



Caracterização geofísica rasa do sítio controlado do IAG-USP: resultados preliminares

* Welitom Rodrigues Borges¹ & Jorge Luis Porsani¹

¹ Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG-USP), Emails: welitom@iag.usp.br & porsani@iag.usp.br

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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

Preliminary results obtained from shallow geophysics investigations with the EM38 and GPR in the location where is being installed the Controlled Test Site of IAG-USP, are presented. The map of apparent electric conductivity got with the EM38 showed anomalous conductive at the same local where there is the biggest attenuation of GPR electromagnetic wave. The results are an encouragement to the continuity of the researches and fundamental for the characterization of the area "before" the installation of the targets in the Controlled Test Site of IAG-USP.

Introdução e Objetivos

Os métodos geofísicos de investigação rasa freqüentemente vêm sendo utilizados visando à caracterização detalhada da subsuperfície, o que nem sempre é possível devido às pequenas variações nas propriedades físicas do meio. Normalmente essas utilizações têm aplicações diretas na geologia, geotecnia, meio ambiente, planejamento urbano e arqueologia. Entretanto, pode-se dizer que as respostas obtidas com os métodos geofísicos normalmente apresentam ambigüidades, devido às soluções não serem únicas.

A sociedade moderna, cada vez mais exigente, requer estudos que quantifiquem os alvos em subsuperfície, tais como: geometria, propriedades físicas e profundidades de ocorrência. Normalmente, esses estudos não são realizados, ou pela falta de softwares de simulações numéricas ou devido à própria versatilidade de uso dos métodos geofísicos de investigação rasa, pela rapidez na aquisição e visualização dos resultados.

Por outro lado, uma maneira exata de eliminar a ambigüidade presente nos dados geofísicos de investigação rasa pode ser feita através de informações diretas das propriedades físicas e geométricas dos alvos a serem investigados, através da instalação de áreas para testes controlados de geofísica rasa.

A criação de áreas para testes controlados de geofísica rasa mostra que as ambigüidades presentes nas interpretações dos dados geofísicos podem ser amenizadas, e em certos casos, até eliminadas (Grandjean, et al., 2000; Sauck, 2002). Nestas áreas, as geometrias dos alvos, os seus conteúdos, as

propriedades físicas e profundidades são conhecidas, auxiliando o intérprete a definir os melhores parâmetros para a interpretação através dos resultados obtidos.

Algumas destas áreas são referências internacionais pela precisão dos resultados, como exemplo tem-se o sítio controlado da *Western Michigan University* – USA, implantada pelo professor Dr. William A. Sauck do Departamento de Geologia (Sauck, 2002).

Atualmente, não existe no Brasil uma área para testes controlados de geofísica rasa e a sua instalação será de grande importância para a comunidade nacional de geofísica. Visando preencher esta lacuna, e contribuir para o "Estado da Arte da Geofísica Rasa no Brasil", o Prof. Dr. Jorge L. Porsani (IAG/USP) está coordenando um Projeto de Pesquisa financiado pela FAPESP, que tem como finalidade a instalação do Sítio Controlado de Geofísica Rasa (SCGR) no campus da USP (Porsani, 2002). Para alcançar esta meta, o Prof. Porsani conta com o apoio dos pesquisadores do grupo da Geofísica Aplicada do Departamento de Geofísica do IAG/USP e da DIGEO/IPT.

O SCGR será instalado em uma área próxima ao Instituto de Física, localizado em frente ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, compreendendo uma área de 1500m² (Figura 1). Vários alvos com dimensões e profundidades diferentes serão enterrados ao longo de sete linhas, visando simular estudos geológicos, geotécnicos, arqueológicos, ambientais e de planejamento urbano (Figura 2). Os alvos foram escolhidos para terem respostas eletromagnéticas, condutivas ou para terem reflexões nos perfis GPR. Os dados geofísicos serão adquiridos "antes" e "depois" da instalação do sítio controlado, o que permitirá a caracterização geofísica dos alvos enterrados. Esta caracterização consiste em avaliar o desempenho e a confiabilidade dos métodos geofísicos de investigação rasa quando aplicados sobre alvos cujas propriedades físicas e geométricas são conhecidas. Os principais métodos geofísicos a serem utilizados são: eletromagnético indutivo (EM-38), GPR-Ground Penetrating Radar, eletrorresistividade, polarização induzida e magnetometria. As assinaturas geofísicas obtidas com cada método serão analisadas visando obter padrões de respostas típicas para cada tipo de material, e contribuirão para a nossa habilidade em interpretar dados geofísicos (Borges, 2003).

A instalação do SCGR está em andamento. Sendo assim, neste trabalho apresentamos alguns dos resultados preliminares obtidos antes de sua instalação, no qual serão imprescindíveis para a identificação de possíveis anomalias geofísicas naturais provocadas por heterogeneidades de subsuperfície ("background") e/ou devido às interferências superficiais. Os resultados apresentados correspondem ao levantamento topográfico

e às investigações geofísicas realizadas com o método eletromagnético indutivo (EM38) e GPR. Os resultados estão concordantes e servem de estímulos para a continuidade das pesquisas em busca do “Estado da Arte em Geofísica Rasa”.

Metodologia

Nesta primeira etapa dos levantamentos geofísicos para verificar as respostas físicas do meio “antes” da instalação do SCGR foram realizadas aquisições de dados com os métodos: eletromagnético indutivo (Slingram) e *Ground Penetrating Radar* (GPR).

Eletromagnético Indutivo (Slingram)

Este método foi aplicado através da utilização do equipamento EM38, produzido pela Geonics Limited. Este equipamento é amplamente utilizado na agricultura na América do Norte para verificar a salinidade e espessura de solos (Sudduth et al., 2001). No Brasil, a

utilização do EM38 é recente, sendo normalmente aplicado em investigações arqueológicas, na identificação principalmente de paleofogueiras em sítios arqueológicos (Mendonça, 2003).

O EM38 possui uma bobina transmissora e uma receptora, espaçadas de 1m. Opera na frequência de 14,6kHz e pode fornecer dados nos modos dipolo horizontal (Figura 3a) e dipolo vertical (Figura 3b). O modo dipolo vertical investiga uma profundidade efetiva de $\approx 1,5\text{m}$ e o modo dipolo horizontal de $\approx 0,75\text{m}$ (Geonics, 1999).

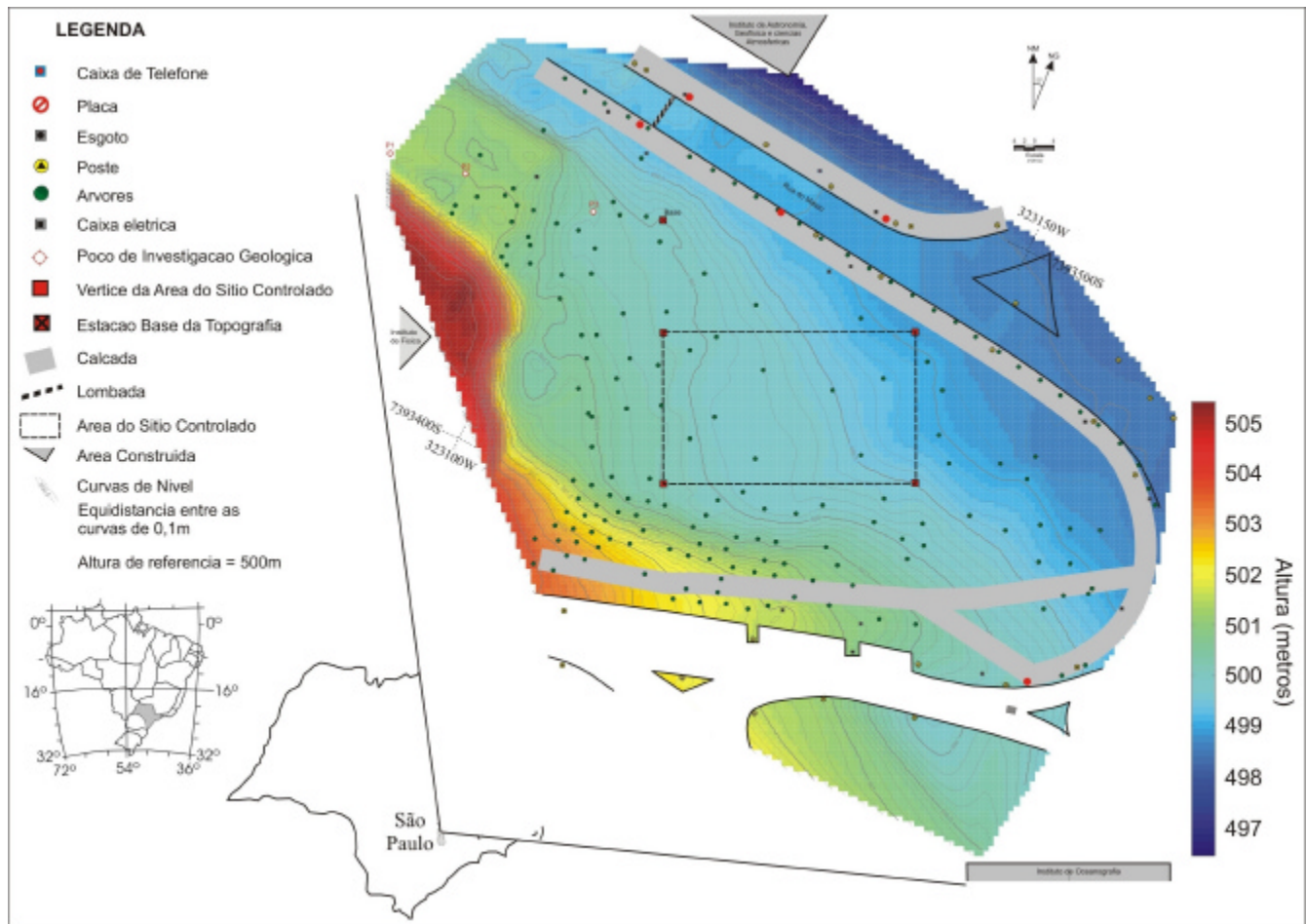


Figura 1. Mapa de Localização da área do Sítio Controlado de Geofísica Rasa (SCGR) do IAG/USP.

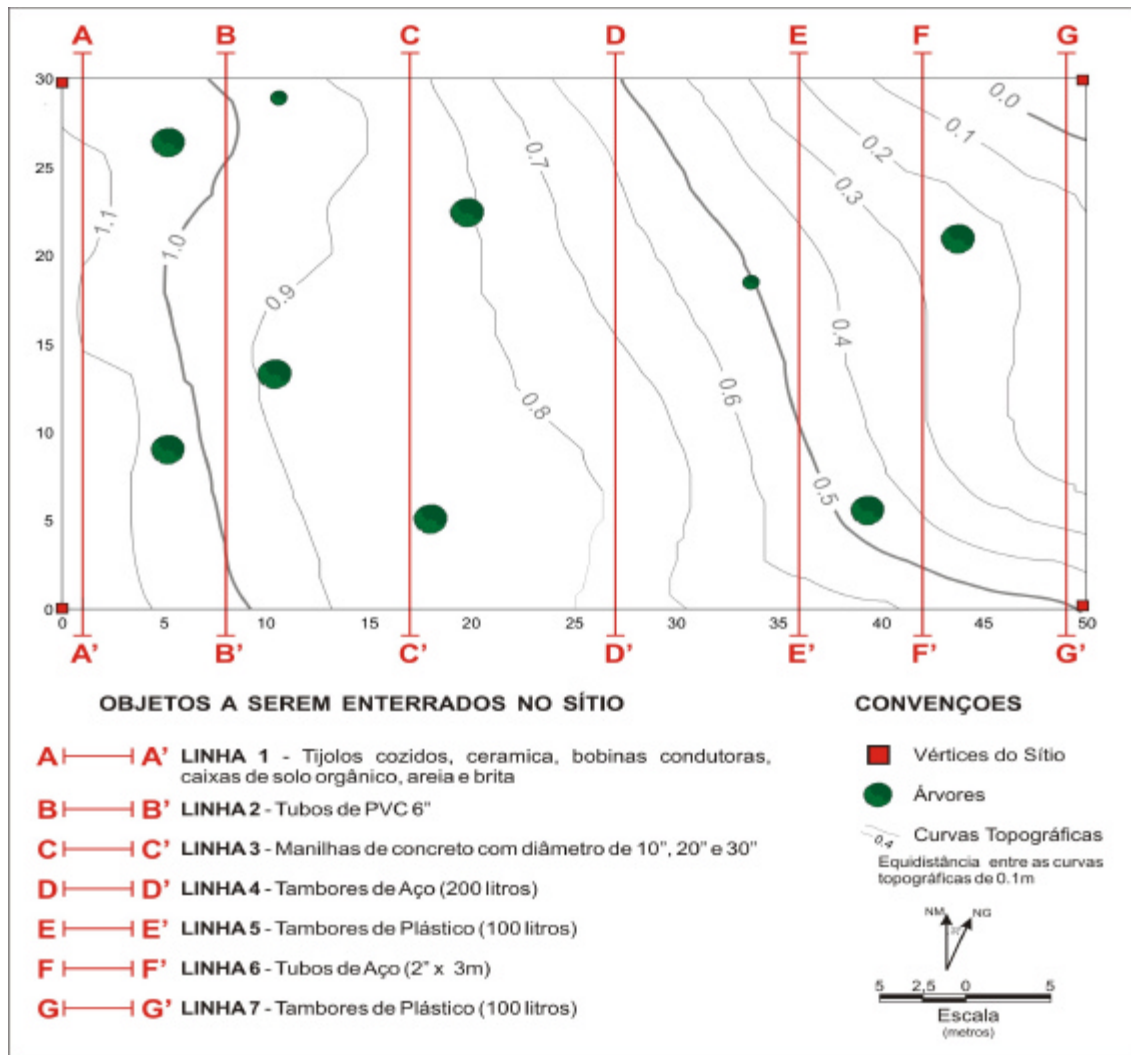


Figura 2. Mapa do sítio controlado de geofísica rasa (SCGR) do IAG/USP, mostrando a localização das linhas e dos alvos a serem enterrados.

Neste trabalho, inicialmente foram realizadas 54 linhas de EM38, com o equipamento orientado (em seu eixo maior) na direção do campo magnético terrestre, que coincide com a direção norte-sul do SCGR e no modo dipolo vertical. Os dados de condutividade elétrica aparente e susceptibilidade magnética aparente foram adquiridos a cada 1m de distância, sendo cada medida o resultado da média entre 10 leituras.

Durante a aquisição dos dados, no início e fim de cada linha, uma estação base foi reocupada com a finalidade de verificar a variação das componentes medidas influenciadas principalmente pela variação da temperatura do ar e do solo.

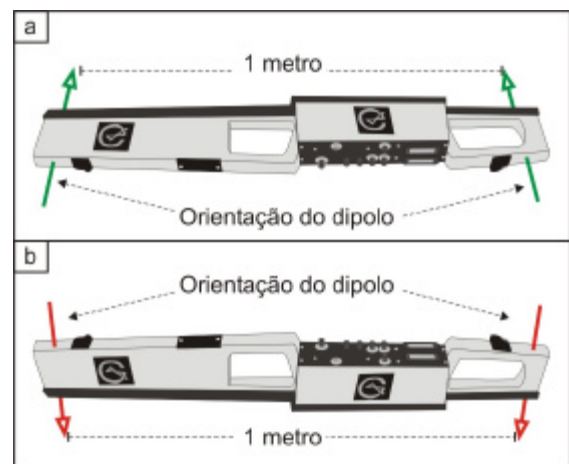


Figura 3. Modos de aquisição de dados com o EM38. a) dipolo horizontal. b) dipolo vertical.

Ground Penetrating Radar (GPR)

O GPR é um método geofísico que utiliza ondas eletromagnéticas em altas frequências (1 a 1500MHz) para imagear e identificar variações nas propriedades elétricas e magnéticas no meio. Este método foi utilizado para verificar a presença de possíveis objetos em subsuperfície na área onde está sendo instalado o SCGR do IAG/USP.

Foram adquiridos 54 perfis GPR com frequências de 100MHz, *stack* de 32 e intervalo entre os traços de 0,05m. As antenas não blindadas foram adaptadas num rebocador ("trenó"), sendo puxadas a uma velocidade aproximadamente constante de 0,08m/s. O trenó foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação Geofísica pelo Prof. Dr. Francisco Hiodo do Departamento de Geofísica do IAG (Figura 4). Foi mantida uma distância constante de 1m entre os perfis, de modo que permita a realização de futuras modelagens e visualizações 3D. O software utilizado no processamento 2D das seções GPR foi o Gradix V1.10 da Interpex Ltd. Neste trabalho serão apresentadas somente dois perfis GPR.

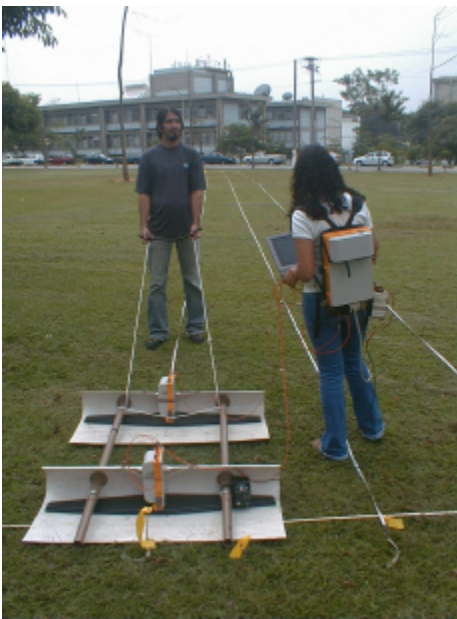


Figura 4. Aquisição de dados GPR com as antenas de 100MHz adaptadas num rebocador ("trenó") desenvolvido no IAG/USP.

Resultados Preliminares

As aquisições de dados com o sistema EM38 permitiram investigar o comportamento da condutividade elétrica aparente (ρ_a) e susceptibilidade magnética do meio até a profundidade máxima de 1,5m.

No mapa de ρ_a (Figura 5) nota-se a presença de sete anomalias pontuais e uma região anômala. As anomalias condutivas A, B, C e D possuem as maiores amplitudes e ocorrem nos vértices do SCGR, sendo relacionadas aos marcos de concreto que delimitam os vértices do SCGR. Sendo os marcos de concreto, esperava-se sobre os mesmos valores baixos de condutividade, no entanto dentro dos marcos existem 4 barras metálicas para aumentar a resistência de ruptura dos mesmos. Deste modo, o ferro foi o responsável pelo aumento da condutividade no local. A anomalia E apresenta o menor valor de condutividade do mapa, sendo correlacionada, através de observação direta no campo, a uma região onde foi plantada uma nova árvore e há presença de fragmentos de rocha. As anomalias pontuais F e G correspondem aos locais onde foram extraídas duas árvores, ficando o solo bastante aerado, aumentando assim a porosidade e resistividade do meio. A região anômala AA ocorre na parte sudeste do mapa, evidenciando uma zona mais condutiva nesta área, podendo ser correlacionada com um solo mais argiloso comumente encontrado na área (Borges, 2002).

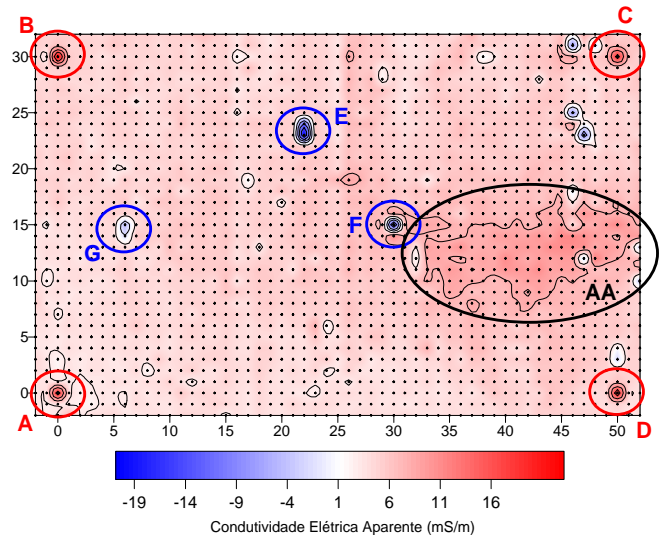


Figura 5. Mapa de condutividade elétrica aparente da área do SCGR do IAG/USP, obtido com o EM38 no modo dipolo vertical. Os círculos indicam áreas anômalas.

O mapa de susceptibilidade magnética (Figura 6) obtido com o EM38 mostra três anomalias positivas. A anomalia "A" é artificial, ou seja, foi provocada pela proximidade de uma trena com partes metálicas. A anomalia "B" é provavelmente devido a presença de fragmentos de rocha (gnaisse) expostos em superfície após a instalação de uma árvore. A anomalia "C" ocorre no mesmo local que ocorreu a extração de uma árvore, podendo estar relacionada com possíveis fragmentos de rocha mais próximos da superfície.

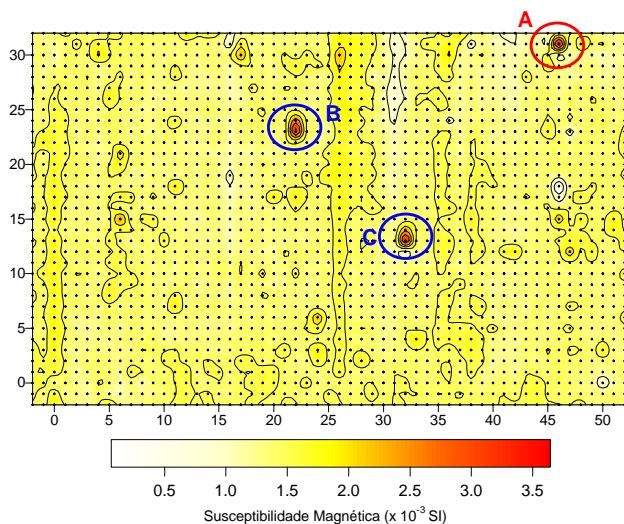


Figura 6. Mapa de susceptibilidade magnética da área do SCGR do IAG/USP, obtido com o EM38 no modo dipolo vertical. Os círculos indicam anomalias de susceptibilidades positivas.

Os perfis GPR, apresentados neste trabalho, têm como objetivos comprovar o comportamento do subsolo fora e dentro da região anômala AA observada pelo EM38. Para tanto, serão apresentados dois perfis GPR.

O perfil 13NS (Figura 7a), adquirido na posição $x=13\text{m}$, mostra fortes refletores inclinados até cerca de 50ns . Já o perfil 42NS (Figura 7b), adquirido na posição de 42m , e realizado sobre a zona anômala AA, mostra uma atenuação da onda do radar por volta da posição de 9 a 22m e abaixo de 1m de profundidade (25ns). Esta atenuação é confirmada com a ausência de reflexão nesta região.

Conclusões Preliminares

A integração de resultados preliminares de condutividade elétrica aparente, obtidas com o EM38, com os dados de GPR confirmam uma zona mais condutora na parte sudeste do SCGR do IAG/USP, apresentando uma boa concordância.

Nos resultados obtidos não foram identificadas interferências urbanas enterradas, por exemplo, tubulações e galerias de águas pluviais, e nem interferências situadas na superfície.

Esses resultados serão fundamentais para a reconstrução do *background* do terreno “antes” da instalação dos alvos em subsuperfície, e servem de estímulo para a continuidade das pesquisas.

Referências Bibliográficas

Borges, W.R., 2002. Investigações geofísicas na borda da bacia sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e Eletroresistividade. Dissertação de Mestrado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG-USP, 153p.

Borges, W.R., 2003. Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano e meio ambiente: estudo sobre o sítio controlado do IAG/USP. Projeto de Pesquisa de Doutorado, Departamento de Geofísica do IAG-USP. Processo FAPESP No. 02/07510-0, São Paulo - SP.

Geonics, 1999. EM38. Ground conductivity meter. Operating manual. Geonics Ltd, Mississauga, Ont., Canadá, 27p.

Grandjean, G., Gourry, J.C. & Bitri, A., 2000. Evaluation of GPR techniques for civil-engineering applications: study on a test site. *Journal of Applied Geophysics*, Elsevier, 45, 141-156.

Mendonça, C.A. 2003. Introdução ao estudo de sítios arqueológicos usando métodos geofísicos. Apostila de curso. V Escola de Verão de Geofísica do IAG-USP, Fevereiro de 2003, São Paulo.

Porsani, J.L., 2002. Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano, meio ambiente e arqueologia: estudo sobre o sítio controlado do IAG/USP. Projeto de Auxílio à Pesquisa. Processo FAPESP No. 02/07509-1, São Paulo - SP.

Sauk, W.A., 2002. Controlled Site for Shallow Geophysics. Institute for Water Sciences. Department of Geosciences. Western Michigan University. Disponível em: <<http://www.geology.wmich.edu/fhydro/Gptest1.htm>> acessado em 20/04/2002.

Sudduth, K.A., Drummond, S.T. & Kitchen, N.R., 2001. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, 31, 239 – 264.

Agradecimentos

Ao Departamento de Geofísica do IAG pela oportunidade de realizar esta pesquisa. À Fapesp pela concessão da bolsa de doutorado (Processo no. 02/07510-0). Aos professores Dr. Francisco Hiodo e Dr. Carlos Alberto Mendonça pelas proveitosas discussões acadêmicas. Às mestrandas Selma Isabel Rodrigues e Elizete M. Araújo da Silva pelo auxílio na aquisição dos dados GPR e ao graduando em geofísica Gilmar Rodrigues do Carmo pela ajuda na aquisição dos dados com o EM38.

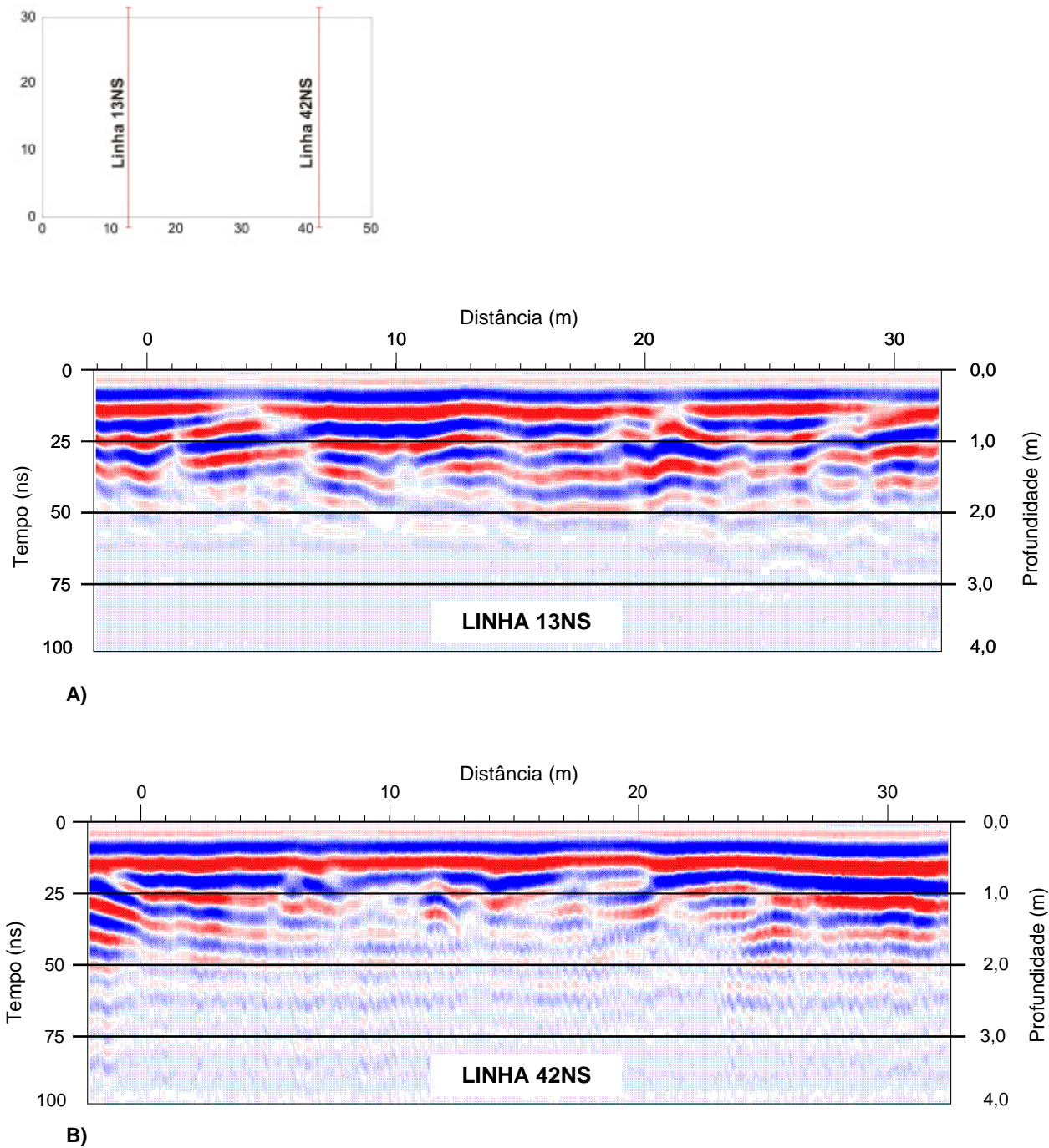


Figura 7. Perfis GPR obtidos dentro do sítio controlado do IAG/USP. A) Linha 13NS realizada na posição 13 e mostrando um comportamento homogêneo do subsolo. B) Linha 42NS realizada na posição 42, mostrando uma zona de baixa reflexão entre 8 e 24m do perfil, correspondente a um nível de material mais condutivo (argila).