

**INTEGRAÇÃO DE SONDAGENS GEOFÍSICAS DE
ELETRORRESISTIVIDADE E SONDAGENS GEOTÉCNICAS SPT:
ESTUDO DE CASO EM ATERRO NA VIA EXPRESSA BA-093.**

Juliana Teles Diniz Gonçalves ¹; Marco Antonio Barsottelli Botelho ²

Resumo A pesquisa tem como objetivo avaliar a utilização de sondagens geofísicas não invasivas, particularmente a técnica de caminhamento elétrico (CE) do método geofísico de eletrorresistividade como ferramenta auxiliar para o diagnóstico geotécnico em investigações com o uso de sondagens de simples reconhecimento (SPT). Obtendo-se boa correlação entre os ensaios SPT e as sondagens de eletrorresistividades, no que tange à definição de litologia e, conseqüentemente, estabelecimento das propriedades geotécnicas, os CE podem se mostrar como uma alternativa atrativa para extrapolar os dados do SPT, permitindo uma visualização contínua das características do subsolo ao longo de perfis. A metodologia foi aplicada em uma área de aterro localizada sobre a Via Expressa BA-093. Foram realizados 6 caminhamentos elétricos que foram correlacionados com as sondagens SPT disponibilizadas. A integração desses métodos permitiu a delimitação das espessuras das camadas, bem como as suas descontinuidades laterais, a mudança de litologia com a profundidade, a presença de zonas com bolsões de argilas moles e a posição da rocha alterada e do embasamento cristalino. Além disso, foi possível observar a correlação entre os valores do parâmetro de resistividade elétrica com a propriedade geotécnica de resistência, evidenciado pelo número de golpes do SPT.

Palavras-Chave – Caminhamento Elétrico, SPT, Correlação

Abstract – The aim of this research was to evaluate the use of non-invasive geophysical surveys, particularly the electro-resistive tomography method (ERT), as an auxiliary tool for the geotechnical diagnosis in investigations using SPT. A good correlation between the SPT tests and the ERT, with respect to the definition of lithology and, consequently, the establishment of the geotechnical properties, the ERT can be shown as an attractive alternative to extrapolate the SPT data, allowing a visualization characteristics of the subsoil extended along profiles. The methodology was applied to a landfill site located on the Expressway BA-093. Six electrical paths were performed that were correlated with the available SPT probes. The integration of these methods allowed the delimitation of the thicknesses of the layers, as well as their lateral discontinuities, the change of lithology with the depth, the presence of zones with pockets of soft clays and the position of the altered rock and the crystalline basement. In addition, it was possible to observe the correlation between the values of the electrical resistivity parameter and the geotechnical property of resistance, evidenced by the number of SPT blows.

Key-Words – ERT, SPT, Correlation

¹ Geofísica, BSc, Universidade Federal da Bahia, julianadgoncalves@gmail.com

² Geofísico, PhD, Universidade Federal da Bahia, mabarsottelli@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O Standard Penetration Test (SPT) é o método direto de investigação geotécnica mais popular no Brasil. Com esse ensaio é possível obter a estratigrafia do terreno ao longo do furo de sondagem e a resistência à penetração fornece uma classificação do solo, de acordo com a ABNT NBR-7250. Contudo, essa sondagem fornece informações pontuais que não são suficientes para descrever de forma contínua o subsolo, já que este é heterogêneo, fazendo com que suas características variem consideravelmente tanto verticalmente como lateralmente.

Em meio a esse cenário, a deficiência na completa caracterização estrutural em projetos de engenharia civil conduz, invariavelmente, a integração dos métodos geofísicos como ferramenta auxiliar na caracterização do subsolo. O objetivo da geofísica aplicada à Engenharia é conseguir uma avaliação mais abrangente, em termos geológicos e em termos geotécnicos quantitativos e semi-quantitativos, de locais de implantação de obras, do que seria possível apenas com a utilização de furos de sondagens e evidências superficiais.

Xavier (2010), Popescu et al. (2016), Ling et al. (2016) e outros autores concluíram em seus respectivos trabalhos que a grande vantagem da utilização de métodos geofísicos para a investigação geotécnica é a visualização contínua do subsolo, em duas ou três dimensões, o que possibilita uma visão mais ampla da área de estudo o que, se comparado a sondagens SPT seria praticamente impossível, mesmo se unidos os dados pontuais, ainda que muito próximos. Além disso, também foram destacados o caráter não destrutivo da investigação e a otimização de tempo e custos para a engenharia.

Dentro desse contexto, o presente trabalho apresenta os resultados da integração dos resultados da aplicação de levantamentos geofísicos, por meio do método de eletrorresistividade (tomografia geoeletrica) com dados de SPT para a caracterização geológica-geotécnica de uma área de aterro localizada em um trecho da BA-099. O objetivo desta pesquisa é mostrar que o perfil geofísico servirá como guia para extrapolar as informações geotécnicas oriundas do SPT como também servirá para alertar sobre locais onde ocorrem fortes contrastes geoeletricos (anomalias), indicando a necessidade de outros SPTs.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. Localização Geográfica

A área de estudo (Figura 1) se constitui como uma zona alagada com vegetação de mangue sobre o qual se desenvolveu um trabalho de aterro na região do talvegue do Córrego Paranaminim. Essa área é localizada na Via Expressa de Lauro de Freitas (VELF) ou BA-093, em Camaçari, município da Região Metropolitana de Salvador (RMS), situada a aproximadamente 40km da capital estadual.

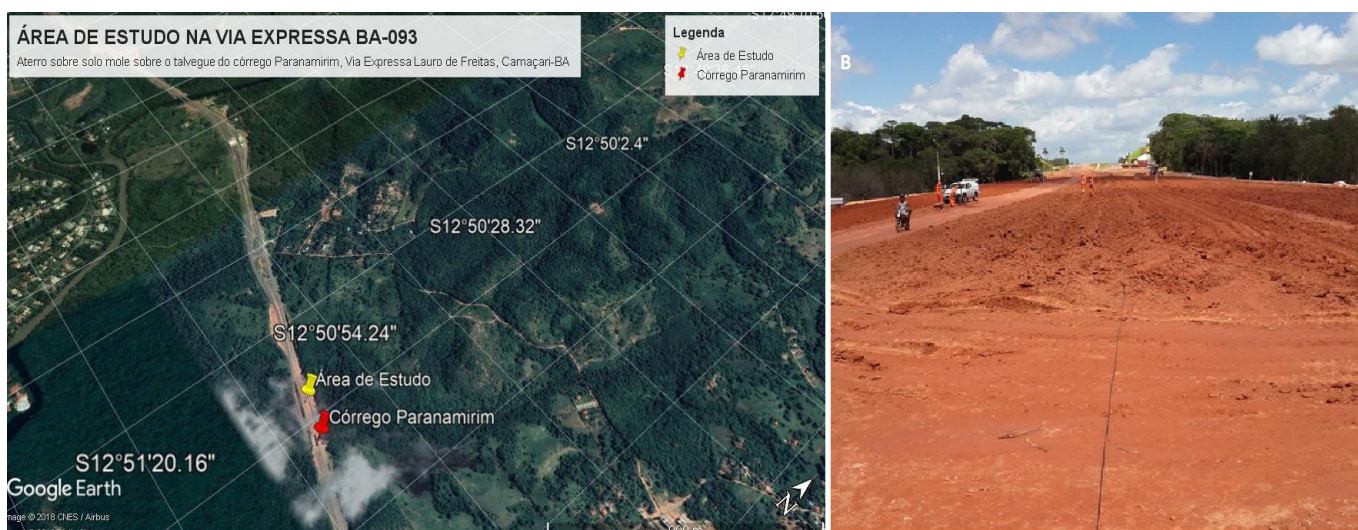


Figura 1. (A) Imagem de satélite da área de estudo e do córrego Paranamirim, em Camaçari-BA. (B) Vista do aterro com o cabo que conecta o aparelho utilizado pela equipe geofísica.

2.2. Aspectos Geológicos e Geotécnicos

Sob aspectos geológicos, a área estudada está compreendida no Domínio Litoestrutural da Bahia Oriental, sendo constituída por Formações Superficiais Recentes que datam no Quaternário. Destas formações, temos em destaque na região a presença de três diferentes tipos de depósitos sedimentares:

1. *Depósitos Litorâneos indiferenciados recentes*, compostos de argila com conchas marinhas; argila e silte ricos em matéria orgânica.
2. *Depósitos Flúvio-Lagunares*, compostos por areia e silte argilosos ricos em matéria orgânica.
3. *Depósitos Flúvio-Lagunares e eólicos*: areia e silte argilosos, ricos em matéria orgânica; dunas de areia bem selecionadas.

Sendo a área de estudo localizada em uma zona alagada com vegetação de mangue, podemos classificar o solo como sendo constituído de materiais transportados, de natureza detrítica, não consolidados, de granulometria heterogênea, argilosos, argilo arenosos e areno-argilosos, ricos em matéria orgânica.

Os resultados das amostras indeformadas provenientes dos ensaios SPT indicaram a presença de um pacote de espessuras variáveis de solo argiloso compressível e de baixa resistência (solo mole) ao longo de todo o trecho do talvegue do córrego Paranamirim.

Próximo do córrego, o material tem textura mais arenosa, apesar de que, superficialmente, o material se apresenta com maior quantidade de matéria orgânica.

No restante do trecho são observadas duas camadas distintas: a primeira, mais superficial, composta de matéria orgânica da cor preta, com espessuras variáveis, e de baixa resistência. Comumente foram observados penetrações de 70 a 100cm apenas com o peso das hastes.

Sotoposta a essa camada, encontra-se um solo argiloso compressível de cor cinza, também com espessuras variáveis, porém com número de golpes ligeiramente superiores da ordem de 2 a 4 golpes, com passagem de penetração de 40 a 70cm para o peso das hastes.

Na maior parte do trecho, o solo abaixo da camada de solo mole é uma areia siltosa ou areia fina. Em outros pontos, o solo abaixo do material compressível é um solo argiloso.

3. METODOLOGIA

O método geofísico de eletrorresistividade é amplamente utilizado, devido à possibilidade de aplicação em diversos campos de estudo, como mineração, geologia de engenharia, hidrogeologia e estudos ambientais. Esse método se baseia na determinação da resistividade aparente do subsolo a partir da resposta ao fluxo de uma corrente elétrica (WARD, 1990).

O princípio básico desse método consiste na aplicação de uma corrente elétrica artificial, contínua ou alternada, no solo por meio de dois eletrodos (denominados de A e B), com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos (denominados M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, permitindo assim calcular a resistividade aparente em subsuperfície e, conseqüentemente, a resistividade real através do processo de inversão.

A resistividade é uma medida da dificuldade que um determinado material impõe à passagem da corrente elétrica. Essa propriedade em solos e rochas pode ser afetada principalmente pela composição mineralógica, porosidade, teor em água e natureza dos sais dissolvidos. Desta forma, a resistividade se constitui como um parâmetro aplicável para a caracterização da integridade física dos materiais geológicos, em termos de alteração, fraturamento, saturação, entre outros.

A técnica de Caminhamento Elétrico (CE), ou também conhecida na literatura como tomografia geolétrica, tem como objetivo gerar uma imagem da subsuperfície em que seja possível delimitar a geometria das litologias ali presentes, sendo obtida com base em medidas efetuadas ao longo do terreno, com espaçamento constante entre os eletrodos AMNB. Por meio desta técnica, investigam-se, ao longo de linhas, as variações laterais e verticais de resistividade elétrica a uma ou mais profundidades (GONÇALVES, 2016).

3.1. Aquisição Geofísica

A opção por levantar perfis do tipo CE na direção longitudinal do aterro (como mostrado na Figura 1) deve-se ao fato de se poder atingir maiores comprimentos (210 m) e assim dispor-se os eletrodos com maiores separações na superfície, e conseqüentemente, investigar maiores profundidades. Foram realizados 6 caminhamentos elétricos no aterro implantado sobre a área de alagamento, onde no mesmo local já haviam sido feitas 5 sondagens SPT que foram cedidas à equipe geofísica pela administração do consórcio da Via Expressa BA-093.

O arranjo dipolo-dipolo (Figura 2) foi escolhido para a realização dos levantamentos de campo principalmente pelo fato de que este é um arranjo que responde bem as variações laterais de resistividade. Neste arranjo, os eletrodos de corrente são espaçados de uma distância fixa a bem como os eletrodos de potencial.

Foram realizadas medidas do potencial elétrico conforme os eletrodos de potencial e de corrente são afastados por uma separação $n.a$, onde n é uma constante e representa um nível teórico de investigação em profundidade. Quanto maior for a distância $n.a$, maiores profundidades serão alcançadas.

Neste trabalho, o espaçamento entre os eletrodos MN e AB foi de 5 metros e foram medidos 8 níveis de investigação possibilitando uma profundidade de investigação de até 22,0 metros e o equipamento utilizado foi um resistímetro SYSCAL-PRO de fabricação da *Iris Instrumental*

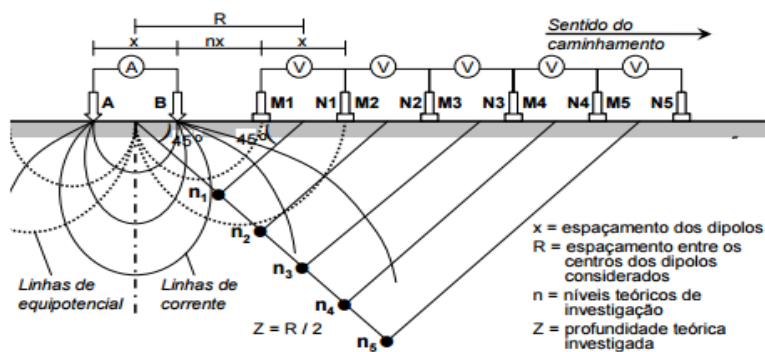


Figura 2. Técnica do Caminhamento Elétrico utilizando um arranjo dipolo-dipolo (Braga, 2006).

3.2. Processamento dos dados

Os dados coletados nos Caminhamentos Elétricos necessitam passar por uma etapa chamada de Inversão Geofísica. Tal etapa é necessária, pois as medidas de resistividade coletadas no campo são valores aparentes e não representam os valores reais das camadas. Isso acontece devido ao fato de que a resistividade de um pacote litológico é influenciada por diversos valores de resistividades existentes no volume investigado do subsolo.

A inversão dos dados de campo resulta em uma imagem 2D do terreno, chamada de seção geolétrica, que possibilita uma interpretação quantitativa. Segundo Rigoti (1998), a inversão de dados elétricos pode ser descrita como a mudança iterativa de parâmetros do modelo até que se obtenha o melhor ajuste entre os dados calculados a partir do modelo e os dados observados em

campo. Por outro lado, o melhor ajuste é limitado ao erro contido nos dados, que em medidas de resistividade como as efetuadas no presente estudo fica, em média, em torno de 5%.

O procedimento de inversão dos dados foi realizado através do *software RES2Dinv* da empresa *GEOTOMO SOFTWARE*. Este programa irá dividir a subsuperfície em blocos e atribuir a elas as respectivas resistividades, e então processar os valores de resistividade aparentes que se ajustam aos valores medidos em campo.

Deve-se lembrar que os resultados não descrevem diretamente as situações geológicas, mas sim refletem a distribuição da propriedade física investigada que pode ser anômala quando ocorrem contrastes nessa propriedade. As anomalias detectadas ou respostas padrão observadas precisam ser correlacionadas de forma mais realista possível com a geologia (CAMPOS et al., 2003). Essa correlação será feita através dos dados das 5 sondagens SPT realizadas no local de estudo.

4. RESULTADOS

Neste trabalho é apresentado o resultado de um dos Caminhamentos Elétricos realizados no sentido longitudinal do eixo da Via Expressa sobre a área de aterro. A seção geométrica da Figura 3 também mostra as posições das estacas onde foram realizados 5 sondagens SPT nesta mesmo local.

A Figura 3 apresenta o modelo de resistividade para a área de estudo. Inicialmente pode ser realizada uma classificação por meio da análise das feições geométricas possibilitando que o modelo fosse dividido em três classes principais: A primeira classe está relacionada a valores de resistividade entre 100 e 200 Ohm.m (tonalidades esverdeadas mais escuras a claras), uma segunda classe está relacionada a baixos valores de resistividade, entre 2 a 100 Ohm.m (tonalidades azuis e verdes claras). A terceira e última classe está relacionada a valores de alta resistividade de 200 a 2000 Ohm.m (tonalidades amarelas e marrom clara).

De acordo com os dados das sondagens disponibilizadas podemos interpretar as classes geométricas descritas anteriormente de acordo com as informações de geologia e geotecnia (resistência à penetração) da área. Dessa forma, a primeira classe, de resistividades intermediárias, representa uma camada de aterro superficial de espessura em torno de 6,0 metros. Essa camada é composta por sedimentos inconsolidados (silte argiloso não saturado).

A segunda classe, de baixas resistividades, se caracteriza como uma camada de espessura também em torno de 6,0 metros que se apresenta com maior teor de água, onde as menores resistividades indicam zonas mais saturadas do que outras. Além disso, através das sondagens foi possível inferir a presença de bolsões de argila mole ricos em matéria orgânica (áreas de menores resistividades e menores resistências à penetração).

A terceira classe, de altas resistividades, pode ser caracterizada como a camada de rocha granulítica alterada a rocha sã. Pode-se notar que a geometria desses blocos de rocha alterada se encontram descontínuos ao longo do perfil, evidenciando locais (porção oeste) onde atinge maior elevação.

Serão apresentadas imagens integrando as sondagens SPT com a coluna de resistividade elétrica na estaca em que se posicionou a sondagem com o objetivo de observar a correlação entre a propriedade física e o número de golpes necessários para cravar o amostrador da sondagem no terreno (N-Golpes), esse número nos dá uma noção da resistência do terreno ao longo do furo.

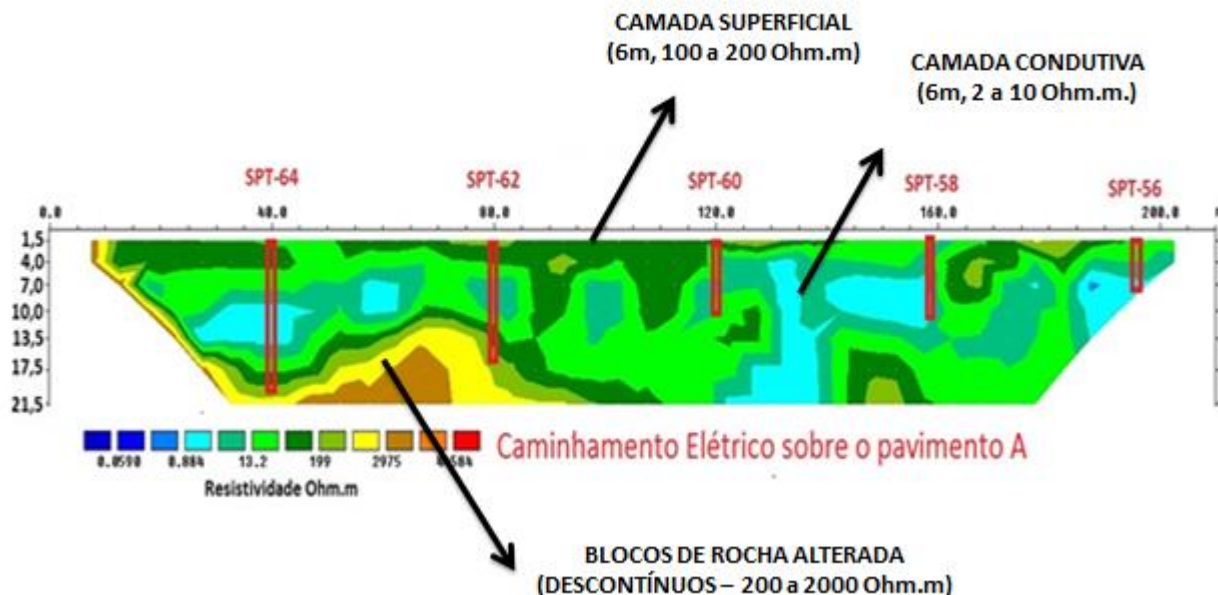


Figura 3 – Perfil levantado no sentido longitudinal do eixo da Via Expressa, sobre o pavimento A. São apresentadas as sondagens SPT projetadas sobre a seção de eletrorresistividade e as designamos pelas estacas de suas posições.

Nas Figuras 4 e 5, correspondentes as estacas E-56 e E-60, observam-se inicialmente uma camada de silte argiloso com areia fina e média e com pedregulhos. Na estaca E-56 o material é descrito como de coloração vermelho escuro e de consistência média. Já na estaca E-60 o material é descrito como marrom claro e de consistência rija. Essas camadas iniciais nas duas estacas são identificadas como sendo o provável aterro. A diferença na consistência do material das duas estacas é identificada pela diferença de valores iniciais de resistividade (13 Ohm.m na estaca E-56 e 100 Ohm na estaca E-60).

Sotoposta a essa camada, verifica-se a presença de areia fina e média com pedregulhos, com coloração cinza e compactidade variando de fofa (E-056) a compacta (E-60). Com a diminuição do número de golpes nesta camada, tanto na estaca E-056 como na E-060, é notado também uma diminuição dos valores de resistividade.

Abaixo deste trecho, encontra-se uma camada de argila siltosa com areia fina e com matéria orgânica em decomposição, muito mole e de coloração preta. A presença desse material de baixa resistência vai influenciar nos valores de resistividade elétrica causando, na estaca E-056, uma redução de aproximadamente 106 Ohm.m para 7 Ohm.m.

Após esse trecho de solo mole a muito mole, volta-se a encontrar uma camada de material de composição que varia de silte arenoso a areia com pedregulho nas duas estacas, tendo seu grau de compactidade variando de fofa a medianamente compacta. Neste trecho final, com o aumento da resistência do material atravessado, os valores de resistividade também seguem a mesma tendência.

Assim como nas estacas anteriores, a primeira camada, tanto em E-62 como em E-64 (Figura 6 e 7) é identificada como sendo o provável aterro, sendo constituída por silte argiloso com areia fina e média e com pedregulho. Na estaca E-62, o material possui coloração marrom clara, sendo sua consistência classificada como rija. Já na estaca E-64, o material tem coloração marrom e sua consistência é classificada como mole. Essa diferença na resistência do material das duas estacas é evidenciada nos valores correspondentes de resistividade (Na estaca E-62, material mais resistente possui valores iniciais de resistividade da ordem de 106 Ohm.m e na estaca E-64, de material mole, os valores iniciais são da ordem de 18 Ohm.m).

Sotoposta a essa camada superficial na estaca E-62, encontra-se uma camada de areia fina e média pouco siltosa com pedregulhos, medianamente compacta e de cor cinza. É observada também a presença do nível d'água. A presença da água e a diminuição da resistência à penetração do material vão influenciar na resistividade que sofre uma diminuição expressiva dos valores, saindo de 199 Ohm.m para valores na faixa de 13 a 106 Ohm.m.

Abaixo dessa camada, encontra-se um material descrito como argila siltosa com areia fina, de cor cinza e de consistência mole. Sotoposto a esse material, encontra-se areia fina e média pouco siltosa com pedregulhos de compactidade que variam de fofo a pouco compacta (Até aproximadamente 7m de profundidade). Neste trecho, os valores de resistividade elétrica também acompanham o aumento de resistência do material à penetração. Quando o material é mole, a resistividade é da ordem de 7 a 13 Ohm.m e quando o material é fofo a pouco compacto, a resistividade é representada pelos intervalos 13 a 106 Ohm.m e 106 a 199 Ohm.m, respectivamente.

A partir de 8 metros de profundidade, o material em E-62 é descrito como silte arenoso com pedregulhos com compactidade variando de pouco compacto, compacto, medianamente compacto e por fim, compacto com alteração de rocha. Neste trecho final, os valores de resistividade seguem aumentando de acordo com o aumento na resistência dos materiais atravessados.

SPT E-56

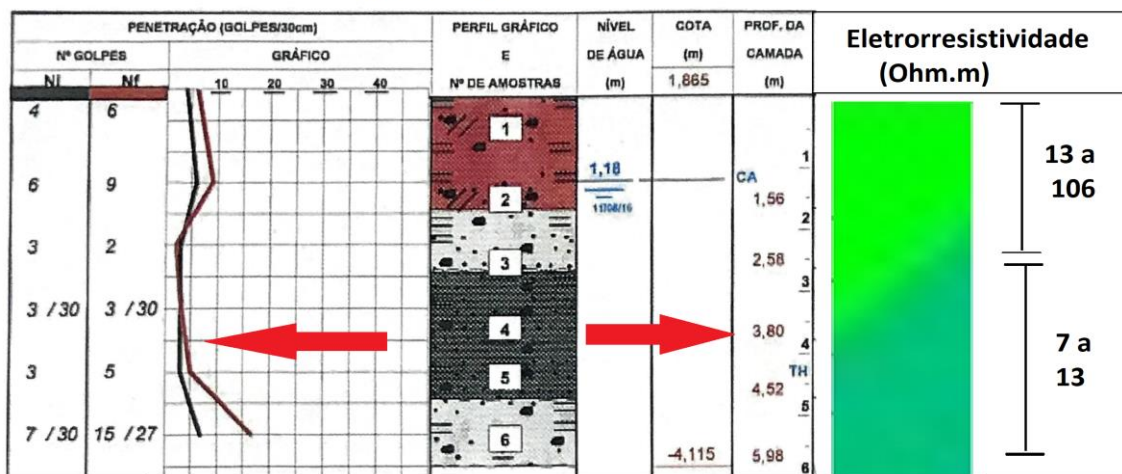


Figura 4. Integração da sondagem SPT com a coluna de eletrorresistividade levantada ao longo do aterro, na posição E-56.

SPT E-60

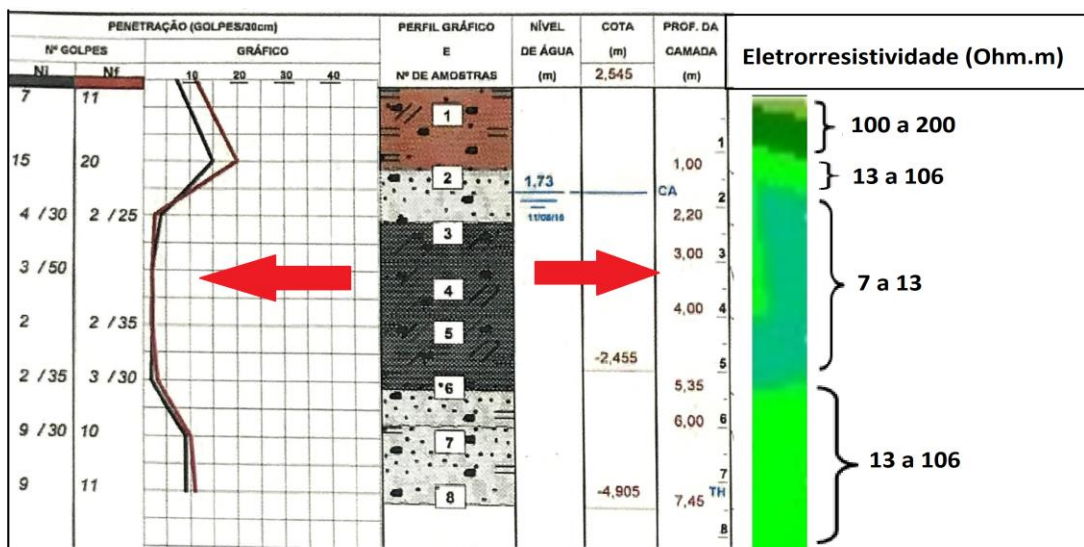
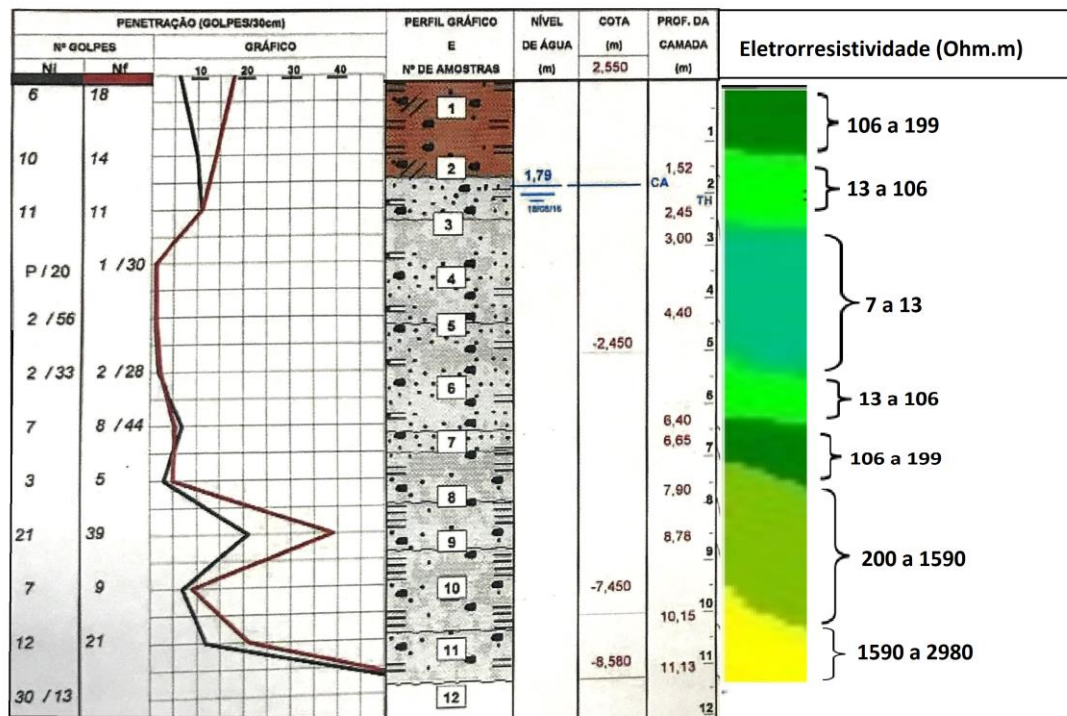


Figura 5. Integração da sondagem SPT com a coluna de eletrorrestividade levantada ao longo do aterro, na

SPT E-62



posição E-60.

Figura 6. Integração da sondagem SPT com a coluna de eletrorrestividade levantada ao longo do aterro, na posição E-62.

Com relação a estaca E-64 (Figura 7), logo a abaixo da camada descrita como o provável aterro, podemos perceber que a resistência do material aumenta (mole para rijo), fato evidenciado pelo aumento do número de golpes. Os valores de resistividade também tendem a acompanhar esse aumento de resistência, de acordo o intervalo de 18 Ohm.m a 101 Ohm.m. Sotoposto a essa camada, encontra-se um material descrito como areia fina e média com pedregulhos, medianamente compacta, cor de cinza. Nesta camada, nota-se também, a presença do nível d'água (3,40 metros). A redução da resistência do material e mais intensamente, a presença de nível d'água serão responsáveis pela redução expressiva dos valores de resistividade, na ordem de 10 a 18 Ohm.m.

Abaixo desta camada, em torno de 5 a 6,5 metros de profundidade, é encontrado um material de resistência baixa, supostamente muito mole a mole, descrito como argila siltosa com areia fina de coloração cinza. Essa mudança de resistência também é apontada nos valores de resistividade (2 a 10 Ohm.m).

A partir de 9 metros de profundidade, encontram-se camadas com materiais do tipo silte arenoso com pedregulhos, pouco compactos e medianamente compactos, variando de cor cinza a marrom. Por último, em aproximadamente, 12 metros de profundidades encontra-se um material de maior resistência (compacto) composto por silte arenoso com pedregulhos e com alteração de rocha. Com o aumento gradual da resistência desses materiais os valores de resistividade também aumentam seguindo a mesma tendência.

SPT E-64

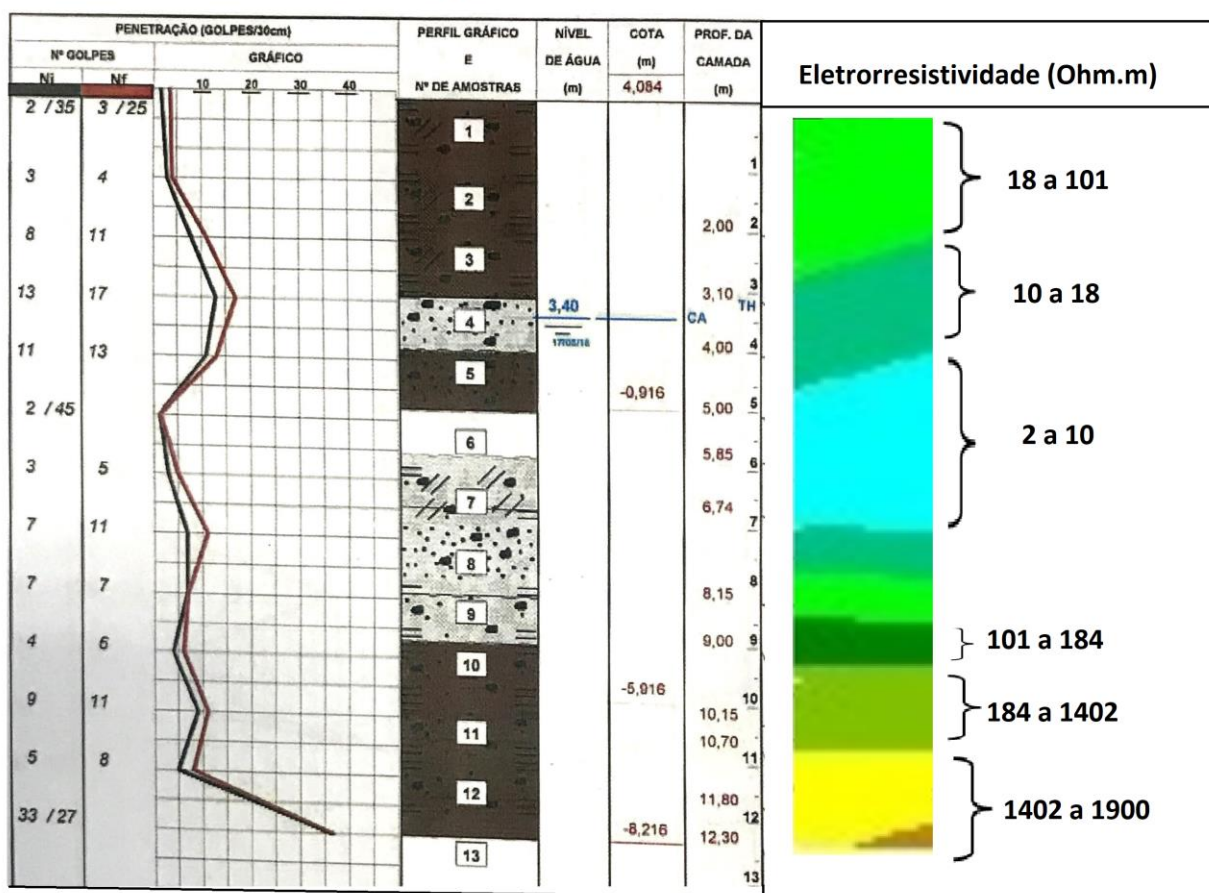


Figura 7. Integração da sondagem SPT com a coluna de eletrorrestividade levantada ao longo do aterro, na posição E-64.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem correlacionar os valores de resistividade com as informações geológicas adquiridas através das sondagens SPT, mais especificamente a geometria das camadas e o contato entre litologias diferentes. De maneira geral foram identificadas três camadas geoeletricas e geológicas: A mais superficial, com valores intermediários de resistividade elétrica que correspondem a camada de cobertura do aterro com sedimentos inconsolidados e não saturados. Depois, uma camada com baixa resistividade que foi interpretada como sendo um material mais saturado e, de acordo com as informações das sondagens, bolsões de argila mole ricos em matéria orgânica (área de estudo localizada em zona alagada de planície fluvial). Por fim, foi delimitada a última camada, correspondente às maiores resistividades associadas a rocha alterada e ao embasamento cristalino granulítico.

Como o Caminhamento Elétrico foi realizado no mesmo local onde foram feitas as sondagens SPT, foi possível analisar a correlação entre o parâmetro de resistência do solo (o número de golpes necessários para cravar o amostrador-padrão) e a propriedade indireta de resistividade elétrica. Pode-se concluir que em zonas de baixa resistência (menores valores de N-SPT) existe uma tendência à apresentar menores valores de resistividade elétrica e em zonas com maiores resistências à penetração, características de rochas alteradas a sãs, existe também a correlação com maiores valores de resistividade elétrica.

Dessa forma, pode-se concluir que houve uma boa correlação entre o método de investigação direta (SPT) e o método de investigação indireta (Eletrorresistividade), no que tange à definição

de litologia e, conseqüentemente, o estabelecimento de propriedades geotécnicas. Deve-se atentar que a implementação da geofísica tem caráter auxiliar, ou seja, apenas a utilização deste método não será suficiente para uma boa caracterização geológica e geotécnica da área. Contudo, ele pode ser considerado como um critério para a extrapolação dos dados das sondagens SPT, permitindo uma visualização contínua das características do subsolo e também a locação de novas sondagens SPT.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro à pesquisa, ao Instituto de Geociências da UFBA e a concessionária responsável pela obra da Via Expressa BA-093 por ceder os dados de Sondagens SPT à equipe geofísica.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, A.C.O., 2006. *Métodos de Eletroresistividade e Polarização Induzida aplicados no Estudo de Captação e Contaminação de Água Subterrânea: Uma abordagem metodológica e prática*. Tese de Doutorado. 120 p. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- CAMPOS, A.F.; RIGOTI, A.; ROSTIROLLA, S.P.; APPI, C.J., 2003. *Características Diagenéticas e Parâmetros Petrofísicos em reservatórios análogos. Estudo de caso nos arenitos da Formação Campo Mourão, Grupo Itareré, Carbonífero- Permiano (Bacia do Paraná)*.
- GONÇALVES, J.T.D., 2016. *Utilização do Método de Eletroresistividade para mapear agentes causadores de instabilidades de taludes no Campus da UFBA*. Trabalho de Conclusão de Curso, 63 p. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- LING, C.; XU, Q.; RAN, J.; LV, H., 2016. *Application of Electrical Resistivity Tomography for Investigating the Internal Structure of a Translational Landslide and Characterizing its Groundwater Circulation (Kualiangzi Landslide, Southwest China)*. Journal of Applied Geophysics, v. 131, p.154-162.
- POPESCU, M.; SERBAN, R. D.; URDEA, P.; ONACA, A., 2016. *Conventional Geophysical Surveys for landslide investigation: two case studies from Romania*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, v.11, n.1, p.281-291.
- RIGOTI A., 1998. *Exploração Geofísica Terrestre por Métodos Gravimétricos, Magnetométricos e Gamaespectrométricos*. Curso de Aperfeiçoamento em Exploração Mineral (EXMIN 98) – ADIMB, 53 p.
- WARD, S.H., 1990. Resistivity and Induced Polarization Methods. In: Ward, S; H. Editora: Geotechnical and Environmental Geophysics., SEG Special Publication. Vol.I
- XAVIER, F. F., 2010. *Geofísica Elétrica Aplicada a Geotecnia para a Investigação de Estabilidade de Taludes*. VII Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul. ABMS. Foz do Iguaçu. PR.