

Diagnóstico geofísico por tomografia elétrica em subsídio à implantação de aterro sanitário

*Geophysical diagnostics using electrical tomography to
support waste landfill implementation*

Isabella Nantes Nishimura¹ , Sérgio Junior da Silva Fachin¹ 

¹ Universidade Federal do Mato Grosso, Faculdade de Geociências, Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Boa Esperança, CEP: 78060-900, Cuiabá, MT, Brasil. (belanantess@gmail.com; sergio.fachin@ufmt.br)

Recebido em 01 de junho de 2023; aceito em 10 de dezembro de 2024.

RESUMO

A destinação adequada de resíduos sólidos domiciliares urbanos é discutida amplamente no Brasil e no mundo, porém é notável uma grande dificuldade para a sua aplicação, principalmente em cidades de pequeno porte do país. Neste contexto, este trabalho teve como finalidade utilizar o método geofísico da Eletroresistividade como ferramenta para caracterização geológica de uma área destinada à implantação de aterro de resíduos, no município de Jaciara, estado de Mato Grosso. Os resultados obtidos por meio da técnica da Tomografia Elétrica permitiram observar as variações dos valores de resistividade ao longo das seções 2D e suas relações com valores naturais e anômalos. Os valores de resistividade menores que 100 Ω .m indicam a presença de zonas permeáveis (úmidas), já os valores acima de 537 Ω .m apontam para regiões mais resistentes, com solos arenosos insaturados e a presença do nível d'água varia entre 5 e 30 m de profundidade. A análise da variação de resistividade ao longo das seções, os parâmetros geológicos definidos pelas normas brasileiras e os ensaios diretos realizados na área, permitiram classificá-la como favorável para instalação do aterro de resíduos. O método demonstrou eficácia quando aplicado a problemas de engenharia, sendo utilizado para definição lito-estratigráfica e variações no teor de umidade, principalmente em áreas extensas, com redução do custo da aplicação de métodos diretos, sobretudo em municípios com recursos escassos.

Palavras-chave: Geofísica Aplicada; Eletroresistividade; Geologia de engenharia; Infraestrutura urbana; Resíduos.

ABSTRACT

The correct disposal of solid waste is widely discussed in Brazil and in the world, but there is a great difficulty for its application, especially in small cities in the country. In this context, this work aimed to use the geological Resistivity Method as a tool in the geological characterization of an area intended for a waste landfill in Jaciara, state of Mato Grosso. The results obtained using the ERT technique allowed observing the variations of the resistivity values along the 2D profiles and their relationship with natural and anomalous values. Resistivity values less than 100 Ω .m indicate the presence of permeable zones, while values above 537 Ω .m indicate more resistive regions, with unsaturated sandy soils and the presence of water level varies between 5 to 30 m deep. The analysis of the resistivity variation along the sections, the geological parameters defined by the Brazilian norms and the direct tests carried out in the area, allowed classifying it as favorable for the installation of the waste landfill. The method proved to be effective applied to engineering problems, being used for litho-stratigraphic definition and variations in moisture content, mainly in large areas, with a reduction in the cost of applying direct methods, especially in municipalities with scarce resources.

Keywords: Applied Geophysics; Electrical Resistivity; Engineering geology; Urban infrastructure; Residues.

INTRODUÇÃO

O descarte de resíduos é um problema mundial em ascensão diária, e nem sempre a destinação desse montante gerado é realizada da forma correta, ou menos prejudicial ao meio ambiente (SNIS, 2019). Em algumas regiões do Brasil, em municípios de pequeno porte, o descarte adequado se torna dificultoso devido à falta de corpo técnico qualificado ou recursos financeiros suficientes. Diante do exposto, os resíduos acabam dispostos em locais inapropriados, causando danos ambientais e de saneamento básico por meio da contaminação do manancial hídrico. O acúmulo de resíduo em locais inadequados pode causar acidentes que envolvem fogo e explosões, além de doenças infecciosas, como pelo contato direto com os resíduos ou pela proliferação de pragas, problemas indiretos como a contaminação do solo e das águas superficial e subterrânea devido à lixiviação de metais pesados e chorume dos compostos orgânicos, poluição do ar pela emissão de metano e impactos sobre a fauna e flora por consumo direto dos resíduos ou morte da vegetação (Waste Atlas, 2014).

Visto a urgência da gestão de resíduos no Brasil, foi estabelecida como base a Lei nº 12.305 em 02 de agosto de 2010, que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que determina critérios para o gerenciamento e a diminuição dos resíduos, e estipula datas para adequação e disposição correta por meio dos municípios. Nesse contexto, três sistemas são utilizados para disposição de resíduos no Brasil, o lixão, o aterro controlado (não permitido com base legal) e o aterro de resíduos, sendo este o único que atende os requisitos normativos e ambientais para a sua instalação.

Um parâmetro essencial a ser estudado para a implantação de um aterro de resíduos é a caracterização geológica da área. Segundo a norma NBR 15849 (ABNT, 2010), para a implantação de um aterro, obrigatoriamente a área deve ser objetivo de investigação geológica/geotécnica do local por meio do mapeamento de superfície e o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*).

Nesse contexto, os métodos indiretos de investigação do subsolo, como os métodos geofísicos, compreendem uma opção menos onerosa e mais ágil nos ensaios de campo, pois permitem levantar áreas extensas e auxiliar na indicação de locais mais favoráveis para realização de métodos diretos, como a sondagem à percussão com ensaio SPT, portanto um método complementar viável para caracterização da subsuperfície. O método geofísico da Eletroresistividade (ER) é amplamente utilizado na engenharia e hidrogeologia para investigação rasa do subsolo (Kearey et al., 2002), devido à sensibilidade em detectar anomalias de resistividade elétrica relacionadas à presença de falhas, fraturas, blocos de rochas e variações de litologias.

Os métodos geoelétricos, como o ER, são amplamente utilizados para investigações em locais de disposição de resíduos após a sua construção e operação, conforme trabalhos publicados (Shiraiwa et al., 2002; Silva et al., 2002; Lago et al., 2006; Moura e Malagutti Filho, 2007; Ohmaye

et al., 2016; Soares et al., 2022; Santos, 2023), para investigação de níveis de contaminação. Porém, poucos trabalhos o utilizaram para caracterização de local antes de sua implantação (Camargo, 1995; Gandolfo, 2015), portanto, uma questão ainda passível de estudos mais aprofundados é a essência deste trabalho.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi investigar o ambiente geológico para caracterização lito-estratigráfica e variações de umidade (permeabilidade), por meio do método geofísico da Eletroresistividade, para análise de viabilidade técnica de instalação de aterro sanitário de resíduos no município de Jaciara, localizado na região sul do estado de Mato Grosso.

Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na cidade de Jaciara, na porção sudeste do estado de Mato Grosso, a aproximadamente 148 km da capital do Estado, Cuiabá. O local encontra-se a 35 km do município, na zona rural (Figura 1).

Segundo Lima et al. (2017), o município produz cerca de 24,9 ton/dia de resíduos domiciliares, com o lixo orgânico e recicláveis destinados à coleta seletiva e o restante é depositado a céu aberto no lixão da cidade. Diante do exposto, na Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, no Art. 54, item IV, estabelecendo que os municípios com menos de 50.000 habitantes devem garantir disposição final ambientalmente adequada dos resíduos, até 02 de agosto de 2024. O município solicitou a licença para instalação e operação de um aterro de resíduos de pequeno porte no município no ano de 2006. Foi verificado junto ao órgão ambiental responsável no estado, SEMA-MT, que a licença de instalação e operação do aterro de resíduos foi liberada ao final do ano de 2022. Em análise à documentação disponibilizada pelo órgão, foram realizados três ensaios de permeabilidade e quatro ensaios SPT na área. Os ensaios de permeabilidade foram executados por furo de trado com tipo de infiltração à carga constante, com uma profundidade de 100 cm, diâmetro do furo de 6,7 cm em um intervalo de tempo de 15 min. Os ensaios SPT foram realizados com base na norma NBR 6484 (ABNT, 2001) e seus resultados estão apresentados na Tabela 1. Segundo a Prefeitura Municipal de Jaciara, a área destinada para a implantação do aterro sanitário de resíduos foi escolhida devido à proximidade ao atual lixão da cidade, e desde a década de noventa planeja-se a transferência dos resíduos dispostos de forma incorreta no lixão para o futuro aterro. Atualmente, existe uma escavação retangular de aproximadamente 1 ha na área de estudo, destinada à disposição dos resíduos.

Contexto geológico

No município de Jaciara ocorrem, predominantemente, as rochas sedimentares da Bacia do Paraná, associadas à Supersequência Paraná, constituída por pacote arenoso infe-

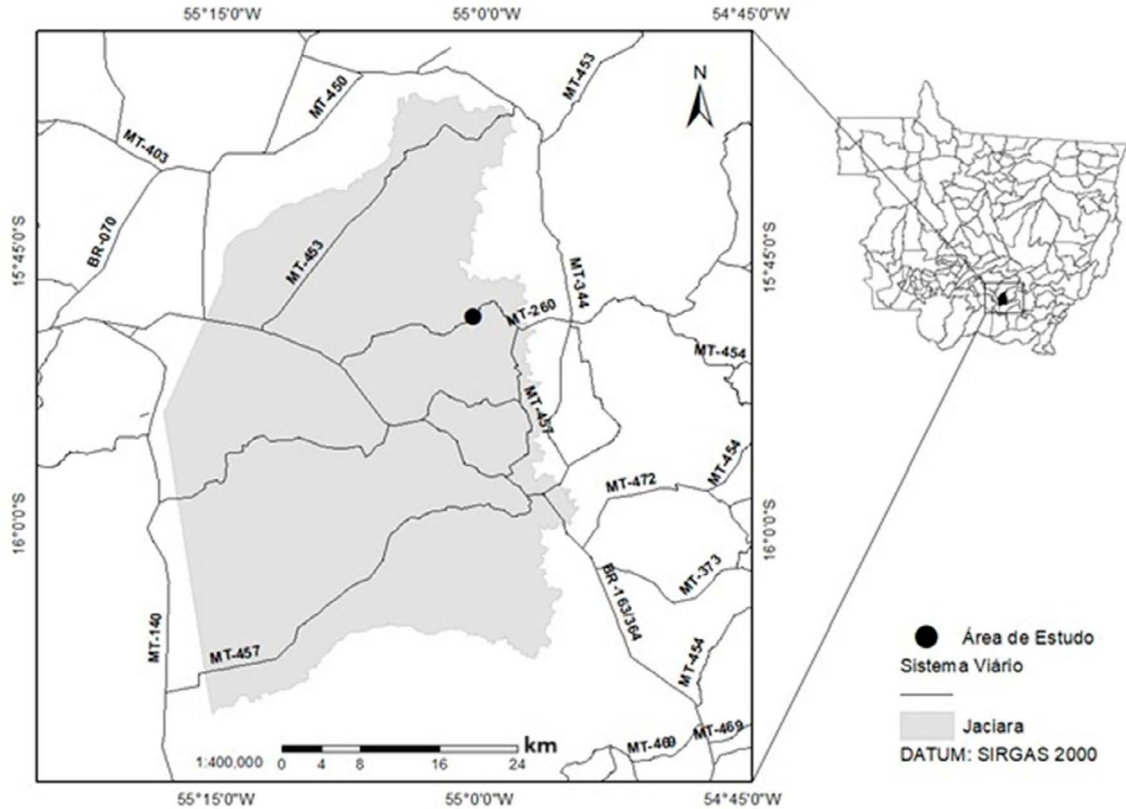


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Tabela 1. Atributos geológicos citados nas normas ABNT/NBR 13896 e 15849 e ensaios diretos realizados na área de estudo.

Atributos geológicos mínimos segundo as normas: NBR 13896 (ABNT, 1997) e NBR 15849 (ABNT, 2010) *	Ensaio direto realizado na área de estudo **	
	Coeficiente de permeabilidade (K)	Ensaio SPT (<i>Standard Penetration Test</i>)
É desejável a existência de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s;		
É desejável uma zona não saturada com espessura superior a 3 metros;		
Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado;	$1,5 \times 10^{-5}$ cm/s ***	Areia silto-argilosa, não plástica, muito compacta, cor cinza de granulometria fina ****
Recomenda-se áreas com solos pouco permeáveis (solos argilosos, argilo-arenosos, ou argilo-siltosos);		

* Atributos geológicos mínimos associando às normas NBR 13896 (ABNT, 1997) e NBR 15849 (ABNT, 2010) para seleção de áreas para construção de aterros sanitários;

** Os dados de ensaios diretos realizados na área de estudo foram disponibilizados pelo órgão ambiental responsável, SEMA-MT, disponíveis no processo 23697/2006;

*** Este valor representa solos com permeabilidade baixa (Fernandes, 2016). Para solos sedimentares esse valor pode representar areias finas a argilosas e siltes (Pinto, 2006);

**** Os quatro testes chegaram a este resultado. Os ensaios SPT chegaram ao impenetrável nos primeiros dois metros de profundidade.

rior, denominado de Formação Furnas, composto por arenitos e conglomerados e, o outro, de composição pelítica, a Formação Ponta Grossa (Milani et al., 2007) conforme Figura 2. Na área de estudo ocorrem arenitos brancos e avermelhados e, subordinadamente róseos, de granulometria média a grossa, caulínicos, por vezes micáceos com vários níveis conglomeráticos na base e intercalações de siltitos da Formação Furnas (Schneider et al., 1974), na qual encontra-se em faixa aflorante de direção norte-sul, com extensão de 45 km (Barros et al., 1982). A Formação Ponta Grossa compõe uma segunda *cuesta* na escarpa da bacia e é constituída por folhelhos, folhelhos-siltitos cinza-escuros a pretos, localmente carbonosos e fossilíferos, com intercalações de arenitos cinza claros, finos, argilosos e micáceos e intercalações raras de folhelho micáceo (Del'Arco et al., 1982).

Segundo Cutrim (1999), a hidrogeologia da região é composta pelo Aquífero Ponta Grossa e pelo Sistema Aquífero Furnas e transição Furnas/Ponta Grossa. O Aquífero Furnas é o principal reservatório de água subterrânea e a profundidade da água pode variar de 5 a 165 m. Em relação à pedologia, ocorrem predominantemente os solos do tipo podzólico vermelho-amarelo eutrófico e latossolo vermelho-escuro distrófico. Estes solos apresentam uma variação na textura, de moderada a muito argilosa, areno-argilosa e em alguns pontos caracterizam-se mais arenosos (Barros et al., 1982).

Método da Eletroresistividade

O método geofísico da Eletroresistividade (ER) é usado no estudo de descontinuidades horizontais e verticais nas propriedades elétricas do solo e na detecção de corpos tridimensionais de condutividade elétrica anômala (Kearey et al., 2002). A resistividade (ρ) é uma propriedade física e pode ser definida como a resistência de um material a passagem de corrente elétrica, podendo ser calculada pela Equação 1:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} x K \quad 1$$

Sendo:

ρ – resistividade

I – corrente elétrica injetada a partir dos eletrodos de corrente A e B e sua unidade de medida é em ampères;

ΔV – (Volts) determina o potencial obtido pelos eletrodos M e N, e;

K – fator geométrico que varia conforme o arranjo de eletrodos adotado para a técnica utilizada.

A resistividade elétrica é expressa em Ohm.m.

O fator geométrico K pode ser determinado pela Equação 2:

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

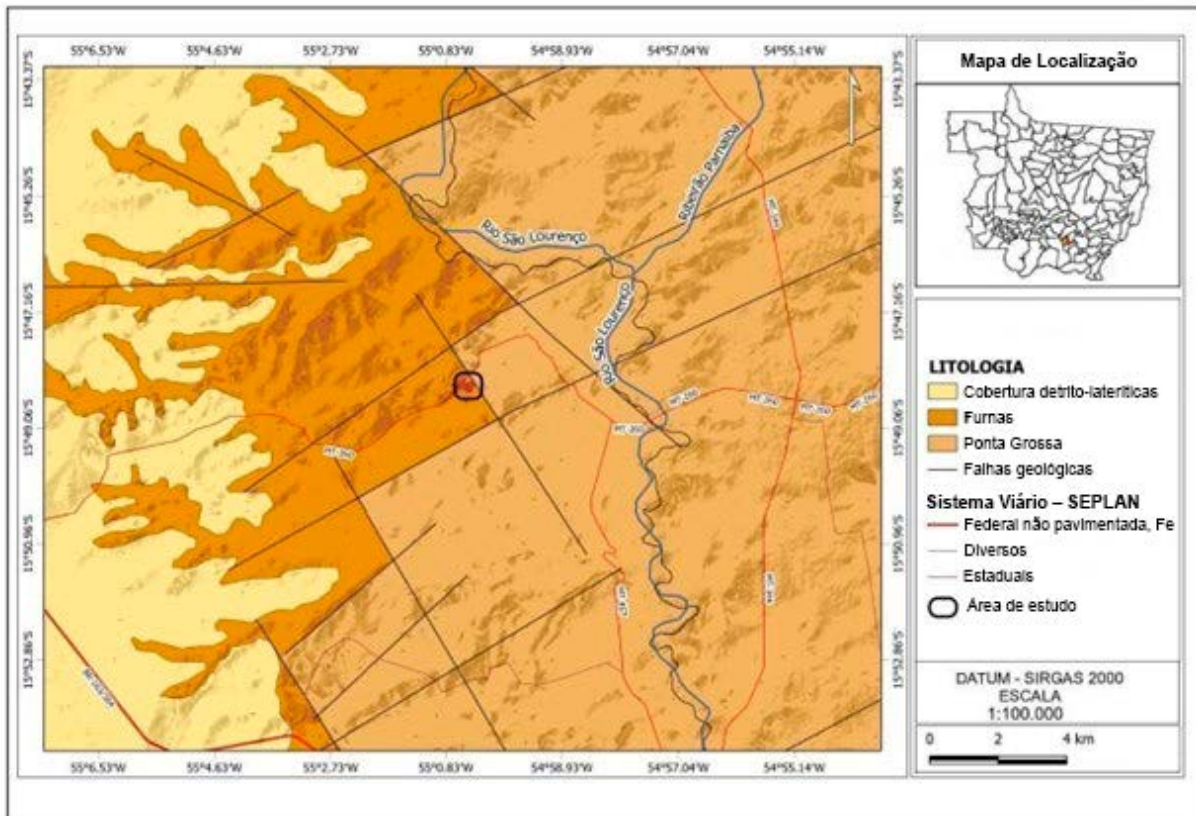


Figura 2: Mapa geológico da área de estudo.

A Equação 1, determina valores de resistividade com base em um meio geológico ideal (homogêneo e isotrópico), porém no meio geológico real a resistividade varia conforme variam as camadas da subsuperfície (Figura 3).

A resistividade adquirida em campo é calculada utilizando a Equação 1 e obtém-se uma resistividade fictícia, chamada de resistividade aparente (ρ_a) e sua unidade de medida também é dada em Ohm.m. A resistividade aparente (ρ_a) é o produto de uma quantia medida em campo que representa uma contribuição das resistividades elétricas existentes em subsuperfície, sob o arranjo de eletrodos.

O método ER é composto por duas técnicas, a técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e a técnica do Caminhamento Elétrico (CE), também conhecido por Tomografia Elétrica (TE) e imageamento elétrico 2D (Fachin, 2007), visto que o procedimento de aquisição de grande volume de dados (seja de forma automatizada ou não), aliado à utilização de inversão capaz de gerar imagens fidedignas da subsuperfície, é comumente referido na bibliografia como “imageamento

elétrico” (Gandolfo, 2007). A escolha da técnica é definida a partir da necessidade de investigação da área (variação vertical e variação vertical-horizontal). Existem vários tipos de arranjos de eletrodos. Na técnica da TE os arranjos eletródicos mais usados são o dipolo-dipolo, Wenner e o Wenner-Schlumberger. Os equipamentos utilizados para obtenção das medidas de resistividade elétrica são denominados resistímetro, juntamente com cabos elétricos e eletrodos de aço inoxidável. No arranjo dipolo-dipolo são utilizados vários dipolos de recepção simultaneamente (M N) ao longo de uma linha, para atingir vários níveis de investigação (n) e o espaçamento entre os eletrodos se mantém constante, conforme Figura 4.

A profundidade teórica investigada é determinada por $Z = R/2$, no qual R é a distância entre o eixo dos dipolos AB e MN. As investigações com esta técnica ocorrem ao longo de perfis lineares, onde os cabos e eletrodos são instalados. Atualmente existem resistímetro e interfaces que possibilitam a aquisição automática de dados, por meio de sistema multi-eletrodos. Porém os dados podem ser adquiridos de forma manual, com equipamentos baratos e de boa qualidade, produzindo resultados satisfatórios (Gandolfo, 2007).

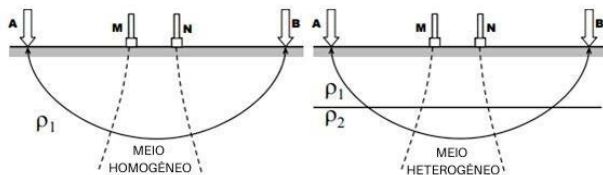
Na técnica TE, a resistividade é determinada pela Equação 1, onde o fator geométrico K é determinado pela Equação 3.

$$K = 2\pi \cdot G x, \text{ com } G = \frac{1}{\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}} \quad 3$$

Sendo:

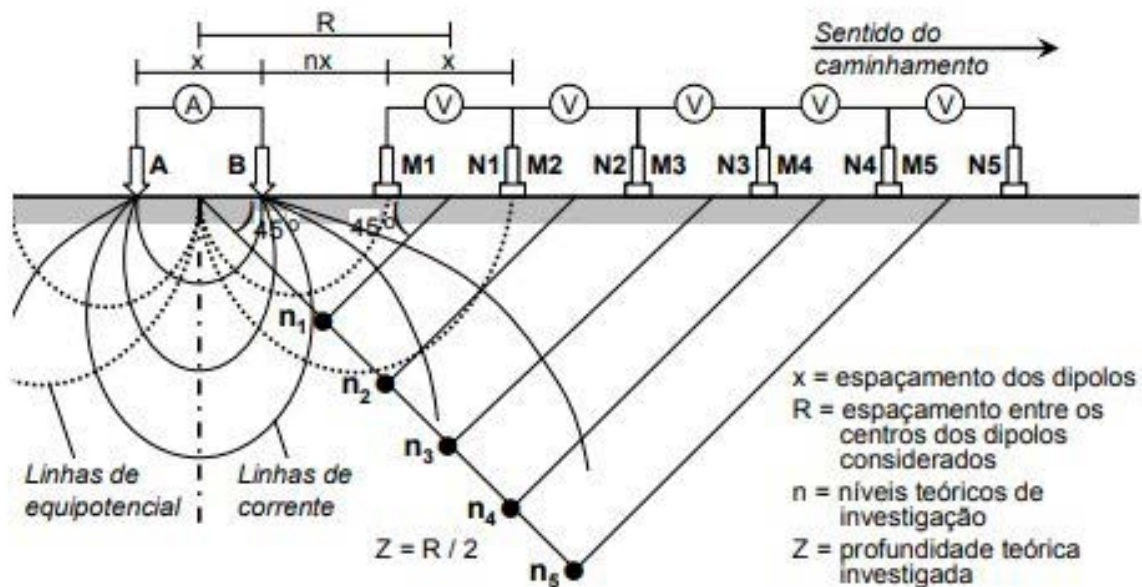
n – o nível teórico de investigação e;

x – o espaçamento constante entre os dipolos AB - MN.



Modificado de Braga, 2006.

Figura 3: Resistividade (ρ) em meios homogêneos e heterogêneos.



Modificado de Braga, 2006.

Figura 4: Desenho esquemático representando o método da ER e o desenvolvimento da técnica da Tomografia Elétrica ao longo de um perfil.

O resultado consiste em uma pseudosseção, decorrente do processo de inversão de dados para um modelo geoeletrico bidimensional, que apresenta a distribuição dos valores de resistividades elétricas (Kearey et al., 2002).

Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos

Segundo a norma NBR 8419 (ABNT, 1992), aterro sanitário é a técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, de forma a não causar danos à saúde pública e minimizar possíveis impactos ambientais. O método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor espaço possível de forma a reduzi-los ao menor volume possível permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

Existem diferentes tipos de aterros sanitários que variam conforme seus métodos construtivos e operacionais. Os aterros podem ser construídos e operados acima ou abaixo do nível original do terreno. O aterro sanitário em valas, tipo de aterro escolhido para instalação no município, é construído abaixo do nível do terreno e tem como princípio a abertura de vala(s) destinada(s) a disposição dos resíduos sólidos urbanos que recebem uma cobertura diária

de solo, a fim de minimizar odores e a proliferação de vetores decorrentes dos resíduos em decomposição, e também reduz a entrada de água na(s) vala(s). De maneira geral, o aterro sanitário deve dispor de sistema de drenagem superficial, impermeabilização da base e sistemas de coleta e tratamento de biogás e do líquido percolado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Aquisição e processamento de dados

A aquisição dos dados foi feita em junho de 2021, no período de seca, com o apoio de equipes da FUNASA – Superintendência Estadual em Mato Grosso, Associação Mato-grossense dos Municípios (AMM) e Prefeitura Municipal de Jaciara – MT. Os dados de resistividade elétrica foram adquiridos por meio do resistivímetro multicanal e multieletrodo Syscal Pro 48 (*Iris Instruments*). Foram realizadas 07 linhas de TE, com arranjo dipolo-dipolo, utilizando espaçamento de 5 m entre os eletrodos, chegando a extensões de até 240 m. As coordenadas de posição e variação topográfica foram coletadas com o equipamento Trimble R8 RTK (*Base e Rover*) com sistema GNSS (Figura 5). Os dados de resistividade coletados em campo foram primeiramente processados no pro-

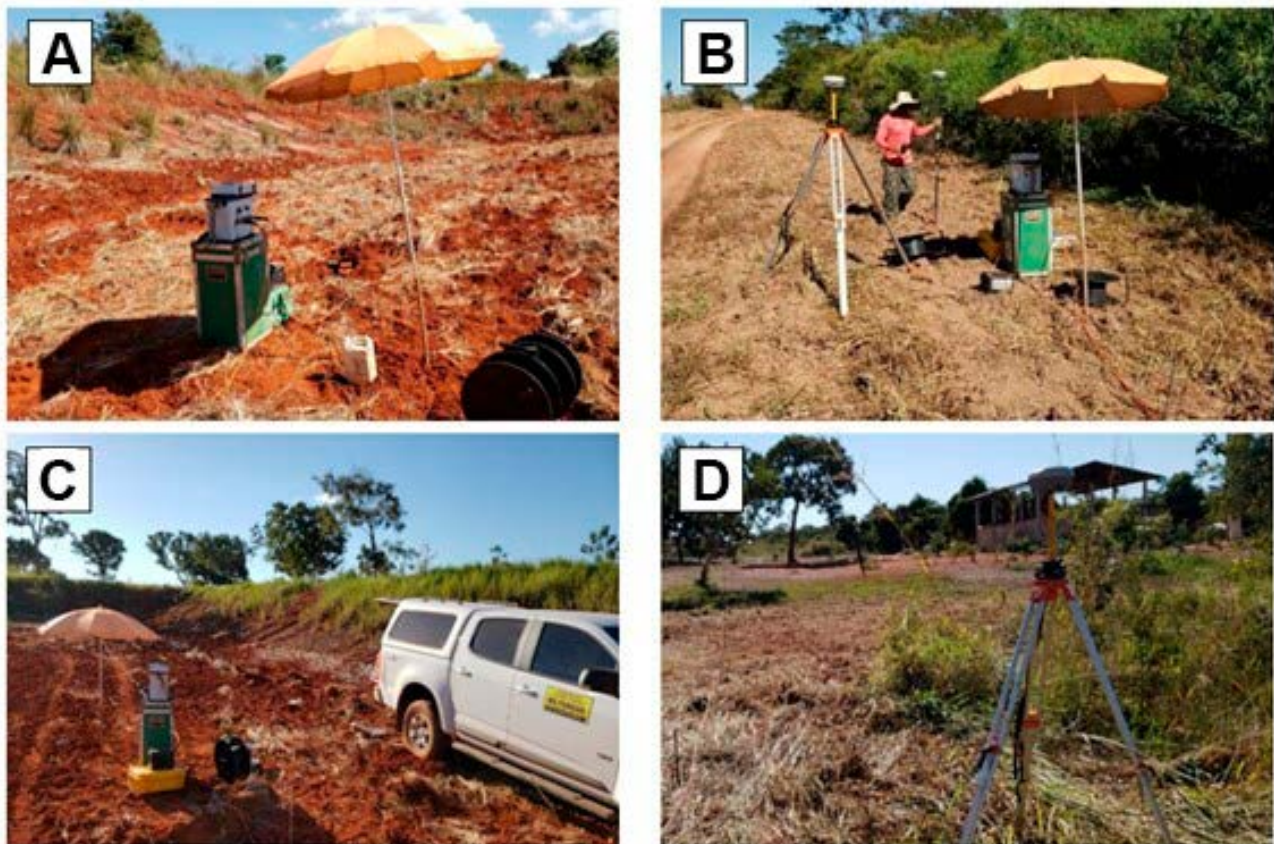


Figura 5: (A) Área escavada previamente pela Prefeitura Municipal de Jaciara para receber os Resíduos Domiciliares Urbanos; (B) Levantamento topográfico da linha de background (PF01) ao longo da estrada vicinal; (C) Resistivímetro em operação na área escavada destinada à instalação do aterro; (D) Coleta de coordenadas e dados topográficos da área de estudo.

grama Prosys III, versão 1.6.11, onde foram filtrados preliminarmente e excluídos possíveis valores nulos ou negativos de resistividade elétrica. Após a primeira filtragem os dados foram exportados para o programa Res2dinv da Geotomo Software, versão 4.07, onde foram geradas as seções de resistividade para cada linha de TE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados geofísicos obtidos das seções de resistividade geradas foram interpretados em conjunto com os dados de ensaios diretos apresentados na Tabela 1.

A linha PF 01 (Figura 7A) foi posicionada ao longo da estrada (Rodovia MT-260) que permite acesso à área de estudo, conforme Figura 6. O posicionamento desta linha foi escolhido para obtenção de valores em condições naturais. A linha foi levantada na direção SW-NE, e apresenta zonas menos resistivas ao centro, com valores abaixo de 278 $\Omega.m$, indicando zonas preferenciais de fluxo entre os intervalos de 40 a 80 m e nos 160 m de comprimento da linha. Nos primeiros 30 m de profundidade, no extremo NE, ocorre uma anomalia com resistividade < 100 $\Omega.m$ indicativo de um intervalo aquífero. Ao longo da seção, os valores de resistividade acima de 537 $\Omega.m$ representam a presença de zonas não saturadas, principalmente na camada superficial do terreno com resistividades acima de 2000 $\Omega.m$.

Na linha P01 (Figura 7B), no sentido SE, nos primeiros 10 m de profundidade, até aproximadamente 160 m de comprimento, verifica-se uma zona menos resistiva, com valores < 100 $\Omega.m$, indicativo de uma zona de aquífero livre. Valores acima de 537 $\Omega.m$ demonstram a presença de uma camada não saturada espessa que isola o aquífero profundo presente logo abaixo.

A linha P02 (Figura 7C) está posicionada paralelamente à linha P01, a uma distância de aproximadamente 25 m. No sentido NW até 80 m de comprimento, os dados indicam a presença de um aquífero livre (zona úmida) com valores de resistividade < 75 $\Omega.m$. Após os 80 m de comprimento, no sentido SE, os valores de resistividade aumentam para > 500 $\Omega.m$, que apontam a presença de solo não saturado.

Os valores de resistividade no extremo NW da linha P03 (Figura 7D), concordam com as linhas P01 e P02, visto que a resistividade aumenta ao longo da linha, de 140 para valores acima de 1000 $\Omega.m$, no sentido NW, ressaltando que esta linha foi levantada no sentido contrário. A linha P03 demonstra a presença de aquífero livre na superfície, porém este não apresenta contato com o aquífero profundo.

A linha P04 (Figura 7E) traz valores de resistividade baixa (< 140 $\Omega.m$) ao centro da seção, que indica a presença de aquífero livre. Ao longo da seção ocorrem valores de resistividade altos que indicam a presença de solo não saturado.

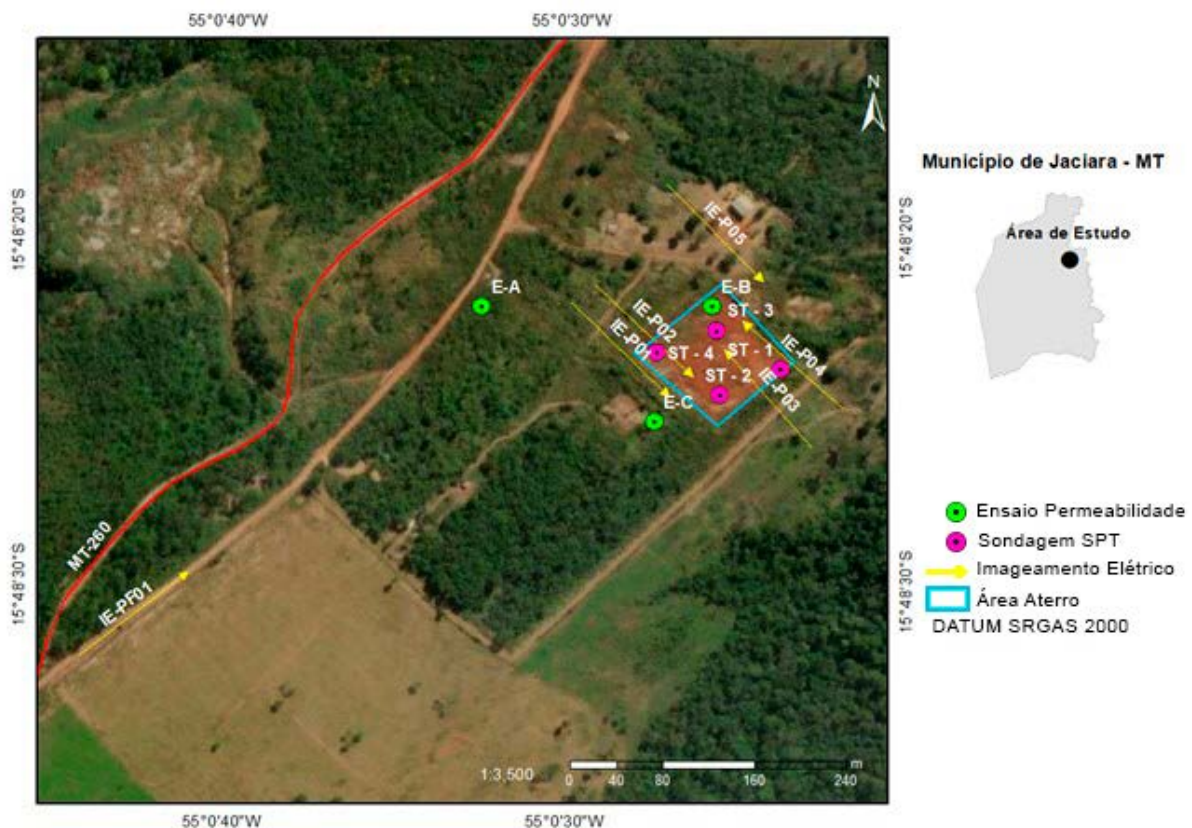
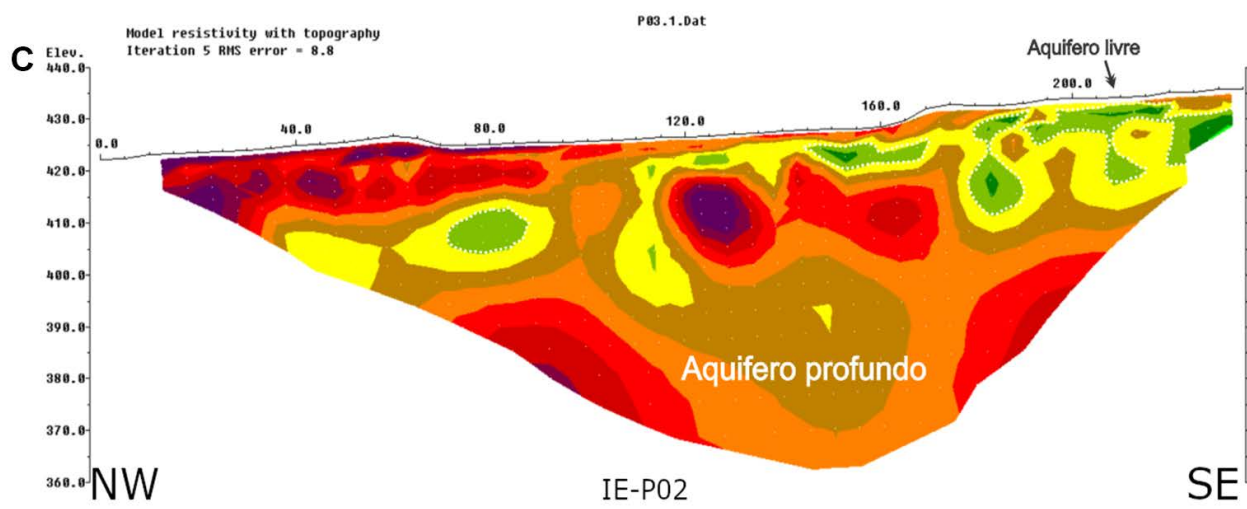
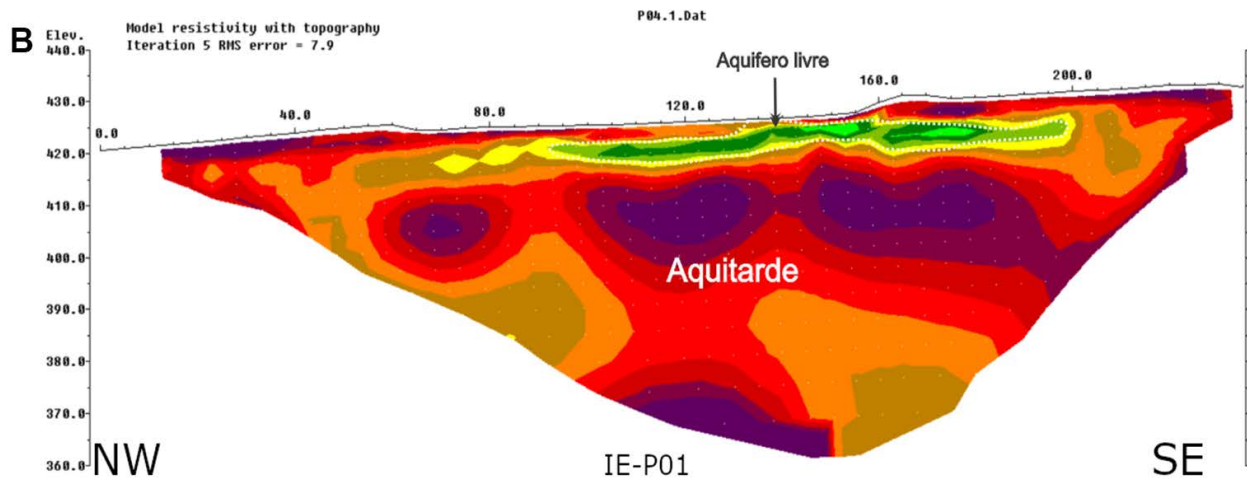
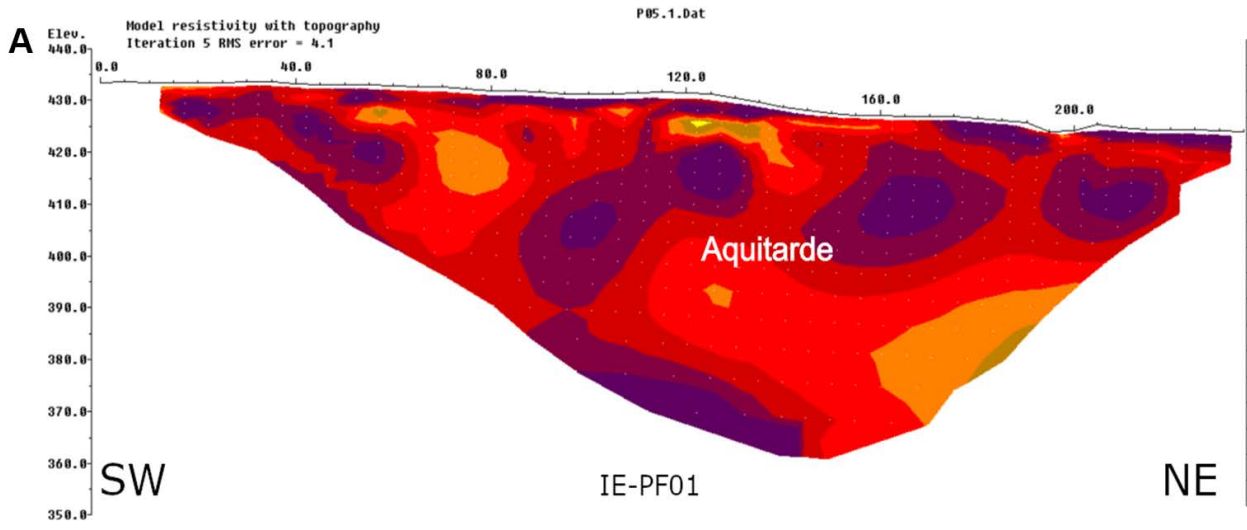


Figura 6: Mapa de localização dos perfis de TE, ensaios de permeabilidade e ensaios SPT.



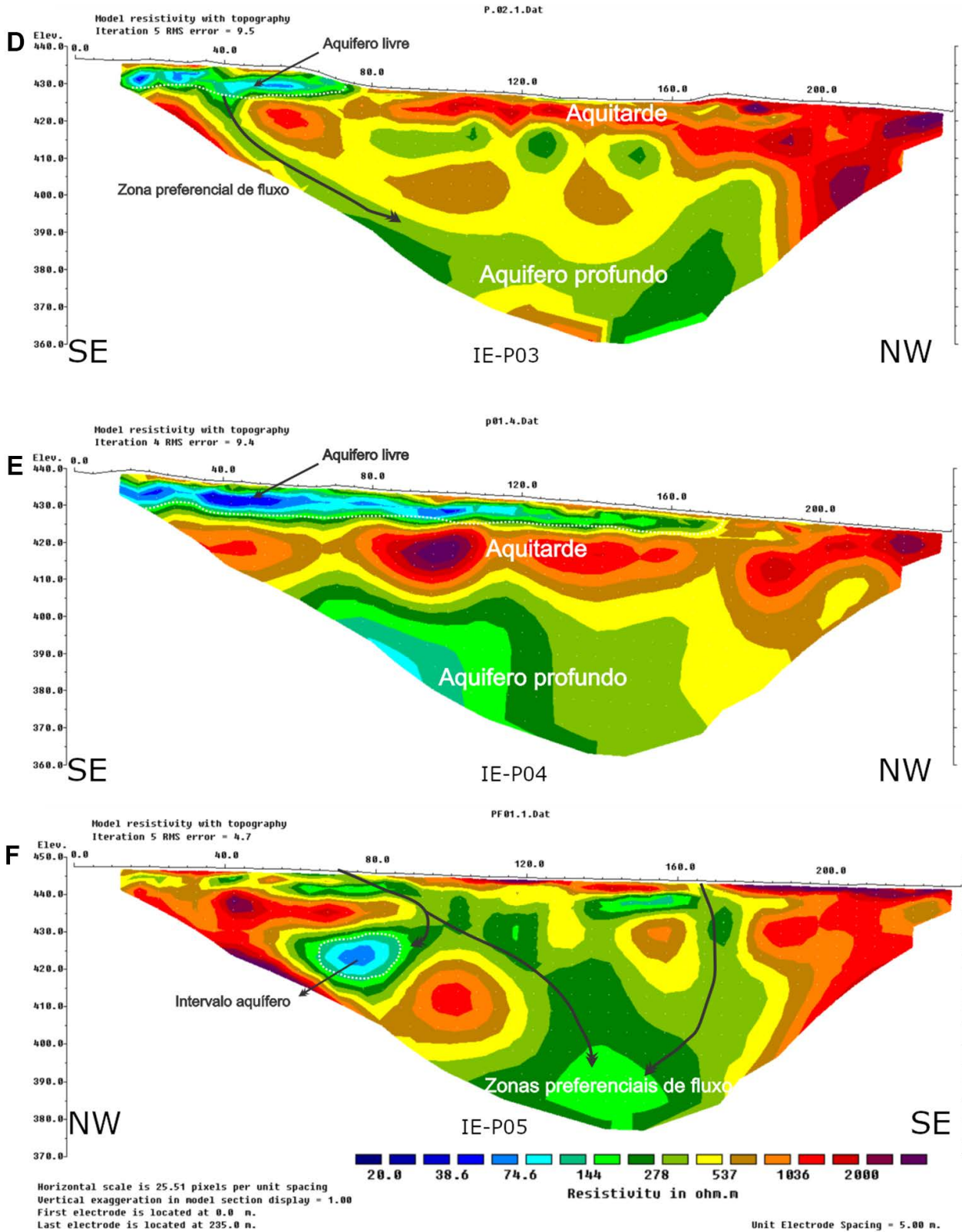


Figura 7: Modelos de inversão de resistividades elétricas com interpretações de lito-estratigrafia e identificação do nível d'água.

A linha P05 (Figura 7F) se apresenta mais homogênea, com algumas zonas menos resistivas ($< 537 \Omega.m$) ao centro nos primeiros 10 m de profundidade. De maneira geral, a resistividade é alta ao longo de toda seção.

Da análise das linhas apresentadas na Figura 7 e dos dados de ensaios diretos descritos na Tabela 1 permitem inferir que os valores de resistividade $> 537 \Omega.m$ representam os solos podzólicos e/ou latossolos não saturados, que em algumas regiões apresentam composição mais arenosa, concordante com os resultados dos ensaios SPT que descrevem o solo da área de estudo como areia silto-argilosa, bem compacta. Os valores abaixo de $100 \Omega.m$ descrevem zonas saturadas indicativo de aquífero livre (que podem ser zonas de recarga ou não) ou profundo. Os níveis d'água variam ao longo das seções, presentes entre 5 a 30 m de profundidade. As seções P01, P02, P3 e P04, que foram levantadas na área escavada destinada à disposição dos resíduos apresentam uma camada espessa de solo não saturado, porém há presença de zonas saturadas nas camadas superficiais de solo em alguns pontos das seções que devem ser levadas em consideração.

CONCLUSÃO

Por meio do método geofísico da Eletrorresistividade, técnica da Tomografia Elétrica, foi possível gerar imagens 2D de alta resolução, as quais proporcionaram detectar variações nos valores de resistividade ao longo do terreno e em profundidade, que permitiram reconhecer variações pedológicas e de umidade.

Os coeficientes de permeabilidade determinados na área ($K = 1,50 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$), indicam um solo com grau de permeabilidade baixo e um tipo de solo que varia de areias finas a argilosas. Os ensaios SPT permitiram classificar um solo areno-siltoso muito compacto nos primeiros 2 m de profundidade, concordando com a descrição de solos encontrada na Bacia Sedimentar do Paraná.

As linhas apresentaram valores de resistividade altos na superfície, que demonstram a presença de solo não saturado e concordam com os dados de ensaios diretos. Com exceção das linhas PF01 e P02, que apresentam zonas de recarga de aquífero, e não são apropriadas para a instalação de aterro de resíduos, já que, caso haja contaminação, esta pode se percolar rapidamente para o aquífero profundo, as demais linhas apresentam uma zona espessa de resistividade alta, que indicam zonas não saturadas, e concordam com os parâmetros geológicos mínimos exigidos nas normas NBR 13896 e NBR 15849 (ABNT, 1997, 2010).

A localização dos níveis d'água favorecem a instalação do aterro de resíduos, porém, em alguns pontos das seções, as zonas saturadas estão presentes na superfície e discordam do disposto nas normas NBR 13896 e NBR 15849 (ABNT, 1997, 2010). É sugerido repensar a localização da área escavada, de forma a não contactar as zonas saturadas (aquífero livre).

Por fim, conclui-se que o método se mostrou satisfatório e eficiente para levantamentos de áreas com necessidade de investigações de subsuperfície e entende-se que, com os dados apresentados neste trabalho, a área se mostra favorável para a instalação de aterro de resíduos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio para a realização do presente trabalho. À FUNASA (Superintendência em Mato Grosso) pelo apoio na infraestrutura de equipamentos de coleta de dados em campo. E também, ao Prof. Dr. César Augusto Moreira do IGCE-UNESP de Rio Claro-SP, pelas considerações na modelagem dos dados.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). *NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Disponível em: <https://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/NBR-8419-92-Apresentacao-de-Projetos-de-Aterros-Sanitarios-de-Residuos-Solidos-Urbanos.pdf>. Acessado em: 06 dez. 2024.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). *NBR 13896 - Aterros de resíduos não perigosos – critério de projeto, implantação e operação – Procedimentos*. Disponível em: <https://engcivil20142.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/nbr-13896-aterros-de-resc3adduos-nc3a3o-perigosos.pdf>. Acessado em: 06 dez. 2024.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001). *NBR 6484 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Disponível em: https://enghariacivilfisp.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/11/spt-metodo_de_ensaio_nbr_6484.pdf. Acessado em: 06 dez. 2024.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010). *NBR 15849 - Resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários de pequeno porte: diretrizes para localização, implantação, operação e encerramento*. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/500914941/NBR-15849-de-06-2010-Residuos-solidos-urbanos-Aterros-sanitarios>. Acessado em: 06 dez. 2024.

Barros, A. M., Silva, R. H., Cardoso, O. R. F. A., Freire, F. A., Júnior, J. J. S., Rivetti, M., Luz, D. S., Palmeira, R. C. B., Tassinari, C. C. G. (1982). *Projeto RADAMBRASIL, Folha sd. 21 Cuiabá*. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=213269&view=detalhes>. Acessado em: 01 jun. 2022.

- Braga, A. C. O. (2006). *Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática*. Tese (Livre Docência). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/116123>. Acessado em: 24 maio 2024.
- Camargo, E. C. (1995). *Definição de características do meio físico para implantação de aterros sanitários na porção sul do Município de Paranaguá*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências - USP. <https://doi.org/10.11606/T.44.1995.tde-28102015-111003>
- Cutrim, A. O. (1999). *Hidrogeologia, consumo e demanda de água em Rondonópolis-MT: subsídios para o desenvolvimento urbano sustentável*. Tese (Doutorado). Cuiabá: Instituto de Biociências - UFMT.
- Del'arco, J., Silva, R. H., Tarapanoff, I., Freire, F. A., Pereira, L. G. M., Souza, S. L., Luz, D. S., Palmeira, R. C. B., Tassinari, C. C. G. (1982). *Projeto RADAMBRASIL: levantamento de recursos naturais – Folha SE.21, Corumbá. 27, 25-160*. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281409>. Acessado em: 06 dez. 2024.
- Fachin, S. J. S. (2007). *Ensaio geoeletricos 2D no antigo lixão de Ribeirão Preto-SP: avaliação de parâmetros de aquisição e monitoramento ambiental do problema*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - USP. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14132/tde-09112007-152210/>. Acessado em: 06 dez. 2024.
- Fernandes, M. M. (2016). *Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais*, v. 1. Oficina de Textos: São Paulo.
- Gandolfo, O. C. B. (2007). *Um estudo do Imageamento Geoeletrico na investigação rasa*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP. <https://doi.org/10.11606/T.44.2007.tde-25042008-142218>
- Gandolfo, O. C. B. (2015). Levantamento geofísico (sísmica de refração) em uma área para implantação de um aterro sanitário em valas. *14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF*, 3, 204-209. Rio de Janeiro: SBGf.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I. (2002). *An introduction to geophysical exploration*. 3^a Ed. 288p. Malden: John Wiley & Sons.
- Lago, A. L., Elis, V. R., Giacheti, H. L. (2006). 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. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2006000300005>
- Lima, E. B. N. R., Filho, P. M., Moura, R. M. P. (2017). *Plano Municipal de Saneamento Básico: Jaciara – MT*. Disponível em: http://pmsb106.ic.ufmt.br/wp-content/uploads/2018/04/PMSB_Jaciara.pdf. Acessado em: 05 ago. 2022.
- Milani, E. J., Melo, J. H. G., Souza, P. A., Fernandes, L. A., França, A. B. (2007). Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências Petrobras*, 15 (2), 265-287. Disponível em: <https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/310>. Acessado em: 6 dez. 2024.
- Moura, H. P., Malagutti Filho, W. (2007). Métodos da eletrorresistividade e da polarização induzida aplicados no estudo do aterro controlado de Piracicaba – SP. *Revista Geociências*, 26 (1), 35-43. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/1701/1457>. Acessado em: 24 maio 2024.
- Pinto, C. S. (2006). *Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*. Oficina de Textos: São Paulo.
- Santos, F. M. (2023). *Investigação da pluma de contaminação gerada por resíduos sólidos urbanos utilizando métodos geofísicos*. 100p. Ponta Grossa: Aya Editora. Disponível em: <https://ayaeditora.com.br/wp-content/plugins/pdf-viewer-for-elementor/assets/pdfjs/web/viewer.html?file=https://ayaeditora.com.br/livros/L526.pdf&embedded=true>. Acessado em: 06 dez. 2024.
- Schneider, R. L., Muhlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R. A., Daemon, R. F., Nogueira, A. A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Anais... 1, 41-65. Porto Alegre: SBG.
- Shiraiwa, S., Lisovsky, S. P., Elis, V. R., Porsani, J. L., Borges, W. R. (2002). Estudos geofísicos integrados no lixão de Cuiabá, MT, Brasil: resultados preliminares. *Revista Brasileira de Geofísica*, 20 (3), 181-186. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2002000300004>
- Silva, J. E., Loureiro, E. M. L., Elis, V. R., Hiodo, F. Y., Porsani, J. L. (2002). Aplicação de ensaios elétricos e eletromagnéticos em problema de poluição ambiental. *Revista Brasileira de Geofísica*, 20 (3), 193-198. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2002000300006>
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2019). *Diagnóstico dos serviços de água e esgoto*. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Republicacao_31032021.pdf. Acessado em: 30 set. 2022.
- Soares, J. A., Costa, D. B., Silva, L. T. S., Costa, W. W. M. L. (2022). Arranjo gradiente otimizado para a detecção de lixiviado em aterro sanitário. *IX Simpósio Brasileiro de Geofísica*. Curitiba: SBGf.

Ohmaye, H., Elis, V. R., Camacho, N. M. A., Miguel, M. G. (2016). Utilização de métodos geofísicos elétricos no estudo de célula experimental de aterro sanitário. *VII Simpósio Brasileiro de Geofísica*. Ouro Preto: SBGf.

Waste Atlas. (2014). *The World's 50 Biggest Dumpsites 2014 Report*. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:115330397>. Acessado em: 24 maio 2024.