

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

**OTIMIZAÇÃO DE PERFIS DE REFLEXÃO GPR SOBRE MANILHAS
DE CONCRETO E TUBULAÇÕES DE PVC INSTALADAS NO SÍTIO
CONTROLADO DE GEOFÍSICA RASA DO IAG/USP**

ROBSON SANTOS LIMA

São Paulo
2006

ROBSON S. LIMA

Otimização de perfis de reflexão gpr sobre manilhas de concreto e tubulações de pvc instaladas no Sítio controlado de geofísica rasa do IAG/USP

Dissertação apresentada ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Porsani

São Paulo
2006

AGRADECIMENTOS

À Deus por me proporcionar saúde e disposição, dia após dia, para que pudesse levar a pesquisa em bons termos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do IAG/USP, pela oportunidade, estrutura e convívio durante esse período de aprendizagem;

Ao Professor Dr. Jorge Luís Porsani, pela orientação, sugestões e críticas oferecidas no decorrer dessa experiência acadêmica;

Ao relator, Professor Dr. Vagner Roberto Elis, pelo acompanhamento dos relatórios de pós graduação;

À CAPES, pela bolsa de estudos, a qual foi de grande importância para o meu sustento;

Aos companheiros da geofísica, Ernande (técnico da geofísica), Cláudia, Marcus Vinícius, Welitom, Vinícius e outros que me ajudaram de maneira essencial nos vários trabalhos de campo e discussões, onde os frutos são agora apresentados nessa pesquisa;

Aos meus pais, Maria e Acebias e irmãs, Tati e Juli pelo apoio, compreensão e ajuda em todos os momentos da minha vida;

À minha...namorada, Nádia Helena Bueno...Lima, pelo amor incondicional, apoio e compreensão em todos os momentos, entendendo minhas ausências, meus anseios e angústias. A ti digo, tu és a minha fortaleza, meu porto seguro onde encontro, refúgio e paz.

Aos novos amigos que aqui formei e que levarei muitas recordações, Alexandre Lopes, Gelvam, Dionísio (Tonho), Oleg, Marcelo Rocha, Ivan, Welitom (Boca aberta), Cláudia, Selma, Danilo, Eduardo, Ahmed, Emilson, Francisca, Deborah, Alana, Daniele, Lucieth, Manuele, Andrea foi um prazer conhecê-los e muito obrigado pelo convívio;

Aos momentos de descontração vividos nos bandejões e às refeições saborosas neles servidos;

Às secretárias da pós-graduação e do Depto. de Geofísica pelos apoios recebidos;

Enfim, à todos aqueles que direta ou indiretamente nos apoiaram e que contribuíram para que eu cumprisse essa importante etapa.

RESUMO

LIMA, R. S., 2006. **Otimização de Perfis de Reflexão GPR sobre manilhas de concreto e tubulações de PVC instalados no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG-USP. Dissertação de Mestrado, IAG-USP, São Paulo. 130p.**

Nesta pesquisa são apresentados resultados de perfis de reflexão GPR realizados sobre duas linhas instaladas no campo de provas do IAG-USP ou Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG-USP, visando à obtenção de parâmetros ótimos de campo para melhorar a caracterização de interferências normalmente encontradas no ambiente de grandes centros urbanos. Uma linha de estudos é caracterizada por manilhas de concreto vazias de diferentes diâmetros e a outra é caracterizada por tubulações de PVC com 4" de diâmetro (vazias, cheias e semi preenchidas por água de torneira), ambas instaladas em várias profundidades. Vários parâmetros de campo foram testados, tais como, modos de aquisição dos dados passo a passo e contínuo, frequências de 100 MHz e 200 MHz, arranjos de antenas Ey-Ey e Ex-Ex, *stacks* iguais a 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 e 512 e espaçamentos entre traços de 0,2 m, 0,1 m e 0,05 m. Após os testes destes parâmetros foram estabelecidos fluxogramas de processamentos para o conjunto de dados com iguais frequências e arranjos de antenas, evitando assim, que o processamento influenciasse as características dos parâmetros usados no campo. Estudos de modelagens numéricas bidimensionais para as duas linhas foram realizados, através do método das diferenças finitas no domínio do tempo-FDTD, onde foram obtidos padrões de refletores típicos para cada tipo de alvo e estes permitiram dar maior confiabilidade na interpretação dos dados. A análise dos perfis de reflexão permitiu definir os melhores parâmetros de campo para a identificação das interferências instaladas nas duas linhas de estudos. Na linha de manilhas de concreto os parâmetros que proporcionaram imagens com melhor qualidade foram: aquisição dos dados no modo passo a passo, frequência de 100 MHz, arranjo de antenas Ex-Ex, espaçamento entre traços de 0,2 m e *stack* de 512, onde este último proporcionou melhor identificação das manilhas menores, localizadas a maiores profundidades. Por outro lado, na linha de tubulações de pvc os parâmetros de aquisição que possibilitaram a detecção de mais alvos e com melhor resolução foram: aquisição dos dados no modo contínuo, frequência de 200 MHz, arranjo de antenas Ey-Ey, espaçamento entre traços de 0,05 m e *stack* de 32. Nesta linha, somente os alvos mais rasos instalados até 1m de profundidade apresentaram uma boa correlação com os resultados da modelagem, devido à elevada atenuação da onda eletromagnética no meio. Para os resultados apresentados nas duas linhas de estudos, fica claro que o bom imageamento dos alvos depende de uma combinação de fatores, como, frequência e arranjo das antenas, disposição, geometria, profundidade e composição dos alvos, espaçamento entre os traços e *stack*. Os resultados desta pesquisa apresentaram uma boa concordância com os resultados das modelagens numéricas e estão de acordo com os resultados publicados na literatura, podendo ser utilizados como referência para futuros trabalhos onde não se têm informações da subsuperfície.

Palavras-chave: GPR, Ground Penetrating Radar, modelagem numérica bidimensional, Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG-USP, SCGR, manilhas de concreto, tubulações de pvc, polarização de antenas.

ABSTRACT

LIMA, R. S., 2006. **GPR reflection profile optimization on concrete tubes and PVC pipes buried on the Controlled Test Site of Shallow Geophysics of IAG-USP. 130p.**

In this research are presented results of GPR reflection profiles of two lines constructed on the test site of IAG-USP or Controlled Test Site of Shallow Geophysics of IAG-USP, aiming at the optimization of the field parameters for the advanced characterization of interferences found in big urban cities environment. One line is characterized by empty concrete tubes of different diameters and the other is characterized by PVC pipe of 4" diameter (the pipes are empty, completely filled and partially filled with water), both installed in various depths. Many field parameters were tested, such as, step by step mode and continuous mode acquisition, 100 MHz and 200 MHz frequencies, antennas configuration of Ey -Ey and Ex-Ex, stacks of 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 and 512 and trace of 0,2 m, 0,1 m and 0,05 m. After testing these parameters, processing steps were established for the data set with the same frequency and antenna configuration, avoiding the influence of the processing on the field parameters. Two dimensional numerical modeling studies were made for the two lines, using the Finite Difference Time Domain method – FDTD, where patterns of typical reflectors were obtained for each type of target and these patterns allowed de data interpretation confidence to be enhanced. The reflection profile analysis implied the definition of the best field parameters used to identify the interferences installed on both studies lines. On the concrete tubes the parameters provided best quality images were: step by step data acquisition, 100 MHz frequency, Ex-Ex antenna configuration, 0,2m trace spacing e 512 stack, while the last provided best recognition of the smaller tubes, localized at higher depths. On the PVC piping, on the other side, the acquisitions parameters that improved the detection of more targets a best resolutions were: continuous data acquisition, 200 MHz frequency, Ey-Ey antenna configuration, 0,05 trace spacing and 32 stack. On this line, only the shallower targets, buried up to the depth of 1 m presented good correlation with the modeling, due to the high attenuation of the electromagnetic field by the medium. For the presented results on both lines, it is clear that the good imaging of targets depends on parameters matching, like frequency and antenna configuration, arrangement, geometric arrangement, target composition and depth, trace spacing and stack. The results of this research showed good agreement with the numerical modeling results and with the literature, can be used like reference to future survey where none informations of subsurface is available.

Key-words: GPR, Ground Penetrating Radar, 2D numerical modeling, Controlled Test Site of Shallow Geophysics of IAG USP, SCGR, concrete tubes, pvc pipes, antennas polarization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Mapa de localização do SCGR no campus da USP em São Paulo.....	17
Figura 2.2 – Área onde o SCGR do IAG está instalado.....	18
Figura 2.3 - Disposição dos alvos no SCGR IAG/USP.....	20
Figura 2.4 – Tubo de pvc implantado na linha de tubulação hidráulica.....	21
Figura 2.5– Disposição dos tubos de PVC instalados no SCGR do IAG/USP e o cano metálico guia.....	22
Figura 2.6 – Instalação da manilha de concreto “N” no SCGR do IAG/USP.....	23
Figura 2.7 – Disposição das manilhas de concreto no SCGR do IAG/USP.....	23
Figura 3.1 – Arranjos de antenas (adaptado de Annan, 1992).....	42
Figura 3.2 – Arranjos de antenas (adaptado de Radzevicius, 2001 e outros).....	42
Figura 3.3 – Arranjo de antenas utilizado nas aquisições de campo.....	43
Figura 3.4 - Padrões de radiação TE (Ey-Ey) e TM (Ex-Ex) (adaptada de Annan, 1992).....	44
Figura 4.1 – Gráfico para definição genérica de derivada central de um ponto para uma função $f(x)$ em um ponto P qualquer.....	46
Figura 4.2 – Malha geométrica implementada no software Reflexw, conhecida como célula bidimensional de Yee.....	47
Figura 4.3 - Modelo GPR 2D dos alvos instalados na linha de tubos de PVC.....	52
Figura 4.4 - Modelagem da linha de tubos de pvc utilizando arranjo de antenas Ey-Ey, espaçamento entre traços de 0,2m e frequência de 100MHz.....	53
Figura 4.5 - Modelagem com arranjo antenas Ey-Ey, espaçamento entre traços de 0,1m e frequência de 100 MHz.....	54
Figura 4.6 - Modelagem com arranjo de antenas Ey-Ey, espaçamento entre traços de 0,01m e frequência de 100 MHz.....	55
Figura 4.7 - Modelagem com arranjo de antenas Ex-Ex, espaçamento entre traços de 0,01m e frequência de 100 MHz.....	56
Figura 4.8 - Modelagem com arranjo de antenas Ey-Ey, espaçamento entre traços de 0,01m e frequência de 200 MHz.....	57
Figura 4.9 - Modelagem com arranjo de antenas no modo Ex-Ex, espaçamento entre traços de 0,01m e frequência de 200 MHz.....	58
Figura 4.10 – Modelo de entrada dos alvos para a simulação numérica da linha de manilhas de concreto.....	60

Figura 4.11 - Modelagem com arranjo de antenas Ey-Ey, espaçamento entre traços de 0,01m e frequência de 100 MHz.....	60
Figura 4.12 - Modelagem com arranjo de antenas Ex-Ex, espaçamento entre traços de 0,01m e frequência de 100 MHz.....	61
Figura 4.13 - Modelagem com arranjo de antenas Ey-Ey, espaçamento entre traços de 0,01m e frequência de 200 MHz.....	62
Figura 4.14 - Modelagem com arranjo de antenas Ex-Ex, espaçamento entre traços de 0,01m e frequência de 200 MHz.....	62
Figura 5.1 – Aquisições de campo passo a passo. a) arranjo Ey-Ey com antena de 100MHz, b) arranjo Ex-Ex com antena de 100MHz e c) arranjo Ey-Ey com antena de 200 MHz.....	65
Figura 5.2 – Aquisições de campo no modo contínuo, a) arranjo Ey-Ey com antena de 100MHz, b) arranjo Ey-Ey com antena de 200MHz.....	66
Figura 5.3 – Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ey-Ey, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços de 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	69
Figura 5.4 – Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ey-Ey, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços de 0,2m. a) stack 64, b) stack 128, c) stack 256 e d) stack 512.....	70
Figura 5.5 – Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	73
Figura 5.6 – Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços igual a 0,1m. a) Stack 4, b) Stack 8, c) Stack 16 e d) Stack 32.....	74
Figura 5.7 - Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços igual a 0,05m. a) Stack 4, b) Stack 8, c) Stack 16 e d) Stack 32.....	75
Figura 5.8 – Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ey-Ey, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços de 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d)stack 32.....	78
Figura 5.9 – Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ey-Ey, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços de 0,2m. a) stack 64, b) stack 128, c) stack 256 e d) stack 512.....	79

Figura 5.10 – Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	81
Figura 5.11 – Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços igual a 0,1m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	82
Figura 5.12 – Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços igual a 0,05m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	83
Figura 5.13 - Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ex-Ex, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	85
Figura 5.14 - Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ex-Ex, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 64, b) stack 128, c) stack 256 e d) stack 512.....	86
Figura 5.15 - Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ex-Ex, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	88
Figura 5.16 - Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ex-Ex, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 64, b) stack 128, c) stack 256 e d) stack 512.....	89
Figura 5.17 – Banda de espalhamento em função do ângulo espalhado para arranjo Ey-Ey. (Modificada de Radzevicius; Daniels, 2000).....	93
Figura 5.18 – Gráfico da banda de espalhamento em função do ângulo espalhado para o arranjo Ex-Ex. (Modificada de Radzevicius e Daniels, 2000).....	94
Figura 5.19 - Gráfico da banda de espalhamento em função da relação r/λ . (Modificada de Radzevicius, 2000).....	96
Figura 5.20 – Espectro de amplitude de um traço GPR referente ao topo do refletor da manilha N de frequência 100MHz para o arranjo Ey-Ey.....	96
Figura 5.21 - Espectro de amplitude de um traço GPR referente ao topo do refletor da manilha N de frequência 100MHz para o arranjo Ex-Ex.....	97
Figura 5.22 - Espectro de amplitude de um traço GPR referente ao topo do refletor da manilha Q de frequência 100MHz para o arranjo Ey-Ey.....	97

Figura 5.23 - Espectro de amplitude de um traço GPR referente ao topo do refletor da manilha Q de frequência 100MHz para o arranjo Ex-Ex.....	98
Figura 5.24 - Espectro de amplitude de um traço GPR referente ao topo do refletor da manilha Z de frequência 100MHz para o arranjo Ey-Ey.....	99
Figura 5.25 - Espectro de amplitude de um traço GPR referente ao topo do refletor da manilha Z de frequência 100MHz para o arranjo Ex-Ex.....	99
Figura 5.26 – Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ey-Ey, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços de 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	102
Figura 5.27 – Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ey-Ey, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços de 0,2m. a) stack 64, b) stack 128, c) stack 256 e d) stack 512.....	103
Figura 5.28 – Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	105
Figura 5.29 – Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços igual a 0,1m. a) Stack 4, b) Stack 8, c) Stack 16 e d) Stack 32.....	107
Figura 5.30 - Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços igual a 0,05m. a) Stack 4, b) Stack 8, c) Stack 16 e d) Stack 32.....	108
Figura 5.31 – Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ey-Ey, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços de 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	110
Figura 5.32 – Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ey-Ey, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços de 0,2m. a) stack 64, b) stack 128, c) stack 256 e d) stack 512.....	111
Figura 5.33 – Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack.....	113
Figura 5.34 – Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços igual a 0,1m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	114

Figura 5.35 – Aquisições realizadas no modo contínuo, arranjo Ey-Ey, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços igual a 0,05m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	115
Figura 5.36 - Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ex-Ex, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	117
Figura 5.37 - Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ex-Ex, frequência de 100MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 64, b) stack 128, c) stack 256 e d) stack 512.....	118
Figura 5.38 - Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ex-Ex, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 4, b) stack 8, c) stack 16 e d) stack 32.....	119
Figura 5.39 - Aquisições realizadas no modo passo a passo, arranjo Ex-Ex, frequência de 200MHz e espaçamento entre traços igual a 0,2m. a) stack 64, b) stack 128, c) stack 256 e d) stack 512.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Posicionamento e profundidades reais dos alvos da linha de tubos de pvc.....	24
Tabela 2.2 – Posicionamento e profundidades reais dos alvos da linha de manilhas de concreto.....	25
Tabela 3.1 –Valores de permissividade dielétrica (ϵ), condutividade elétrica (σ), velocidade de propagação (v) e constante de atenuação (α), determinados em materiais comuns para as frequências mais utilizadas no GPR (DANIELS, 1996).....	38
Tabela 4.1 – Propriedades físicas dos materiais que constituem a linha de tubos de pvc.....	50
Tabela 4.2 –Propriedades físicas dos materiais que compõem a linha de manilhas de concreto.....	50
Tabela 4.3 –Dimensões dos alvos instalados nas linhas de tubos de pvc e manilhas de concreto.....	51
Tabela 5.1-Valores médios de permissividade dielétrica (ϵ), comprimento de onda (λ) e velocidade (m/ns).....	68
Tabela 5.2 – Valores de diâmetro d e da relação r/λ , para as três diferentes manilhas de concreto, frequências de 100MHz e 200MHz e razão da constante dielétrica ϵ (cilindro/solo).....	92

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	13
CAPÍTULO 2	16
ÁREA DE ESTUDOS – O SCGR.....	16
2.1. A proposta do Sítio Controlado de Geofísica Rasa – SCGR.....	16
2.2. Caracterização geológica local.....	18
2.3. Descrição dos alvos estudados.....	19
CAPÍTULO 3	26
O MÉTODO GPR – Ground Penetrating Radar.....	26
3.1. Introdução.....	26
3.2. Histórico.....	27
3.3. Princípios Físicos.....	28
3.4. Polarização.....	40
CAPÍTULO 4	45
MODELAGENS NUMÉRICAS GPR 2D.....	45
4.1. O método FDTD e características do software Reflexw.....	45
4.2. Resultados das modelagens.....	51
4.2.1. Linha de tubos de pvc.....	51
4.2.2. Linha de manilhas de concreto.....	59
CAPÍTULO 5	64
AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	64
5.1. Aquisição dos dados.....	64
5.2. Processamento dos dados.....	66
5.3. Interpretação dos resultados.....	68
5.3.1. Linha de manilhas de concreto.....	68
5.3.2. Linha de tubulação de pvc.....	101
CAPÍTULO 6	122
CONCLUSÕES.....	122
REFERÊNCIAS.....	127