

## **PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIA GEOFÍSICA COMO PARTE DO PROTOCOLO DE INSTALAÇÃO/EXPANSÃO DE ATERROS PARA A PROTEÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Suzan Sousa de Vasconcelos<sup>1</sup>

Bruna Dantas Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.: [suzan.vasconcelos@ufba.br](mailto:suzan.vasconcelos@ufba.br)

<sup>2</sup>Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.: [bruna.dantas@ufba.br](mailto:bruna.dantas@ufba.br)

### **RESUMO**

Propomos através de contextualização teórica e conceitual que o emprego de levantamento geofísico seja parte do protocolo de implantação ou expansão de aterros sanitários. Para tanto, correlacionamos os riscos ao meio ambiente subterrâneo, com suas características, propriedades hidráulicas, das rochas de diferentes tipos de aquíferos. A aplicabilidade dos conhecimentos é apresentada através da discussão de um estudo de caso com a implementação do método da eletrorresistividade para expansão de aterro sanitário em Salvador- BA. O estudo indicou a melhor direção, e extensão vertical e horizontal para a instalação de um ou mais novas cavas.

**PALAVRAS-CHAVE:** saneamento básico; aterros sanitários; geofísica aplicada ao meio ambiente; marco do saneamento; contaminantes.

### **PROPOSAL FOR IMPLEMENTING A GEOPHYSICAL METHODOLOGY AS PART OF THE PROTOCOL FOR INSTALLATION/EXPANSION OF LANDFILLS FOR THE PROTECTION OF GROUNDWATER**

### **ABSTRACT**

We propose, through theoretical and conceptual context, that the use of geophysical survey ought to be part of the implementation or expansion protocol of sanitary landfills. To do so, we correlated the risks to the underground environment, with their characteristic hydraulic properties of rocks of different types of aquifers. The applicability of the knowledge is presented through the discussion of a case study with the implementation of the electrical resistivity method for landfill expansion in Salvador BA. The study indicated the best direction, and vertical and horizontal extension for the installation of one or more new pits.

**KEYWORDS:** basic sanitation; sanitary landfills; geophysics applied to the environment; sanitation framework; contaminants.

## **1- INTRODUÇÃO**

Um tema atual político e social no Brasil é o estabelecimento de um novo Marco do Saneamento Básico, e o prazo para o cumprimento de metas, no Plano Nacional de Desenvolvimento (PND). O Saneamento Básico é o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de: 1) abastecimento de água potável; 2) esgotamento sanitário; 3) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e 4) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Tais ações políticas de saneamento são fundamentais

para o desenvolvimento socioeconômico de uma região (NARZETTI, 2021) e produzem a urgência em estabelecer protocolos geofísicos que supram as necessidades de expansão e democratização da rede de saneamento no Brasil do século XXI.

Contextualizando a demanda geofísica atual resultante do PND, foi a Lei 11.445, promulgada em 5 de janeiro de 2007, que regulamentou todo o setor de saneamento básico, sendo este o primeiro marco legal no Brasil, e que contém os princípios da universalização do acesso, da integralidade e intersectorialidade das ações e da participação social, para instituição da Política e do Plano Municipal de Saneamento Básico. Dentro das vertentes abordadas no PND, esta pesquisa destaca a de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que inclui a obrigatoriedade do fim dos lixões substituindo-os por aterros sanitários, exigindo estudos prévios específicos para a instalação segura deles.

A obrigatoriedade do fim dos lixões provocou uma incursão à instalação de aterros que supram as necessidades de deposição dos volumes de RSU de cada ente municipal; a principal mudança feita pelo novo marco em relação ao descarte do lixo é que as capitais e regiões metropolitanas tinham até 2 de agosto de 2021 para acabar com os lixões, enquanto cidades com mais de 100 mil habitantes até agosto de 2022, cidades entre 50 e 100 mil habitantes até 2023 e municípios com menos de 50 mil habitantes até 2024 para eliminar os lixões (OLIVEIRA, 2020). O cenário aponta ao não cumprimento dos prazos, mas, aos olhos das geociências a urgência ambiental na proteção das águas subterrâneas surge atrelada à efetivação dos novos polos de deposição dos RSU.

As metodologias para escolha de área precisam ser seguras, rápidas e baseadas em conhecimentos científicos já experimentados, assim, desponta a geofísica, uma ciência que aplica metodologias indiretas de investigação capazes de gerar mapas de propriedades físicas interpretáveis no domínio de estruturas e materiais rochosos e fluidos naturais ou atípicos (contaminantes, por exemplo) dos ambientes subterrâneos. Tradicionalmente, o papel da geofísica aplicada ao meio ambiente tem sido focado na detecção de plumas contaminantes e na detecção, caracterização e delineamento de aquíferos subterrâneos para exploração (KELLER, 1966; TELFORD, 1978; DOBRIN 1988; CORWIN, 1990; WARD, 1990). Neste trabalho abordarmos então a potencialidade da aplicação da metodologia geofísica da eletrorresistividade na implantação de aterros sanitários seguros para o meio ambiente subterrâneo, protegendo os aquíferos e promovendo a otimização volumétrica na implantação das cavas de resíduos nas áreas destinadas aos aterros.

## **2- INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA NA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS**

Os métodos geofísicos podem ser utilizados antes da implantação do aterro, na fase de pré-emprego, pois permitem a investigação em duas ou três dimensões das camadas e feições geológicas em subsuperfície, o que pode indicar a viabilidade da instalação de cavas para resíduos. Durante essa investigação preliminar ou preventiva à danos ambientais, pode-se realizar uma caracterização geológica da subsuperfície, determinando, por exemplo, o nível de água, inferir prováveis litologias e suas características hidráulicas e inferir a presença de fluxo de fluidos no ambiente subterrâneo, isto é, a presença de aquíferos.

É importante ainda destacar que informações prévias sobre o tipo de aquífero se avizinha ao aterro é essencial para entender a dinâmica dos fluxos e riscos associados. Além disso, o planejamento dos levantamentos geofísicos, tais como dimensionalidade e adensamento de medidas é definido de acordo com o alvo exploratório (BRAGA, 2016).

## 2.1 Tipos de aquíferos e riscos associados

Os aquíferos subterrâneos podem ser granulares, cársticos ou cristalinos (CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, R. 1981; FEITOSA, 2008; CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, R. 1981). Nos aquíferos granulares a água é armazenada nos espaços porosos intergrãos (Fig 1a), sendo constituído pelos vazios entre grãos ou fragmentos clásticos. Nos aquíferos cársticos os vazios são ampliados por processos de dissolução cárstica resultante da infiltração da água (Fig 1b), sendo nas outras porções, não alteradas, de baixa a baixíssima porosidade, assim como o terceiro tipo de aquífero, o cristalino fraturado, que possui porosidade fissural, sendo que as zonas de alta permeabilidade, onde a água fica armazenada configura-se de redes de falhas, fraturas e/ou fissuras (Fig 1c). Cabe no entanto, ressaltar que os processos de intemperismo que afetam as rochas compactas podem tanto ampliar quanto diminuir o volume interno dos espaços porosos. No caso do aumento a relação seria efeito da dissolução e arraste de partículas das superfícies internas das fraturas, já a diminuição ocorre quando os produtos altamente argilosos ou dos processos diagenéticos de deposição/cristalização de componentes que percolam os espaços são depositados sobre as superfícies das fraturas (FEITOSA, 2008; BRAGA 2016).

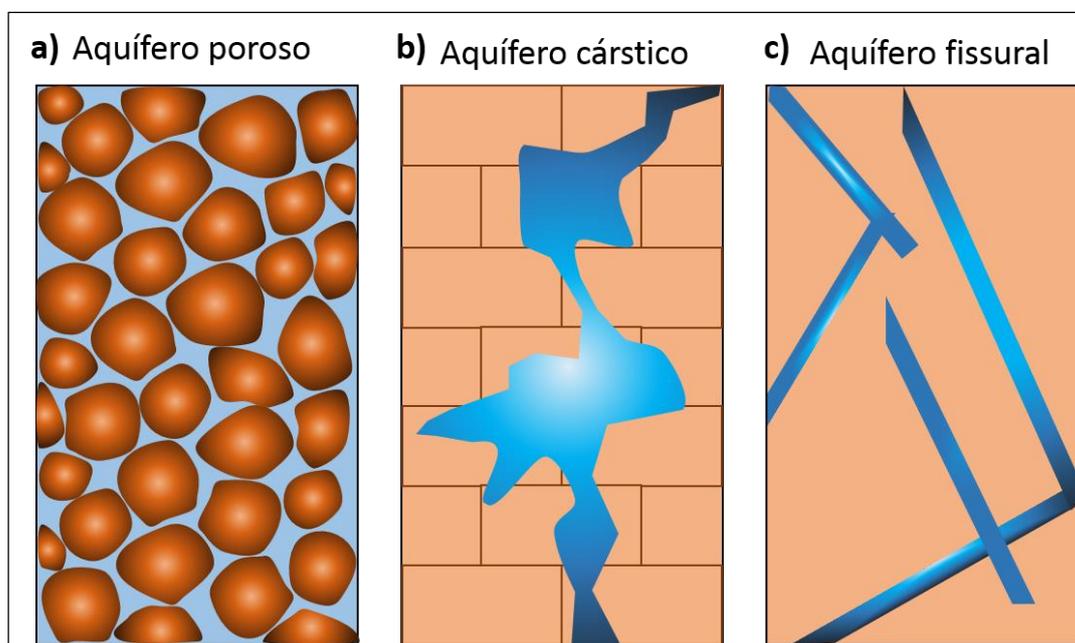


Figura 1: Tipos de aquíferos. Distribuição da água nas diferentes configurações de espaços porosos.

O(s) risco(s) de instalação de aterros são potencialmente maiores ao meio ambiente subterrâneo: 1) no caso de aquíferos granulares, se houver interposição de camada permoporosa à cava e aquífero subterrâneo, ou seja quando o que separa a cava com resíduos do topo do aquífero é um meio permeável; 2) no caso de aquíferos cársticos

e cristalino, se houver a coincidência da porção de porosidade secundária (por dissolução no caso cárstico ou rede de fraturamento no caso cristalino) intercaladas por camada permoporosa à cava e aquífero subterrâneo (Figura 1).

Lembrando que no preparo para a instalação de uma cava de aterro existe o preparo com impermeabilização local feito pela deposição de camada de argila compactada e possível posterior revestimento por geomembrana para proteção da subsuperfície. Isso é importante porque a decomposição dos resíduos gera fluidos contaminantes, que associados à pluviosidade tornam se mais diluídos em volumes maiores alojando-se no fundo de cava, sendo contido pela impermeabilização. Assim um conjunto de orientações estabelece por exemplo que “a impermeabilização da parte inferior do aterro pode ser feita através de camadas de solo impermeável (argila) ou de aplicação de geomembranas sintéticas (mantas impermeabilizantes de PVC ou PEAD), ou ainda através de argilas expansivas” (OBLADEN et al. 2009).

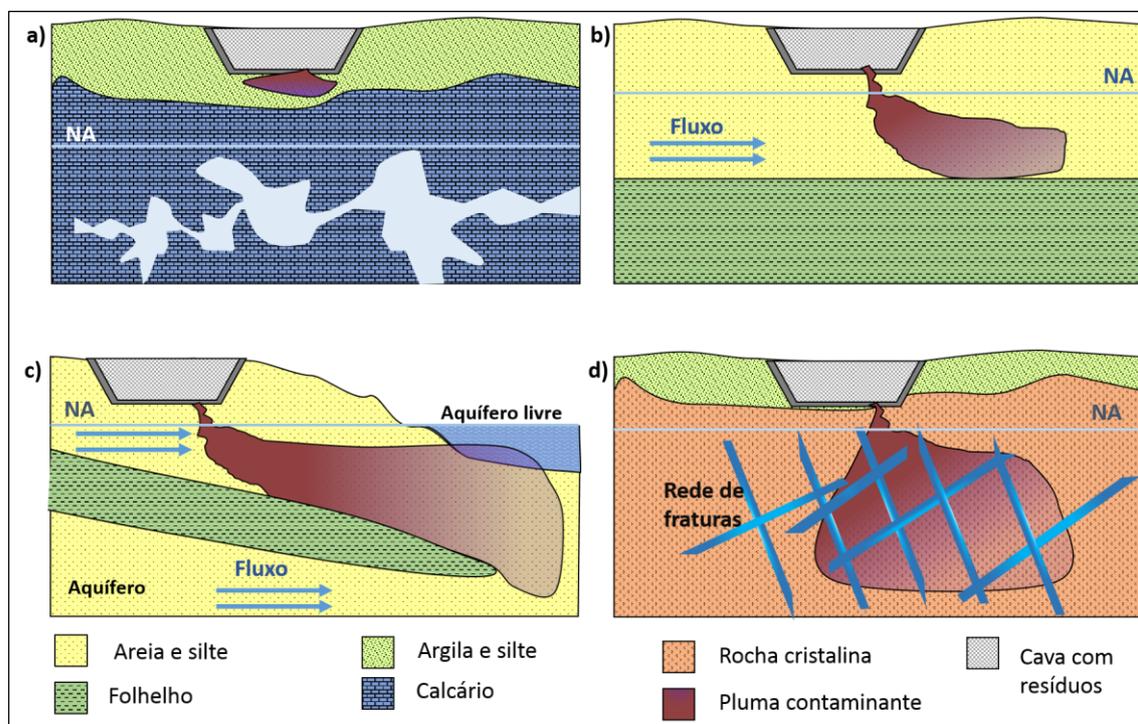


Figura 2: Ilustração de diferentes cenários de risco à contaminação que metodologias geofísicas podem caracterizar e evitar.

Conseqüentemente os riscos de contaminação estariam sujeitos à problemas nesta impermeabilização, com surgimento de continuidade permeável que favorecesse a infiltração do chorume nas camadas adjacentes. O agravante seria então evidenciado pela proximidade ou sotoposição de aquífero subterrâneo (Fig 2a, 2b e 2d) ou nos cenários de proximidade à águas superficiais (Fig 2c). Desta forma, justificamos que a caracterização destes elementos de risco às águas subterrâneas pela geofísica é fundamental na seleção de áreas para instalação de aterros/cavas, selecionando regiões menos suscetíveis à dispersão de contaminantes.

## **2.2 Propriedades elétricas de meios rochosos**

A geofísica utiliza métodos indiretos de medida de propriedades físicas para caracterizar rochas, e dentre as propriedades com maior variabilidade, cerca de 25 ordens de grandeza, está a resistividade elétrica  $\rho$  (ohm.m). Na disposição, de sólidos, menos resistivos aos mais resistivos, para materiais na crosta terrestre, estão os minerais metálicos, seguidos dos semimetálicos, estando na última posição os materiais siliciclásticos, que são isolantes, contexto no qual a maioria das rochas na litosfera conduz eletricidade por conta da saturação dos poros  $\phi$  (0-1) destas com soluções eletrolíticas (LIMA, 2014). O que nos leva então a ordenar também, de acordo com a resistividade elétrica, fluidos/soluções naturalmente presentes em rochas reservatório na crosta, ordenadamente da maior para o menor valor de  $\rho$  estão o gás (hidrocarboneto leve), petróleo, água doce e água salgada. Excluindo neste estudo o interesse por reservatórios de HC e partindo para o contexto de aterros sanitários, surgem ainda dois fluidos resultantes do processo de degradação de matéria orgânica, que são o chorume (também conhecido como líquido percolado ou lixiviado) e o biogás; o biogás é o mais resistivo. Os gases dinamicamente migram em direção vertical para cima, quando encontram vias permeáveis, pois apresentam baixa massa específica  $m_e$  (g/cm<sup>3</sup>), não incorrendo desta forma em riscos às águas subterrâneas.

Considerando todos os aspectos de riscos mencionados e possibilidade de caracterização deles através do estudo das propriedades, destacamos que o contexto de cada aterro exigirá uma avaliação prévia para escolha da metodologia de estudo. Dentre os métodos geofísicos rasos, os mais indicados à implantação de aterros, são os métodos elétricos, como a eletrorresistividade, polarização induzida e potencial espontâneo. Podem também ser utilizados, os métodos sísmicos, os métodos eletromagnéticos, sendo que o indutivo e o GPR (Ground Penetrating Radar), e por fim, a magnetometria, seriam direcionados à identificação/delineamento de volumes de resíduos metálicos ferrosos enterrados/descartados.

Um estudo da geofísica auxiliar nas etapas investigativas do subsolo antes da implantação das estruturas de um aterro sanitário, na indicação das áreas mais adequadas e sujeitas a menos riscos, seja de estabilidade da obra, ou de contaminação de aquíferos, também pode ser utilizada na ampliação de um aterro pré-existente, trazendo informações geotécnicas, como a profundidade do topo do embasamento rochoso, informação substancial na atividade de remoção do solo durante a execução da obra para construção de novas cavas, seguras ao meio ambiente subterrâneo.

## **3- ESTUDO DE CASO: EXPANSÃO DE ATERRO**

Um estudo geofísico para expansão de aterro através de instalação de nova cava foi realizado no Aterro Metropolitano Centro (Figura 3), localizado na cidade de Salvador, Bahia. Nessa região a geologia é marcada por um embasamento cristalino, composto majoritariamente, por rochas metamórficas pré-cambrianas, as quais foram metamorfizadas em fácies granulito (ALVES, 2013). Para mapear o topo do embasamento granulito à montante do aterro, foi aplicado o método da eletrorresistividade com técnica de caminhamento e arranjo dipolo-dipolo. Além disso a metodologia busca evidenciar o nível saturado, a fim de evitar riscos ao aquífero subterrâneo local.

Quanto à localização atual do aterro, esta encontra-se destacada em linhas de contorno cinza que mostram o maciço correspondente à deposição na parte antiga a ser desativada e a porção rachurada em amarelo a porção estudada através de linhas de levantamento geofísico e dados de sondagem à percussão (Legendas SP de 01 a 15) para definição geométrica construtiva da(s) nova(s) cava(s).

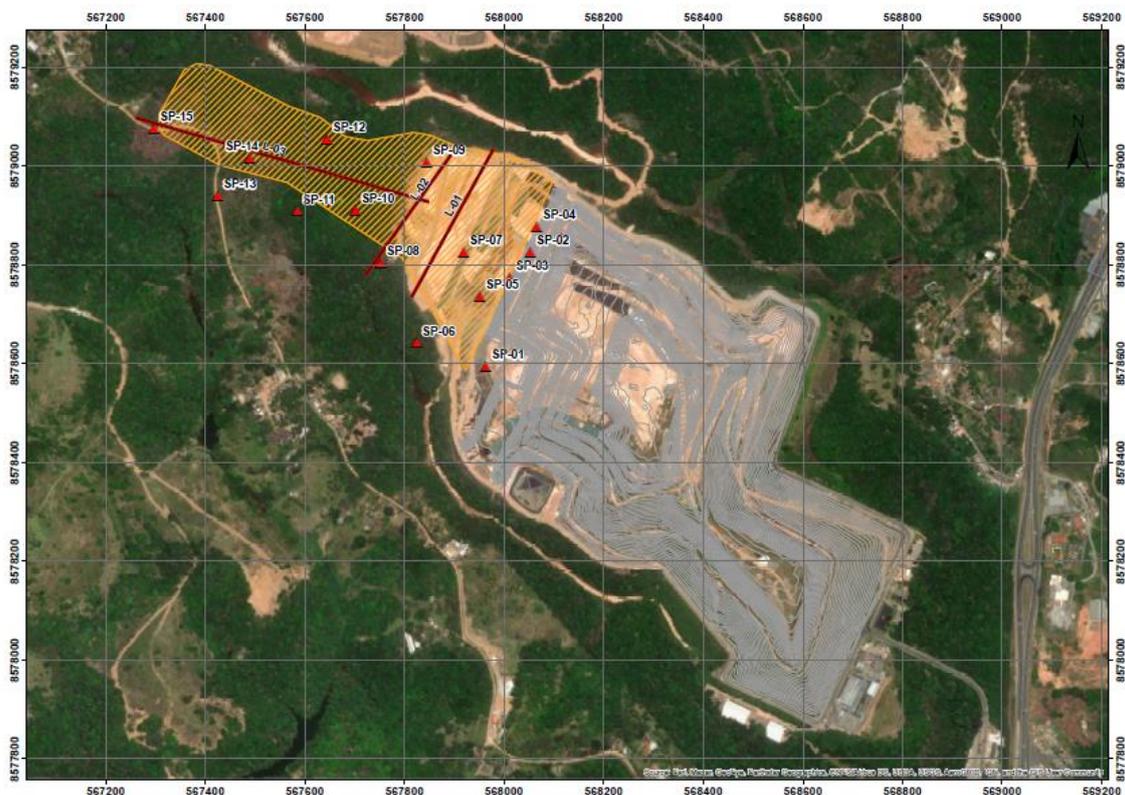


Figura 3: Localização do aterro, das linhas de levantamento geofísico (linhas vermelhas contínuas) e das sondagens SPT (triângulos em vermelho).

#### 4- METODOLOGIA

A metodologia adotada para o estudo foi a aplicação da eletrorresistividade combinada a dados de sondagem à percussão (SPT's). Além disso, informações provenientes de estudos anteriores do aterro apresentam interpretações geofísico-geológicas que compõem o arcabouço contextual para alcançar o objetivo do estudo.

##### *A eletrorresistividade*

A metodologia geofísica da eletrorresistividade se baseia na tomada de medidas de potencial elétrico em resposta à injeção de corrente no meio. Quando a matriz rochosa é composta de minerais isolantes a condução ocorre basicamente pela presença de fluidos aquosos que preenchem os poros, fraturas e falhas. Logo, a quantidade de fluidos, sejam estes, água, hidrocarbonetos ou contaminantes está intimamente relacionada com a resistividade elétrica da rocha saturada. Partindo do princípio do conhecimento de rochas e das medidas geofísicas é possível caracterizar aquíferos, realizar estudos ambientais e delimitar camadas com HC, no caso de perfis de resistividade feitos em poços.

Os mecanismos de propagação de corrente elétrica podem ser de dois tipos: eletrônica e iônica. A condutividade eletrônica está associada com o transporte de elétrons na matriz da rocha e sua resistividade é governada pelo modo de agregação dos minerais e o grau de impureza. A condutividade iônica está associada ao deslocamento de íons existentes nos líquidos contidos nos poros do solo, sedimentos e material inconsolidado.

O conteúdo de água presente nos poros das rochas influencia nas propriedades elétricas das rochas e estão diretamente relacionadas com a quantidade, saturação e salinidade do eletrólito e a porosidade e permeabilidade, as quais interferem diretamente na medida da resistividade elétrica do material geológico. A condução eletrolítica nas rochas da subsuperfície ocorre basicamente pela presença de fluidos aquosos que preenchem os poros, fraturas e falhas. Logo, quantidade de água nas rochas e sua salinidade estão intimamente relacionadas com suas propriedades de eletroresistividade.

Empiricamente, para meios de porosidade intergranular e com matriz isolante, a resistividade da rocha  $\rho_r$  (ohm.m) é correlacionada à porosidade  $\phi$  e à resistividades do eletrólito que à preenche  $\rho_e$  (ohm.m), pela Lei de Archie:

$$\rho_r = a \cdot \phi^{-m} S^{-n} \rho_e, \quad (\text{Equação 1})$$

na qual  $S$  é a saturação do eletrólito,  $a$ ,  $m$  e  $n$  são constantes, respectivamente  $0,5 \leq a \leq 2,5$ ,  $1,3 \leq m \leq 2,5$  e  $n \approx 2$ .

No método da eletroresistividade, medidas de potencial elétrico  $V$  (mV) são tomadas na superfície do terreno em um par de eletrodos MN, resultantes de uma corrente injetada  $I$  (A) em um par de eletrodos AB. Existindo diferentes configurações geométricas a partir das quais é possível calcular a resistividade aparente  $\rho_a$  (ohm.m) do arranjo de eletrodos do tipo dipolo-dipolo, que se estabelece:

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \pi a n(n+1)(n+2), \quad (\text{Equação 2})$$

sendo  $a$  o espaçamento de eletrodos AB=MN, e  $n = 1, 2, 3, 4, \dots, n_{max}$  cada passo de deslocamento dos pares de medida, a fim de cobrir a extensão horizontal da linha e profundidade de investigação.

Após realizadas as medidas de potencial  $V$ , os valores de  $\rho_a$  são calculados e apresentados em um mapa de cores (pseudosseção) cuja escala de intensidade indica a variação das resistividades. Para interpretar geofisicamente é preciso aplicar a inversão matemática e produzir um mapa de resistividade verdadeira, cuja solução é sujeita ao ajuste dos dados, ou seja, minimização de erro.

### ***Sondagem SPT***

A sondagem SPT (Standard Penetration Test) também conhecida como sondagem à percussão, é um dos principais métodos de investigação mecânica de campo utilizados para reconhecimento geológico-geotécnico de uma área, ao qual se pretende realizar uma determinada construção. As sondagens à percussão são métodos diretos de investigação, cuja finalidade é, de forma geral, obtenção de amostras e valores quantitativos de resistência dos solos a fim de caracteriza-los. Como fornecem dados seguros e exatos

sobre o subsolo, nos levantamentos geofísicos de campo, podem ser utilizados para auxiliar na interpretação geofísica, ajustando o modelo inicial.

A coleta de amostras de testemunhos de sondagens rotativas visa não apenas a identificação da litologia e estruturas geológicas, mas também a identificação das características geotécnicas dos materiais e das discontinuidades. O equipamento utilizado é simples e consta basicamente de um tripé, uma bomba de água, um tanque de água de 200 litros e ferramentas de corte do solo. O ensaio consiste em fazer uma perfuração vertical com diâmetro normal da perfuração é de 2,5” (63,5mm) e em geral, a sua profundidade varia de 10 a 20 m.

A sondagem à percussão é limitada pela ocorrência de material duro, e a cada metro da perfuração é feito um ensaio de cravação de um barrilete, que é um tubo oco de 45 cm, no fundo do furo, para medida de resistência do solo e coleta de amostra pouco deformada. O amostrador (barrilete) é cravado através do impacto de uma massa metálica de 65 kg caindo em queda livre de 75 cm de altura. O resultado do teste SPT será a quantidade de golpes necessários para fazer penetrar os últimos 30 cm do amostrador no fundo do furo. A medida correspondente à penetração obtida por poucos ou zero golpes, pode ser expressiva em solos moles. Os resultados são trazidos através de boletins de sondagem, também chamados de perfis de sondagem à percussão. Neles são descritos informações obtidas na execução da sondagem, como a exemplo, descrição e identificação das camadas do solo, descrição do material geológico e números de golpes, podendo estar presente também, a profundidade do nível d’água (Pereira, 2023).

Os dados SPT foram cedidos pelo próprio aterro e as informações coletadas dão apoio à interpretação geofísica, sinteticamente os dados apresentados indicam a profundidade do topo rochoso variando entre 10 e 15 metros de profundidade, com uma cobertura compacta variando de siltosa a silto-arenosa verticalmente, com direção à maior profundidade.

## **5- RESULTADOS**

Um importante resultado obtido a partir dos dados geofísicos, é desvelado a partir de imageamento geoeletrico (Figura 4). A sessão de resistividade elétrica, produto do processamento matemático utilizando técnica de inversão produziu um mapa de resistividade de 300m de extensão horizontal e identificou 3 porções verticais adjacentes na área de expansão que bordeja o maciço antigo do aterro.

A partir da análise desta sessão, pôde-se inferir então, uma camada mais superficial de sedimentos (1a e 1b) com maior saturação entre 140-180m (1b). O embasamento apresenta porção alterada e fraturada nas porções mais próximas à superfície (volumes 2a e 2b) e íntegro ou não alterado em profundidade (2c). Comparando ao resultado da linha levantada paralela (Figura 5) é possível observar a continuidade do volume rochoso de valores de resistividade menores que 500 ohms, com mudanças laterais que podem estar relacionadas a diferentes graus de alteração da rocha.

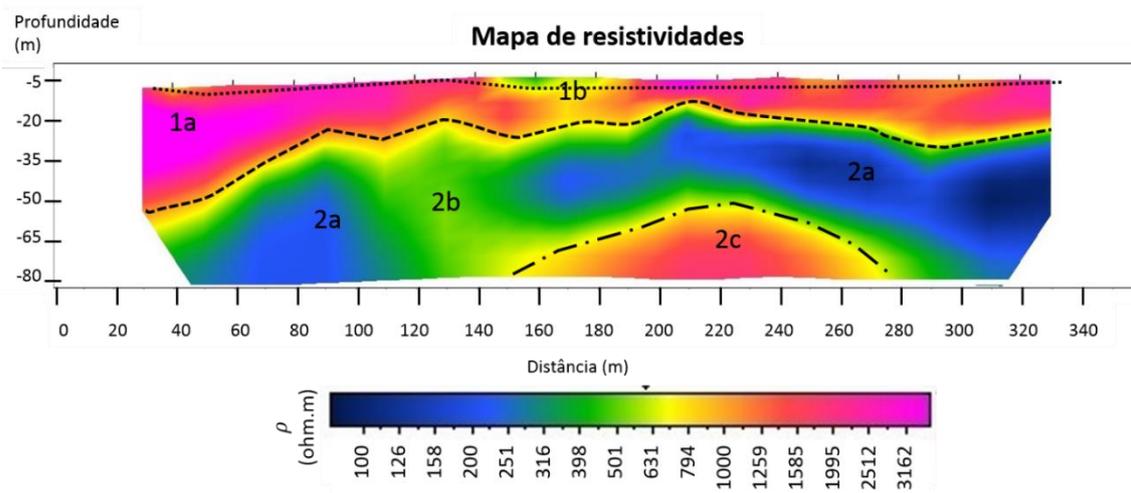


Figura 4: Mapa de resistividades obtida a partir da modelagem inversa dos dados da linha L01 de aquisição na área do Aterro Metropolitano Centro.

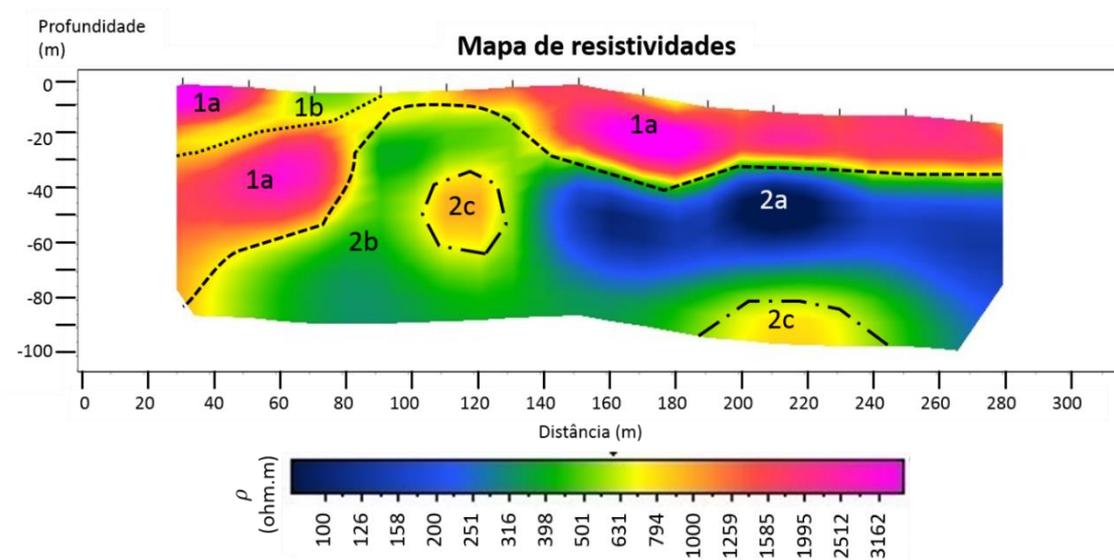


Figura 5 Mapa de resistividades obtida a partir da modelagem inversa dos dados da linha L02 de aquisição na área do Aterro Metropolitano Centro.

Uma linha de maior extensão estendendo-se perpendicularmente às duas anteriores, na direção LSE-ONO (Figura 6) mostra o comportamento direcional de maior resistividade apontando camada menos porosa e saturada, indicando direção de maior segurança para a expansão do aterro. A porção entre as posições 200 e 300 m indica um volume com grande distanciamento do horizonte saturado.

As interpretações geofísicas dos resultados possibilitaram uma caracterização geofísica-geológica da subsuperfície, trazendo as informações requeridas, para a expansão do Aterro Metropolitano Centro na direção noroeste, que foi executada de forma satisfatória.

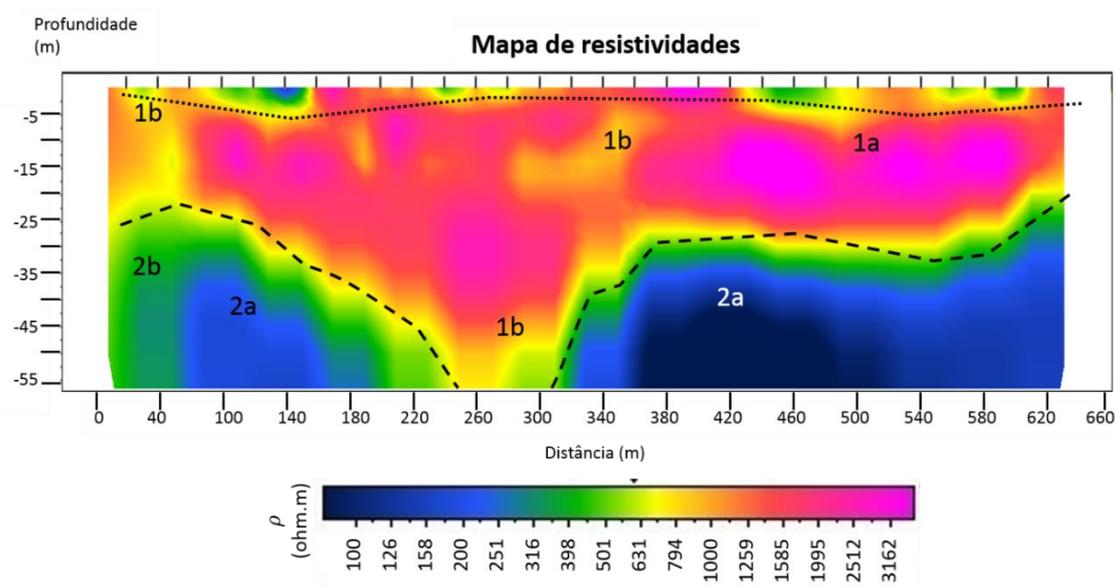


Figura 6: Mapa de resistividades obtida a partir da modelagem inversa dos dados da uma da linha L03 de aquisição na área do Aterro Metropolitano Centro.

## 6- CONCLUSÃO

A Geofísica mostra-se eficaz e fundamental na efetivação da implantação de aterros, e obrigatoriedade do fim dos lixões, como decretado na recente política pública, com o novo marco do saneamento básico. Os métodos geofísicos são amplamente utilizados nesse tipo de estudo devido a sua rapidez, versatilidade e custo relativamente baixo quando comparados a outras técnicas de investigação. Por caracterizar o ambiente subterrâneo trazendo informações diagnósticas de grande importância, a metodologia geofísica se faz presente em vários estágios, desde a escolha da área, implantação, expansão e até desativação de aterros. Auxiliando assim, a assegurar e proteger as águas subterrâneas.

Além de instalação e expansão, estudos geofísicos são também utilizados em atividades de manutenção de aterros sanitários. No que consta delimitar, remediar e monitorar a ocorrência de prováveis plumas de contaminação, estes podem delimita-las tanto lateralmente, quanto em profundidade e direcionar os locais mais adequados para a instalação de poços de monitoramento. Pode-se estimar ainda, por meio da Geofísica, áreas e volumes para as atividades de remoção e remediação de solos contaminados, minimizando assim, os custos de um projeto e proporcionando uma avaliação ampla e determinística do contexto geológico e hidrogeológico (BRAGA, 2016). Isso tudo é extremamente útil em ações de avaliações e planejamentos de desativação de um aterro sanitário, verificando, por exemplo, sua vida útil e garantindo assim a preservação ambiental, a sustentabilidade, a segurança e a proteção das águas subterrâneas.

Alguns métodos geofísicos que podem auxiliar na identificação e evolução de possíveis plumas de contaminação são os métodos elétricos, com a eletrorresistividade

nas técnicas de sondagem elétrica vertical e caminhamento elétrico. Inclui-se também o método da polarização induzida, que auxilia a caracterizar as camadas de resíduos pelos valores de cargabilidade. E ainda dentro dos métodos elétricos, podemos citar o método do potencial espontâneo, que com o estudo aplicado ao movimento das águas subterrâneas, auxilia a identificar as direções preferenciais de fluxo de contaminantes em subsuperfície, e permitem também a identificação de zonas oxidantes, onde os resíduos estão geoquimicamente estáveis com o meio, e zonas redutoras, que caracterizam áreas com a presença de matéria orgânica biodegradável (HELENE, 2019). Os outros métodos geofísicos que também podem ser utilizados para detectar contaminação na subsuperfície, é o método eletromagnético indutivo e o GPR (Ground Penetrating Radar).

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos ao Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente - NEHMA pela oportunidade de fazer parte do projeto de pesquisa, ao Aterro Metropolitano Centro pelo acesso às áreas de estudos e ao convênio que financiou a bolsa de iniciação científica (IC). Este trabalho contou com o apoio financeiro do Convênio de Cooperação Técnica, Científica e Cultural celebrado entre a Universidade Federal da Bahia - UFBA e a Bahia Transferência e Tratamento de Resíduos - BATTRE (processo Nº 23066.031442/2015-23).

Nota do editor: Todas as figuras apresentadas neste artigo são de responsabilidade dos autores do artigo.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, D. N. O. Mapeamento Geológico de Detalhe e Petrografia dos Litotipos do Jardim de Alah, Salvador-Bahia. Trabalho Final de Graduação em Geologia – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2013.
- BRAGA, Antonio Celso de Oliveira. Métodos Geométricos em Hidrogeologia. 1.ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2016. 140 p.
- CORWIN, R. F., 1990, The self-potential method for environmental and engineering applications. In: Ward, S. H., Geotechnical and environmental geophysics, Soc. of Exploration Geophysicists, V. I, 127-145.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, R. 1981. Hidrologia Subterrânea. Volumes 1 e 2. Ed. Omega. Barcelona.
- DOBRIN, M.B., E SAVIT, C.H., 1988, Introduction to Geophysical Prospecting, McGraw-Hill Book Company.
- FEITOSA, F. et al (Editores), 2008. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3 Ed. CPRM. Rio de Janeiro, 812p.
- HELENE, L.P.I (2019). Dinâmica da Geração e fluxo de chorume em Aterro Sanitário de pequeno porte a partir de monitoramento geofísico. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista– UNESP, São Paulo, 112p.
- KELLER, G. V. AND FRISCHKNECHT, F. C., 1966, Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press.

LIMA, Olivar AL de. Propriedades Físicas das Rochas–bases da geofísica aplicada. Sociedade Brasileira de Geofísica (SBGf)-Rio de Janeiro, 2014.

NARZETTI, Daniel Antonio. Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico, Brasília, DF: ENAP, 2021, 63 p.

OBLADEN, N. L.; OBLADEN, NTR; BARROS, KR de. Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos, Volume II. Curitiba: CREA-PR, 2009.

OLIVEIRA, Kaynã de, Jornal da USP, 2020, Fim dos lixões é adiado por falta de comprometimento dos municípios, publicado em 14 de agosto de 2020. São Paulo. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/fim-dos-lixoes-e-adiado-por-falta-de-compromisso-dos-municipios/>. Acesso em: 16 ago 2022.

PEREIRA, Caio. SONDAAGEM SPT: O que é e como é feito esse ensaio. in: Escola Engenharia. Disponível em <https://www.escolaengenharia.com.br/sondagem-spt/> . Acesso em 25 de março de 2023.

SANTOS, C. B. Caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas, causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro municipal da cidade de Feira de Santana – Ba, 2004. 188f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. E KEYS, D. A., 1978, Applied geophysics. Cambridge University Press.

TUCCI, C.E.M. 2003. Hidrologia: Ciência e Aplicação, vol. 4, Editora da UFRGS /ABRH.

WARD, S. H., 1990, Resistivity and induced polarization methods. In: Ward, S. H., Geotechnical and environmental geophysics, Soc. of Exploration Geophysicists, V. I, 147-189.