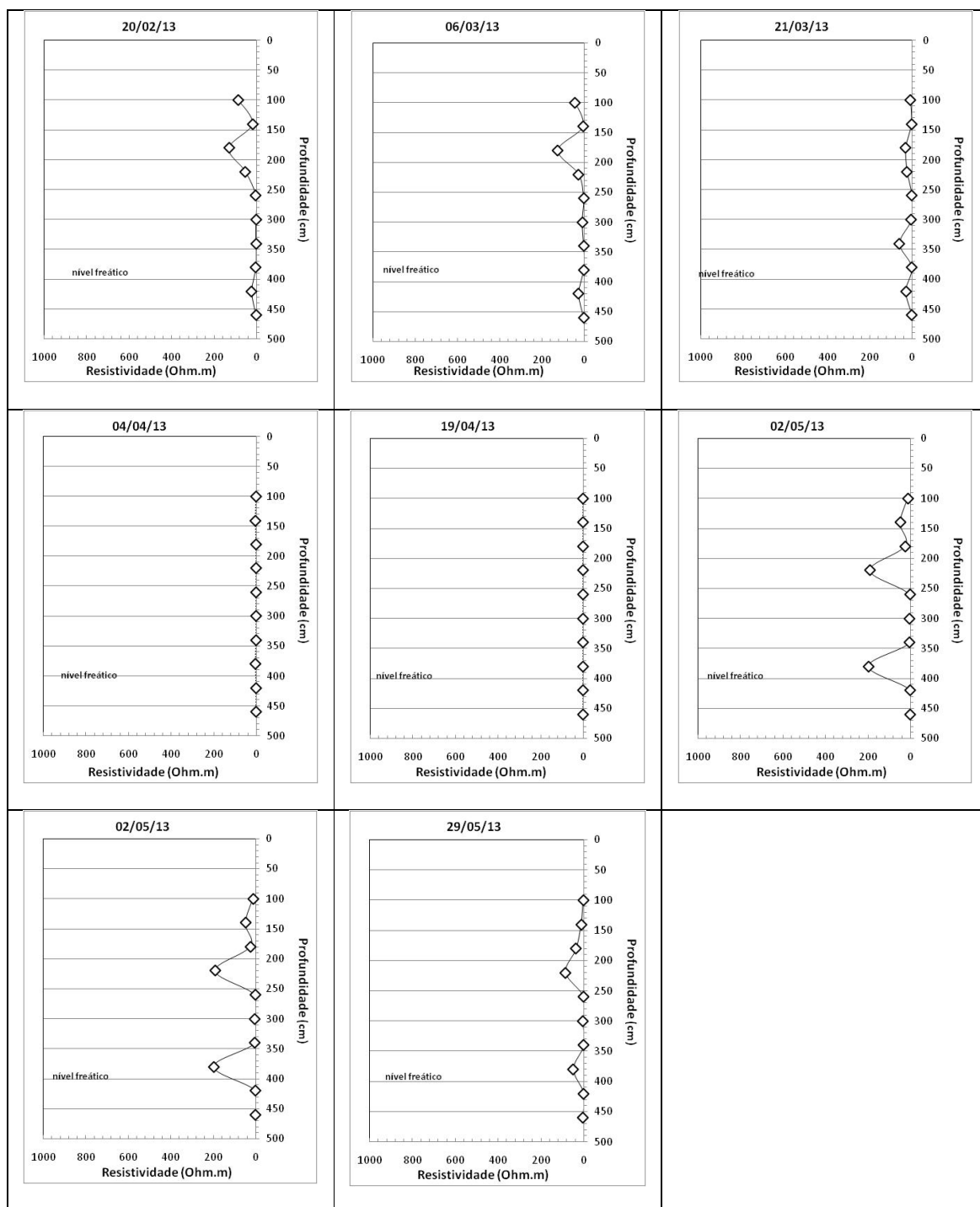
Os dados de resistividade elétrica são apresentados de forma gráfica, com a profundidade de leitura e posição do nível freático de lixiviado para o dreno 5 (Quadros 1 a 3).



Quadro 1: Resistividade elétrica x profundidade dreno 5 dos dias 30-05-12 até 25-09-12 (arquivo pessoal).

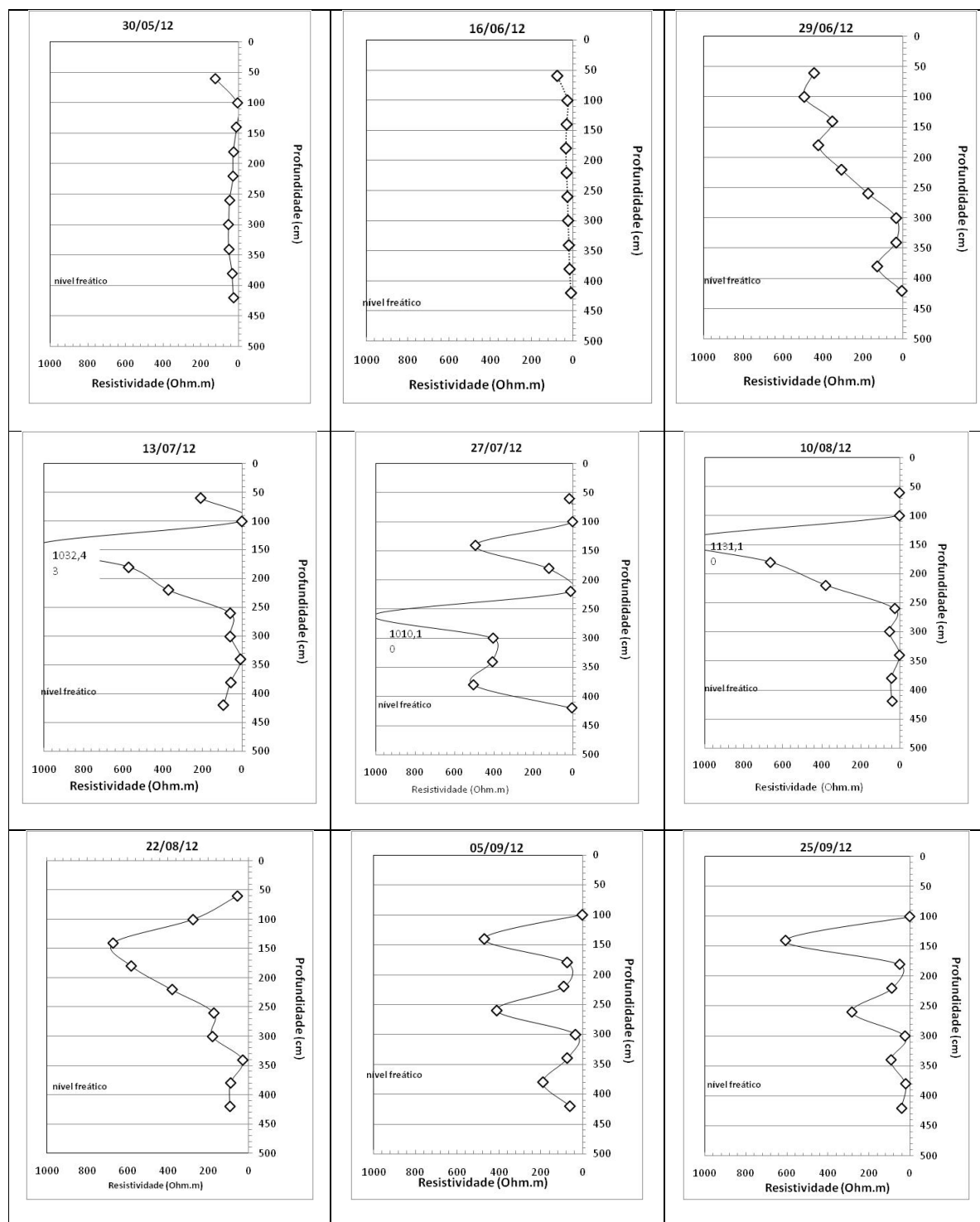


Quadro 2: Resistividade elétrica x profundidade do dreno 5 dos dias 09-10-12 a 05-02-13 (arquivo pessoal).

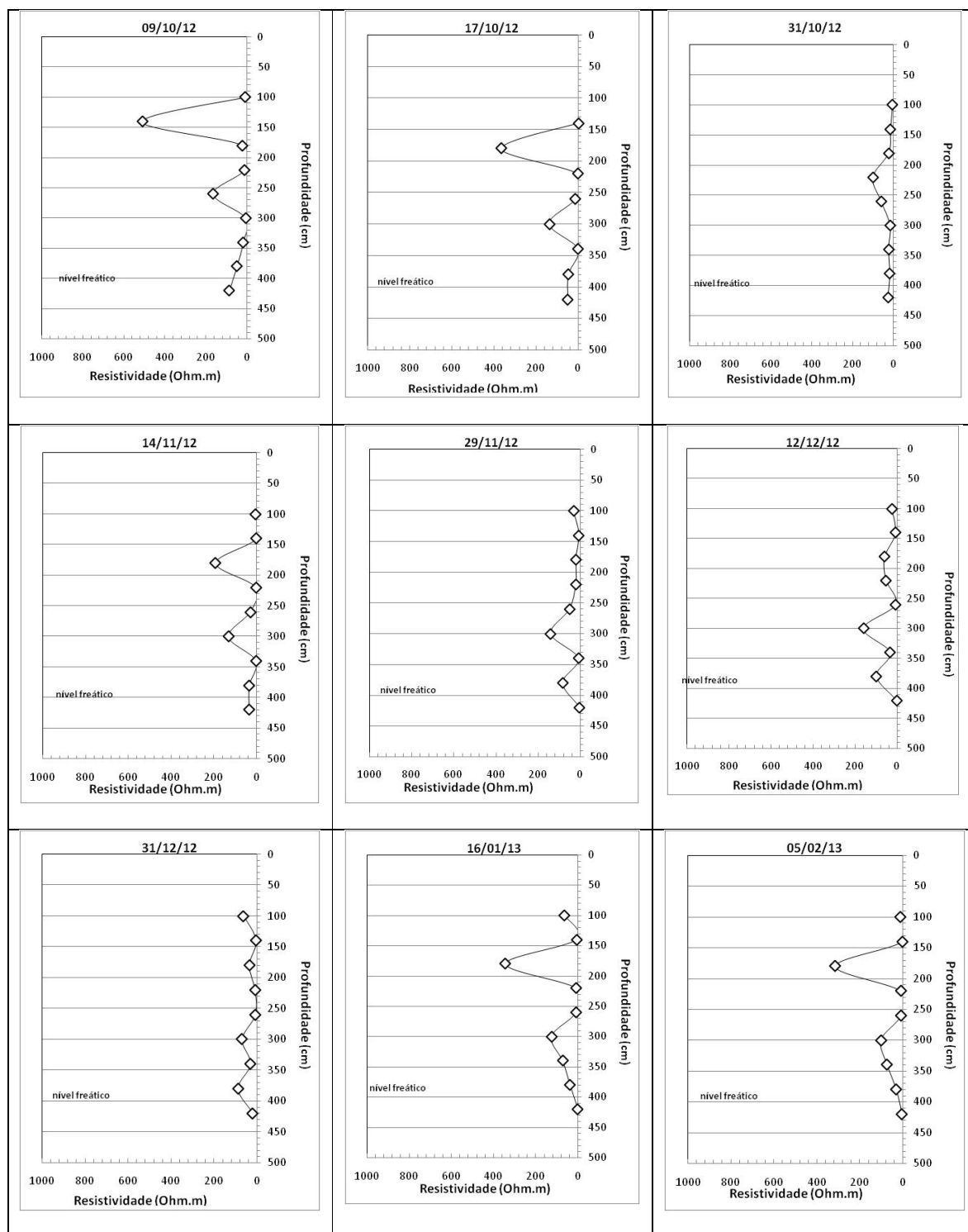


Quadro 3: Resistividade elétrica x profundidade drenó 5 dos dias 20-02-13 até 29-05-13 (arquivo pessoal).

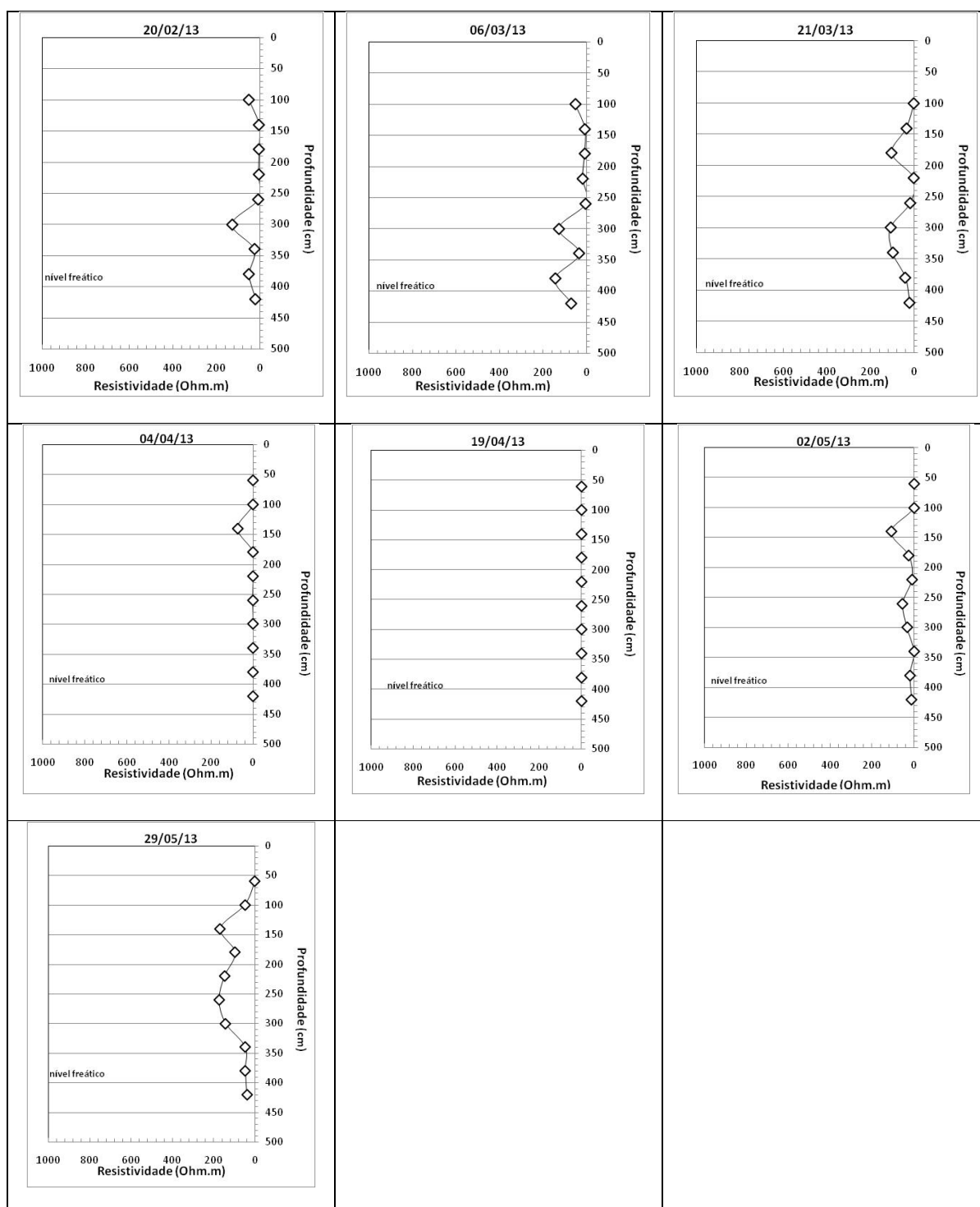
Esta mesma forma de apresentação foi adotada para os dados referentes ao drenó 28 (Quadros 4 a 6).



Quadro 4: Resistividade elétrica x profundidade dreno 28 dos dias 30-05-12 até 25-09-12 (arquivo pessoal)



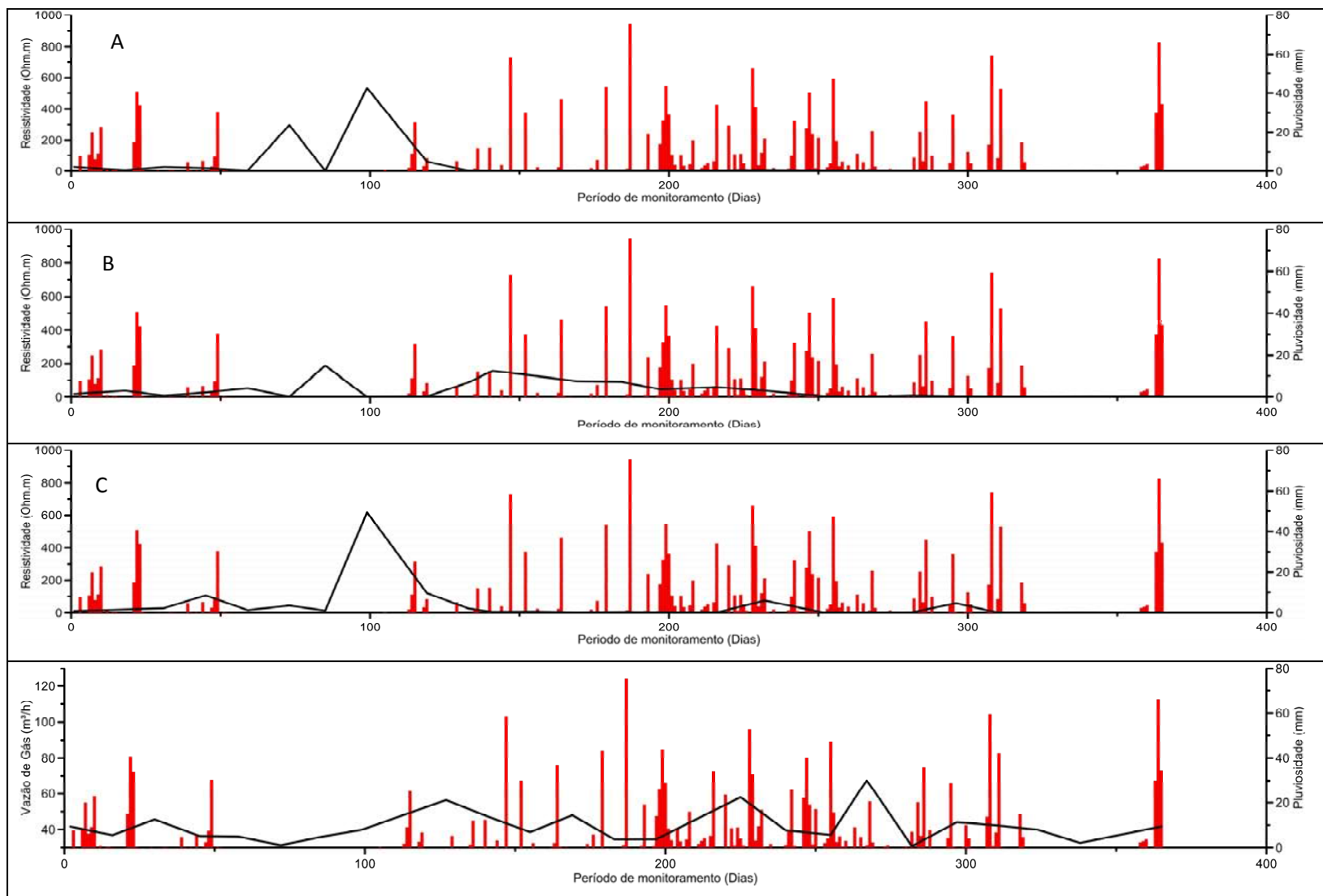
Quadro 5: Resistividade elétrica x profundidade dreno 28 dos dias 09-10-12 até 05-02-13 (arquivo pessoal).



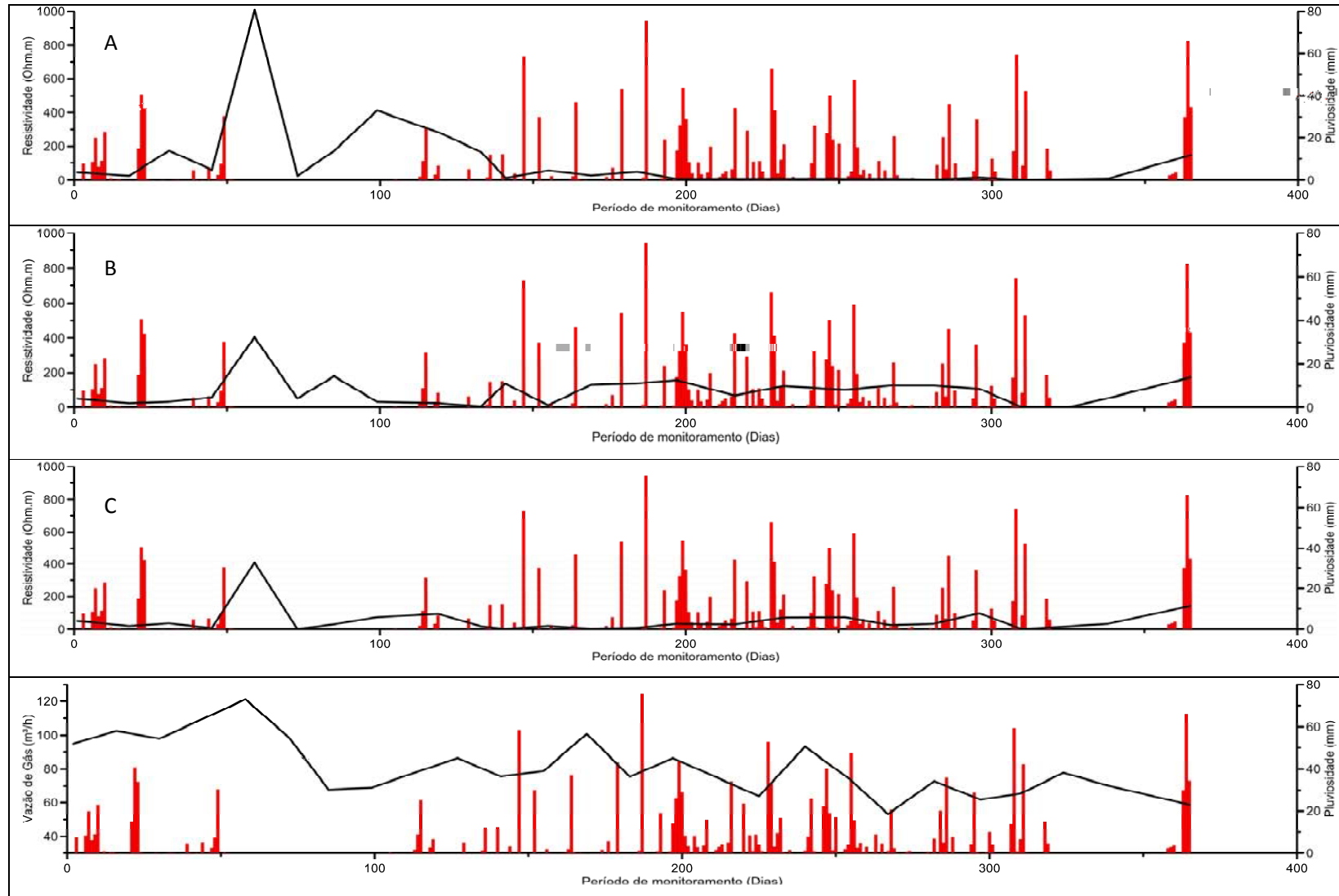
Quadro 6: Resistividade elétrica x profundidade dreno 28 dos dias 20-02-13 até 29-05-13 (arquivo pessoal).

Tabela 1 – Vazão de biogás dos drenos 5 e 28 durante o período de monitoramento (ANTONIO, 2012; GOTARDO, 2013).

Data	Vazão (m³/h) dreno 5	Vazão (m³/h) dreno 28
31/05/12	41,69	94,95
14/06/12	36,90	102,69
28/06/12	45,68	98,03
12/07/12	36,42	110,37
26/07/12	36,14	121,13
09/08/12	31,34	98,98
22/08/12	35,85	67,82
05/09/12	39,94	68,99
03/10/12	56,46	86,48
17/10/12	47,20	75,51
31/10/12	38,61	78,74
14/11/12	48,01	100,89
28/11/12	34,62	75,35
12/12/12	34,71	86,42
09/01/13	58,03	63,90
24/01/13	39,65	93,15
08/02/13	37,04	73,28
20/02/13	67,53	53,15
07/03/13	30,82	72,86
21/03/13	44,16	61,78
04/04/13	42,36	65,39
18/04/13	39,89	77,73
02/05/13	32,62	70,47
29/05/13	41,74	58,66



Quadro 7: Resistividade (linha) x Pluviosidade (barras) para as profundidades de 260cm (A), 300cm (B) e 340cm (C) referentes ao dreno 5. Vazão de gás (linha) x Pluviosidade (barras) para o dreno 5. (Arquivo pessoal, elaborado em Grapher 8).



Quadro 8: Resistividade (linha) x Pluviosidade (barras) para as profundidades 260cm (A), 300cm (B) e 340cm (C) referentes ao dreno 28. Vazão de gás (linha) x Pluviosidade (barras) para o dreno 28. (Arquivo pessoal, elaborado em Grapher 8).

8.1 Discussão dos resultados

Os resultados da variação de resistividade elétrica durante o monitoramento anual estão expressos nos quadros 7 e 8 para os drenos 5 e 28, respectivamente. Nesses gráficos estão expressas também a quantidade de chuva (pluviosidade) a cada dia ao longo do ano de monitoramento e, em ambos os drenos, a resistividade atinge picos, e segue uma ordem decrescente com o início do período chuvoso. No gráfico de 300cm para o dreno 28, a resistividade tem um bom aumento mesmo estando em um período mais chuvoso.

O dreno 5 teve sua deposição de resíduos mais antiga quando comparada a deposição de resíduos do dreno 28. Conforme os gráficos de vazão de gás nos quadros 7 e 8, a vazão do dreno 28 é superior à do dreno 5, o que indica maior intensidade de atividade biológica, e produz mais biogás, o que aumenta a resistividade elétrica. A baixa vazão no dreno 5 pode ser explicada pelo fato de haver atividade biológica menos intensa em resíduos sólidos mais antigos.

Para o dreno 5, a resistividade atinge seus picos basicamente nos períodos secos, sofrendo uma brusca queda quando entra no período chuvoso. Os valores mais altos chegam a beirar os 600 ohm.m enquanto que os mais baixos chegam bem próximos de zero. O valor mais alto para a profundidade de 300cm chega a 200 ohm.m não representando um pico de tão elevada resistividade quanto os demais picos das profundidades 260 e 340cm. Para os 300cm, os valores de resistividade sofrem também uma queda de forma mais lenta se comparada aos das demais profundidades do mesmo dreno. Mesmo em período de chuva, a resistividade da profundidade 300cm chega a valores mais elevados em média se comparados, no mesmo período, com valores das profundidades 260cm e 340cm.

A chuva é um importante fator que intensifica a atividade biológica, o que acarreta em mais quantidade de gás liberada (ANTONIO 2012). Pelo gráfico da vazão de gás do dreno 5, seus valores mais elevados se encontram nesse período chuvoso o que confirma o fato de a atividade biológica ser a responsável pela liberação de biogás e valores mais elevados de resistividade elétrica.

Ainda no mesmo dreno, em relação à profundidade de 340cm, os valores de resistividade atingem um pico e depois seguem em constante descendência, com alguns pequenos picos ainda em períodos chuvosos, também podem ser explicados pela vazão mais elevada de biogás para o dreno e conseqüente aumento da resistividade elétrica.

Conforme já mencionado, a produção de biogás no dreno 28 é mais intensa em relação à do dreno 5 e isso influencia nos valores de resistividade. Os picos de resistividade para as profundidades 260cm, 300cm e 340cm coincidem também com os períodos mais secos. Contudo esses picos são mais elevados se comparados ao dreno 5, atingindo valores máximos de aproximadamente 1000 ohm.m a 390 ohm.m, ou seja, quase o triplo dos picos de resistividade do dreno 5.

Na profundidade de 260cm do dreno 28, a resistividade atinge picos em períodos secos e chega a baixar bruscamente quando entra no período chuvoso, sem sequer apresentar picos isolados nesse período. Seu valor máximo é em torno de 1000 Ohm.m e seus valores mais baixos chegam bem próximos de zero, sofrendo um pequeno aumento no período seco ao final do monitoramento.

A profundidade de 300cm apresentou uma variação interessante de resistividade elétrica. O seu pico não chega a ser tão elevado se comparado ao da profundidade de 260cm, porém ao contrário desta profundidade, a resistividade elétrica não baixou tão bruscamente no período chuvoso. Assim que iniciou o período chuvoso, a resistividade sofreu uma queda, mas voltou a se elevar e manter uma média constante e mais elevada em relação às demais profundidades (Quadro 8). Portanto, essa resistividade elevada mesmo estando em um período chuvoso indica um horizonte com possível acúmulo de biogás, em que há uma maior porosidade no horizonte 300cm.

Para a profundidade de 340cm, o pico de resistividade elétrica chega a ser semelhante ao da profundidade 300cm, e em seguida sofre queda quando entra no período chuvoso. Alguns picos de resistividade podem ser notados nesse período além de algumas vezes, a resistividade se manter elevada, porém de forma não tão acentuada como se manteve para a profundidade de 300cm. De maneira geral, após o período mais seco, o gráfico assume uma forma semelhante ao da profundidade de 260cm. Durante o início do período chuvoso, sofre uma queda, mantém-se baixa, mas não chega a valores próximos de zero como a profundidade de 260cm. Apresenta uma leve ascensão na maior parte do período de chuvas, seguida de uma leve queda e nova elevação no último período seco.

9. CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que a técnica de perfilagem geofísica utilizada foi eficaz para encontrar possíveis acumulações de biogás no aterro sanitário. Além disso, é possível perceber que o parâmetro medido (resistividade elétrica) foi sensível à presença de gás e a pluviosidade.

Analisando todos os gráficos é possível concluir que zonas resistivas para a profundidade 300cm para o dreno 28 podem indicar prováveis horizontes com acumulações de biogás, ao passo que no dreno 5, houve apenas uma influência da pluviosidade, responsável por reduzir os valores de resistividade elétrica.

Como o tema deste trabalho é complexo e escasso em publicações, para aprofundar a pesquisa sobre acumulações de biogás, seria necessária a amostragem de horizontes do aterro sanitário para verificar se tais horizontes são compatíveis para produção ou acúmulo de biogás.

Para este trabalho, a eletrorresistividade foi eficaz em um monitoramento quinzenal durante um ano de dois drenos do aterro sanitário de Rio Claro-SP, porém limitações foram apresentadas por não demonstrar uma variação lateral do parâmetro medido (resistividade).

10. REFERÊNCIAS

- ANTONIO, S.M. 2012. **Análise da variação da vazão e da concentração do metano presente nos gases gerados no aterro sanitário de Rio Claro-SP.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista Campus de Rio Claro-SP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 58p.
- ASQUITH, G.B. & GIBSON, C.R. 1982. **Basic Well Log Analysis for Geologists.** American Association of Petroleum Geologists, Oklahoma, 234p.
- BARBOSA, O. & GOMES, F. A. **Pesquisa de Petróleo na Bacia do Rio Corumbataí.** São Paulo, DNPM/DGM, 1958. BOL. 171.
- BORTOLIN, J. R. M. & MALAGUTTI FILHO, W. 2012. **Monitoramento temporal da pluma de contaminação no aterro de resíduos urbanos de Rio Claro (SP) por meio do método geofísico da eletrorresistividade.** Geologia USP, série científica. Vol. 12, nº3, p. 99-113, São Paulo, dezembro de 2012.
- CEMPRE-IPT. 1996. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1ª Edição, São Paulo, São Paulo, 277 p.
- CETESB. 2012. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos.** Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Série Relatórios, Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, 114p.
- COSTA SILVA, R. W. MALAGUTTI FILHO, W. MOREIRA, C.A. 2009. **Emprego do Método da Eletrorresistividade no Estudo da Contaminação Subterrânea do Cemitério Municipal de Vila Rezende, Piracicaba-SP.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 27, n. 3, p. 389-399.

ELLIS, V. R., MENDONÇA, C. A., PORSANI, J. L., STROBINO E. F. 2008. **O uso de Sondagens Dipolo-Dipolo em estudos hidrogeológicos e depósitos de resíduos.** Revista Brasileira de Geofísica, vol. 26, nº3, p. 317-325.

ELLIS, D.V. & SINGER J.M. 2008. **Well logging for earth Scientists.** Springer, Netherlands, 2ºed., 699p.

GEORGAKI, I.; SOUPIO, P.; SAKKAS, 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.** Science of the Total Environment, vol. 389, p.522-531.

GOTARDO, O. 2013. **Análise da influência da precipitação e do tempo de disposição de resíduos sólidos domiciliares na vazão de biogás em um aterro sanitário.** III Simpósio de Resíduos Sólidos, 2 a 4 de dezembro de 2013, São Carlos, São Paulo.

ICLEY-Brasil, 2009. **Manual para Aproveitamento de Biogás – Volume I Aterros Sanitários.** ICLEY-EPA, 80p.

KEAREY, P. 2002. **Geofísica de exploração (tradução de Maria Cristina Moreira Coelho).** Oficina de Textos, 429p.

KNÖDEL, Klaus.; LANGE, Gerhard.; VOIGT, Hans. Jorgen. **Environmental Geology: Handbook of Field Methods and Case Studies.** Berlim: Springer-Verlag, 2007, 1374p.

LOLLO, J. A, ROGRIGUES, R. A., ELIS, V. R., PRADO, R. 2011. **Use of electrical resistivity to identify collapsible soils in Brazil.** Bull Eng Geol Environ, v.70, p299-307, 2011.

MARIOTONI, C.A. & CUNHA, M. E. G. 2006. **Aproveitamento Energético de Resíduos por meio da Recuperação de Biogás em Aterros Sanitários – Perspectivas Integradas no Setor de Saneamento em Campinas, São Paulo.** Biogás: pesquisas e projetos no Brasil, CETESB e Governo do Estado de São Paulo, p. 109-128.

MARQUES, N. P. 2012. **Utilização de parâmetros qualitativos dos resíduos aterrados como referência no processo de seleção de valores empregados em modelos matemáticos para a estimativa de geração de metano.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista Campus de Rio Claro-SP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 55p.

MOREIRA, C. A. & BRAGA, A. C. O. 2009. **Aplicação de métodos geofísicos no monitoramento de área contaminada sob atenuação natural.** Revista de Engenharia Sanitária em Ambiental, v. 14, nº2, p.257-264.

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, n. 2, p. 283-293, Abril/Junho 2009.

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.

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, 2004.

OLIVEIRA, M. T., MOREIRA, C. A, MENEZES, A. M. C. 2010. **Aplicação do Método de Polarização Induzida em Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos do Município de Caçapava do Sul-RS.** Revista Brasileira de Geofísica. Vol 29, n.2, p. 377-384.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. 1974. **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.

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.

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

USTRA, A.T., ELIS, V. R., MONDELLI, G., ZUQUETTE, L. V., GIACHETI, H. L. 2011. **Case study: a 3D resistivity and induced polarization imaging from downstream a waste disposal site in Brazil**. Environ Earth Sci , vol. 66, p.763-772, 2012.

ZAFFALON, L. R. 2009. **Análise do Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de São Paulo**. Universidade de São Paulo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2009.

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.