



Aplicação da Eletrorresistividade na avaliação de viabilidade de empreendimentos imobiliários

Georgia Castro*¹, Debora Carvalho¹ and Rodrigo Machado², Geofísica Consultoria¹, AltaResolução²

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This project presents the application of Electrical Resistivity method for investigating the presence of rocks and hard soil, for a Civil Engineering project, to verify the possibility and costs of excavating three underground floors for parking lot of a residence building.

Results from geophysical investigation detected the presence of solid rocks and hard soil starting on depths of 5,0m. Initial project stated the excavation of three floors underground, reaching 12,0m depth. With geophysical investigation results, the project was re-created intending to reduce costs with excavations. Now Engineering project will have only two floors underground.

Resumo

O presente trabalho apresenta a aplicação do método da Eletrorresistividade na investigação de presença de matações e solo duro/topo de rocha, para estudo de viabilidade de construção de edifícios com escavação de sub-solos e estudo de custos para a construção.

O resultado da investigação geofísica detectou presença de matações e solo duro/topo de rocha em profundidades a partir de 5,0m. O projeto inicial determinava a escavação de 3 sub-solos, atingindo profundidades de até 12,0m. Com os resultados da investigação geofísica, o projeto foi reformulado, a fim de diminuir recursos de tempo e investimentos. O projeto construtivo foi alterado e será realizada escavação de somente 2 subsolos.

Introdução

No cenário atual do crescimento do mercado imobiliário no Brasil, está aumentando a constante busca de novos terrenos, muitos destes localizadas às margens dos grandes centros urbanos, que muitas vezes possuem características geológicas e geotécnicas complexas, gerando assim a necessidade de investigações com uso de tecnologias avançadas e específicas para estudos e implantação de projetos. Associado a este contexto existe a necessidade de diminuição dos recursos de tempo e investimentos e prazos de execução dos projetos.

Em meio a este cenário, os métodos geofísicos de características não invasivas têm apresentado bons resultados em tais aplicações. Investigações geofísicas vêm sendo amplamente utilizadas em estudos de viabilidade geotécnica, em projetos de Engenharia e geoambientais para mapeamentos estruturais e geológicos.

Dentro deste contexto, o presente trabalho apresenta os resultados da aplicação da Geofísica, utilizando o método da Eletrorresistividade para caracterização geológica do perfil litológico de uma área localizada no município de Barueri, região metropolitana de São Paulo. A aplicação da Geofísica permite a delimitação de camadas estratigráficas, topo rochoso e possíveis zonas anômalas e/ou estruturas litológicas, como por exemplo blocos de rochas inconsolidados e/ou matações. O foco principal do estudo de caracterização geotécnica da área foi o de fornecer informações e subsídios para o projeto de Engenharia civil – construção de empreendimento residencial. O projeto executivo inicial – feito antes da investigação Geofísica – determinava a escavação do terreno para implantação das fundações de 3 (três) subsolos de estacionamento.

O projeto executivo contemplava a realização de investigação direta, através de sondagens. A aplicação da Geofísica serviu para otimizar recursos aplicados nesta etapa, diminuindo a quantidade de pontos de sondagem e definindo a locação destas .

Método

A aplicação da eletrorresistividade na prospecção geofísica baseia-se na resposta dos materiais terrestres ao fluxo de corrente elétrica alternada a baixas frequências, tipicamente 0,03Hz a 3Hz, de acordo com Ward (1990).

Dentro do método da eletrorresistividade existem várias técnicas e arranjos de aplicação dos ensaios em campo. Neste estudo foi utilizada a técnica de caminhamento elétrico ou imageamento elétrico.

A técnica de imageamento elétrico se baseia na análise e interpretação de um parâmetro físico conhecido, a resistividade elétrica, que por sua vez, pode ser obtida a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno. A partir desta técnica podem, também, ser utilizados diversos arranjos de aquisição de dados. Neste trabalho foi empregado o arranjo dipolo-dipolo.

Tal formatação de aquisição de dados consiste na investigação em profundidade através da confecção de perfis geoeletricos visando a determinação de descontinuidades laterais originadas por estruturas

geológicas diversas tais como contatos litológicos, zonas de fraturamento, além de possibilitar a realização de mapeamento de corpos rochosos que ocorrem no embasamento cristalino e inconsolidados.

Os dados medidos através do arranjo dipolo-dipolo em subsuperfície consiste em utilizar dois eletrodos de injeção de corrente e dois eletrodos de potencial medido, ambos funcionando independentemente (Burguer, 1992). Para cada posição dos eletrodos de injeção de corrente são tomadas tantas medidas de diferença de potencial quanto seja desejado, sendo cada medida correspondente a um nível. Cada nível de leitura é representativo de uma profundidade a ser calculada a partir da distância entre cada eletrodo. À medida que a profundidade de investigação aumenta, diminui-se automaticamente a quantidade de pontos de leitura, sendo o principal causador deste fato à geometria no arranjo (Orellana, 1974) (Figura 01).

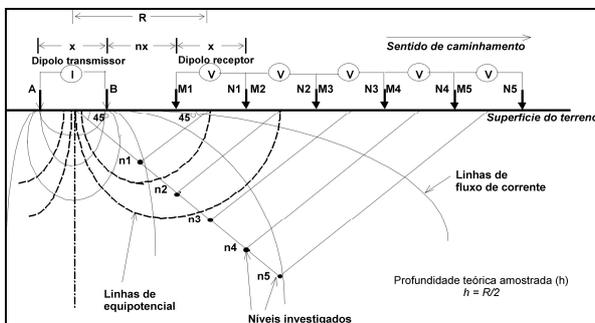


Figura 01: Disposição inicial no campo do arranjo dipolo-dipolo – CE (adaptada de Elis, 1999).

Para obtenção de alto grau de detalhamento da área, uma vez que além da caracterização estratigráfica das camadas geológicas, buscava-se a identificação de possível presença de blocos de rochas e/ou matacões, presentes em subsuperfície. A distância aplicada neste projeto foi de 1,5 m entre os dipolos, com 15 níveis de investigação de modo a atingir profundidades de até aproximadamente 15 metros.

O equipamento utilizado foi o aparelho *SYSCAL PRO*, fabricado pela empresa *IRIS Instruments*, o qual utiliza uma unidade microprocessadora para o gerenciamento e chaveamento dos eletrodos, com alimentação de entrada de 12V e saída de até 1.600V, podendo aplicar uma corrente que pode atingir até 2,5A no meio a ser estudado.

Os dados obtidos na campanha de levantamento passaram pela etapa de processamento e inversão (Golden Software, 1996). Na etapa de processamento os dados foram filtrados sendo descartados os pontos de leitura que apresentaram erro superior a 5%. Foram utilizadas, em média, 5 (cinco) iterações para a convergência dos dados de campo em seus resultados finais. Posteriormente foram realizadas correções topográficas. No processo de inversão e modelamento dos dados foi utilizado o método de elementos finitos

para a definição dos corpos resistivos e condutores. O *software* utilizado para processar os dados foi o *RES2DINV* de propriedade intelectual da Geotomo (Loke, 2004).

Resultados

Os resultados obtidos neste trabalho foram analisados a fim de obter um quadro geológico e geotécnico da área, com foco na identificação e delimitação de estruturas de maior compactação do solo e/ou de origem rochosa, do tipo "matacão" presentes em subsuperfície.

Tais resultados visam proporcionar informações e subsídios para projetos de Engenharia civil, fornecendo recomendações de ações de investigação complementar.

A área investigada possui aproximadamente 1.500m². Foram realizadas 7 (sete) linhas, das quais 6 (seis) foram dispostas paralelamente entre si e 1 (uma) transversal às outras linhas.

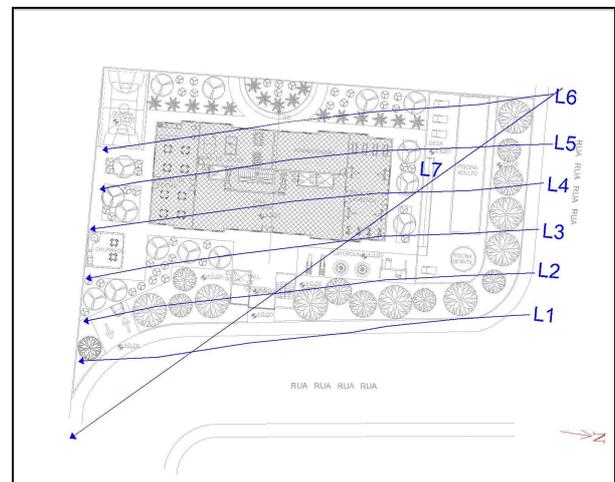


Figura 02: Croquis das linhas de aquisição.

A análise dos dados de eletrorresistividade obtidos na área do terreno em Barueri-SP, possibilitaram a identificação e correlação de contatos graduais e bruscos do solo e de interfaces e feições geológicas presentes na área.

Os valores mínimos e máximos encontrados correspondem aproximadamente a 10 Ohm.m e 4.000 Ohm.m, respectivamente.

Mais próximo a superfície, em toda a área, verificou-se valores elevados a intermediários de resistividade, variáveis entre 700 Ohm.m e 2.000 Ohm.m. Estes podem ser associados a materiais arenosos, não saturados, além de materiais provenientes do substrato rochoso alterado, como "blocos de rocha" ou "matacões", conforme características da área. Tal configuração ocorreu de forma não contínua, tendo sido observada em zonas pontuais e localizadas, com variações nos padrões geoeletricos, associadas as variações composicionais (materiais: arenosos, argilosos, rochosos e minerais alóctones associados) e físicas (saturação e compactação) dos materiais locais presentes em subsuperfície.

Este horizonte apresentou espessura variável e bastante irregular ocorrendo de forma espessa na porção oeste (W) do terreno, com espessuras máximas de aproximadamente 9,0 metros e de forma mais delgada na porção leste (E), com espessuras médias de 5,0 metros. Verificou-se que o terreno mostra variação topográfica no mesmo sentido, com maiores altitudes a oeste (W) e menores a leste (E). A figura 03 ilustra este horizonte, mais espesso a oeste (perfil L6) e mais delgado a leste (perfil L1).

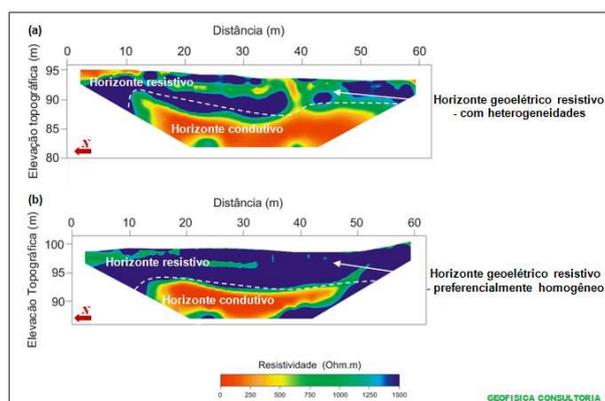


Figura 03: Perfis de resistividade – Ilustração do padrão superficial do terreno, maiores resistividades. (a) L1 – porção mais delgada, e (b) L6 – porção mais espessa.

Nos perfis L2 até L5, nota-se distribuição gradual no sentido oeste-leste (W-E), quanto a espessura da camada resistiva, bem como a diminuição dos valores de resistividade.

Em maiores profundidades verificou-se padrões de baixa resistividade (ou alta condutividade), com valores da ordem de 50 a 650 Ohm.m. Estes podem ser caracterizados normalmente por materiais de origem argilo-arenosa com possível presença de zonas saturadas, bem como solos residuais – solos de alteração de rocha.

O perfil L7 recobre todo o terreno, dos extremos noroeste a sudeste (NW-SE) e atinge profundidade máximas de 21 metros. Este apresenta padrões superficiais

heterogêneos resistivos e padrões condutivos em profundidades de 10 a 16 metros, aproximadamente.

Com a profundidade investigada de até 21m neste perfil, foi possível identificar forte elevação das resistividades, com padrões da ordem de 3.000 Ohm.m, que podem ser relacionados a materiais rochosos com diferentes níveis de alteração, a partir de aproximadamente 16 metros (Figura 04).

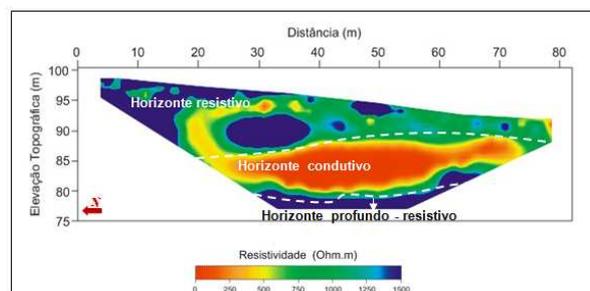


Figura 04: Perfil de resistividade – Ilustração do padrão eletroresistivo da área, com destaque para o horizonte resistivo profundo identificado no L7.

Após análises dos perfis de forma localizada, para melhor visualização dos resultados, foram realizados processamentos específicos de modo a compilar os dados de todos os perfis da área, em profundidades ou níveis pré definidos, com ajuste das cotas do terreno e das superfícies geradas, para então visualização geral da área, em planta, por meio de "cortes horizontais". Foram geradas superfícies em planta, relacionadas aos níveis 6° e 12° (total de 15 níveis), os quais correspondem a profundidades médias de 4 e 10 metros respectivamente, visando assim, caracterizar o local mapeado em porções superficiais e profundas.

A partir destes mapas foi possível identificar de forma clara a diferenciação dos padrões geoeletricos superficial e profundo. Uma vez que, no mapa superficial (profundidade aproximada de 4 m) verificou-se a predominância de valores elevados de resistividade, com zonas de valores intermediários, associados a materiais preferencialmente arenosos, como também, pela possível presença de materiais de maior compactação, tais como blocos rochosos inconsolidados (matacões). Enquanto no mapa profundo (profundidade aproximada de 10m) observam-se padrões de maiores condutividades, ao longo de toda a porção investigada.

Cabe ressaltar que tais profundidades são aproximadas e se dão de acordo com a topografia da superfície do terreno, não sendo representativas de cortes em posição horizontal, uma vez que o terreno mostra declive, no sentido leste (E). A Figura 05 ilustra os cortes em planta.

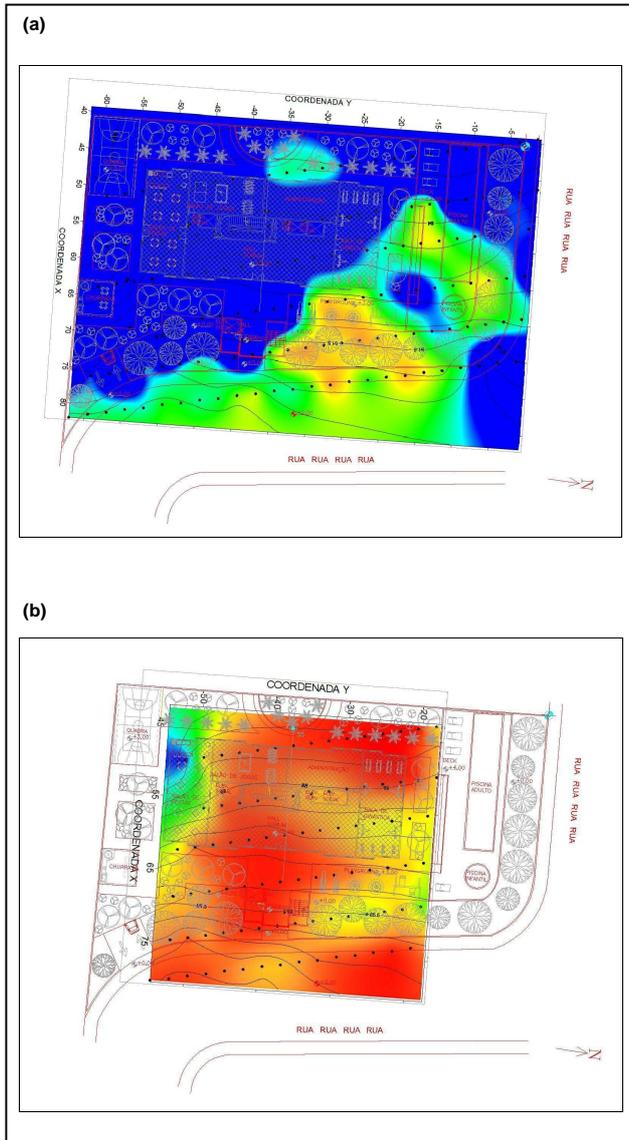


Figura 05: Mapas gerais de resistividade – Ilustração do padrão (a) superficial e (b) profundo de diferenciação eletrorresistiva da área.

Conclusões

O presente trabalho apresenta os resultados da investigação geofísica, realizada com objetivo de caracterização geotécnica de um terreno, localizado no município de Barueri-SP, onde seria construído um edifício residencial. A investigação foi direcionada para identificação de padrões passíveis de correlação a materiais e estruturas do tipo matacão, em subsuperfície.

No total, foram realizadas 7 (sete) linhas de eletrorresistividade, denominadas de L1 até L7. Os pontos de leitura foram adquiridos com espaçamento de

1,5 metros, em 15 níveis verticais, atingindo profundidade máxima de investigação de 21 metros.

Foram identificados três horizontes geolétricos predominantes: o horizonte superficial, o horizonte profundo, e um terceiro, altamente resistivo.

O horizonte superficial é caracterizado por valores resistivos heterogêneos, da ordem de 700 a 2000 Ohm.m, onde há presença de zonas pontuais e localizadas de diferenciações geolétricas, composicionais (materiais: arenosos, argilosos, rochosos e minerais alóctones associados) e físicas (saturação e compactação) dos materiais locais. Além da heterogeneidade geolétrica ocorrente ao longo do horizonte, verifica-se também variações na espessura do horizonte, que ocorre de forma irregular, sendo mais espessa na porção oeste (W) do terreno, com espessuras máximas de aproximadamente 9,0 metros e mais delgada na porção nordeste-leste (NE-E), com espessuras médias de 5 metros. Verificou-se que o terreno mostra variação topográfica no mesmo sentido, com maiores altitudes a oeste (W) e menores a leste (E).

O horizonte profundo (identificado nos perfis L1 a L6) caracteriza-se por padrões condutivos, com valores inferiores a 650 Ohm.m, e profundidades médias de até aproximadamente 16 metros. Estes podem ser correlacionados a materiais de origem argilo-arenosa com possível presença de zonas saturadas, bem como solos residuais – solos de alteração de rocha.

Nas máximas profundidades investigadas, através do perfil L7, verifica-se padrões fortemente resistivos, com valores superiores a 3.000 Ohm.m, que ocorrem em profundidades superiores a 17 metros, os quais podem ser correlacionados ao substrato rochoso com menores níveis de alteração.

O resultado da investigação geofísica otimizou os recursos de investigação direta; o número de sondagens diminuiu para dois: uma sobre a porção mais resistiva, outra sobre a porção menos resistiva. Estas sondagens foram realizadas a fim de verificar *in situ* os tipos litológicos associados a cada um dos horizontes geolétricos.

Por fim, o projeto construtivo inicial do empreendimento contemplava a escavação de 3 sub-solos, atingindo profundidades de até 12m. Com os resultados da investigação geofísica, o projeto foi reformulado, e será realizada escavação de somente 2 subsolos.

Agradecimentos

Agradecemos a empresa Jeronimo da Veiga pelos dados cedidos.

Referências

BURGER, H. R. **Exploration Geophysics of the shallow subsurface**. Prentice Hall. 1992.

ELIS, V. R. **Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas**

utilizadas para disposição de resíduos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro-SP. p 264. 1999.

LOKE, M. H. **Res2Dinv versão 3.54 for Windows 98/Me/2000/NT/XP. Rapid 2D resistivity & IP inversion using the least-squares method.** Software Manual. p 133. 2004. Disponível em: <www.geoelectrical.com> Acesso em Março, 2013.

ORELLANA, E. **Prospección geoelectrica por campos variables.** Madrid: Thomson Paraninfo. p 561. 1974.

WARD, S. H. **Resistivity and induced polarization methods.** Geotechnical and Environmental Geophysics. Investigations in Geophysics. SEG, v. 5, p 147-189. 1990.