



## GPR – Processamento e Modelagem

Carla Patrícia Queiroz Furtado\*, CPGf/UFGA, INCT-GP  
Danusa Mayara de Souza, CPGf/UFGA  
Marcos Welby Correa Silva, CPGf/UFGA, INCT-GP  
Welitom Rodrigues Borges, IG/UNB

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Resumo

Neste trabalho realizou-se o processamento, interpretação e a modelagem de um perfil de *Ground Penetrating Radar* (GPR) obtido em Cariacica/ES, Brasil utilizando o *software* REFLEXW 4.5. Os objetivos deste estudo foram apresentar as etapas do processamento de dados GPR, realizar uma interpretação com base nas características de reflexão nas interfaces das estruturas geo-elétricas e demonstrar o desempenho deste *software* na modelagem de dados de GPR. O resultado deste estudo está em concordância tanto com os dados obtidos em campo como aqueles publicados na literatura.

### Introdução

O estudo realizado neste trabalho consistiu-se de modelagem e de processamento de dados reais de GPR obtidos em Cariacica/ES, cuja finalidade é apresentar as principais etapas de processamento, identificando as suas necessidades de aplicação e demonstrando o uso do *software* Reflexw versão 4.5 na modelagem de dados.

Este trabalho apresenta dois experimentos construídos com o módulo de Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (FDTD) do REFLEXW. O primeiro experimento caracteriza-se pelo uso da fonte “refletor explosivo” e o segundo pela aplicação da fonte “onda plana”, ambas fontes de energia eletromagnética.

### Método GPR

O método GPR destaca-se dos demais métodos de investigação geofísica por apresentar uma elevada resolução (de alguns centímetros a dezenas de metros), promovendo um bom imageamento do subsolo, ao ser capaz de caracterizar, localizar e mapear estruturas e feições geológicas de forma eficiente. Além disso, fornece a possibilidade de aquisição de um grande volume de dados em um curto período de tempo e ser não invasivo e não destrutivo (DAVIS; ANNAN, 1989).

### Processamento de dados GPR

O processamento de dados consiste no conjunto de técnicas de tratamentos de sinais aplicados aos dados digitalizados, com o objetivo de torná-los adequados à

interpretação visual, produzindo seções mais nítidas e com melhor resolução temporal das camadas em subsuperfície.

Os dados aqui processados foram adquiridos pelo equipamento GPR SIR 3000 produzido pela Geophysical Survey Systems, Inc – GSSI, em um levantamento realizado pela empresa Geopesquisa Investigações Geológicas S/C, no bairro Alice Coutinho situado a noroeste da região metropolitana do Município de Cariacica/ES.

### - Etapas do processamento

Neste trabalho utilizou-se o *software* REFLEXW versão 4.5, licenciado para a Universidade Federal do Pará (UFGA). As etapas adotadas no processamento foram:

- Edição de dados:** possibilita modificar parâmetros de aquisição de campo, como por exemplo: tamanho do perfil, amostras por traço, janela temporal, espaçamentos entre os traços e assim por diante (SANDMEIER, 2008). Nesta primeira etapa escolhe-se ainda como serão apresentados os radargramas. Escolheu-se o modo *Color coding*, o qual refere-se à aplicação de uma escala de cores.
- Correção Estática ou Set Time Zero:** elimina o efeito da onda direita e realiza a correção do tempo zero. Este passo do processamento é aplicado a fim de realizar o ajuste do tempo-nulo com a profundidade nula e corrigir a topografia do terreno. Fato que permite determinar a localização de alvos e estruturas em subsuperfície, devido o ajuste dos valores de tempo duplo (LIMA, 2006).
- Subtract-mean (Dewow):** remove as componentes de baixa frequência do sinal (*dewow*), as quais são causadas pela indução eletromagnética. O filtro *Dewow* pode ser aplicado para eliminar ruídos eletrônicos e estáticos inerentes ao sistema.
- Filtro Fk:** atenua ruídos de refletores inclinados (reverberações) e enfatiza mergulhos procurados. Entretanto, o uso do filtro Fk acarreta no aumento do ruído de alta frequência, fato que ocasiona o cruzamento de refletores com a frequência mais elevada.
- Background Removal:** este filtro (passa alta) remove as reverberações, das antenas, de baixa frequência e realça os refletores pontuais e os inclinados.

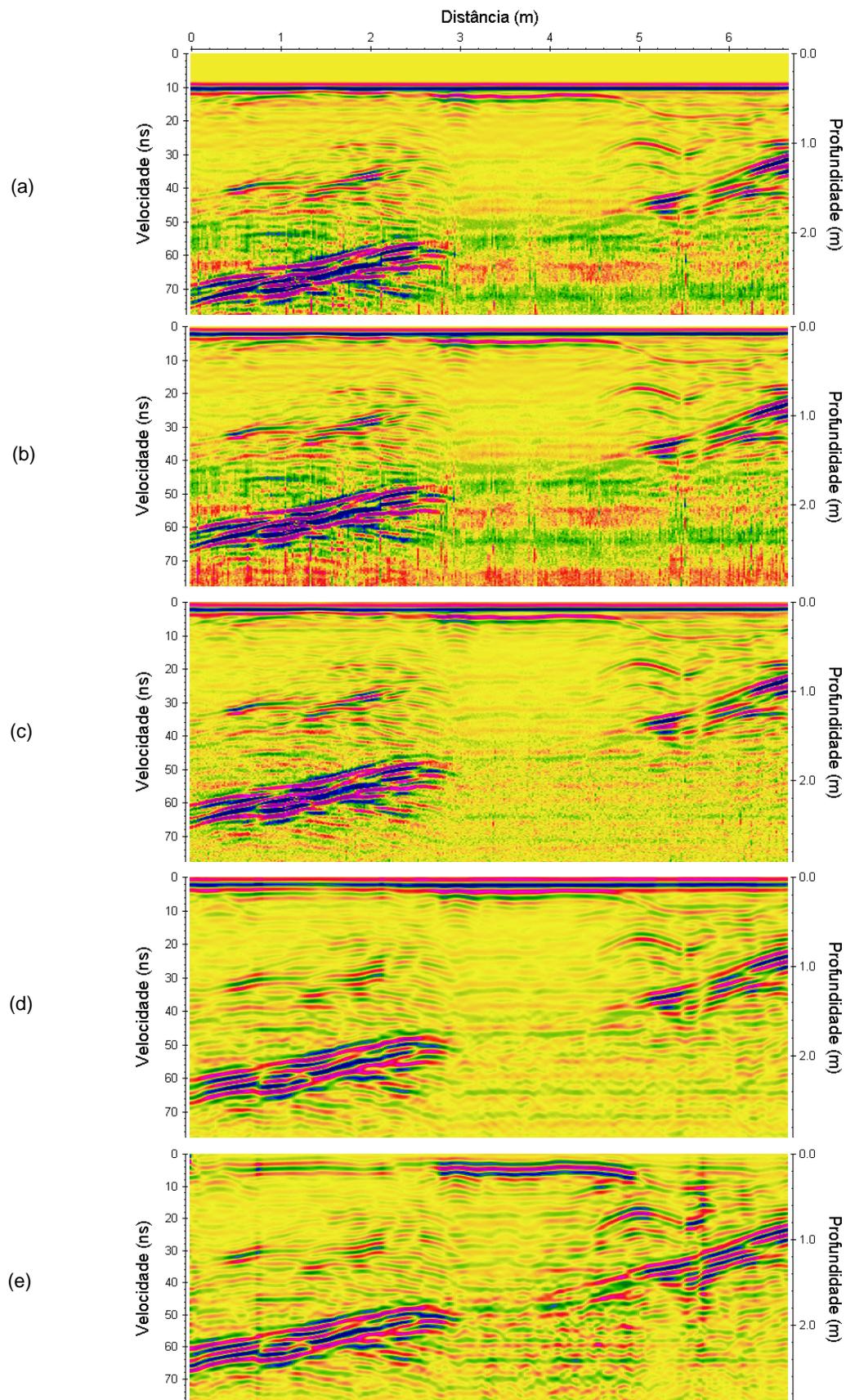


Figura 1 - Etapas do processamento do perfil de GPR (Cariacica/ES): (a) Dado Bruto, (b) Static correction, (c) Dewow, (d) Fk filter e (e) Background removal.

## Interpretação

A identificação de fácies, estratigrafias ou seqüência de camadas segue um conjunto de técnicas de interpretação. A metodologia adotada para esta interpretação distingue unidades litológicas ou outras estruturas de acordo com os parâmetros apresentados pelas reflexões. Cada reflexão caracteriza parâmetros diferentes e assim unidades litológicas diferentes. Desse modo, as litologias e as descontinuidades são representadas por variações na morfologia e no padrão das reflexões do radargrama, em que as variações na litologia representam alterações nos padrões dos refletores, de acordo com o contraste da permissividade elétrica e da condutividade elétrica (MØLLER, 2006; XAVIER NETO, 2006).

Através da análise dos perfis de GPR identificamos três tipos básicos de padrões das reflexões, são eles:

- **Incoerente, “Quebrado” ou Caótico:** esse padrão está associado a materiais não consolidados ou desagregados.

- **Laminado ou Coerente:** padrão associado a refletores horizontais contínuos. Refere-se às estruturas acamadas horizontais ou sub-horizontais e aos materiais compactados

- **Hipérboles de Difrações, Feições de “Alargamento” Sigmoidal ou Elíptico:** padrão característico de descontinuidades geológicas (falhas, fraturas e estruturas de dissolução intra-acamamento) ou objetos soterrados.

Durante a interpretação das seções deve-se atentar ainda aos deslocamentos e as interrupções abruptas dos refletores, as quais estão associadas à presença de falhas e fraturas. As reflexões produzidas por objetos, 2D e 3D (dutos, tanques, galerias, entre outros) enterrados, apresentam feições hiperbólicas “fechadas” na seção de GPR. Enquanto que objetos na superfície (edificações, árvores, torres de alta tensão, postes, entre outros) são caracterizados por hipérboles “abertas” (BORGES, 2007).

Para a interpretação foram obtidas informações *a priori* sobre a geologia e características peculiares presentes no perfil, tal como a fonte da hipérbole, as quais auxiliaram na interpretação dos dados.

Na Figura 1 (a), podemos observar um refletor inclinado relacionado ao corpo granítico, que se estende ao longo de todo perfil. Notamos, ainda, uma zona de atenuação situada aproximadamente no centro do radargrama, ocasionada por uma maior concentração de argila (material de elevada condutividade elétrica) e outras estruturas pedológicas menores que constituem o meio silte-arenoso seco. Além disso, a presença de uma hipérbole “fechada” caracteriza uma tubulação de PVC (Policloreto de Vinila).

O processamento do dado possibilitou uma melhor visualização do corpo granítico e das estruturas pedológicas mais evidentes, além da zona de atenuação decorrente da presença da lente de argila, ressaltada no topo da seção (Figura 1(e)).

## Modelagem

A modelagem de dados de GPR é uma valiosa ferramenta na corroboração da interpretação dos radargramas. A construção de um modelo busca simular as respostas dos dados reais, a fim de prever os possíveis resultados de um futuro levantamento ou na determinação dos parâmetros ótimos para a aquisição. Para tanto, torna-se necessário definir os parâmetros a serem utilizados e o tipo de modelagem a ser aplicado.

Neste trabalho, utilizou-se o módulo de diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD) do REFLEXW para realizar-se a modelagem 2D de dados de GPR, uma vez que, esse consiste no método ideal para modelar espalhamento provocado por heterogeneidades do meio (MERWE *et al.*, 2000).

### - Caracterização da modelagem

Na modelagem de dados tentou-se reproduzir as estruturas observadas no perfil. Desse modo, construímos um modelo geológico no qual são representadas a estrutura geológica (granito), a estrutura pedológica (argila) e o ponto difrator (tubulação), tal como estes se apresentam nas seções processadas. O modelo esquemático adotado constitui-se de duas camadas (meio geológico e granito), uma concentração de argila e uma tubulação hidráulica. As geometrias escolhidas na representação dos componentes do modelo foram adotadas conforme sua similaridade em relação aos dados reais, em que o granito foi representado por uma linha inclinada, a argila por um retângulo e a tubulação por um círculo (Figura 2).

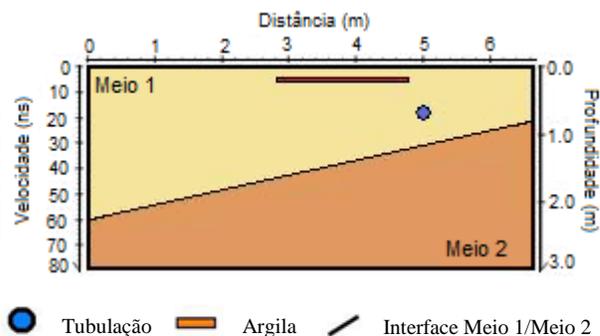


Figura 2 - Modelo geológico.

### - Parâmetros da modelagem

Nesta modelagem foram realizados dois experimentos adotando dois tipos de fontes de energia eletromagnética (onda plana e refletor explosivo). Os experimentos foram construídos com o tamanho de 6,66 m e janela temporal de 80 ns, correspondente a aproximadamente 3 m de profundidade, assumindo uma velocidade de 0,075 m/ns. E o tipo de onda adotada foi a eletromagnética.

Na construção dos experimentos foi realizada a inserção gradativa dos componentes do modelo no meio silte-arenoso, introduzindo suas propriedades físicas (Tabela 1), as quais foram estabelecidas a partir de uma média entre os valores encontrados na literatura. Nos experimentos, as feições geológicas foram dispostas horizontalmente em relação ao perfil, já o único ponto difrator foi disposto perpendicular ao mesmo.

Componentes do modelo	Propriedades Físicas		
	$\epsilon_r$	$\mu$	$\sigma_0$ (S/m)
Solo silte-arenoso	4	1	0,00014
Granito	6	1	0,00001
Argila	5	1	1
Água doce	81	1	0,0005
Tubulação (PVC)	5	1	0

Tabela 1 - Propriedades físicas dos alvos utilizados na construção dos modelos.

As posições do granito e da argila foram estabelecidas de acordo com análise do perfil processado. Já a posição e a profundidade do cano foram determinadas de acordo com os dados disponibilizados pela GeoPesquisa, de modo que a dimensão da tubulação de 100 mm foi confirmada através de informações do contratante da empresa e a profundidade conferida a partir de observações diretas em campo (furo). Em que o cano está na posição de 5 m em relação ao eixo x e a 1,3 m de profundidade. A argila, por sua vez, foi representada com extensão de 1,5 m de comprimento e espessura de 0,1 m, na profundidade de 0,4 m.

As modelagens foram realizadas simulando o levantamento que foi feito em Cariacica/ES com a antena de 400 MHz e o espaçamento entre as medidas de 0,02 m. O arranjo da antena utilizado foi o sistema monoestático, em que as simulações das reflexões da onda eletromagnética foram realizadas no eixo EY-EY. No eixo EY-EY as antenas são posicionadas paralelamente entre si e perpendicularmente ao caminhar do perfil.

A fonte “onda plana” (experimento 1) possibilita a simulação de uma seção *zero-offset*, a qual é válida apenas para os refletores horizontais, visto que as características de reflexão são equivalentes.

Para realizar a modelagem usando esta fonte, às vezes, é necessário estender lateralmente o modelo adotado, simetricamente, no valor de uma ou mais vezes o tamanho. Através desse procedimento busca-se eliminar o efeito de borda característico dessa fonte.

A fonte “refletor explosivo” (experimento 2) permite simular um perfil GPR 2D *zero-offset*, em que as ondas são geradas simultaneamente a partir do refletor em direção a superfície, etapa equivalente a migração dos dados. Este tipo de fonte apresenta as seguintes vantagens: colapsa a energia da onda difratada para o ápice da hipérbole e não gera efeito de borda no experimento simulado (SANDMEIER, 2008).

Adotamos ainda a absorção linear como a condição de fronteira e o tipo de sinal GPR sendo Kuepper.

## Resultados

### - Onda Plana

O dado sintético 1 obtido a partir desta fonte exibiu o refletor bastante suavizado, ao contrário da lente de argila, a qual foi melhor delimitada. Notamos ainda que houve um aumento na “abertura” da hipérbole do cano e que esta mostra-se claramente suavizada (Figura 3).

As difrações de borda, comumente, geradas com essa fonte mostraram-se suaves no modelo, uma vez que, foram aplicados procedimentos durante a modelagem afim de evitá-los, como descrito anteriormente.

### - Refletor Explosivo

Como resultado da modelagem utilizando esta fonte, obteve-se o dado sintético 2 com as características similares ao perfil original. Nele podemos observar que a argila provocou uma forte atenuação na reflexão que representa o corpo granítico, o qual se mostrou bastante evidente ao longo de todo perfil. A hipérbole do cano revelou-se forte e com reverberação. O dado sintético apresentou pouca incidência de difrações de borda, além de difrações resultantes dos cantos da forma escolhida para representar a argila no modelo (Figura 4).

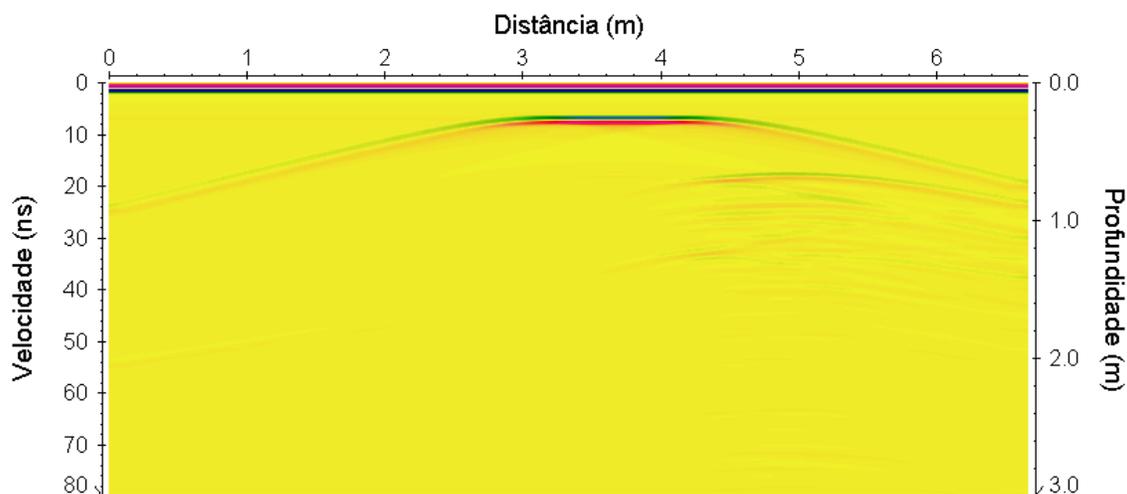


Figura 3 - Dado sintético 1.

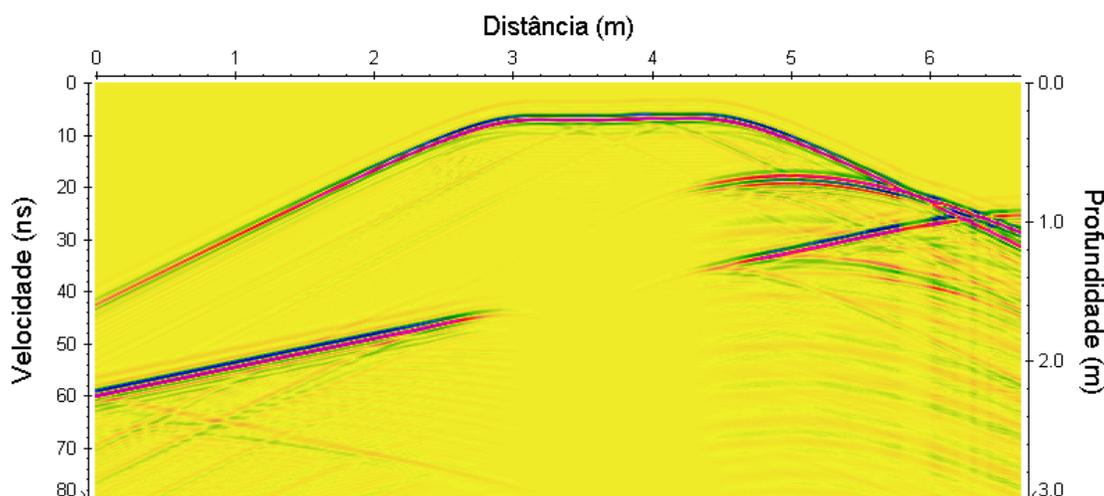


Figura 4 - Dado sintético 2.

### Discussão e Conclusões

A modelagem dos dados muitas das vezes faz-se necessária em virtude das limitações apresentadas pelo método GPR, seja no auxílio na interpretação, na determinação de parâmetros ou na previsão de resultados de futuros levantamentos.

A identificação das estruturas, a partir dos padrões de reflexão nas seções de GPR e posterior construção dos dois experimentos, utilizando dois tipos de fontes de energia eletromagnética, realizadas neste trabalho permitiram efetuar um estudo comparativo dos resultados da modelagem. Em que os resultados obtidos proporcionaram um bom imageamento para a maioria dos alvos, notadamente aqueles com maior contraste dielétrico.

Comparando os dados sintéticos obtidos observamos que o segundo experimento produziu a melhor resposta. Uma vez que, conseguiu simular de forma satisfatória a resposta obtida em campo, enfatizando tanto o refletor horizontal como o inclinado e as reflexões da tubulação. O primeiro experimento, por sua vez, apresentou resultado inferior ao segundo e exibiu uma forte atenuação do refletor inclinado e da reflexão da tubulação.

Através da modelagem realizada neste trabalho observou-se que o uso da fonte refletor explosivo é mais adequado quando se deseja enfatizar refletores inclinados, já o uso da fonte onda plana é mais apropriado no estudo de refletores horizontais.

### Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Geofísica do Petróleo (INCT-GP) pelo suporte financeiro na apresentação deste trabalho.

### Referências

BORGES, W. R. Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicação no planejamento urbano e meio ambiente: estudo sobre o sítio controlado do IAG/USP. 2007. 260f. Tese (Doutorado em Geofísica) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

DAVIS J.L.; ANNAN A.P. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, Vol.37: 531-551, 1989.

LIMA, R. S. Otimização De Perfis De Reflexão GPR Sobre Manilhas De Concreto E Tubulações De PVC Instaladas No Sítio Controlado De Geofísica Rasa Do Iag/Usf. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MERWE, A., V., D; GUPTA, I., J. A Novel signal processing technique for clutter reduction in GPR measurements of small, Shallow Land mines. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, v. 38, n. 6, nov. 2000.

MØLLER, I. Ground Penetrating Radar. In: KIRSCH, R.; RUMPEL, H.-M.; SCHEER, W., WIEDERHOLD, H. (Eds.) *Groundwater resources in buried valleys - a challenge for geosciences*. Hannover: Leibniz Institute for Applied Geosciences, p. 99-106. 2006.

SANDMEIER, K.J. REFLEXW Version 4.5 for Windows 9x/2000/NT/XP. Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. Manual do Software. Karlsruhe, 2008.

XAVIER NETO, P. Processamento e Interpretação de dados 2D e 3D de GPR: Aplicações no Imageamento de Feições Kársticas e Estruturas de Dissolução no Campo de Petróleo de Fazenda Belém- CE. 2006. 192f. Tese (Doutorado em Geofísica)-Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.