



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE PLANALTINA

WLLYANE SILVA FIGUEIREDO

**MAPEAMENTO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO NO ENTORNO DO
ATERRO SANITÁRIO DE FORMOSA**

Planaltina – DF,

2012

WLLYANE SILVA FIGUEIREDO

**MAPEAMENTO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO NO ENTORNO DO
ATERRO SANITÁRIO DE FORMOSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Universidade de Brasília, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Orientador: Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento

Planaltina – DF,

2012

Ficha catalográfica

Figueiredo, Wllyane Silva

Mapeamento da resistividade elétrica do solo no entorno do Aterro Sanitário de Formosa / Wllyane Silva Figueiredo. Planaltina - DF, 2012. 45 f.

Monografia - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientador: Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento.

1. geofísica 2. resíduos sólidos 3. migração de efluente 4. escoamento superficial. I. Figueiredo, Wllyane Silva. II. Título.

WLLYANE SILVA FIGUEIREDO

**MAPEAMENTO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO NO ENTORNO DO
ATERRO SANITÁRIO DE FORMOSA**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Universidade de Brasília, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

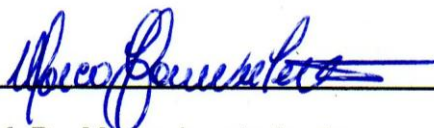
Planaltina-DF, 02 de Julho de 2012.



Prof. Dr. Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento



Prof. Dr. Rômulo José da Costa Ribeiro



Prof. Dr. Marco Ianniruberto

*Dedico este trabalho
À minha família, amigos e a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para
o êxito deste trabalho.
E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, trabalham com resíduos sólidos e
contribuem de alguma maneira para a preservação da natureza.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por tantas oportunidades a mim oferecidas e por me proporcionar esta nova realização.

Ao meu orientador, professor Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento, por ter me permitido desfrutar um pouco dos seus conhecimentos, sempre com paciência e dedicação.

À gerência do Aterro Sanitário de Formosa, por autorizar a execução dos trabalhos de campo neste local.

À Secretaria dos Transportes de Formosa por fornecer informações sobre o aterro.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília pelo empréstimo dos equipamentos geofísicos.

Ao Laboratório de Monitoramento Ambiental da Faculdade UnB Planaltina pelo empréstimo do GPS.

Ao Bruno Leandro de Oliveira Maciel, Rafael Rodrigues da Silva, Tania Machado da Silva e Emmanuelle Lima Fonseca pelo auxílio durante os trabalhos de campo.

À minha amada família pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos por toda palavra de alegria, de conforto e de incentivo.

Aos meus colegas de trabalho, exemplos de vida, perseverança e otimismo.

E a todos aqueles que me ajudaram direta e indiretamente na execução deste estudo.

"O mundo é suficientemente grande para satisfazer a necessidade de todos, mas será demasiado pequeno para a avareza de alguns."

Mahatma Gandhi

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o entorno do Aterro Sanitário de Formosa no que diz respeito aos valores da resistividade elétrica do solo, visando localizar áreas mais condutivas eletricamente. Normalmente, a ocorrência de áreas de baixa resistividade próximas a depósitos de lixo pode indicar a migração de efluentes gerados nestes depósitos. Na área de estudo foram realizados dois levantamentos geofísicos, respectivamente em janeiro e maio de 2012. Esses levantamentos foram executados na região noroeste do aterro, a qual apresenta as menores cotas e, portanto, é o local preferencial para migração de efluentes. Em ambos os levantamentos foram identificadas regiões menos resistivas. A justificativa para a ocorrência destas zonas está vinculada ao escoamento superficial de água. Acredita-se que a água ao escoar na área do aterro, inclusive pelas estradas ali existentes, transporta material em solução sendo que este material tende a se acumular no talude do aterro imediatamente a sul da lagoa de chorume. Esse processo está ocorrendo no mínimo desde o ano de 2010 e o efeito cumulativo é justamente a redução da resistividade elétrica do solo neste local. Para dar continuidade a este trabalho sugere-se efetuar coleta e análise de amostras do solo e de água das zonas saturada e não saturada para confirmar a causa desses baixos valores.

Palavras-chave: geofísica; resíduos sólidos; migração de efluente; escoamento superficial.

ABSTRACT

The purpose of this work was to characterize the area near Formosa landfill with respect to the values of electrical resistivity of the soil to locate conductive areas. The occurrence of low resistivity areas near landfills may indicate the migration of this landfill leachate. In the study area two geophysical surveys were carried out respectively in January and May 2012. These surveys were executed in the northwest of the landfill, which has the smallest elevations and thus is the preferred site for migration of landfill leachate. In both surveys were identified less resistive regions. The reason for the occurrence of these zones is linked to runoff water. It is believed that the water flow to the landfill area, including roads that exist there, carries material in solution and that this material tends to accumulate on the slope immediately south of the landfill leachate pond. This process occurring at least since the year 2010 and the cumulative effect is precisely the reduction of the electrical resistivity of the soil at this location. To continue this work suggests is collecting and analyzing soil and water samples from the saturated and unsaturated zones to confirm the cause of these low values.

Key words: geophysics; solid waste; effluent migration; surface runoff.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	2
2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	2
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS E MEIO AMBIENTE	5
2.3 MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS EM ESTUDOS AMBIENTAIS	8
3 ÁREA DE ESTUDO	11
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	11
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO	14
4 MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 MATERIAIS	22
4.2 PLANEJAMENTO DE CAMPO.....	23
4.3 MÉTODO ELÉTRICO DE CORRENTE CONTÍNUA.....	25
4.4 ANÁLISE DA VARIÂNCIA DOS DADOS.....	27
5 RESULTADOS	28
6 DISCUSSÃO	34
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

Nos resíduos urbanos o principal poluente gerado é o percolato ou chorume, o qual provém da decomposição da matéria orgânica presente no lixo. Esse líquido escuro e ácido apresenta alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a qual mede a quantidade de oxigênio necessária para decompor biologicamente os compostos orgânicos presentes no chorume (TRESSOLDI *et al.*, 1998).

A percolação do chorume pelas camadas do solo pode atingir as águas subterrâneas, causando um dano ambiental de difícil recuperação. Por isso, é imprescindível que a disposição do lixo seja realizada em locais apropriados e devidamente planejados, isto é, em aterros sanitários.

No Brasil em 2008, aproximadamente 50% dos municípios depositaram seus resíduos em lixões e alagados, um percentual bem menor quando comparado ao ano de 1989 (88%) e de 2000 (72%). A disposição dos resíduos em aterros sanitários aumentou consideravelmente nos últimos 20 anos. Em 1989 apenas 1% dos municípios utilizava esta forma de disposição dos resíduos. Em 2000, este percentual chegou a 17% e em 2008 a 27% (IBGE, 2008).

A detecção e o monitoramento de plumas de contaminantes em lixões e aterros são, tradicionalmente, realizados por meio de coleta e análises químicas de solo e água subterrânea. Apesar de ser uma importante ferramenta para propor e estabelecer técnicas de tratamento e remediação, esse tipo de investigação direta apresenta caráter pontual e a heterogeneidade do ambiente dificulta, muitas vezes, a interpretação dos resultados (MOREIRA *et al.*, 2009).

A aplicação da geofísica para caracterização e monitoramento de áreas impactadas por contaminantes é crescente e apresenta uma série de vantagens. Utilizá-la antes de aplicar os métodos diretos de investigação é mais indicado por economizar tempo e diminuir os custos (MOREIRA *et al.*, 2009).

No município de Formosa-GO os resíduos sólidos, até pouco tempo, eram dispostos sem nenhum planejamento e mesmo depois de se criar um aterro sanitário, vários problemas podem ser facilmente apontados.

O objetivo deste estudo foi caracterizar o entorno do Aterro Sanitário de Formosa quanto aos valores da resistividade elétrica do solo, visando localizar áreas de baixa resistividade, as quais podem indicar a migração de efluentes gerados nestes tipos de depósitos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo inicia-se com a definição e classificação dos resíduos sólidos. Em seguida há uma abordagem da problemática ambiental em torno do tema. E por fim, há uma explanação acerca dos métodos geofísicos e alguns estudos ambientais realizados aplicando geofísica.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduo sólido pode ser definido como qualquer matéria que é descartada por não haver demanda econômica ou utilidade ao longo de atividades industriais, domésticas, comerciais, hospitalares, agrícolas e de outros serviços (BOSCOV, 2008).

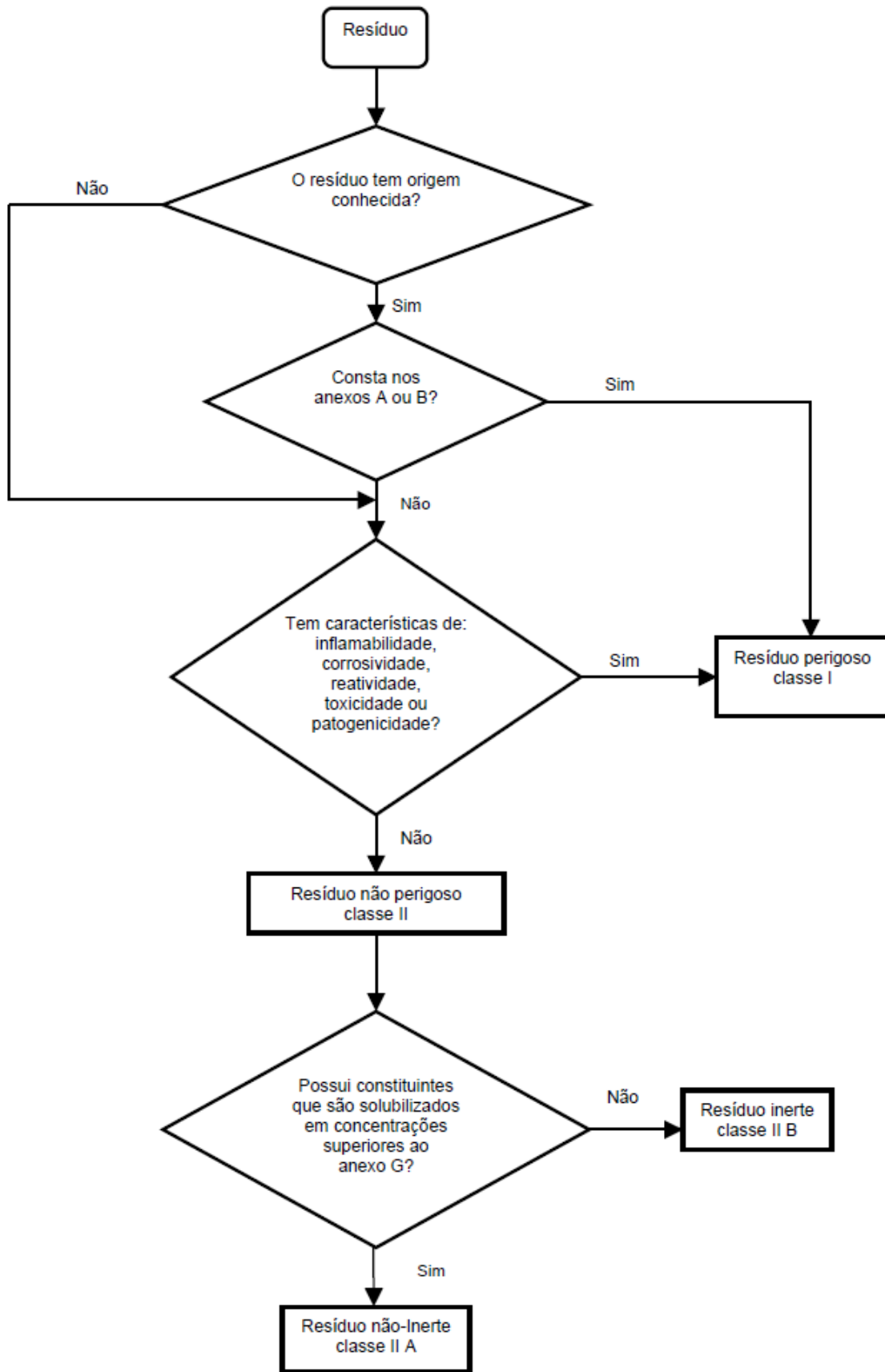
A Norma NBR 10.004 inclui na definição de resíduos sólidos, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e, também, aqueles originados por meio de equipamentos e instalações de controle de poluição (ABNT, 2004).

O processo de classificação dos resíduos sólidos envolve a identificação do método ou atividade que lhes deu origem, dos materiais que os constituem, suas características e a comparação desses constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo dano à saúde e ao meio ambiente é notório (ABNT, 2004).

De acordo com a Norma NBR 10.004 os resíduos sólidos são classificados em dois grupos: perigosos e não perigosos, sendo este último grupo subdividido em não inerte e inerte.

A *Figura 01* apresenta a classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco ao meio ambiente e à saúde pública.

Figura 01 – Caracterização e classificação de resíduos sólidos.



FONTE: ABNT, 2004.

A NBR 10.004 classifica os resíduos sólidos nas seguintes classes:

- Classe I – Perigosos: são aqueles que apresentam características patogênicas, de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade; e que em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem causar danos à saúde pública, provocando ou acentuando, o índice de mortalidade ou incidências de doenças e/ou riscos ambientais, quando manuseados ou destinados de forma incorreta;

- Classe II – Não perigosos;

- Classe IIA – Não inertes: não são enquadrados nas classes I (Perigosos) e IIB (Inertes). Podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade e/ou solubilidade em água;

- Classe IIB – Inertes: quando são amostrados de forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, exceto aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor.

Porém esta classificação dada pela referida NBR 10.004 é muito técnica, sendo mais comum a classificação quanto à origem.

A Lei nº 12.305/2010, a qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos classifica os resíduos sólidos, de forma mais simplificada, primeiro quanto à origem: domiciliares; de limpeza urbana; de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços; serviços públicos de saneamento básico; industriais; de serviços de saúde; da construção civil; agrossilvopastoris; de serviços de transportes; e de mineração.

Depois os resíduos são classificados quanto à periculosidade:

- Resíduos perigosos: aqueles que apresentam as características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e/ou mutagenicidade, e possuem significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.

- Resíduos não perigosos: aqueles que não apresentam nenhuma peculiaridade que ameace a saúde pública e a qualidade do meio ambiente.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS E MEIO AMBIENTE

O aumento acentuado da geração de resíduos sólidos e sua concentração espacial, devido à urbanização, afetam a forma que eles são decompostos pelo ambiente. O descarte incorreto deles pode causar diversos impactos negativos no meio físico como a alteração da paisagem, liberação de maus odores e substâncias químicas voláteis, aumento do risco de deslizamentos do solo em áreas com topografia acidentada, contaminação do solo, lençol freático e mananciais pelo efluente proveniente do lixo. Além disso, causa vários danos à saúde pública, pois há diversos microorganismos patogênicos presentes nos resíduos, os quais são transportados pela ação do vento, água ou por meio de vetores biológicos ou mecânicos, isto é, organismos nos quais o parasita evolui e se reproduz e organismos que apenas transportam o parasita, respectivamente (CASTILHOS JÚNIOR, 2006).

Na maioria dos municípios brasileiros o circuito dos resíduos sólidos apresenta características muito parecidas, envolvendo a coleta regular, transporte e disposição final, em locais quase sempre selecionados pela disponibilidade de áreas e pela distância em relação ao centro urbano e às vias de acesso. Dificilmente o circuito inclui atividades como: coleta seletiva, compostagem dos resíduos orgânicos, tratamento do chorume gerado, impermeabilização do solo antes da disposição dos rejeitos e captura do gás. Mesmo quando tais procedimentos são adotados, são em sua maioria mal planejados, tornando-os ineficientes (SCHALCH *et al.*, 2002).

A Constituição Federal, em seu artigo 30, estabelece como competência de cada município:

“[...] organizar e prestar diretamente ou sob regime de concessão ou permissão os serviços públicos de interesse local e de caráter essencial.”

Para minimizar os problemas relacionados aos resíduos é imprescindível que se crie uma política de gerenciamento, onde se definam claramente as diretrizes, os arranjos institucionais e recursos a serem aplicados. Em relação ao governo, é necessário fomentar o planejamento integrado, envolvendo as relações entre questões ambientais, urbanísticas, tecnológicas, políticas, sociais e econômicas (SCHALCH *et al.*, 2002).

Há diversos processos para implementar um Sistema de Gestão voltado para solucionar os problemas relacionados aos resíduos sólidos. Entretanto, deve-se buscar, inicialmente, modificar o padrão de consumo da sociedade, reduzindo ao máximo o que deve ser necessário para a subsistência. Além disso, é necessário reutilizar os materiais descartados para outros fins e separar aqueles que não possuem mais utilidade para que posteriormente possam ser reciclados ou dispostos em aterros sanitários.

No processo de reciclagem os materiais que compõem o lixo urbano são separados, recuperados e transformados para serem utilizados como matéria-prima na manufatura de bens normalmente elaborados com matéria-prima virgem.

De acordo com Reis (2006) a reciclagem do lixo possui as seguintes vantagens:

- Diminuição do consumo de recursos naturais;
- Redução dos impactos ambientais e sociais gerados pelo lançamento indiscriminado dos resíduos no ambiente;
- Otimização dos custos de fabricação de alguns produtos;
- Geração de trabalho e renda para a comunidade;
- Aumento da vida útil dos aterros.

Quanto aos resíduos orgânicos, a melhor alternativa para reaproveitá-los e diminuir sua quantidade nos aterros, é destiná-los à compostagem, a qual, segundo Fonseca (2001), consiste na transformação biológica da fração orgânica dos resíduos sólidos em adubo.

Em casos onde os resíduos sólidos não sejam passíveis de reciclagem, os mesmos são encaminhados para uma destinação final, a qual pode ser por meio da incineração e disposição em aterros sanitários.

Conforme Morgado *et al.* (2007) a incineração dos resíduos emprega alta temperatura em fornos, o que garante sua combustão completa. Esse processo garante o tratamento sanitário, a destruição de patógenos e diminui a presença de resíduos combustíveis nas cinzas resultantes, as quais são dispostas em aterros.

Os principais limitantes ou problemas derivados da incineração são os custos de instalação e operação do sistema, principalmente em razão da necessidade de filtros e implementos tecnológicos sofisticados para diminuir ou eliminar a poluição

do ar provocada por gases produzidos durante a queima do lixo (CUNHA & CAIXETA FILHO, 2002; MONTEIRO *et al.*, 2001).

Em qualquer sistema ambientalmente correto de gerenciamento de resíduos sólidos, mesmo com a implementação de outras formas de tratamento como a compostagem e a incineração, é imprescindível a existência de um aterro sanitário (REIS, 2006).

Ainda segundo o mesmo autor, o local para a instalação de um aterro sanitário passa por um longo processo de análise e é projetado por uma equipe de profissionais multidisciplinares devidamente capacitados. Os resíduos devem ser reduzidos ao menor volume possível e cobertos periodicamente por uma camada de solo. O local de disposição dos rejeitos deve ser isolado e impermeabilizado para evitar a poluição do meio ambiente e a proliferação de vetores. Além disso, o efluente gerado pelos resíduos orgânicos deve ser captado e tratado e é necessário implantar um sistema de drenagem de gases, para posteriormente queimá-los ou utilizá-los para produção de energia.

É importante destacar a diferença entre aterro sanitário, lixão e aterro controlado. Aterro sanitário, como já mencionado, é o condicionamento seguro dos resíduos sólidos, evitando riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

No lixão ou vazadouro a céu aberto os resíduos sólidos são dispostos sem nenhuma técnica ou medida de controle. (DIB-FERREIRA, 2005).

Já no aterro controlado os resíduos são eventualmente compactados e depois são cobertos com solo, entretanto não há impermeabilização, drenagem e tratamento de chorume e gases. Apesar de não evitarem a poluição ambiental, os aterros controlados representam uma situação mais favorável do ponto de vista sanitário em relação aos lixões, pois restringem o acesso dos catadores, a proliferação de vetores e reduzem os maus odores. Além disso, os aterros controlados são considerados boas alternativas para disposição de resíduos em pequenos municípios, uma vez que os aterros sanitários são muito dispendiosos e pressupõe-se que o meio ambiente é capaz de absorver e diluir a poluição gerada pontualmente e em pequeno volume (BOSCOV, 2008).

A união de um eficiente processo de gestão de resíduos sólidos aliada ao planejamento, organização, execução e controle das atividades garantem o alcance das metas e objetivos propostos no que se refere à busca de soluções para a problemática do lixo.

2.3 MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS EM ESTUDOS AMBIENTAIS

Os métodos geofísicos são uma importante ferramenta de investigação e monitoramento em estudos ambientais. De acordo com Nascimento *et al.* (2004) a geofísica vem sendo aplicada nesses tipos de estudos desde a década de 1970.

Os métodos geofísicos possibilitam determinar indiretamente a natureza das estruturas subsuperficiais. Essa determinação baseia-se na medição de parâmetros físicos de solos e rochas como resistividade elétrica, densidade e susceptibilidade magnética entre outras (MOREIRA *et al.*, 2009).

A literatura apresenta uma vasta lista de trabalhos, nos quais a geofísica é utilizada para caracterizar e mapear áreas com anomalias vinculadas à presença de poluentes no solo, bem como estudar a migração desses em subsuperfície. Malagutti Filho *et al.* (2009) fizeram um mapeamento da resistividade elétrica com o objetivo de estudar a contaminação subterrânea por necrochorume no cemitério público de Vila Rezende, em Piracicaba – SP. Henriques *et al.* (2009) avaliaram se a estação de esgoto ETE CECAP localizada no município de Piracicaba-SP era uma fonte de contaminação do solo e da água da região por meio de técnicas geofísicas.

Em estudos de contaminação do solo por hidrocarbonetos, a geofísica pode ser uma ferramenta de diagnóstico ambiental (MINOZZO *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2009; PORTO *et al.*, 2009; QUINTÃO *et al.*, 2009; USTRA *et al.*, 2009). Por meio de métodos geofísicos foi caracterizada a geologia do trecho do rio das Velhas, situado no município de Rio Acima-MG e foram identificadas as áreas fonte de assoreamento aceleradas ou não pelas atividades antrópicas (LANFRANCHI *et al.*, 2009; PARIZZI *et al.*, 2009). Solon *et al.* (2009), fizeram modelagens de seções estruturais para o reconhecimento regional das bacias do São Francisco e de Parnaíba.

Moura *et al.* (2009) definiram os locais apropriados para realizar os trabalhos de escavação arqueológica no bairro Zerão, localizado na cidade de Macapá-AP.

Plumas de poluentes oriundas de lixões, aterros controlados e sanitários foram detectadas e mapeadas por meio da geofísica (BORTOLIN *et al.*, 2009; CAVALCANTI *et al.*, 2011; COSTA *et al.*, 2009; GALLAS *et al.*, 2005; LAUREANO *et al.*, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2002).

Malagutti Filho *et al.* (2009) afirmam que os levantamentos geofísicos propiciam a obtenção de perfis contínuos, os quais possibilitam a identificação com

uma maior precisão das variações laterais, resultantes de mudanças litológicas ou originadas pela presença de contaminantes subterrâneos.

A versatilidade e facilidade de aplicações dos ensaios, a natureza pouco invasiva, a rapidez na avaliação de grandes áreas, aliada ao baixo custo operacional quando comparados a outras técnicas de investigação direta, tornam os métodos geofísicos excelentes ferramentas que auxiliam em estudos ambientais (BORTOLIN *et al.*, 2011; LAGO *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Em geral, os contaminantes encontrados nas regiões de depósitos de lixo e aterros sanitários apresentam valores de condutividade mais elevados quando comparados com as rochas encaixantes e os solos locais. Seu mapeamento pode ser realizado, fornecendo informações sobre o perfil natural do solo, profundidade da zona saturada e do substrato rochoso, direção do fluxo subterrâneo e indicação das zonas de fraturas (COSTA *et al.*, 2009; LAGO *et al.*, 2006; ROCHA *et al.*, 2011).

Em lixões e aterros a decomposição de resíduos orgânicos ocorre por processos físicos, químicos e biológicos e origina chorume e gases. O chorume, também denominado percolado ou lixiviado é um poluente escuro e além da degradação de resíduos, é resultante da dissolução da matéria orgânica nas águas pluviais que infiltram no solo. Esse poluente é uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, nas suas formas dissolvidas e coloidais, pode apresentar elevadas concentrações de cloreto, ferro e zinco e o seu pH tende a aumentar com o tempo, pois formas ácidas iniciais tendem a estados neutralizados (BOSCOV, 2008; CAVALCANTI *et al.*, 2011; MOREIRA *et al.*, 2009; ROCHA *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2011).

Galvão & Porsani (2011) afirmam que o chorume é uma solução eletrolítica, isto é, rica em íons e permite que a corrente elétrica se propague com mais facilidade, resultando em anomalias de baixa resistividade.

Segundo Bortolin *et al.* (2009) a resistividade de uma região contaminada por chorume é inversamente proporcional ao seu volume. Isto é quanto maior o valor de resistividade, menor é a quantidade de contaminante e vice-versa.

Existem duas zonas diferentes no subsolo em que a pluma de contaminação pode ocorrer: a zona vadosa, parte mais rasa, onde o contaminante está presente na fase livre e residual e a decomposição ocorre de forma aeróbica, com presença de oxigênio; e a zona saturada, parte mais profunda, onde o contaminante encontra-

se dissolvido e a decomposição dos resíduos é parcial sob condições anaeróbicas, isto é, sem oxigênio (CAVALCANTI *et al.*, 2011; MOREIRA *et al.*, 2009).

De acordo com Moreira *et al.* (2009) a composição do material lixiviado no aterro ou lixão depende de vários fatores como: tipo e idade do resíduo depositado, taxa de infiltração de água no solo e pH. Além disso, a quantidade de gases e materiais lixiviados pode ser afetada pela profundidade de disposição dos resíduos, pelas condições climáticas, nível do lençol freático, espessura do material de recobrimento e controle da entrada e saída de líquidos da área (FARQUHAR, 1989).

O método da eletrorresistividade é baseado no fato de que diferentes materiais apresentam diferentes valores de resistividade elétrica (BORTOLIN *et al.*, 2011).

De acordo com Nascimento *et al.* (2004), no método elétrico de corrente contínua são fixados na superfície do solo dois eletrodos de energização (A e B) e dois eletrodos de medição (M e N). Aplica-se uma diferença de potencial por meio dos eletrodos A e B, originando um campo elétrico. O valor da corrente elétrica contínua que percorre o local em análise é medido e registrado. Com os eletrodos M e N mede-se a diferença de potencial estabelecida no terreno. Tendo conhecimento da corrente elétrica estabelecida, da disposição dos eletrodos e o potencial medido entre M e N, pode-se calcular um valor de resistividade elétrica.

A técnica de caminhamento elétrico está baseada na realização de medidas de resistividade aparente, efetuadas na superfície do terreno, a fim de investigar variações a uma ou várias profundidades determinadas (BORGES, 2002; MALAGUTTI FILHO *et al.*, 2009).

Existem dois arranjos de campo amplamente utilizados nas investigações geofísicas, são eles: Arranjo de Schlumberger e Arranjo de Wenner.

O Arranjo de Schlumberger é muito aplicado no Brasil e em alguns países europeus. As leituras estão menos sujeitas a interferências produzidas por ruídos e é considerado mais prático no campo, pois são deslocados apenas dois eletrodos para realizar as leituras, diferentemente do Arranjo de Wenner, no qual é necessário mover quatro eletrodos. Esse arranjo é mais frequentemente aplicado nos Estados Unidos, Inglaterra e Canadá e é mais indicado para realizar perfilagens elétricas horizontais, que visam a determinação da variação lateral da resistividade, a uma profundidade constante (BRAGA, 2001; NASCIMENTO *et al.*, 1999).

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Aterro Sanitário da Formosa, Goiás, está localizado no Km 05 da rodovia GO-430, na margem direita da estrada no sentido Formosa. As coordenadas geográficas do centro do aterro são 15°32'21" de latitude Sul e 47°23'02" de longitude Oeste (WGS 84). A área do aterro é limitada a norte e leste pela GO-430 e a sul e oeste pela Grota do Constantino, uma drenagem intermitente, afluente do Ribeirão Santa Rita, o qual corresponde ao limite entre Goiás e Distrito Federal na região de Formosa (*Figura 02*). A altitude na área do aterro varia entre 1017 m na porção sul e 974 m na porção norte. O desnível topográfico máximo dentro do aterro é de 43 m, enquanto o desnível entre o aterro e a Grota do Constantino pode chegar a 72 m.

De acordo com o Plano Diretor do Município de Formosa (Goiás, 2003), o município se estende por uma área de aproximadamente 5800 km², dos quais 0,3% são áreas urbanas. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE apontam que em 2010 a população de Formosa foi de 100.085, com uma densidade demográfica de 17,22 habitantes por km².

A área estudada situa-se nos domínios geológicos do Grupo Bambuí, de idade neoproterozóica, o qual é constituído por metassiltitos, metassiltitos argilosos, metargilitos, rochas carbonáticas e raras intercalações de arcósios. Além das rochas do Grupo Bambuí, ocorrem também coberturas detrito lateríticas de idade terciária (CARVALHO JÚNIOR, 2005; GOIÁS, 2003).

O clima da região do município de Formosa, bem como do Distrito Federal, no sistema criado por Köppen é classificado como Aw, isto é, quente com chuvas de verão e seca de inverno. A precipitação total anual da região está em torno de 1600 mm, sendo que o maior volume da precipitação ocorre no trimestre novembro, dezembro e janeiro (GOIÁS, 2003).

No contexto hidrográfico o município de Formosa é um divisor natural de águas. Nesta região existem cursos d'água afluentes do rio Paranã, que por sua vez faz parte da bacia do rio Tocantins. Ali também se situam afluentes do rio São Marcos, que juntamente com o rio Paranaíba compõe a bacia do rio Paraná.

Drenagens pertencentes à bacia do rio São Francisco, também ocorrem na região de Formosa (GOIÁS, 2003).

Formosa está no domínio do bioma Cerrado, sendo a fitofisionomia dominante o cerrado no sentido restrito, encontrando-se também o campo cerrado, mata seca e matas de galeria. As áreas que não são urbanizadas estão antropizadas pelas atividades agropecuárias, restando poucas áreas de cerrado nativo. Devido à expansão urbana, a comunidade florística e faunística encontra-se amplamente simplificada (GOIÁS, 2003).

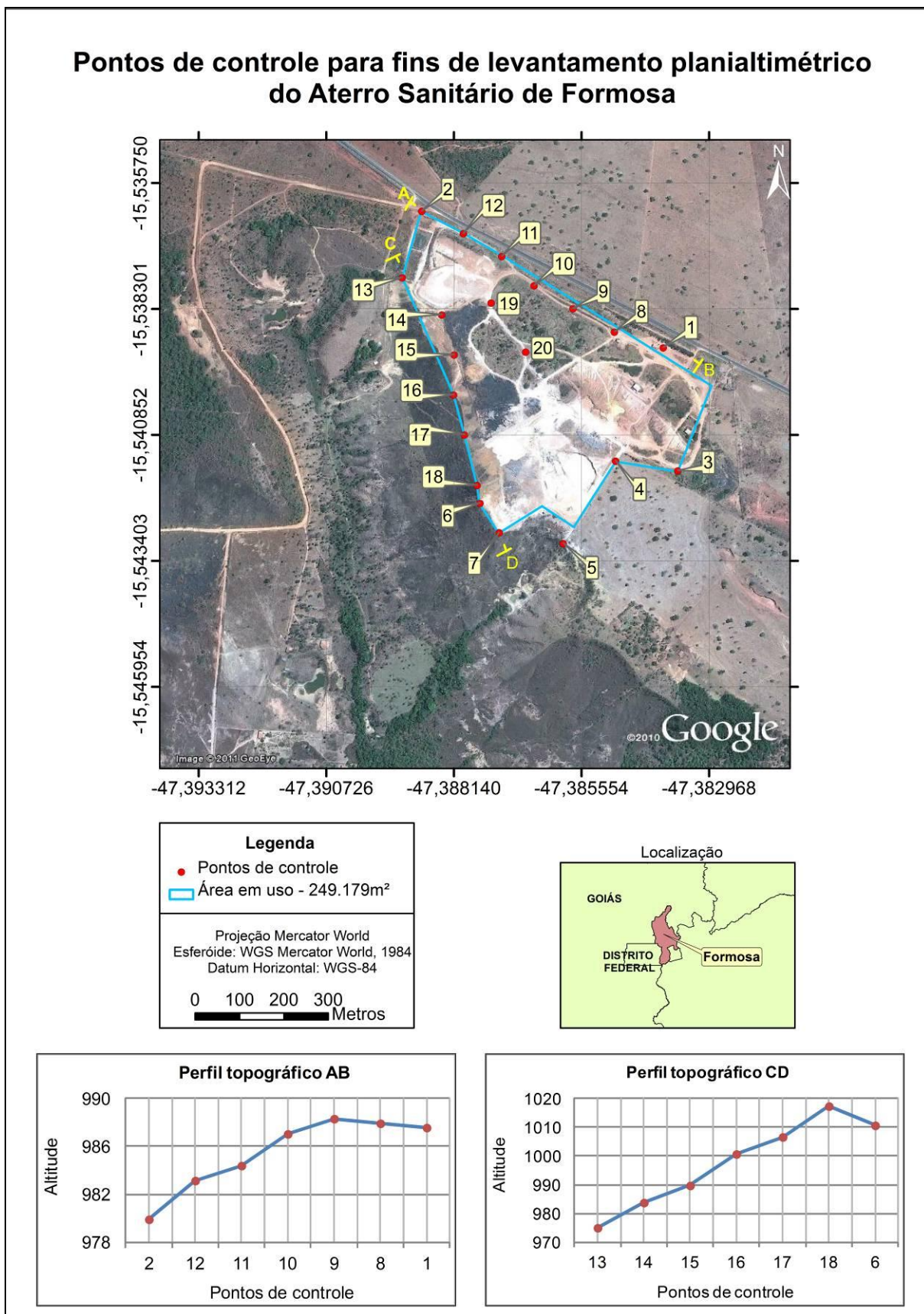
Os serviços de limpeza urbana no município são realizados diariamente em três turnos de coleta. Além da coleta do lixo doméstico, são feitas a varrição de vias públicas e a manutenção de praças e jardins. Os recursos utilizados nesses serviços são obtidos por meio de arrecadação municipal e fundo de participação dos municípios (REIS, 2006).

Em Formosa, os resíduos sólidos eram dispostos de maneira inadequada em uma área localizada próximo ao Bairro Parque da Colina. Em 1997 os resíduos passaram a ser depositados no aterro em estudo neste trabalho, entretanto ainda há diversos problemas ambientais e de gestão, os quais comprometem a eficiência do mesmo.

A Secretaria Municipal dos Transportes era o órgão responsável pelos serviços de limpeza urbana. Atualmente a Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Meio Ambiente tem a responsabilidade de realizar todo o processo de destinação final dos resíduos e a Secretaria do Meio Ambiente de Goiânia realiza a fiscalização e o monitoramento da qualidade ambiental do aterro (GOIÁS, 2003).

A produção de resíduos varia de acordo com o dia da semana, mas a média é aproximadamente 90 toneladas por dia, coletadas por caminhões em três turnos. Além disso, Formosa possui uma única cooperativa de catadores, denominada Recicla, que por questões de ordem financeira e falta de apoio expressivo dos atores sociais e do poder público, passa por algumas dificuldades e tem alguns projetos inviabilizados (REIS, 2006).

Figura 02 – Mapa do Aterro Sanitário de Formosa.



FONTE: Google Earth, 2012.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

O Aterro Sanitário de Formosa possui atualmente cerca de 250.000 m² de área em uso. O início das atividades ocorreu em 1997 e a previsão de vida útil vai até 2017. O sistema de operação do Aterro Sanitário de Formosa consiste essencialmente em dispor o lixo em valas de 4 a 6 metros de profundidade. Essas valas recebem o lixo durante um período que vai de 10 a 15 dias e finalmente são cobertas com uma camada de solo com 80 centímetros de espessura.

Não há separação e reciclagem dos materiais, todo lixo domiciliar e comercial coletado em Formosa tem um único destino, o Aterro. A Secretaria dos Transportes de Formosa, órgão que é responsável pela logística desse local, afirma que há um projeto de reciclagem previsto para o segundo semestre de 2012 em parceria com uma cooperativa de catadores denominada Recicla.

No aterro trabalham atualmente 12 pessoas e não é permitida a entrada de catadores. Além disso, o lixo hospitalar não é disposto no Aterro Sanitário de Formosa, a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás – SEMARH é responsável por tratá-lo adequadamente. Os resíduos provenientes da construção civil são utilizados na recuperação de áreas erodidas.

Segundo Santos *et al.* (2007), o uso de entulhos para conter erosões são uma boa alternativa para diminuir a quantidade e reaproveitar esse tipo de resíduo, pois apresentam características de baixo custo operacional e auxiliam na recuperação da paisagem erodida, por meio da construção de barreiras de assoreamento.

A gerência do aterro afirma que há um plano de recuperação da área quando o aterro finalizar suas atividades. Entretanto, não há outro local e nem data definida para a implantação de outro aterro.

Por meio das *Figuras 03, 04 e 05* pode-se fazer uma análise temporal do Aterro Sanitário de Formosa. Na primeira figura, datada de setembro de 2002, é possível observar que a lagoa de chorume ainda não havia sido impermeabilizada. Pode-se inferir que a estrutura necessária para operar adequadamente o aterro ainda estava sendo implementada, mas o aterramento do lixo já estava sendo realizado.

Na *Figura 04*, com data de junho de 2010, pode-se visualizar que a lagoa de chorume estava operando e que grande parte da área do aterro já possuía cobertura vegetal. Esta área corresponde a antigas células que já haviam encerrado suas

atividades e foram, segundo a gerência do aterro, recuperadas. Contudo, a espécie inserida na área corresponde a uma planta exótica, a Leucena (*Figura 06*).

A *Figura 05* corresponde à imagem mais recente, de agosto de 2011. Nessa imagem observa-se a expansão da área de disposição do lixo, avançando no sentido sudoeste.

De acordo com Castro *et al.* (2011), a *Leucaena leucocephala*, popularmente conhecida como leucena, é uma planta exótica originária da América Central e é muito cultivada em todo o mundo. A grande ocorrência desta espécie é justificada, sobretudo, por sua adaptabilidade em diversos tipos de ambientes. Além disso, a leucena produz grandes quantidades de sementes pequenas e leves, o que permite sua propagação em larga escala, e é bastante tolerante à seca, devido às suas raízes profundas.

A leucena pode ser considerada uma espécie de leguminosa arbórea de grande potencial forrageiro, importante para manter pastagens (SOUZA *et al.*, 2000). Sua utilização para inicialmente recuperar o solo é recomendável, pois as plantas leguminosas fixam o nitrogênio. Entretanto, deve-se monitorar seu desenvolvimento e na medida em que o solo estiver recuperado é necessário removê-la, pois essa espécie forma comunidades muito densas e impedem o desenvolvimento de plantas nativas (BLUM *et al.*, 2008).

Além de leucenas, foram encontradas no aterro algumas mamoneiras (*Figura 06*), denominadas cientificamente como *Ricinus Communis* L.. A mamoneira é um arbusto que produz sementes de onde se extrai óleo, com importantes propriedades e grande uso como insumo industrial, sobretudo na fabricação do biodiesel (COSTA *et al.*, 2010).

A mamoneira é facilmente encontrada em lixões e aterros, pois é uma planta exigente em fertilidade, bem como em aeração para suas raízes. Além disso, a mamoneira é resistente a alguns contaminantes presentes neste tipo de local (Oliveira *et al.*, 2009).

Não há dados suficientes para inferir se a mamoneira se dispersou naturalmente ou se a gerência do aterro a plantou com o mesmo intuito da leucena, o de recuperar o solo. Contudo, as mamoneiras estão impedindo o desenvolvimento de espécies nativas, pois não há monitoramento e controle da sua disseminação.

Em visita realizada ao aterro em dezembro de 2010 observou-se que parte do revestimento plástico que impermeabilizava o fundo da lagoa de chorume foi destruída por fogo, não se sabe ao certo as causas da queimada (*Figura 07*).

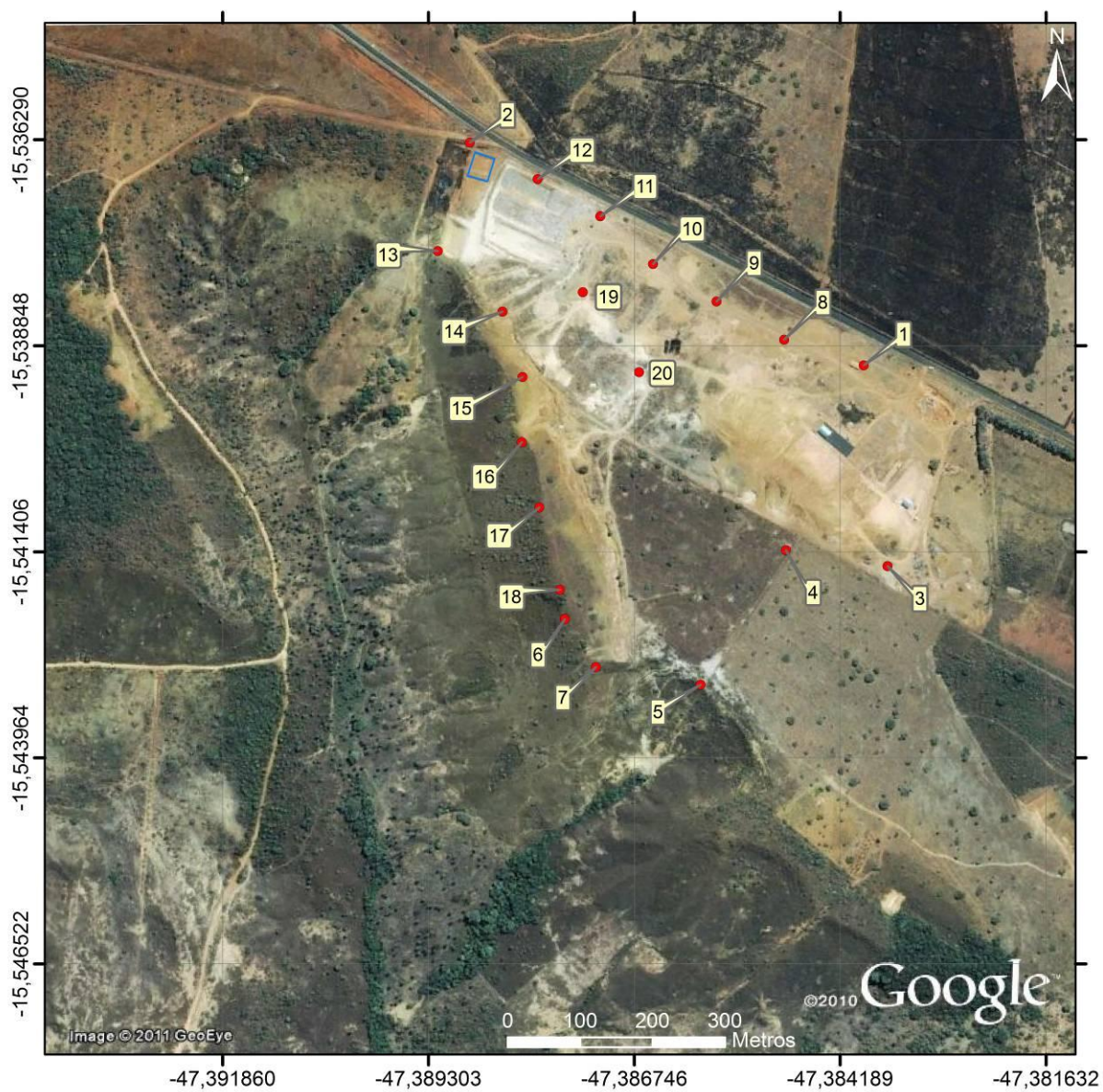
Em agosto de 2011, durante outra visita ao aterro, observou-se que o revestimento da lagoa continuava danificado, como pode ser observado na *Figura 08*.

Já em maio de 2012 pode-se observar que a lagoa de chorume foi revestida por uma nova lona de PVC (*Figura 09*).

Apesar da nova impermeabilização da lagoa impedir que contaminantes infiltrem no solo, por muito tempo a área esteve exposta e, dessa forma, não são descartados os riscos de contaminação do solo e do Córrego Constantino, situado a sudoeste do aterro.

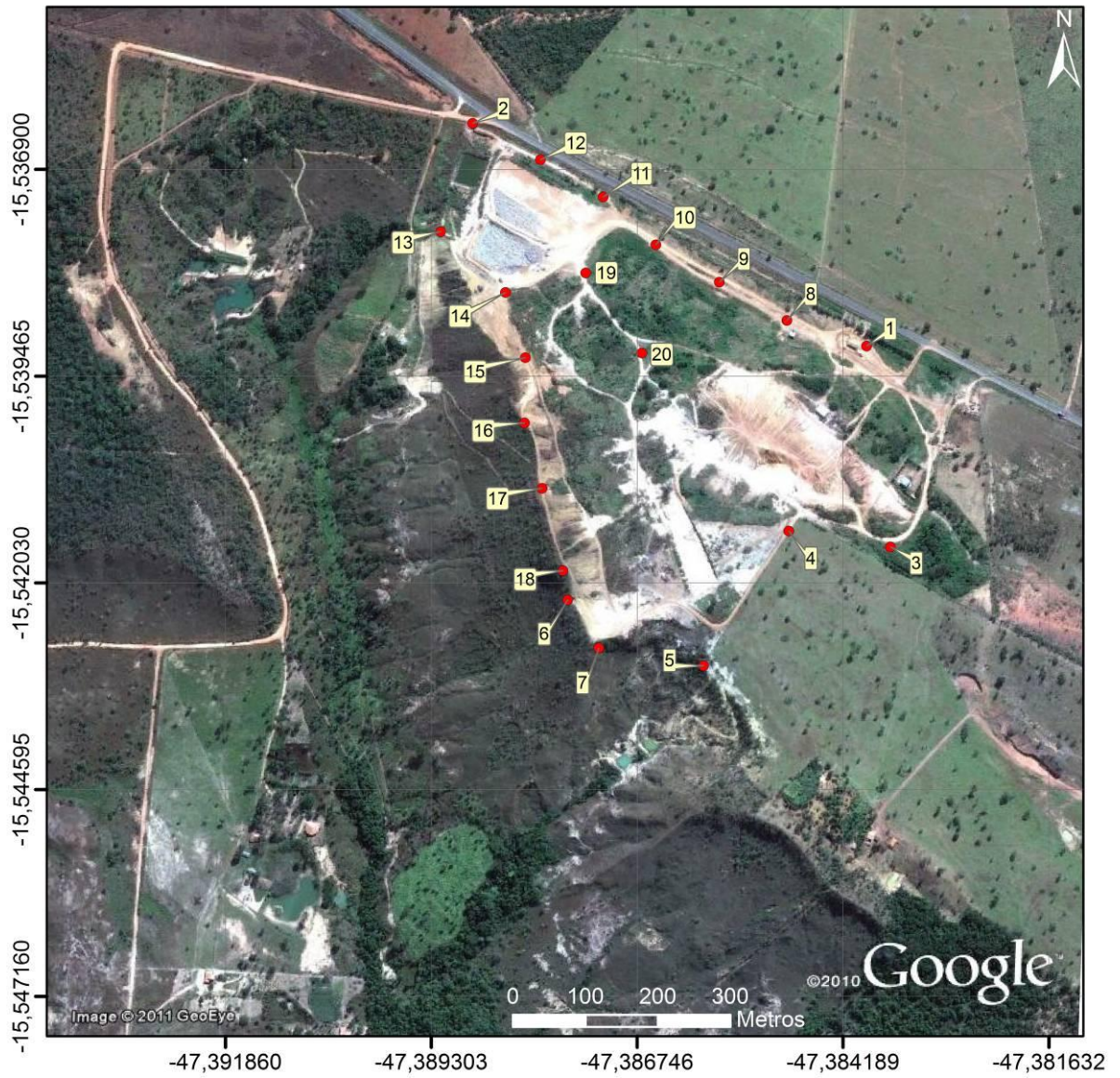
Pode-se afirmar também que não há trabalhos publicados que avaliem ambientalmente o aterro. Diante dos fatores citados, é importante realizar um estudo para definir a qualidade ambiental da área de disposição do lixo e do seu entorno e por meio dos resultados subsidiar estudos ambientais posteriores.

Figura 03 – Imagem do Aterro Sanitário de Formosa em setembro de 2002. Quadrado em azul corresponde ao local da lagoa de chorume.



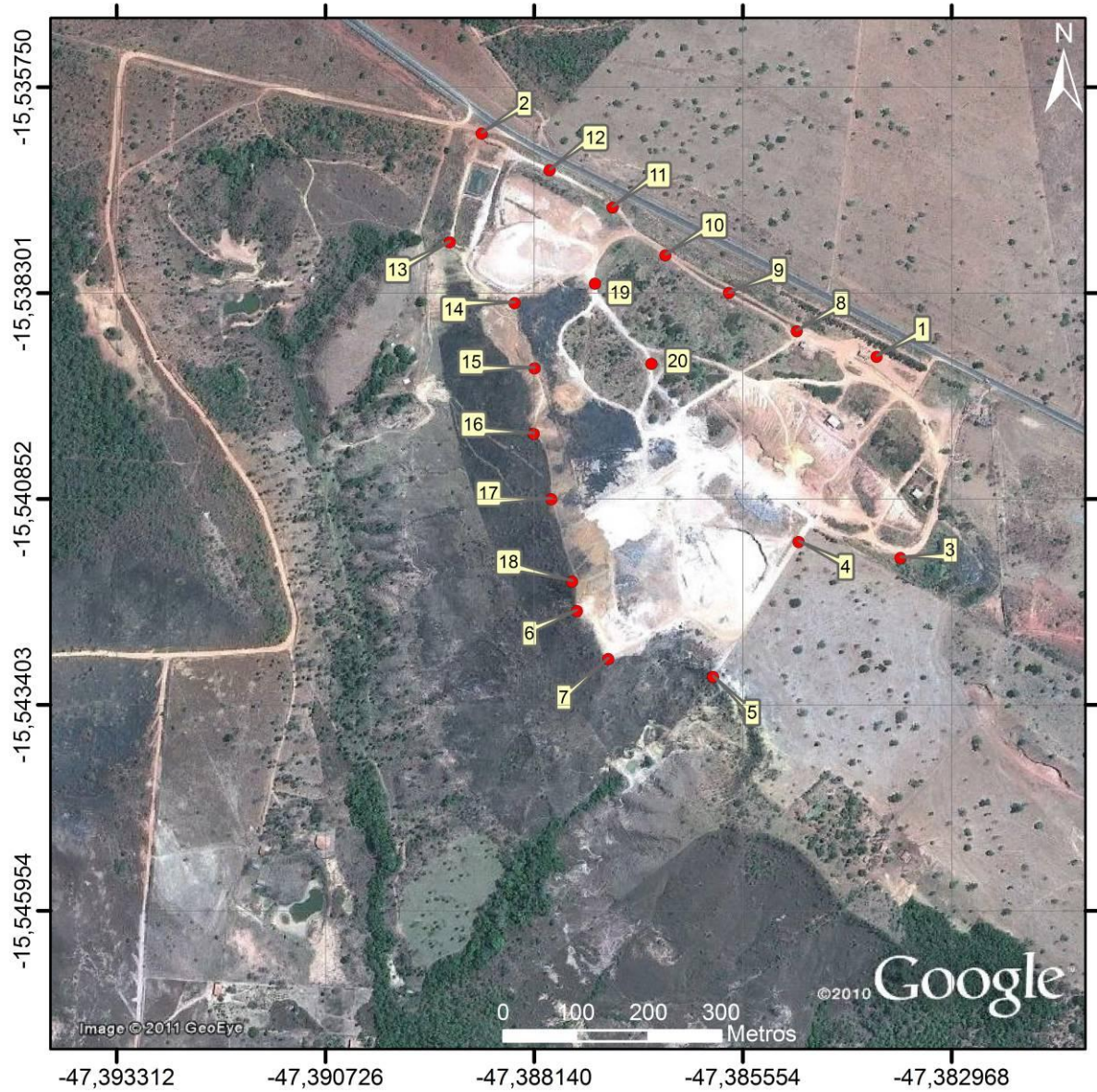
FONTE: Google Earth, 2012.

Figura 04 – Imagem do Aterro Sanitário de Formosa em junho de 2010.



FONTE: Google Earth, 2012.

Figura 05 – Imagem do Aterro Sanitário de Formosa em agosto de 2011.



FONTE: Google Earth, 2012.

Figura 06 – Leucena e Mamoneira encontradas no Aterro Sanitário de Formosa.

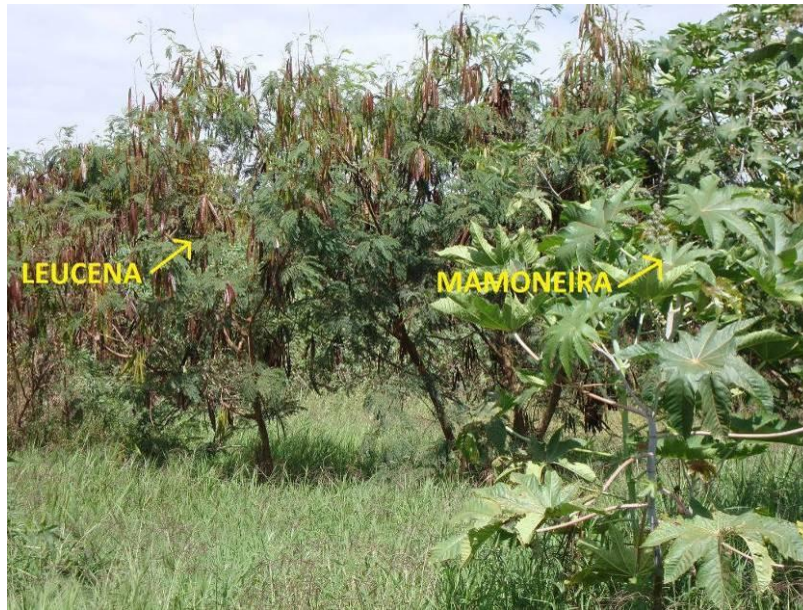


Figura 07 – Lagoa de chorume do Aterro Sanitário de Formosa, dezembro de 2010.
Vista de leste para oeste.



Figura 08 – Lagoa de chorume do Aterro Sanitário de Formosa, agosto de 2011. Vista de norte para sul.



Figura 09 – Lagoa de chorume do Aterro Sanitário de Formosa, maio de 2012. Vista de norte para sul.



4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Para mapear os pontos no interior do aterro e calcular a área em uso foi utilizado o GPS portátil Trimble GeoXH e a antena Trimble Hurricane, obtidos por empréstimo junto Laboratório de Análise e Monitoramento Ambiental da Faculdade UnB Planaltina (*Figura 10*). O uso simultâneo desses dois equipamentos, os quais utilizam a tecnologia H-Star da Trimble, possibilita uma boa qualidade de mapeamento dado à precisão em tempo real de menos de 30 cm. Os dados foram pós-processados resultando numa precisão de 10 centímetros).

Figura 10 – GPS Trimble GeoXH e antena Trimble Hurricane.



FONTE: Trimble GeoXH e a antena Trimble Hurricane, 2008.

A perfilagem elétrica horizontal foi realizada com o resistivímetro Pergeo modelo ER-300 (*Figura 11*). O equipamento foi cedido pelo Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA), do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG-UnB).

Os mapas temáticos foram elaborados por meio do software ArcGIS, versão 10, o qual é produzido pela Environmental Systems Research Institute (ESRI). O modelo topográfico da área do aterro e seu entorno foi elaborado no aplicativo Surfer, versão 8, fabricado pela Golden Software.

Figura 11 – Resistivímetro Pergeo, modelo ER-300.



4.2 PLANEJAMENTO DE CAMPO

Neste trabalho foram executados dois levantamentos geofísicos em uma estrada não pavimentada situada na borda noroeste do Aterro Sanitário de Formosa. Em janeiro de 2012, época chuvosa, foi realizada uma perfilagem elétrica horizontal que consiste na determinação da variação lateral da resistividade numa profundidade constante. Em maio de 2012, época em que há menos precipitações, foi realizado o mesmo procedimento, a fim de comparar os dados de resistividade dos dois períodos.

A escolha do local para realizar os levantamentos levou em conta as características topográficas da região. A área mais baixa é o local preferencial para concentração de efluentes eventualmente gerados no aterro que estejam migrando através da zona não saturada (*Figura 12*). Esta figura corresponde ao modelo topográfico da região de Formosa, incluindo a área do Aterro. Ela foi gerada a partir dos dados de altimetria do terreno obtidos pela missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponibilizados gratuitamente no site da Embrapa (MIRANDA, 2005).

A *Figura 13* corresponde à mesma área do modelo topográfico ilustrado na *Figura 12*. Por meio das duas figuras é possível visualizar as áreas do aterro e seu entorno, identificar onde há drenagens e quais são suas direções. O Aterro foi posicionado numa área de relevo relativamente plano e atitude superior a 1000 metros.

Os dados foram obtidos ao longo de uma linha com 300 metros de extensão, empregando o arranjo de Wenner com espaçamento de 10 metros entre eletrodos, totalizando 28 medidas de resistividade. Este arranjo foi escolhido em função de ser o mais adequado à técnica empregada, no caso a perfilagem elétrica horizontal.

O objetivo do primeiro ensaio geofísico foi determinar pontos nos quais os valores de resistividade fossem baixos para, em seguida, realizar outro ensaio geofísico numa estação com menor precipitação e a partir da comparação dos dados desse parâmetro identificar uma possível migração de efluente no subsolo.

Figura 12 – Modelo topográfico do Aterro Sanitário de Formosa.

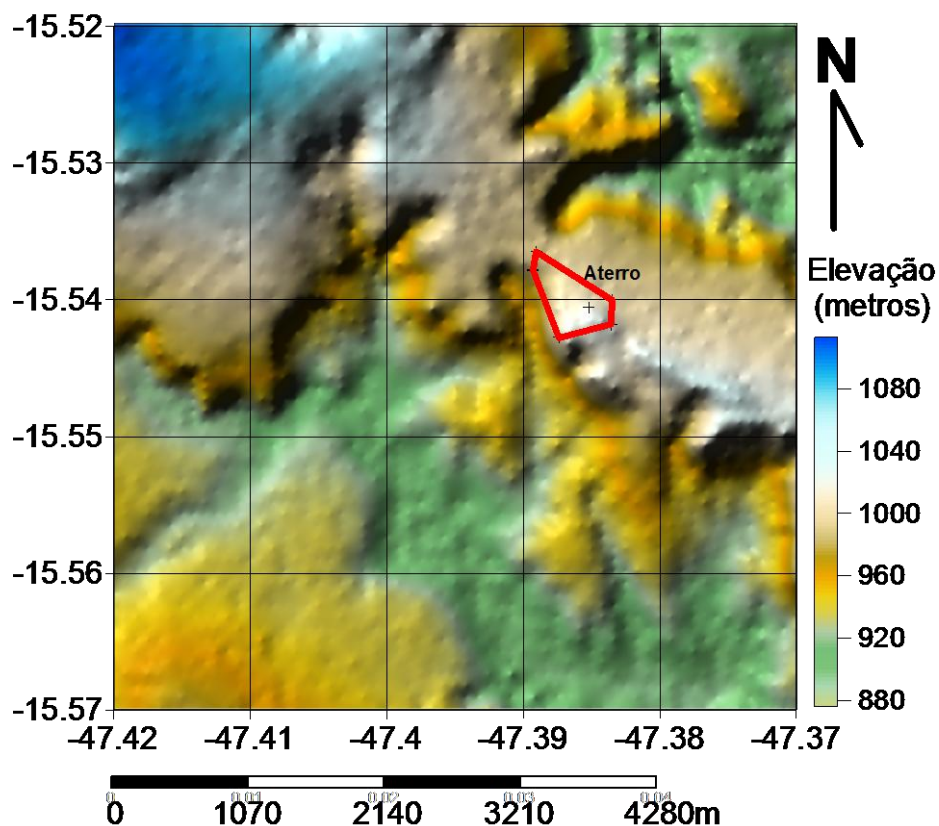
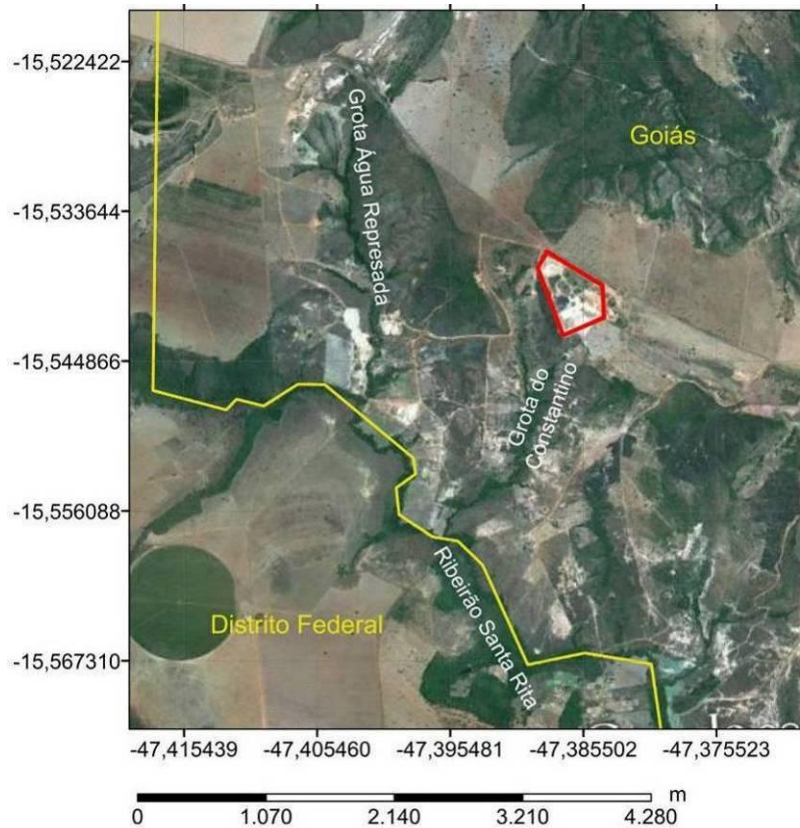


Figura 13 – Imagem do Aterro Sanitário de Formosa.



FONTE: Google Earth, 2012.

4.3 MÉTODO ELÉTRICO DE CORRENTE CONTÍNUA

A resistividade elétrica, a qual é representada pelo símbolo ρ , é uma propriedade física dos materiais, geológicos ou não, a qual se relaciona à resistência encontrada por uma corrente elétrica para se propagar em um meio e também é utilizada para caracterizar seu estado principalmente em relação ao menor ou maior grau de umidade, sem a necessidade de investigação direta (BORTOLIN *et al.*, 2011).

Após obter os valores da diferença de potencial natural do solo, da diferença de potencial induzida e da corrente, por meio de um resistímetro, é necessário aplicar a *Equação 1* para calcular os valores de resistividade.

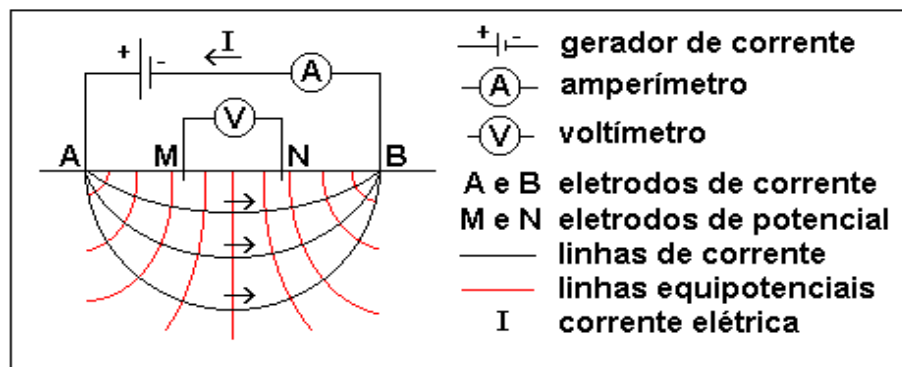
$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \frac{ddp}{i} \quad (1)$$

Na equação 1, que é específica para o arranjo de Wenner, o símbolo ρ é a resistividade elétrica calculada (dada em Ohm.m), i é a corrente elétrica aplicada na

superfície do terreno por meio dos eletrodos de corrente A e B (dada em *ampères*), ddp é a diferença de potencial medida sobre o terreno, isto é, diferença de potencial natural subtraída da induzida (dada em *volts*) e *a* é distância entre os eletrodos (dada em *metros*) (NASCIMENTO *et al.*, 1999).

São várias as formas de transportar e dispor os eletrodos uns em relação aos outros na área a ser estudada. Foi adotado, neste trabalho, o arranjo de Wenner, o qual foi criado pelo norte-americano Frank Wenner, em 1915, e consiste na disposição equidistante dos eletrodos de potencial e de corrente em uma linha reta. Os eletrodos A e B situam-se nos extremos do arranjo, enquanto M e N situam-se próximo ao centro como pode ser observado na *Figura 14* (NASCIMENTO *et al.*, 2004).

Figura 14 – Distribuição dos eletrodos no método elétrico de corrente contínua.



FONTE: NASCIMENTO *et al.*, 2004.

Segundo Nascimento *et al.* (2004) o espaçamento entre os eletrodos é diretamente proporcional a profundidade alcançada.

A técnica escolhida foi o caminhamento elétrico, onde os quatro eletrodos (A, B, M e N) são deslocados, simultaneamente, sobre o terreno, a fim de obter um conjunto de dados distribuídos regularmente numa mesma direção.

4.4 ANÁLISE DA VARIÂNCIA DOS DADOS

Para uma análise correta de alguns tipos de informação é necessário realizar uma classificação desses dados, distribuindo-os em conjuntos menores (FERREIRA, 2001).

Existem vários métodos para determinar o número adequado de classes, uma das formas é por meio da fórmula de Sturges (*Equação 2*), onde **n** é o tamanho da amostra, e **K** é o número de classes.

$$K = 1 + 3,3 \cdot \log_{10} n \quad (2)$$

Após a determinação de **K**, deve-se efetuar a subtração entre o maior e o menor valor do conjunto de dados, dividindo-se o resultado da subtração pelo número de classes. Dessa forma obtém-se o intervalo de classes.

5. RESULTADOS

Em janeiro de 2012 (período chuvoso) e em maio de 2012 (período de estiagem) foram obtidos os valores da resistividade aparente para os 28 pontos.

Os resultados da perfilagem elétrica horizontal, realizada em janeiro de 2012, revelaram que ao longo da linha estudada a maioria dos valores de resistividade apresentaram-se altos, sendo o Ponto 9 o que apresentou o maior valor (4374 Ohm.m) e o Ponto 24 o que apresentou o menor valor (259 Ohm.m), conforme observado na *Tabela 01*.

Tabela 01 – Resultados da perfilagem elétrica horizontal, em janeiro de 2012.

Ponto	Posição (m)	DDP Natural (V)	DDP Induzida (V)	Induzida - Natural (V)	Corrente (A)	Resistência (Ohm)	Resistividade aparente (Ohm.m)
1	15	42	140	98	5,14	19,07	1197
2	25	130	170	40	2,7	14,81	930
3	35	90	150	60	2,95	20,34	1277
4	45	154	240	86	3,46	24,86	1561
5	55	13	130	117	3,53	33,14	2081
6	65	23	33	10	2,1	4,76	299
7	75	76	135	59	1,58	37,34	2345
8	85	326	0	326	7,65	42,61	2676
9	95	-143	-65	78	1,12	69,64	4374
10	105	181	0	181	8,3	21,81	1369
11	115	73	0	73	6,21	11,76	738
12	125	-40	0	40	5,28	7,58	476
13	135	216	0	216	10,26	21,05	1322
14	145	120	0	120	15,2	7,89	496
15	155	-96	0	96	7,77	12,36	776
16	165	122	0	122	17,65	6,91	434
17	175	60	300	240	9,08	26,43	1660
18	185	0	110	110	4,13	26,63	1673
19	195	190	260	70	4,65	15,05	945
20	205	68	115	47	2,11	22,27	1399
21	215	15	0	15	3,44	4,36	274
22	225	300	0	300	9	33,33	2093
23	235	60	0	60	7,77	7,72	485
24	245	-35	0	35	8,5	4,12	259
25	255	170	0	170	5,7	29,82	1873
26	265	210	0	210	9,6	21,88	1374
27	275	-50	0	50	7	7,14	449
28	285	26	0	26	3,45	7,54	473

Já os resultados perfilagem em maio de 2012 revelaram que ao longo da linha estudada a maioria dos valores de resistividade também se apresentaram altos, sendo o Ponto 10 o que apresentou o maior valor (3140 Ohm.m) e o Ponto 28 o que apresentou o menor valor (628 Ohm.m), conforme a *Tabela 02*.

Tabela 02 – Resultados da perfilagem elétrica horizontal, em maio de 2012.

Ponto	Posição (m)	DDP Natural (V)	DDP Induzida (V)	Induzida - Natural (V)	Corrente (A)	Resistência (Ohm)	Resistividade (Ohm.m)
1	15	10	117	107	7	15,29	960
2	25	216	285	69	3,6	19,17	1204
3	35	-260	-150	110	5,5	20	1256
4	45	167	220	53	2,7	19,63	1233
5	55	-80	5	85	3	28,33	1779
6	65	-111	-24	87	2,6	33,46	2101
7	75	-327	-272	55	1,2	45,83	2878
8	85	138	320	182	5	36,40	2286
9	95	-85	-46	39	1,1	35,45	2227
10	105	-50	0	50	1	50	3140
11	115	-224	-177	47	1,3	36,15	2270
12	125	-66	10	76	2,1	36,19	2273
13	135	-140	7	147	3,5	42	2638
14	145	-154	-68	86	4	21,50	1350
15	155	350	407	57	1,4	40,71	2557
16	165	-80	15	95	3,2	29,69	1864
17	175	149	390	241	8,1	29,75	1868
18	185	-209	-160	49	1,8	27,22	1710
19	195	-315	-135	180	6,5	27,69	1739
20	205	175	205	30	1	30	1884
21	215	19	92	73	2,5	29,20	1834
22	225	-103	184	287	7,8	36,79	2311
23	235	100	328	228	7,3	31,23	1961
24	245	-51	290	341	14,2	24,01	1508
25	255	50	220	170	7,2	23,61	1483
26	265	50	208	158	6,6	23,94	1503
27	275	220	348	128	5,4	23,70	1489
28	285	90	100	10	1	10	628

Os *Gráficos 01* e *02* ilustram melhor os valores descritos nas *Tabelas 01* e *02*, respectivamente. As curvas em azul correspondem aos valores de resistividade aparente. As curvas em vermelho correspondem à média aritmética de seis valores

consecutivos, plotados em relação ao ponto médio desses seis valores. A segunda curva foi construída visando obter uma representação da variação média da resistividade na área de estudo.

Gráfico 01 – Perfilagem elétrica em janeiro de 2012.

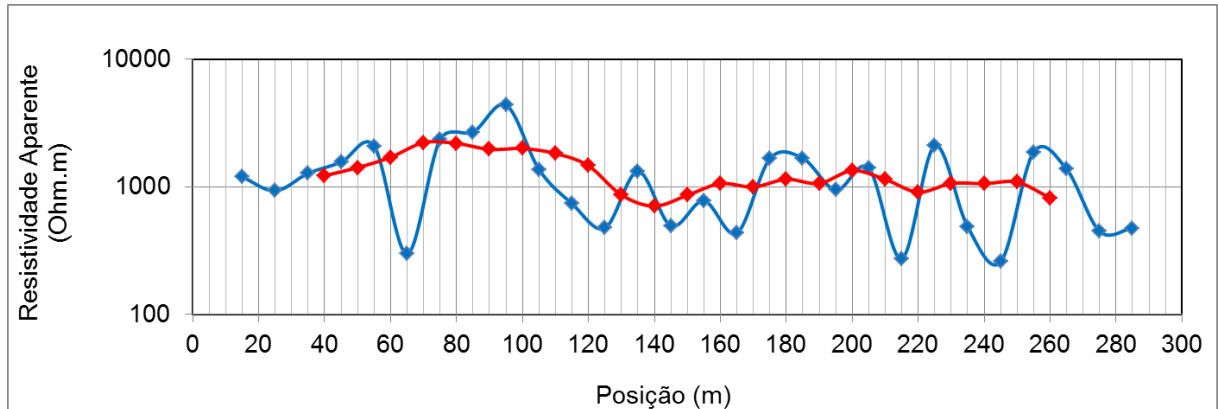
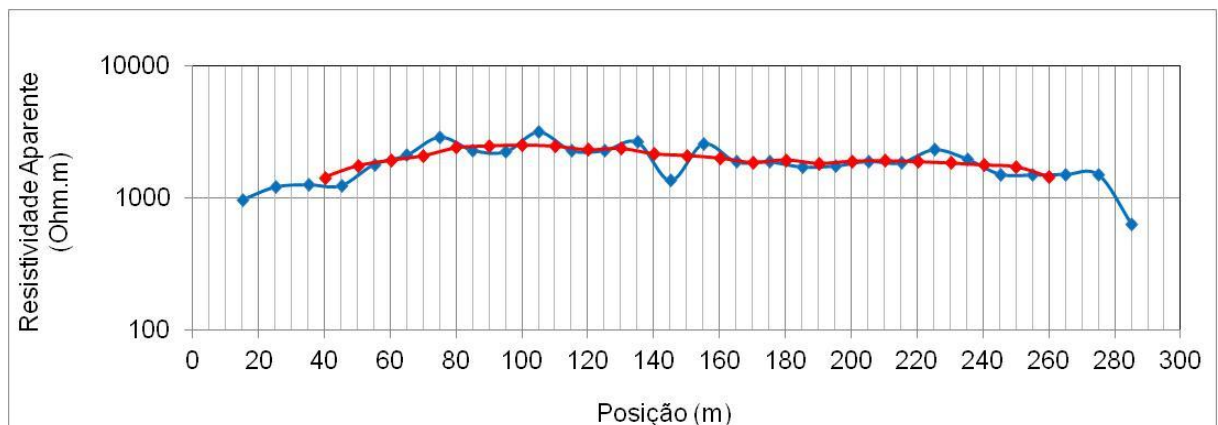


Gráfico 02 – Perfilagem elétrica em maio de 2012.



Os Gráficos 01 e 02 mostram que na estação chuvosa os valores de resistividade são relativamente reduzidos e com grande variabilidade. Já na época de seca estes valores mostram-se mais elevados e mais uniformes.

As Tabelas 03 e 04 mostram os resultados da distribuição dos dados de resistividade aparente, a qual foi obtida por meio da fórmula de Sturges. Nos dois períodos analisados as classes foram separadas em cores diferentes de acordo com os intervalos de valores de resistividade.

Tabela 03 – Intervalos de classes em janeiro de 2012.

Classe	Cor	Intervalo de resistividade
1	Vermelho	[259 , 944]
2	Laranja	[945 , 1630]
3	Amarelo	[1631 , 2316]
4	Verde	[2317 , 3002]
5	Azul	[3003 , 3688]
6	Roxo	[3689 , 4374]

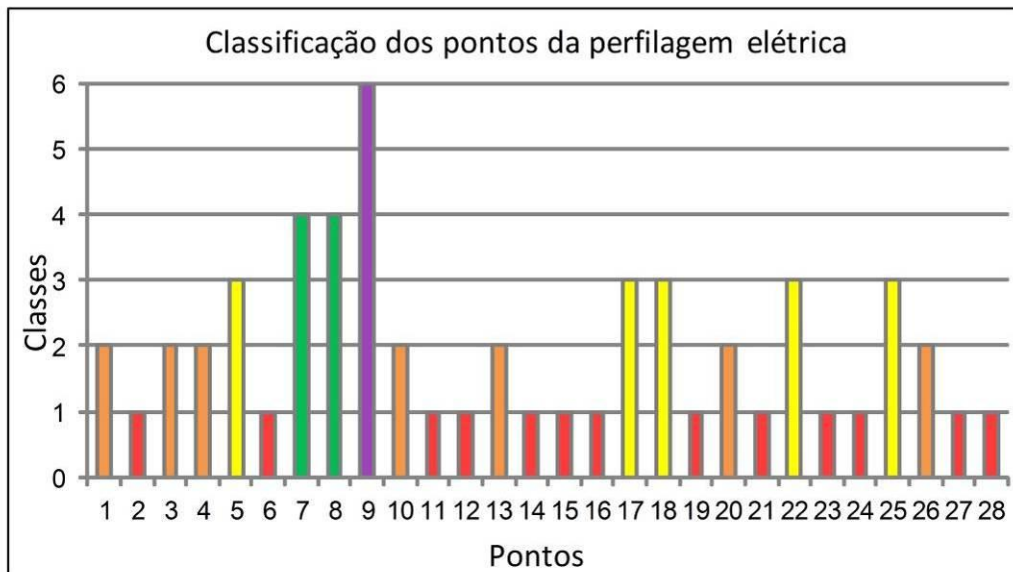
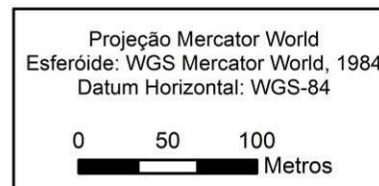
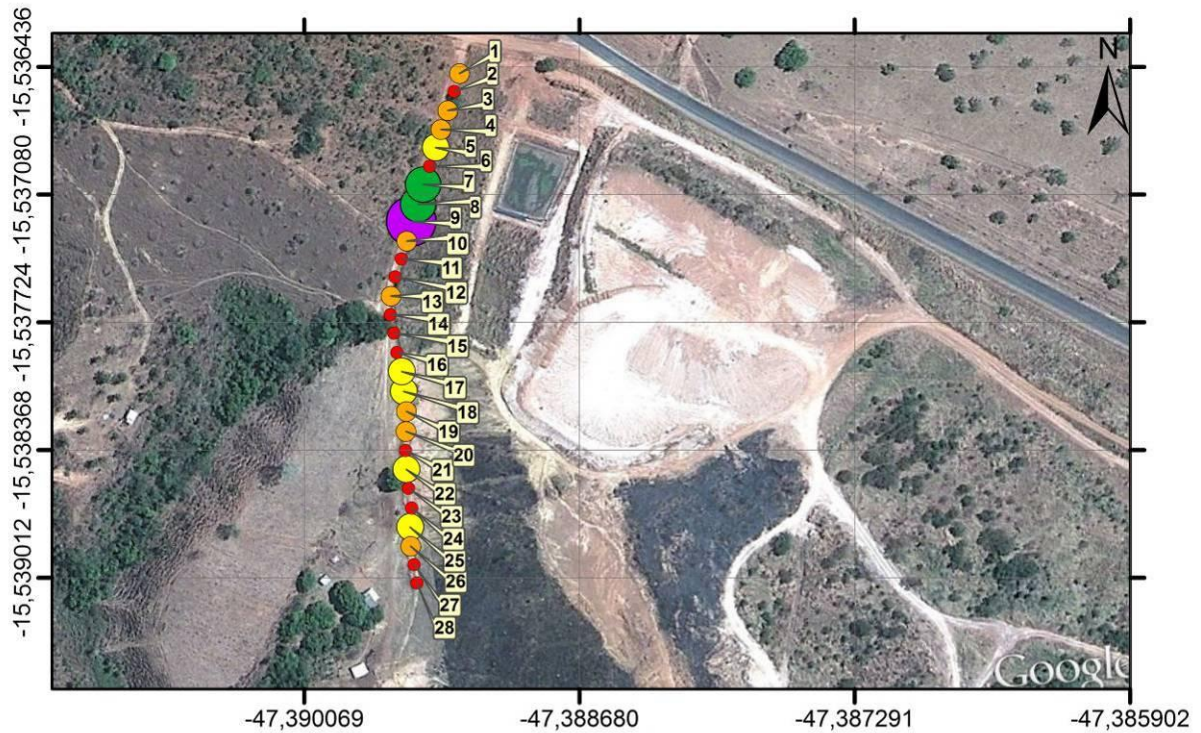
Tabela 04 – Intervalos de classes em maio de 2012.

Classe	Cor	Intervalo de resistividade
1	Vermelho	[628 , 1045]
2	Laranja	[1046, 1464]
3	Amarelo	[1465 , 1883]
4	Verde	[1884 , 2302]
5	Azul	[2303 , 2721]
6	Roxo	[2722 , 3140]

A *Figura 15* ilustra a classificação dos valores de resistividade medidos em janeiro de 2012.

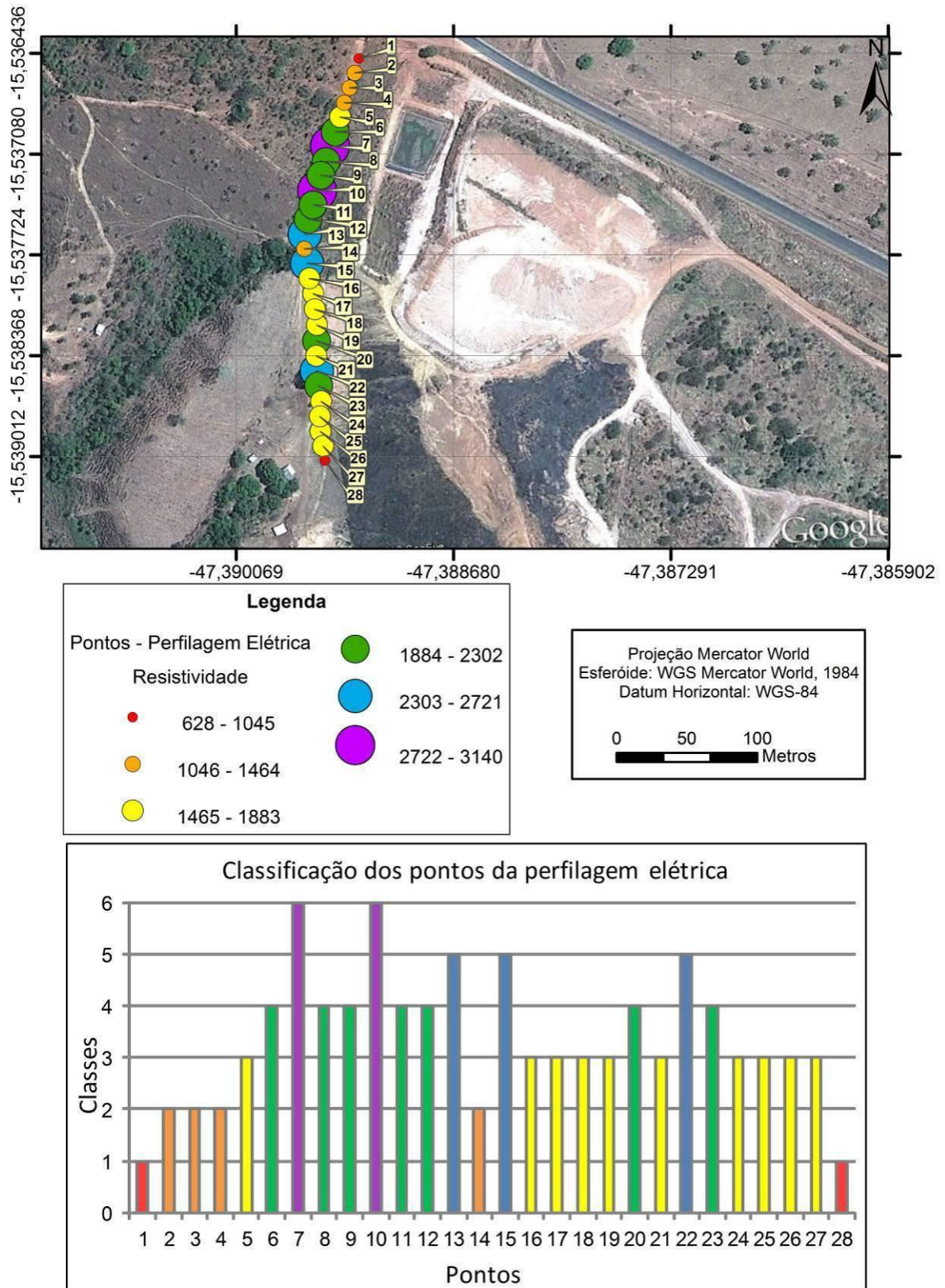
Pode-se observar que os pontos pertencentes à Classe 1, isto é, apresentados na cor vermelha, mostraram os menores valores de resistividade, variando entre 259 e 944 Ohm.m., em janeiro de 2012 e entre 628 e 1045 Ohm.m., em maio de 2012 (*Figura 16*). Entretanto, é necessário analisar esses pontos mais detalhadamente para vincular os baixos valores de resistividade com a possibilidade de contaminação.

Figura 15 – Mapa temático de resistividade de janeiro de 2012.



FONTE: Google Earth, 2012.

Figura 16 – Mapa temático de resistividade de maio de 2012.



FONTE: Google Earth, 2012.

6. DISCUSSÃO

A média aritmética dos valores de resistividade na região do Aterro Sanitário de Formosa, registrados em janeiro de 2012, foi de 1261 Ohm.m, ao passo que em maio a média foi de 1855 Ohm.m. Isto confirma o comportamento esperado para para esta região na passagem da estação chuvosa para a de seca, ou seja, um aumento da resistividade elétrica do solo.

A perfilagem elétrica executada em janeiro, na estrada a jusante do Aterro, caracterizou-se por valores com pouca uniformidade, sendo que a região menos resistiva situou-se entre os pontos 11 e 16 (*Gráfico 03*). Este fato pode ser justificado pela existência de uma drenagem intermitente afluyente da Grotta do Constantino, a qual em função da relativa abundância de água derivada das chuvas favoreceu o acúmulo de umidade no solo, abaixando a resistividade (*Figura 15*). Como evidência pontual da existência de escoamento superficial nesta região existe uma manilha de concreto sob a estrada. No local desta manilha, que em janeiro correspondeu ao ponto 12 foi registrado um dos menores valores de resistividade (476 Ohm.m), justamente em função do escoamento de água (*Figura 17*).

Gráfico 03 – Valores de resistividade elétrica registrados em janeiro e maio de 2012.

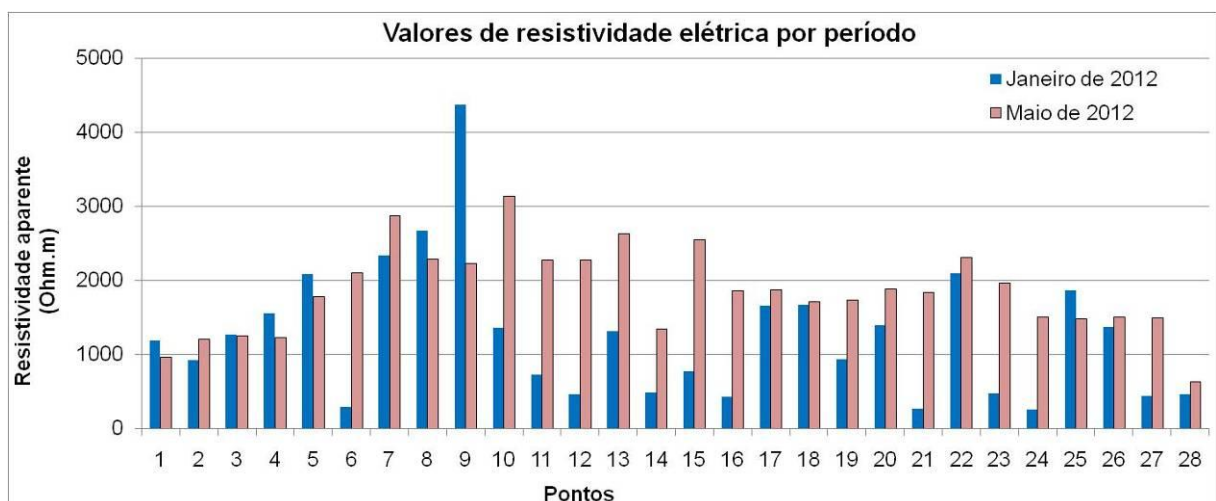


Figura 17 – Manilha de concreto situado no ponto 12.



Além disto, observou-se que entre os pontos 1 e 10 a resistividade é maior do que aquela registrada entre os pontos 17 e 28. Nesse trecho final da perfilagem os baixos valores de resistividade podem ser justificados por se tratar de uma região topograficamente mais baixa (cota 956m no ponto 17 nas figuras 15 e 16), para onde fluem as águas que escoam superficialmente pelo aterro (cota 983m no ponto 14 da figura 02) e que desse modo, também vai possuir mais umidade na estação chuvosa.

A perfilagem elétrica executada em maio caracterizou-se por valores mais uniformes em relação à perfilagem de janeiro, sendo que é possível identificar duas regiões, respectivamente mais resistiva e menos resistiva, a primeira entre os pontos 1 e 16 e a segunda entre os pontos 17 e 28 (*Gráfico 03*). Esse comportamento pode ser justificado pela estratégia de gestão da área do Aterro ao longo do tempo. Observa-se na *Figura 18* e *19* que na região contida entre os pontos 17 e 28 ocorrem processos erosivos. Esses processos devem estar vinculados ao escoamento superficial de água cuja origem é justamente a região do aterro. Essa água que deve escoar preferencialmente pelas estradas construídas para passagem dos caminhões de lixo, concentra-se na parte mais baixa do Aterro. Dado à impossibilidade de ela fluir para a lagoa de chorume em função do alteamento de suas bordas, a água escoar pelo talude do Aterro em direção à estrada onde foi executada a perfilagem, exatamente na região situada entre os pontos 17 e 28 (*Figura 16*).

Figura 18 – Erosão no talude superior do Aterro Sanitário de Formosa.

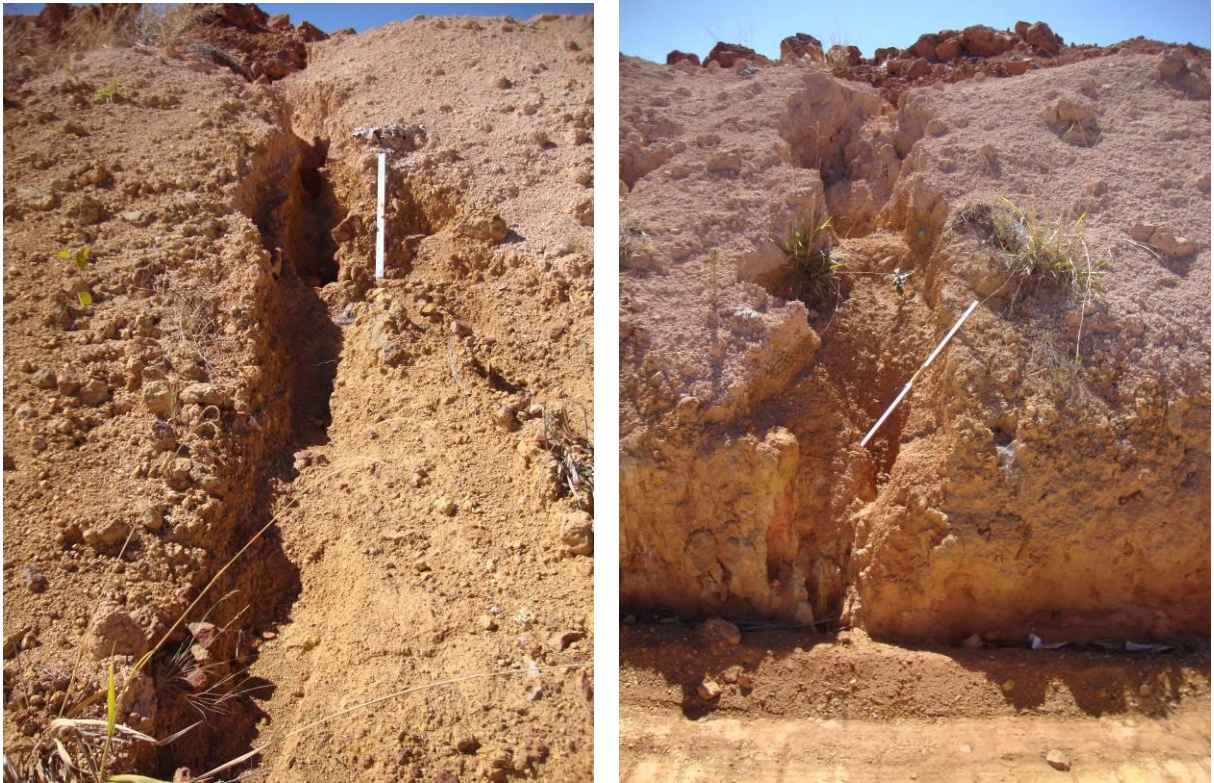


Figura 19 – Talude e erosão no talude inferior do Aterro Sanitário de Formosa.



Pode-se afirmar que esse processo de escoamento sobre o talude e consequente erosão está ocorrendo no mínimo desde 2010, como visto na *Figura 20*. Finalmente é possível afirmar que existe uma possibilidade de que este escoamento superficial ao longo de no mínimo dois anos tenha levado a um acúmulo de sais na região entre os pontos 17 e 28, isto porque a água de escoamento deve percorrer boa parte do aterro, podendo neste trajeto transportar poluentes em solução.

Figura 20 – Imagem do entorno do aterro em junho de 2010.



FONTE: Google Earth, 2012.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo sugerem que não há migração de efluente proveniente da lagoa de chorume do Aterro Sanitário de Formosa.

Os baixos valores de resistividade podem ser justificados essencialmente pelo escoamento superficial, seja em drenagens ou sobre o talude do Aterro, o qual vem ocorrendo, no mínimo, desde 2010 e é responsável por processos erosivos no local.

O método elétrico de corrente contínua é uma medida indireta, devendo os resultados e interpretações apresentados nesse estudo serem utilizados para otimização de investigações e estudos mais detalhados posteriormente.

Dessa forma, sugere-se aplicar métodos diretos de investigação. É aconselhável coletar amostras de solo ao longo do perfil para que se possam obter informações acerca da umidade, textura e o teor de sais. Essas informações auxiliam na caracterização e classificação do solo.

É importante coletar água da zona não saturada na região onde está ocorrendo erosão visando a detecção de sais em solução. Recomenda-se coletar água da zona saturada na região a jusante do aterro, possivelmente na propriedade localizada imediatamente a oeste.

Além disso, é importante aplicar métodos geofísicos periodicamente no entorno do aterro a fim de monitorar a qualidade ambiental do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 10004 Resíduos sólidos - classificação**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

AZAMBUJA, E.; COSTA, A. F. U.; NANNI A. S. **O emprego da prospecção geofísica na avaliação de plumas de contaminação por hidrocarbonetos**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27. Porto Alegre, 2000.

BLUM, C. T.; BORGO, M.; SAMPAIO, A. C. F. Espécies exóticas invasoras na arborização de vias públicas de Maringá-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. 3(2): 78-97, 2008.

BORGES, W. R. Investigações geofísicas na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e Eletrorresistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**. 22(1): 91-91, 2004.

BORTOLIN, J. R. M. MALAGUTTI FILHO, W. Monitoramento temporal da pluma de contaminação em aterro controlado, na cidade de Rio Claro (SP), por meio do método da eletrorresistividade. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM. 2009.

BORTOLIN, J. R. M.; MALAGUTTI FILHO, W. Monitoramento temporal de contaminação por chorocho usando métodos geoeletricos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 12, Rio de Janeiro. **Anais...** CD-ROM, 2011.

BOSCOV, M. E. G. Geotecnia Ambiental. São Paulo: **Oficina de textos**, 2008.

BRAGA, A. C. O. **Métodos geoeletricos aplicados: módulo: hidrogeologia**. 2001. Disponível em:
<http://www.geologia.ufpr.br/graduacao/geofisica2007/Apostila_Hidrogeologia.pdf>. Acesso em: 16 Nov. 2011.

BRASIL. Constituição (1988). Artigo nº 30. Brasília.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T. Aplicação do método de identificação espectral para imagens do sensor ASTER em ambiente de cerrado. **Revista Brasileira de Geofísica**. 23(2): 159-172, 2005.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 494 p, 2006.

CASTRO, W. S.; SOARES, A. M. **Impactos ambientais de *Leucaena leucocephala* no Parque Municipal Santa Luzia, Uberlândia – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade Católica de Uberlândia, Minas Gerais, 2011.

CAVALCANTI, M. M.; BORGES, W. R.; ROCHA, M. P.; CUNHA, L. S.; SEIMETZ, E. X. Investigação Geofísica (Eletrorresistividade e GPR) nos Limites do Lixão da Estrutural e do Parque Nacional de Brasília – DF (Resultados Preliminares). In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 12, Rio de Janeiro. **Anais...** CD-ROM, 2011.

COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. M. E.; SILVA, F. E. A.; MELO FILHO, J. S.; SILVA, M. A. Disponibilidade de nutrientes no solo em função de doses de matéria orgânica no plantio da mamona. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. 5(3): 204-212, 2010.

COSTA, A. F.; MALAGUTTI FILHO, W. Aplicação de sondagens elétricas verticais no estudo da contaminação na lixeira de Porto Velho (RO). In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J. V. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. **Gestão & Produção**, 9(2): 143-161, 2002.

DIB-FERREIRA, D. R. **As diversas visões do lixo**. Dissertação para o título de mestre em Ciência Ambiental. Universidade Federal Fluminense, 2005.

ESRI-ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ArcGis Version 10.0 Redlands: Environmental Systems Research Institute, Inc., 1999.

FARQUHAR G. J. Leachate: production and characterization. **Canadian Journal of Civil Engineering**, 16: 317-325, 1989.

FERREIRA, L. D. A. **Estatística Descritiva**. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Matemática, Departamento de Estatística. 2001.
Disponível em: < <http://www.est.ufba.br/mat027/mat027apostila1.pdf>>.
Acesso em: 24 mar. 2012.

FONSECA, E. **Iniciação ao estudo dos resíduos sólidos e da limpeza urbana**. João Pessoa: JRC Gráfica e Editora, 2001.

GALLAS, J. D. F.; TAIOLI, F.; MALAGUTTI FILHO, W.; PRADO, R. L.; DOURADO, J. C.. Métodos e técnicas geoeletricas rasas na delimitação de área afetada por ruptura em teto de túnel urbano. **Jornal Brasileiro de Geofísica**. 19(1): 33-46, 2001.

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

GALVÃO, T. D. L.; PORSANI, M. J. Aplicação do método da eletrorresistividade para determinação da contaminação em depósito de lixo do município de Alcobaça, estado da Bahia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 2, São Paulo. **Anais...** CD-ROM, 2011.

GOIÁS. **Plano diretor do município de Formosa/GO**. 44p, 2003.

GOLDEN SOFTWARE. Surfer Version 8.02, **Surface Mapping System**. Golden: Golden Software, Inc., 2002.

GOOGLE. **Programa Google Earth**, Versão 6.2, 2012.

HENRIQUES, E. F.; ELIS, V. R. Estudos geofísicos para avaliação ambiental de uma estação de esgoto. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf> Acesso em: 01 Maio 2012.

LAGO, A. L.; ELIS, V. R.; GIACHETI, H. L. Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP. **Revista Brasileira de Geofísica**. 24(3): 357-374, 2006.

LANFRANCHI, R.; BIAZZI, E. Perfilagem geofísica em poços de monitoramento em estudos ambientais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

LAUREANO, A. T.; SHIRAIWA, S. Ensaio geofísico no aterro sanitário de Cuiabá-MT. **Revista Brasileira de Geofísica**. 26(2): 173-180, 2008.

MALAGUTTI FILHO, W.; SILVA, R. W. C. Emprego do método da eletrorresistividade no estudo da contaminação subsuperficial do cemitério de Piracicaba – SP. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

MELLO, R. M.; NASCIMENTO, C. T. C.; KOIDE, S. Método elétrico de corrente contínua aplicado à identificação de contaminação do subsolo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 2, São Paulo. **Anais...** CD-ROM, 2011.

MINOZZO, M.; ELIS, V. R.; USTRA, A. T.; MISSAKI, F. Aplicação de ensaios elétricos e eletromagnéticos em uma área industrial contaminada em São Paulo – Brasil – resultados preliminares. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. de O. Anomalias de cargabilidade em aterro de resíduos sólidos domiciliares. **Revista Brasileira de Geofísica**. 27(1): 55-62, 2009.

Miranda, E. E.; (Coord.). **Brasil em Relevo Carta SD 23**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevo.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em 19 mar. 2012.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. de O.; FRIES, M. Degradação de resíduos e alterações na resistividade elétrica, pH e Eh. **Revista Brasileira de Geofísica**. 27(2): 283-293, 2009.

MORGADO, T. C.; FERREIRA, O. M. **Incineração de resíduos sólidos urbanos, aproveitamento na co-geração de energia: estudo para a região metropolitana de Goiânia**. 2007. 18 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia, Universidade Católica de Goiás, Goiás.

MOURA, H. P.; SALDANHA, J. D. M.; CABRAL, M. P.; OLIVEIRA, M. J.; CAMARÃO, K. F.; NERY, J. R. C. Eletrorresistividade aplicada no Sítio Arqueológico AP-MA-05,

Macapá-AP: resultados preliminares. Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

NASCIMENTO, C. T. C.; KOIDE, S.; PIRES, A. C. B.; MELLO, G. A. Pseudo-seções elétricas na avaliação da contaminação do subsolo. **Revista Brasileira de Geociências**. 29(4): 621-626, 1999.

NASCIMENTO, C. T. C.; PASSOS, P. G. O.; FARIAS, M. M.; CUNHA, R. P.; PIRES, A. C. B. Estudo da compactação do solo por meio de ensaios geotécnicos e de métodos geofísicos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 9, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2005.

NASCIMENTO, C. T. C.; PIRES, A.C. B.; MORAES, R. A. V. Reconhecimento de solos por meio de resistividade elétrica e radiação gama. **Revista Brasileira de Geociências**. 34(3): 383-392, 2004.

OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA FILHO, A. F.; MEDEIROS, J. F.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; LINHARES, P. C. F. Desenvolvimento inicial da mamoneira sob diferentes fontes e doses de matéria orgânica. **Revista Caatinga**. 22(1): 206-211, 2009.

OLIVEIRA, M. M.; PASSOS, S.; PORTO, O. L.; OLIVEIRA, R. Estudo de Caso- Avaliação de Áreas Impactadas por Hidrocarbonetos em solo, Utilizando GPR (Ground Penetrating Radar) e Geoquímica. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

OLIVEIRA, M. T.; MOREIRA, C. A. Aplicação do método de Polarização Induzida em área de disposição de resíduos sólidos no município de Caçapava do Sul – RS. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 12, Rio de Janeiro. **Anais...** CD-ROM, 2011.

OLIVEIRA, R.; OLIVEIRA, M. M.; PORTO, O. L.; PIMENTA, V. Análise de dados de GPR em Área de Depósito de resíduos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

PARIZZI, M. G.; ARANHA, P. R. A.; COSTA, R. D.; TUPINAMBÁS, M. M.; DA FILHO, J. A.; CAJAZEIRO, J. M. D. Utilização do GPR no estudo geo-ambiental do Rio das Velhas, no município de Rio Acima, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

PORTO, O. L.; OLIVEIRA, M. M.; PASSOS, S.; OLIVEIRA, R. Estudo de Caso-Avaliação de Áreas Impactadas por Hidrocarbonetos em solo, utilizando SEVME (Sondagem Elétrica Vertical de Multi-Eletrodos) e geoquímica. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

QUINTÃO, S. L. S.; OLIVA, A.; PUIITS, M.; COELHO, J. I.; ROSÁRIO, F.; SILVA, J. R. S.; ROSA, C. S.; CASTRO, F.; PEDE, M. A. Z.; KIANG, C. H.; ALBERTO, M. C. Aplicação das técnicas de medição de gás radônio e de imageamento elétrico 3D e 2D em áreas sob contaminação de hidrocarboneto. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

REIS, W. F. **Análise do modelo de gestão resíduos sólidos só município de Formosa-GO e a atuação dos atores envolvidos.** Dissertação para o título de mestre em Planejamento e Gestão Ambiental. Universidade Católica de Brasília, 2006.

ROCHA, L. F.; LA TERRA, E. F. Uso do método TDEM (eletromagnético no domínio do tempo) na investigação de pluma de contaminação. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 12, Rio de Janeiro. **Anais...** CD-ROM, 2011.

SANTOS, C. B.; LEAL, L. R. B.; MELLO, J. C. Monitoramento do aquífero fissural na área do aterro sanitário da cidade de Feira de Santana. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 2, São Paulo. **Anais...** CD-ROM, 2011.

SANTOS, R.; MAGALHÃES JR., C. A. O. Estudo da utilização de entulhos na contenção do impacto ambiental da erosão “Mãe Biela” do município de Cianorte – PR. **Akropólis: Revista das Ciências Humanas da UNIPAR.** 15(1-2): 03-09, 2007.

SCHALCH, V.; LEITE, W.C.A.; FERNANDES JR., J.L.; CASTRO, M.C.A.A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos.** São Carlos: EESC–USP, 2001. p.14-15.

SILVA, J. E.; LOUREIRO, E. M. L.; ELIS, V. R.; HIODO, F. Y.; PORSANI, J. L. Aplicação de ensaios elétricos e eletromagnéticos em problema de poluição ambiental. **Revista Brasileira de Geofísica.** 20(3): 193-198, 2002.

SOLON, F. F.; MELGAÇO, P. P. P. S.; FONTES, S. L.; FLEXOR, J. M. Assinatura geoeletrica do Arco de São Francisco: encontro das bacias do São Francisco e

Parnaíba. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 11, Salvador. **Anais...** CD-ROM, 2009.

SOUZA, A. A.; ESPÍNDOLA, G. B. Bancos de Proteína de Leucena e de Guandu para Suplementação de Ovinos Mantidos em Pastagens de Capim-Buffel. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 29(2): 365-372, 2000.

TRESSOLDI, M.; CONSONI, A. J. **Disposição de resíduos**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 343-360, 1998.

USTRA, A.; ELIS, V.; MINOZZO, M. Estudo do efeito de polarização induzida em meios contaminados por hidrocarbonetos – resultados preliminares. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 12, Rio de Janeiro. **Anais...** CD-ROM, 2011.