



UFRJ

Rodrigo Pereira de Souza Cavalcante

**IDENTIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DE DEPÓSITO FLUVIAL DA
FORMAÇÃO RESENDE, BACIA DE RESENDE – RJ, EM
RADARGRAMA (*GPR*)**

**Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)**

**UFRJ
Rio de Janeiro
2010**



UFRJ

Rodrigo Pereira de Souza Cavalcante

**IDENTIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DE DEPÓSITO FLUVIAL DA
FORMAÇÃO RESENDE, BACIA DE RESENDE – RJ, EM
RADARGRAMA (*GPR*)**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio
de Janeiro – UFRJ, apresentado como
requisito necessário para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientadora:

Dra. Paula Lúcia Ferrucio da Rocha

**Rio de Janeiro
Fevereiro 2010**

CAVALCANTE, Rodrigo, P.; S

Identificação da geometria de depósito fluvial da Formação Resende, Bacia de Resende –RJ, em radargrama (GPR) / Rodrigo Pereira de Souza Cavalcante - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2010.

xii, 40 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2010.

Orientador: Dra. Paula Lúcia Ferrucio

1. Geologia. 2. Geofísica – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Dra. Paula Lúcia Ferrucio. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Título.

Rodrigo Pereira de Souza Cavalcante

**IDENTIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DE DEPÓSITO FLUVIAL DA
FORMAÇÃO RESENDE, BACIA DE RESENDE – RJ, EM
RADARGRAMA (GPR)**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio
de Janeiro – UFRJ, apresentado como
requisito necessário para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientadora:

Dra. Paula Lúcia Ferrucio da Rocha

Aprovada em: 09.Fevereiro.2010

Por:

Orientadora: Dra. Paula Lúcia Ferrucio da Rocha (UFRJ)

Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos (MN -UFRJ)

Dra. Gleide Alencar Nascimento Dias (Universidade Estácio de Sá)

UFRJ
Rio de Janeiro
2010

Agradecimentos

À Professora Dr^a. Paula Ferrucio da Rocha pela orientação e disponibilização dos dados.

A Professora Dr^a. Gleide Alencar Nascimento Dias que me auxiliou durante a monografia dissertação e pelo aprendizado adquirido no decorrer do trabalho.

Ao Professor Dr Renato Rodriguez Cabral Ramos pelas críticas e valiosas sugestões para melhoria do trabalho.

Ao amigo André Pires Negrão por contribuir em parte significativa deste trabalho.

Ao amigo André Moreira de Lima por recuperar minha monografia dos arquivos corrompidos.

A Camilla da Silva Santos, pelo apoio e carinho oferecido todos os dias me ensinando o valor das coisas mais simples da vida e por ser fundamental na finalização desta monografia.

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) que nos permite desenvolver atividades enriquecedoras a nossa vida acadêmica ao GEDAP (Grupo de Estudos de Sistemas Depositionais de Águas Profundas), pelo suporte técnico de materiais utilizados na realização neste trabalho e em especial ao João Paulo Schuh pelo auxílio em programas computacionais.

A todos os professores do Departamento de geologia (IGEO/UFRJ) por compartilhar o conhecimento geológico adquirido em suas carreiras.

Obrigado!

Dedicatória

Aos meus familiares, em especial minha mãe Lygia, minha segunda mãe Letícia, ao meu padrinho Frederico e madrinha Heloisa que me ofereceram oportunidades para concluir esta graduação.

A Dra. Elizabete Pedrão (CENPES/BPA) e ao Geólogo Geraldo Almeida (GEODRILL) que foram fundamentais para o meu desenvolvimento profissional.

Aos colegas e amigos por transformarem a graduação em momentos agradáveis e a todos que de alguma forma contribuíram em minha formação e conquista durante esta graduação.

Resumo

CAVALCANTE, Rodrigo, P.; S. **Identificação da geometria de depósito fluvial da formação Resende, bacia de Resende - RJ em radargrama (GPR)**. Rio de Janeiro, 2010, 39p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

A descrição de estruturas geológicas em subsuperfície, evidenciando modelos de arcabouço estratigráfico, vem sendo obtidas através de métodos geofísicos. Destes métodos o que apresenta melhores resultados em relação as estruturas rasas é o Radar de Penetração no Solo (*GPR*). O *GPR* é um método de alta resolução que consiste na emissão e propagação de pulsos de ondas eletromagnéticas em subsuperfície e atua em altas frequências (100 – 2000 MHz) por meio de antenas, atuando de maneira contínua, rápida, econômica e não gerando impacto ambiental. O objetivo deste trabalho foi verificar o padrão de reflexão das seções radargramas obtido pelo *GPR* através de um gride 3D (tridimensional) com um total de 24 linhas horizontais e 20 linhas verticais em um setor do platô localizado no Jardim das Acácias na região próxima a ponte, na bacia de Resende, no município de Porto Real, no Estado do Rio de Janeiro. Três poços com dados litológicos e raios gama são utilizados para correlação com os radargramas (*GPR*). Com o auxílio do programa de interpretação *Petrel Seismic Interpretation 2007.1.2.*, foi gerada uma superfície, conforme o padrão de reflexão dos radargramas, que pode ser interpretada como o leito de canais fluviais entrelaçados.

Palavras-chave: GPR, Formação Resende, perfil raio gama.

Abstract

CAVALCANTE, Rodrigo, P.; S. **Characterization of Structures in Basin Resende - RJ by Data Penetrating Radar (GPR)**. Rio de Janeiro, 2010, 39p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

The description of subsurface geological structures, showing models of stratigraphic framework, has been obtained through geophysical methods. These methods that the best results for the shallow structures is Ground Penetrating Radar (GPR). The GPR is a high resolution method of emission and propagation of pulses of electromagnetic waves in the subsurface and operates at high frequencies (100 - 2000 MHz) through antennas, operating in a continuous, rapid, economical and provide no environmental impact . The objective of this study was to determine the pattern of reflection sections radargrams obtained by GPR over a grid 3D (three dimensional) with a total of 24 horizontal lines and 20 vertical lines in one sector of the plateau located in the Jardim das Ácacias in the region near the bridge, the Resende basin, in Porto Real, State of Rio de Janeiro. Three wells with lithologic data and gamma rays are used for correlation with the radargrams. With the help of the interpretation Petrel 2007.1.2 Seismic Interpretation. It was found that the surface generated by the pattern of reflection sections radargrams represents the bed of fluvial channels.

Keywords: GPR, Resende Formation, gamma-ray profile.

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da área de estudo.....	3
Figura 2 - Mapa Geológico (adaptado de Santos & Flexor, 2008.....	5
Figura 3 - Esquema proposto para a evolução tectônica do RCSB (Riccomini, 1989).....	5
Figura 4 - Associação tectônica, crono e litoestratigrafica, da Bacia de Resende (adaptado de Ramos, 2003 e Riccomini, 1989).....	7
Figura 5 – Perfil tipo do Membro Acácias, localizado (UTM 0569435/751747, Córrego Alegre) próximo à coleta de dados GPR (adaptado de Ramos, 1997).....	8
Figura 6 - Modelo esquemático de funcionamento de GPR biestático (traduzido de EPA (<i>Environmental Protection Agency</i>)).....	10
Figura 7 - Equações do número de onda (k) e freqüência angular (w).....	11
Figura 8 - Equação da corrente elétrica (J).....	11
Figura 9 - Lei de Snell - Descartes.....	13
Figura 10 - valores para (f) freqüência, (λ) comprimento de onda e relação de intensidade com (T) período e campos (E) elétrico e (Q) magnético no espectro.....	14
Figura 11 - Método de aquisição COS, onde (S) é o afastamento entre as antenas receptora e transmissora, (ϵ) permissividade do meio, sendo ($\epsilon_1 < \epsilon_2$).....	16
Figura 12 - Método de aquisição CMP ($d_1 = d_2$) e WARR ($d_1 \neq d_2$), onde (d) profundidade do alvo, (ϵ) permissividade do meio, sendo ($\epsilon_1 < \epsilon_2$).....	17
Figura 13 - Representação da Técnica de Transiluminação COS.....	18
Figura 14 – Representação do método de Transiluminação Variável	19
Figura 15 - Fluxograma do processamento dos dados GPR, dividido em básico (vermelho) e avançado (azul claro).....	20
Figura 16 - Relação entre litologias típicas e perfil RG (modificado de Rider, 1996).....	24
Figura 17 - Aquisição de dados GPR em campo.....	25

Figura 18 - Geometria de aquisição COS, representando as linhas obtidas através do processamento de dados GPR e localização dos poços (PRG1, PRG2 e PRG3).....	26
Figura 19 - Linha 240 sem processamento.....	27
Figura 20 - Linha 240 com processamento através do programa GRADIX (Interpex,1996) e Vista 2D/3D 4.00.....	27
Figura 21 - Geometria da aquisição COS para o perfil 252 representando as posições das antenas transmissoras e receptoras.....	28
Figura 22 - Correlação de perfis RG (PRG1, PRG2 e PRG3) e litológicos (T1, T2 e T3) (adaptado de ALMADA, 2007).....	29
Figura 23 - Correlação entre as linhas 242 e 299 e o perfil RG do poço PRG1.....	30
Figura 24 - Correlação entre as linhas 253 e 279 e o perfil RG do poço PRG2.....	31
Figura 25 - Correlação entre a linha 274 e o perfil RG do poço PRG3.....	32
Figura 26 - Correlação entre sinais radargrama e o padrão proposto para rios entrelaçados. (Modificado de Van Overmeeren,1998).....	32
Figura 27 - Superfície representativa do paleocanal definido nos perfis radargrama.....	34
Figura 28 - Modelo de planície fluvial de canal entrelaçado.....	35

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores de condutividade elétrica (σ), constante dielétrica (K) e velocidade de propagação (v) (modificado de Davis & Annan, 1989).....12

Tabela 2 - Relação entre frequência das antenas, comprimento de onda, espaçamento máximo entre as estações e separação de antes. Baseado em Annan, (1992).....13

Sumário

Agradecimentos.....	iv
Dedicatória.....	v
Resumo.....	vi
<i>Abstract</i>	vii
Lista de figuras.....	viii
Lista de tabelas.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo.....	2
1.2. Justificativa.....	2
2. ÁREA DE ESTUDO.....	3
2.1. Localização e acesso.....	3
2.2. Geologia Regional.....	4
2.3. Geologia Local.....	7
3. MÉTODO.....	9
3.1. Histórico <i>GPR</i>	9
3.2. Princípios do <i>GPR</i>	10
3.4. Equipamento e Aquisição de Dados <i>GPR</i>	15
3.4.1. Equipamento.....	15
3.4.2. Aquisição de Dados <i>GPR</i>	16
3.4.3. Aquisição em poço.....	17
3.5. Técnicas de Processamento <i>GPR</i>	19
3.5.1. Processamento básico.....	20
3.5.2. Processamento avançado.....	21
3.6 Metodologia do perfil Raio-Gama (RG).....	23

3.7. Equipamento de GPR e Aquisição de Campo.....	24
3.8. Processamento dos dados <i>GPR</i>	25
3.9. Interpretação das seções radargramas correlacionadas com perfis RG e litológico.....	28
4. CONCLUSÃO.....	36
Referências Bibliográficas.....	38
ANEXO A – Levantamento topográfico da área de aquisição de dados GPR, Resende-RJ - Platô do afloramento da “Ponte dos Arcos”.	
ANEXO B – Radargrama das 23 linhas maiores (<i>strikes</i> e <i>dips</i>) e as 23 linhas menores (<i>strikes</i> e <i>dips</i>), sem e com processamento.	
ANEXO C – Diagrama de “fácies de radar” com padrões de reflexão característicos de vários ambientes sedimentares (modificado de Van Overmeeren, 1998).	
ANEXO D – Padrão de reflexão das linhas de <i>GPR</i> (modificado de Van Overmeeren, 1998).	

1. INTRODUÇÃO

Estudos da arquitetura de depósitos sedimentares vêm sendo auxiliados pelo radar de penetração em solo *GPR* (*Ground Penetrating Radar*), um método geofísico que consiste na utilização de ondas eletromagnéticas (EM) em altas frequências na faixa de 10 a 2000 MHz para investigação de subsuperfície. Diversos trabalhos vêm sendo publicados a fim de caracterizar e gerar um modelo de subsuperfície (Ékes & Friele, 2003 e Heinz & Aigner, 2003) para estruturas geológicas.

Neste estudo o *GPR* foi utilizado para verificar a morfologia dos estratos presentes no platô no Jardim das Acácias próximo a ponte, localizado na Rodovia Presidente Dutra, no município de Porto Real, estado do Rio de Janeiro, Brasil.

A área de estudo inserida na bacia sedimentar de Resende, no médio vale do Paraíba do Sul, que faz parte do sistema de bacias sedimentares continentais tafrogênicas do RCSB (Rifte continental do Sudeste do Brasil, Riccomini, 1989). Estas bacias evoluíram supostamente de antigas falhas transcorrentes reativadas durante o desenvolvimento da costa brasileira. O preenchimento sedimentar iniciou durante o Paleógeno (Almeida, 1976) e constituído predominantemente por sedimentos fluviais associados a leques aluviais nas áreas próximas à borda da bacia.

Os resultados obtidos das seções radargramas neste estudo foram correlacionados durante a realização do projeto aos perfis litológicos pré existentes dos testemunhos (T1, T2 e T3) e associados à sondagem de perfis de raios-gama obtidos nos poços (PRG1, PRG2 e PRG3) pré existentes.

Com o auxílio do programa *Petrel Seismic Interpretation*® 2007.1.2, Schlumberger, a correlação de dados e pesquisa bibliográfica foi possível criar uma

superfície que represente uma seção do leito de um paleocanal com o padrão de entrelaçamento.

1.1. Objetivo

O objetivo deste estudo foi verificar o padrão de reflexão da seção radargrama obtido pelo *GPR* correlacionados com dados de poços, gerando um modelo estrutural representado por uma superfície tridimensional - 3D.

1.2. Justificativa

Pesquisas anteriores realizadas por RAMOS (1997, 2003) próximo à área de estudo verificaram a presença de sedimentos característicos de rio entrelaçado. A interpretação dos dados de *GPR* será utilizada para verificar se o padrão de reflexão corresponde à arquitetura do depósito sedimentar mencionado.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização e acesso

A área em estudo está localizada na Bacia de Resende, no sul do estado do Rio de Janeiro, no Jardim das Acácias, num platô próximo a ponte da Rodovia Presidente Dutra com centro nas coordenadas $22^{\circ} 26' 51''$ S e $44^{\circ} 19' 31''$ W, no município de Porto Real, estado do Rio de Janeiro, Brasil (Figura 1). No anexo A é apresentado o mapa topográfico da região no qual foram adquiridos os dados em estudo.

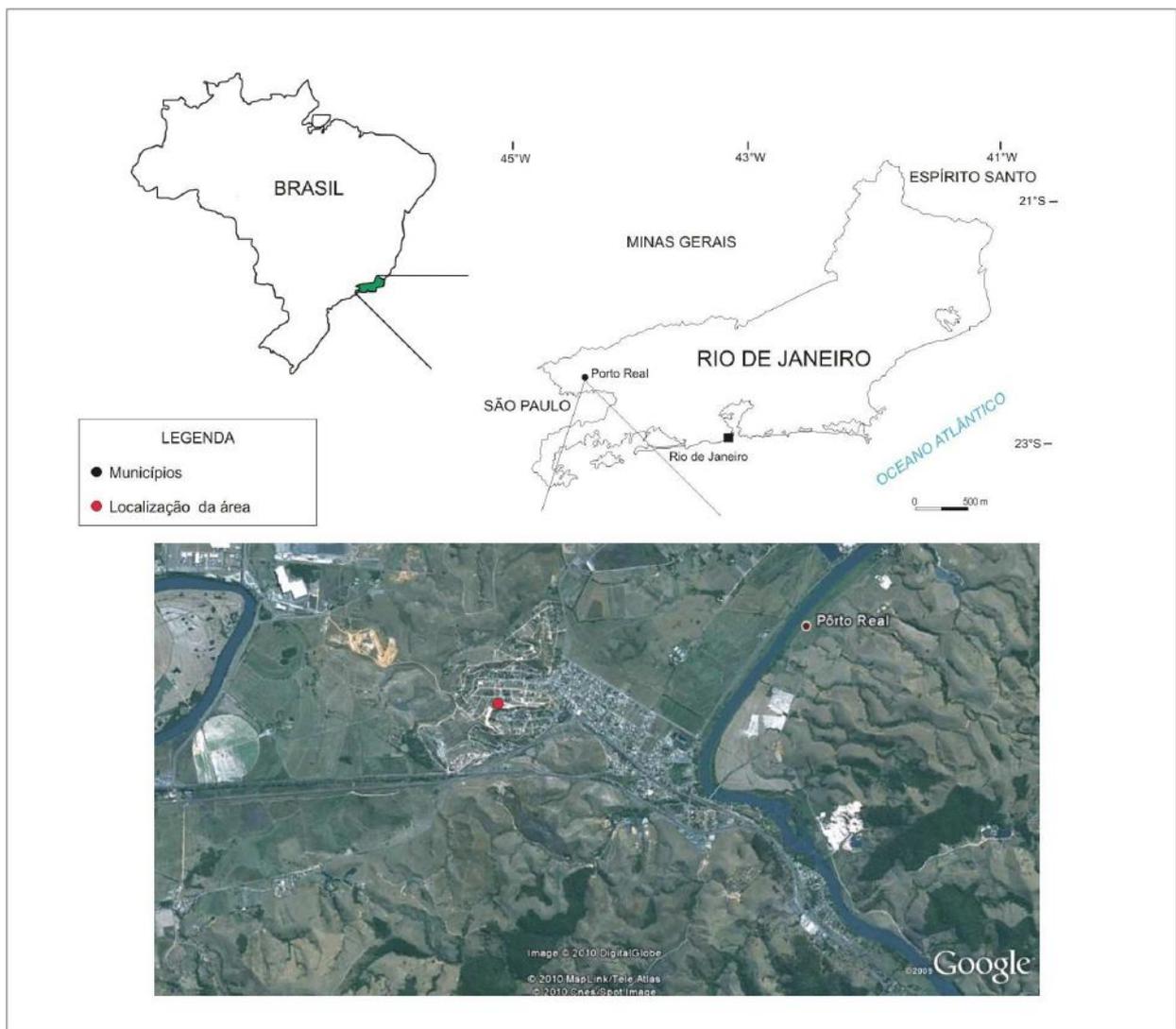


Figura 1 – Localização da área de estudo.

2.2. Geologia Regional

A Bacia de Resende de idade cenozóica está inserida no segmento central do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989), juntamente com as bacias de São Paulo, Taubaté e Volta Redonda (Macedo *et al.*, 1991). O RCSB se estende por aproximadamente 900 km ao longo da faixa litorânea do Sudeste do Brasil, e está limitado entre as cidades de Curitiba (PR) e Barra de São João (RJ).

O embasamento da bacia pertence ao segmento central da Faixa Móvel Ribeira, que compreende o complexo cinturão metamórfico de dobramentos e empurrões gerados durante o Neoproterozóico, na Orogênese Brasileira/Pan-Africana (Heilbron, 1995). É constituído por ortogranulitos (Complexo Juiz de Fora), ortognaisses (Complexo Quirino), granitóides sintectônicos brasileiros e diversos corpos magmáticos associados à quebra do Gondwana com idades variando entre o Mesozóico e o Cenozóico.

A Bacia de Resende, com direção ENE-WSW, possui aproximadamente 47 km de comprimento, largura média de 4,5 km e espessura máxima estimada por levantamento gravimétrico em 550 m (Escobar, 1999). Apresenta aproximadamente 240 km² de rochas sedimentares de idade cenozóica em superfície (Figura 2).

A evolução estrutural desta bacia está relacionada à reativação da Plataforma Sul-Americana, ocorrida há aproximadamente 70 Ma (Almeida, 1976). Esta tectônica pode ser resumida em quatro eventos sucessivos: O primeiro iniciado no Eoceno por regime extensivo de direção NNW-SSE que durou até o Oligoceno, evento associado ao basculamento termomecânico da Bacia de Santos. Outro no início do Neógeno, que estabeleceu a fase tectônica de transcorrência sinistral de direção E-W; durante o Pleistoceno houve inversão no sentido, iniciando a fase tectônica de

transcorrência dextral. Por fim no Holoceno iniciou nova fase extensiva, com direção NW-SE (Riccomini, 1989) (Figura 3).

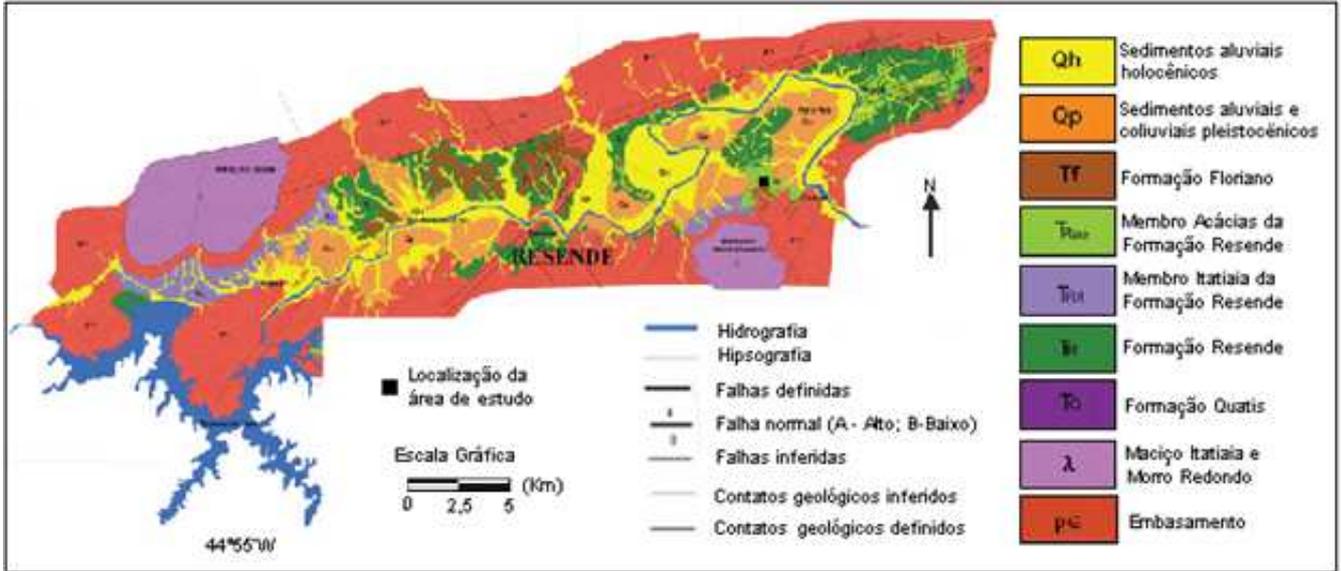


Figura 2 - Mapa Geológico (adaptado de Santos & Flexor, 2008).

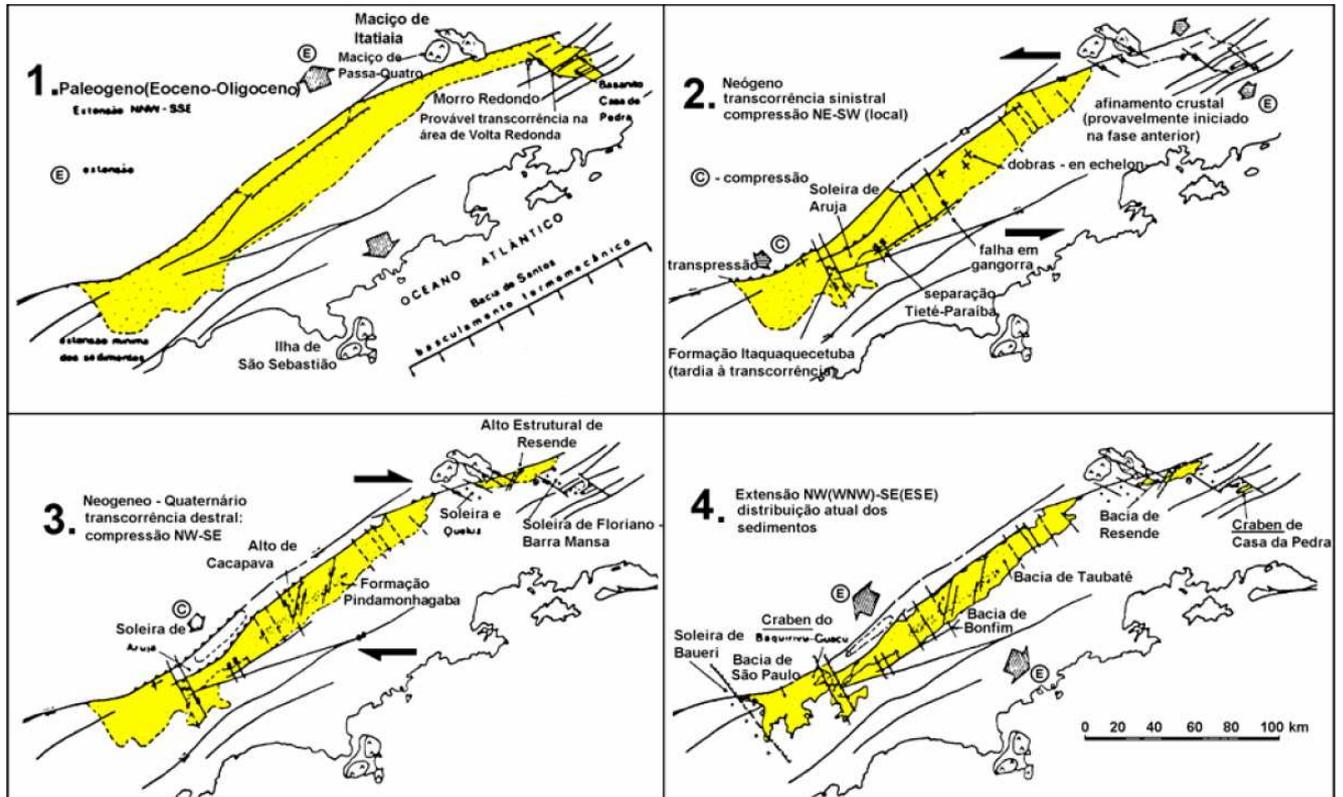


Figura 3 - Esquema proposto para a evolução tectônica do RCSB (Riccomini, 1989).

O preenchimento sedimentar foi subdividido em três unidades litoestratigráficas, ordenadas da base para o topo: Ribeirão dos Quatis, Resende e Floriano (Figura 4). A Formação Ribeirão dos Quatis é a mais antiga e anterior ao principal episódio tectônico distensivo gerador da bacia. É constituída por conglomerados com seixos bem arredondados na base e torna-se mais arenítica em direção ao topo (Ramos & Andreis, 1998). Este depósito caracteriza um paleoambiente fluvial de canais entrelaçados, formado sob condições de bruscas variações de energia e indica incremento no tectonismo da base para o topo da formação (Ramos, 2003).

A Formação Resende é subdivida em dois membros: O Membro Itatiaia é constituído por depósitos de leques aluviais da base do maciço alcalino do Morro Redondo e por depósitos fluviais associados aos leques aluviais do sopé do maciço do Itatiaia. O Membro Acácias é uma associação de fácies distinta do modelo fluvial proposto para os demais depósitos da Formação Resende, caracterizado por estratos com 2 - 3 m de espessura e ciclos *finning – up* (granodecrescentes ascendente), sua espessura máxima é estimada em torno de 30 - 40 m e possui forte ciclicidade que sugere período de acentuada subsidência da bacia. Espessos pacotes pelíticos maciços indicam episódios de inundação prolongada da planície fluvial entrelaçada, possivelmente gerados, por barramentos tectônicos da paleodrenagem (Ramos, 1997, 2003).

A Formação Floriano é composta por sucessões de arenitos e pelitos com espessura máxima estimada em 20 m, sendo interpretada como um sistema fluvial meandrante e representa o último episódio de sedimentação da Bacia de Resende (Ramos, 1997).

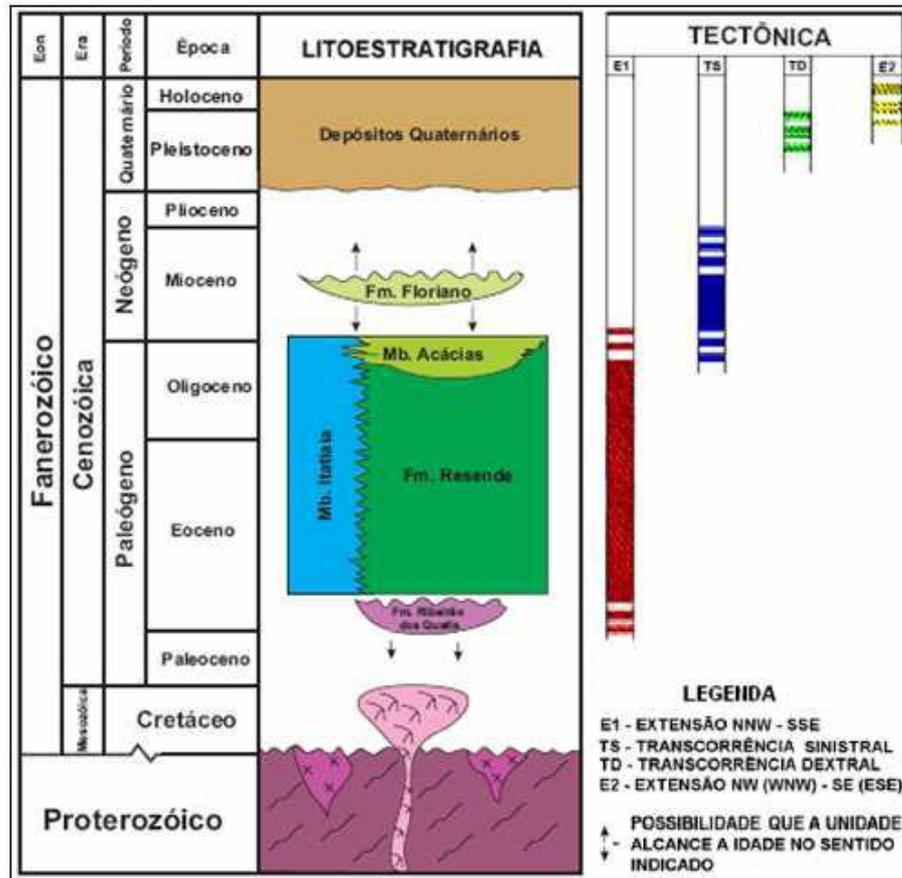


Figura 4 - Associação tectônica, crono e litoestratigráfica, da Bacia de Resende (adaptado de Ramos, 2003 e Riccomini, 1989).

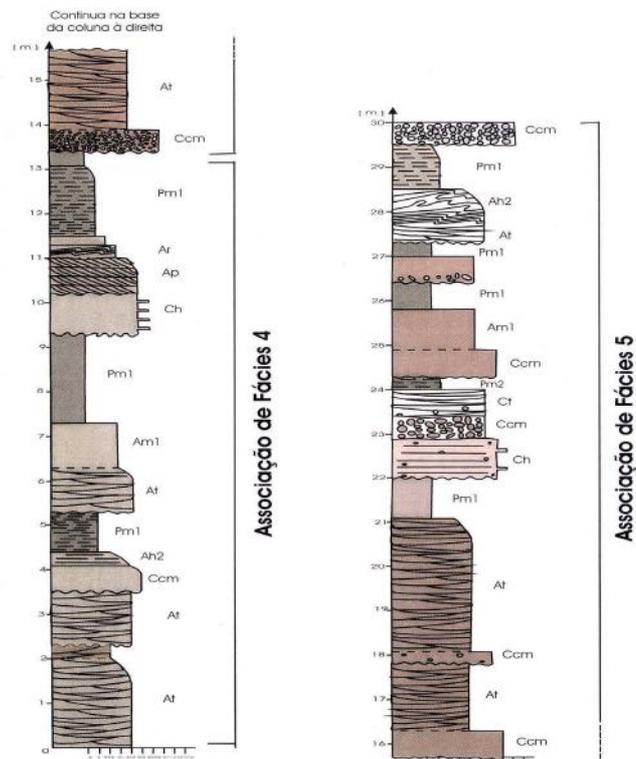
2.3. Geologia Local

A área de estudo limita-se a um setor do platô correspondente ao Membro Acácias da Formação Resende na região do Jardim das Ácacias próximo antiga “Ponte dos Arcos”. Ramos (1997) definiu o perfil tipo do Membro Acácias (figura 5) em local próximo a coleta de dados desta pesquisa. O perfil estratigráfico da sucessão fluvial que representa a paleodrenagem Acácias é subdividido em duas associações de fácies (Resende e Ácacias).

A associação fácies Resende (4) interpretada como sistema fluvial entrelaçado associado a fluxos gravitacionais. Apresenta alternância de ciclos *finning – up*, com espessura variando em torno de 1,5 a 3m, iniciados por conglomerados finos à médios, maciços ou com estrutura acanaladas e intraclastos pelíticos, seguidos por

arenitos arcoseanos finos a grossos com estratificações cruzadas acanaladas e no topo, camadas maciças ou gradadas de lamitos ou siltitos.

A associação de fácies Acácias (5) são características de sistema fluvial entrelaçado com afogamentos episódicos. Formada por ciclos *finning – up*, espessura média 2 a 3 m, e iniciados por conglomerados finos maciços e imaturos, lentes intraformacioanais, seguidos por arenitos arcoseanos médios à grossos com estruturas acanaladas de médio porte e terminando por camadas pelíticas maciças ou gradadas.



Código	Litofácies	Estruturas sedimentares	Interpretação
Ccm	Conglomerado fino a grosso, clasto-suportado, com matriz arenítica	Maciça ou com imbricação	Correntes trativas unidirecionais
Ch	Conglomerado fino a grosso, clasto-suportado, com matriz arenítica	Estratificação horizontal	Superposição de lençóis de cascalho
Ct	Conglomerado fino a médio, clasto-suportado, com matriz arenítica	Estruturas cruzadas acanaladas agrupadas	Migração de megaondulações de cascalho de crista sinuosa
Am1	Arenito fino a médio	Maciça	Fluxo de detritos subaquosos
Ah2	Arenito fino a muito fino	Laminação mal preservada	Agradação vertical de areia
At	Arenito médio a muito grosso	Estruturas acanaladas agrupadas ou solitárias	Migração de megaondulações arenosas de crista sinuosa ou lingóides
Ap	Arenito médio a grosso	Estratificações cruzadas planares agrupadas	Migração de megaondulações arenosas de crista reta
Ar	Arenito muito fino a médio	Laminação cruzada e laminação cruzada cavalgante	Migração de ondulas com elevado aporte de areia (laminação cavalgante)
Pm1	Argilito, lamito e silito, em camadas tabulares	Maciça, laminação mal definida	Decantação rápida da carga suspensiva
Pm2	Lamito e silito, com restos vegetais, Em camadas lenticulares	Maciça, laminação	Decantação da carga suspensiva em canais abandonados

Figura 5 – Perfil tipo do Membro Acácias, localizado (UTM 0569435/7517471, Córrego Alegre) próximo à coleta de dados GPR (adaptado de Ramos, 1997).

3. MÉTODO

Neste trabalho foram utilizados dados de GPR e RG. Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a geologia da área de trabalho e um estudo do funcionamento do GPR que foi utilizado para aquisição dos dados. Em seguida foi feito um estudo do significado do perfil de RG.

Este aprendizado teórico encontra-se descrito abaixo.

3.1. Histórico GPR

As primeiras aplicações do radar em 1929, na Alemanha, tiveram o objetivo de determinar a espessura de geleiras e a localização de minas explosivas no subsolo. Na década de 60, mapeavam-se as propriedades físicas do subsolo e profundidade de nível de água (N. A.) e no Ártico e na Antártica utilizaram para medir a espessura de placas de gelo. Na década de 70, destaca-se pelo trabalho pioneiro que gerou perfis de subsuperfície contínuos utilizando pulsos de radar (Marques, 1999) e as primeiras aplicações de radar de poço (Olsson *et al.*, 1992). Na década de 80 em função do avanço na área da eletrônica digital, o método *GPR* começa a se expandir com as aplicações em diversas áreas, como na engenharia civil, investigação arqueológica, glaciologia, estimativa da espessura de depósitos de carvão entre outros. Foi na década de 80 que o *GPR* teve definitivamente seu reconhecimento como método de exploração geofísica por parte da comunidade geocientífica mundial (Marques, 1999).

3.2. Princípios do GPR

O GPR é um método geofísico de investigação, que consiste na emissão contínua de pulsos eletromagnéticos em altas frequências para a subsuperfície através de uma antena transmissora, ao incidir em uma interface que separa meios com contrastes significativos de propriedades eletromagnéticas é parcialmente refletido, detectado e registrado em uma antena receptora, (Figura 6) (Dias, 2007).

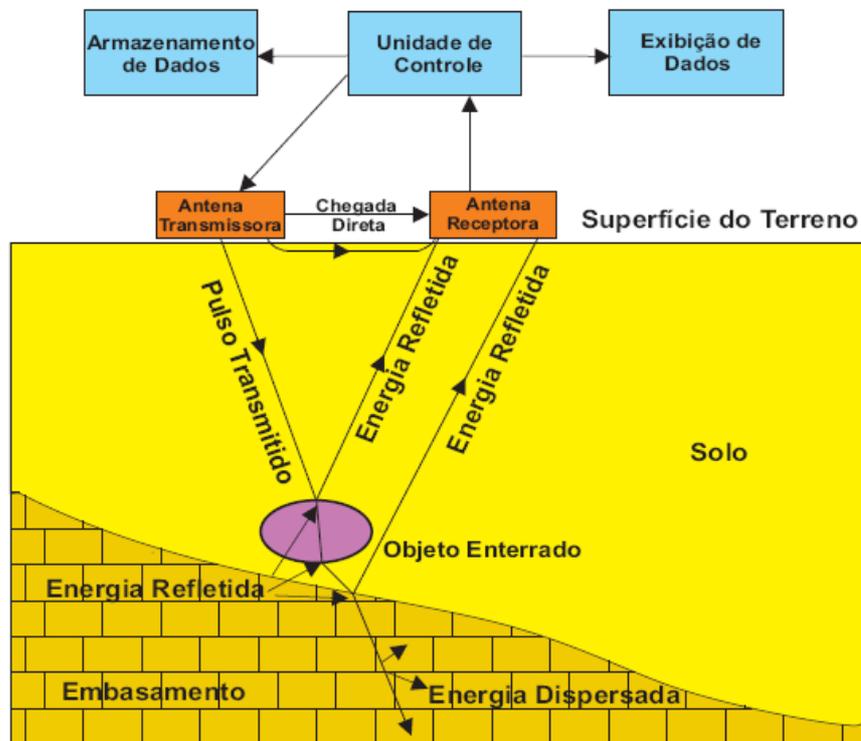


Figura 6 - Modelo esquemático de funcionamento de GPR biestático (traduzido de EPA (Environmental Protection Agency)).

A penetração do sinal em subsuperfície é condicionada pelas propriedades elétricas e magnéticas dos materiais que constituem o local de aquisição, condutividade elétrica (σ), permissividade dielétrica (ϵ) e permeabilidade magnética (μ).

A condutividade elétrica representa a capacidade do material em conduzir eletricidade e a permissividade dielétrica é a constante física, que descreve o comportamento do campo elétrico em relação ao meio, mas na prática, utiliza-se a

constante dielétrica (K) que é obtida a partir da razão do valor da permissividade do material no meio em relação ao vácuo. A permeabilidade magnética (μ) representa o grau de magnetização do material em resposta ao campo magnético.

O número de onda (k) refere-se ao número de vezes que uma onda atinge a mesma fase em uma determinada distância de propagação. A relação de proporcionalidade entre freqüência, comprimento de onda e velocidade de fase está exemplificado na Figura 7.

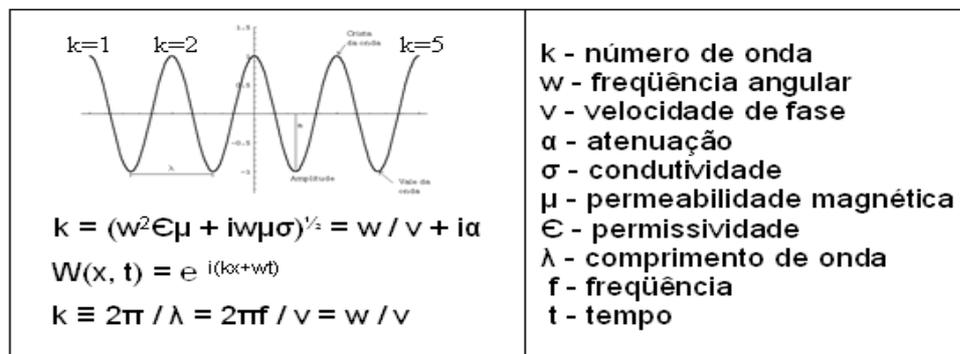


Figura 7 - Equações do número de onda (k) e freqüência angular (ω).

A corrente elétrica é gerada com a aplicação do campo eletromagnético e resulta das correntes de condução e deslocamento, como observado na figura 8.

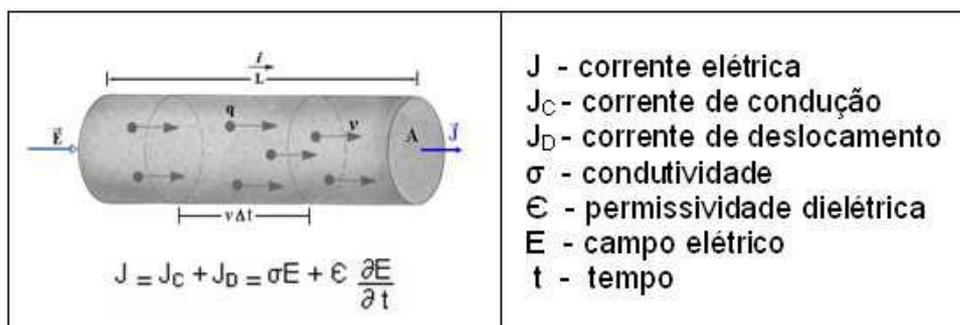


Figura 8 - Equação da corrente elétrica (J).

Na natureza alguns materiais geológicos apresentam valores de condutividade elétrica (σ) e constante dielétrica (K) definidos em um amplo intervalo, este fenômeno ocorre principalmente em corpos altamente iônico, como no caso de

materiais constituído por grãos muito finos. Este fator pode induzir os erros de interpretação de dados, a Tabela 1 apresenta valores de σ , K e V para alguns materiais geológicos.

A teoria eletromagnética é sintetizada por um conjunto de quatro equações, denominadas de equações de Maxwell e descrevem o comportamento do campo eletromagnético e suas interações com a matéria.

Tabela 1: Valores de condutividade elétrica (σ), constante dielétrica (K) e velocidade de propagação (v) (modificado de Davis & Annan, 1989).

Material	σ (mS/m)	K	V (m/ns)
Ar	0	1	0,3
Água destilada	0,01	80	0,033
Água doce	0,5	80	0,033
Água salgada	3×10^3	80	0,01
Areia seca	0,01	3 - 5	0,15
Areia saturada	0,1 - 1	20 - 30	0,06
Calcário	0,5 - 2	4 - 8	0,12
Folhelhos	1 - 100	5 - 15	0,09
Siltes	1 - 100	5 - 30	0,07
Argilas	2- 1000	5 - 40	0,06
Granito	0,01 - 1	4 - 6	0,13
Mineral salino seco	0,01 - 1	5 - 6	0,13
Gelo	0,01	3 - 4	0,16

A Lei de Snell-Descartes define a trajetória do feixe eletromagnético ao passar por meios com índices de refração distintos, associando ângulo, refringência, velocidade do feixe e comprimento de onda no meio em que se propaga (Figura 9).

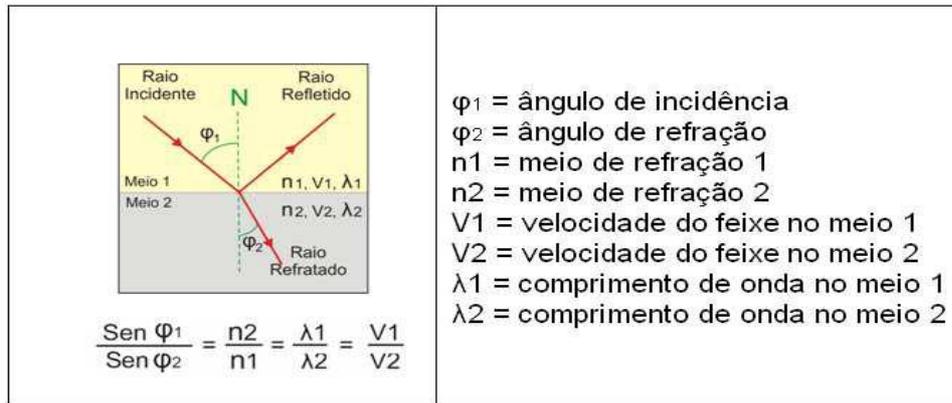


Figura 9 - Lei de Snell - Descartes.

O alcance em profundidade do sinal depende da frequência da antena e da qualidade do material avaliado, quanto maior for a frequência transmitida menor será a penetração do sinal no material. A frequência é definida em função das dimensões e profundidade do alvo, valores da ordem de GHz em materiais geológicos sofrem grande perda de energia causada por intensas variações na polaridade das moléculas de água. A Tabela 2 exemplifica valores referentes à calibração dos equipamentos de *GPR* utilizados durante a aquisição de dados para frequência, comprimento de onda, espaçamento máximo entre os pontos de aquisição e separação entre as antenas.

Tabela 2: Relação entre frequência das antenas, comprimento de onda, espaçamento máximo entre as estações e separação de antenas. Baseado em Annan (1992).

Frequência (MHz)	Comprimento de onda (m)	Espaçamento máximo (m)	Separação de antenas (m)
12.5	24	2.0	8.0
25	12	1.0	4.0
50	6	0.5	2.0
100	3	0.25	1.0
200	1.5	0.10	0.5
450	0.66	0.05	0.25
900	0.33	0.02	0.17

A freqüência de amostragem em prospecção *GPR*, descreve a quantidade de vezes que o pulso é registrado na antena receptora e está diretamente relacionada à freqüência da onda emitida (Figura 10).

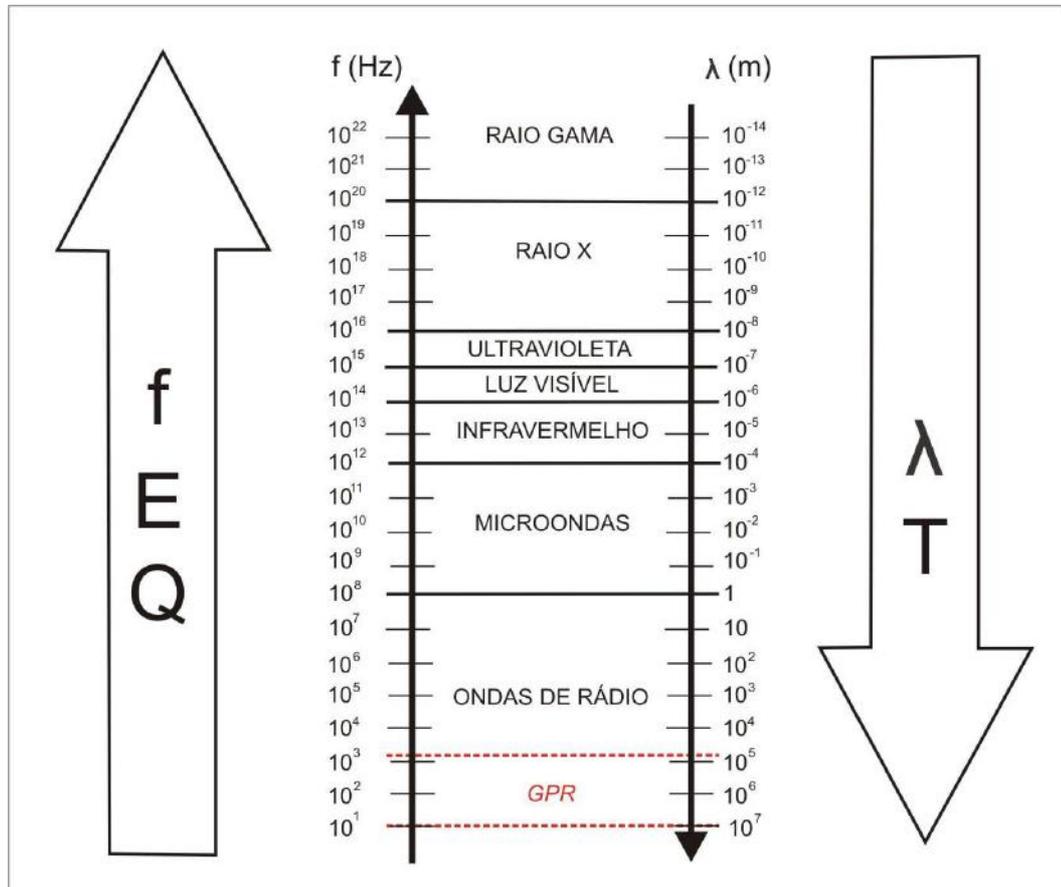


Figura 10 - Valores para (f) freqüência, (λ) comprimento de onda e relação de intensidade com (T) período e campos (E) elétrico e (Q) magnético no espectro.

Em aquisição de dados rasos utilizam-se freqüências maiores (400 – 2000 MHz) favorecendo maior resolução durante a aquisição. As freqüências menores (10 – 200 MHz) atingem maior profundidade de penetração em subsuperfície e, conseqüentemente, diminui a qualidade de resolução do sinal.

Excelentes resultados podem ser obtidos sobre depósitos arenosos em conseqüência da baixa atenuação sofrida pelo sinal eletromagnético no meio de propagação, possibilitando atingir profundidades superiores a 50 metros (Van Overmeeren, 1998). Por outro lado, terrenos muito condutivos podem reduzir

sensivelmente a penetração do sinal, como observado no caso de ambientes salinos, em argilas condutivas e na água, nestas condições às profundidades atingidas são inferiores a 1 metro.

3.4. Equipamento e Aquisição de Dados GPR

3.4.1. Equipamento

O equipamento *GPR* é constituído por uma unidade de controle central, unidades de geração e captação de pulso eletromagnético, antenas transmissora e/ou receptora, cabos de conexão comumente de fibra óptica e normalmente um transmissor de imagens. Para se obter o melhor resultado durante a aquisição de dados, os equipamentos são calibrados conforme a necessidade do alvo.

Os sistemas *GPR* são diversificados em monoestático, que utiliza a mesma antena para transmissão e recepção de pulsos eletromagnéticos e biestático que separa as antenas em transmissora e receptora. Antenas blindadas eliminam interferências geradas sobre o solo e oferecem vantagens na aquisição de dados rasos com alta resolução, como em tubulação, estrada, concreto, pesquisas arqueológicas, espessura e detecção da camada de gelo, entre outros. As antenas não blindadas são utilizadas em pesquisas que exigem penetração profunda do sinal, por exemplo, em pesquisas de camadas de solo e rocha, estudos sedimentológicos e batimétricos e investigações glacial e polar.

Dentre as diversas linhas de equipamentos *GPR*, pode-se citar os aparelhos *SIR 3000 SubEcho 40MHz* e *SIR 3000 Perfilador* da empresa americana *GSSI* “*Geological Survey Service Inc*”, outros modelos como o *RAMAC I*, *MALÅ MIRA*

produzidos na suécia por “MALÅ Geoscience” e os *pulseEKKO IV* e *pulseEKKO PRO* da empresa canadense “Sensors & Software”.

3.4.2. Aquisição de Dados GPR

Aquisição de dados GPR podem ser aquisições em superfície ou em poço, em superfície os principais utilizados são:

- *COS (Common Offset)* ou Reflexão Simples

No método de aquisição COS as antenas, transmissora e receptora, são deslocadas ao mesmo tempo de modo que o espaçamento entre ambas seja constante durante a aquisição de dados (Figura 11). Este arranjo verifica as propriedades elétricas do meio.

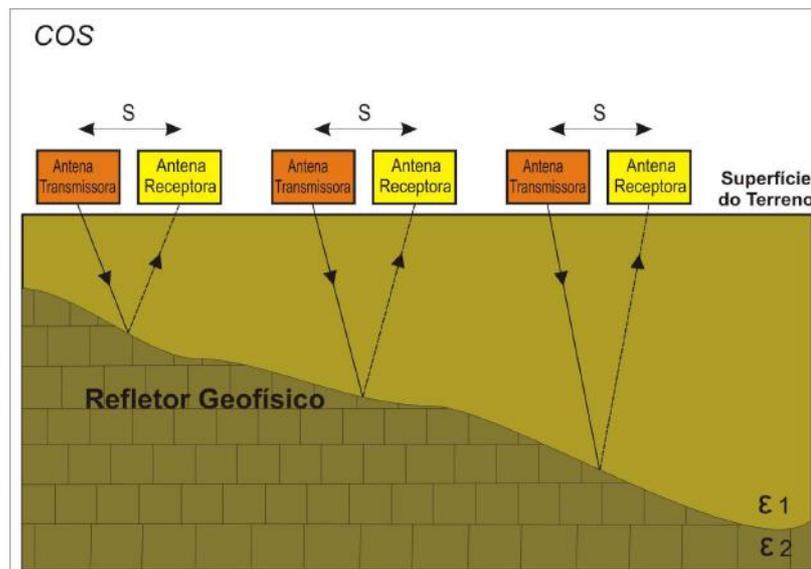


Figura 11 - Método de aquisição COS, onde (S) é o afastamento entre as antenas receptora e transmissora, (ϵ) permissividade do meio, sendo ($\epsilon_1 < \epsilon_2$).

- *CMP (Common Mid Point)* ou *WARR (Wide Angle Reflection and Refraction)*

O método *CMP* oferece o deslocamento simétrico das antenas transmissora e receptora a partir de um ponto central, desta maneira, a reflexão sempre ocorre aproximadamente no mesmo ponto e praticamente as inclinações entre superfície e

refletores internos tornam-se imperceptíveis. Enquanto na aquisição *WARR* o deslocamento é feito a partir da antena receptora ao longo da área de interesse conservando a antena transmissora fixa, a distancia vertical do alvo em relação à superfície do terreno modifica-se conforme inclinação do refletor e produz erros devido à mudança do ponto de reflexão (Figura 12).

O *CMP* é uma variante do *WARR*, sua aplicação durante a aquisição de dados em campo torne-se mais trabalhosa. Usualmente a separação máxima entre as antenas nestes arranjos é o dobro da profundidade do refletor.

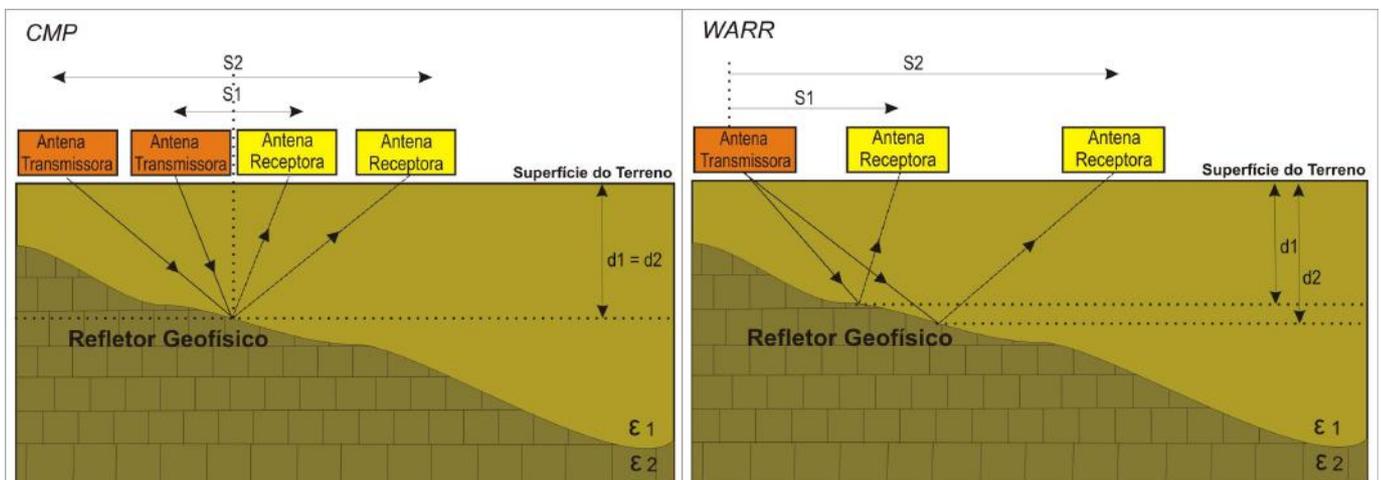


Figura 12 - Método de aquisição *CMP* ($d_1=d_2$) e *WARR* ($d_1 \neq d_2$), onde (d) profundidade do alvo, (ϵ) permissividade do meio, sendo ($\epsilon_1 < \epsilon_2$).

- Transiluminação

No método da transiluminação a antena transmissora é deslocada em posição simetricamente oposta enquanto a antena receptora é mantida fixa no local. Este método é utilizado em alvos muito pequenos, como por exemplo, em verificação de fissuras em pilastras.

3.4.3. Aquisição em poço

No método radar de poço disponibiliza-se o equipamento em diversos esquemas durante a aquisição e obtem-se bons resultados devido à proximidade

das antenas ao alvo. A área de investigação é um cilindro em torno do poço que pode atingir um raio de 10 – 100 m de distância. Quando utilizado em investigação de solo e furos em rochas obtém dados de fraturas, cavidades, poros, delimitação de minerais, transporte de contaminação e outros. Alguns exemplos podem ser citados, como:

- Transiluminação COS

O equipamento é introduzido no furo de sondagem com suas antenas disponibilizadas verticalmente e em contato com a parede do furo são deslocadas no local de interesse (Figura 13).

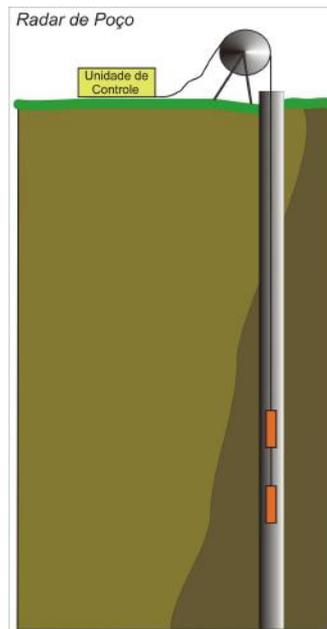


Figura 13 – Representação da Técnica de Transiluminação COS.

- *VRP (Vertical Radar Profiling)*

No esquema *VRP (Vertical Radar Profiling)* a antena transmissora permanece na superfície do terreno enquanto a antena receptora é deslocada em contato com a parede do poço.

- Tomografia Direta

No esquema de tomografia direta as antenas são disponibilizadas em poços diferentes e descem lado a lado com a mesma velocidade enquanto percorrem a área de interesse.

- Transiluminação variável

O método da transiluminação variável é semelhante ao da tomografia direta, mas a aquisição de dados é feita em diferentes profundidades, possibilitando formar uma rede de raios que se cruzam (Figura 14).

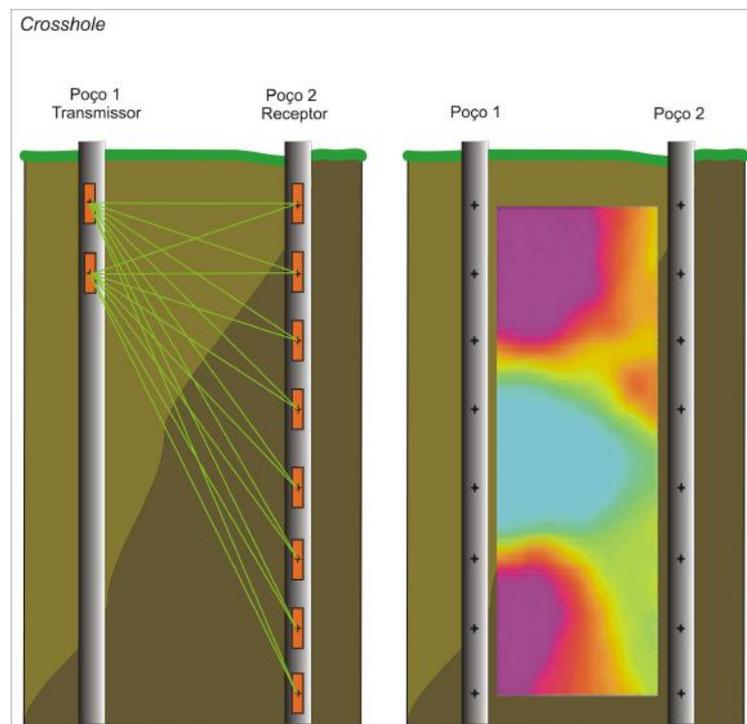


Figura 14 – Representação do método de Transiluminação Variável.

3.5. Técnicas de Processamento *GPR*

As etapas do processamento são divididas em processamento básico e avançado, o auxílio da análise espectral e posterior interpretação geológica são indispensáveis.

O fluxo do processamento (Figura 15) tem a finalidade de amplificar a resposta das estruturas subterrâneas e minimizar efeitos que degradam a qualidade dos dados. O processamento utiliza diferentes filtros e ganhos que podem ser testados inúmeras vezes em cada etapa.

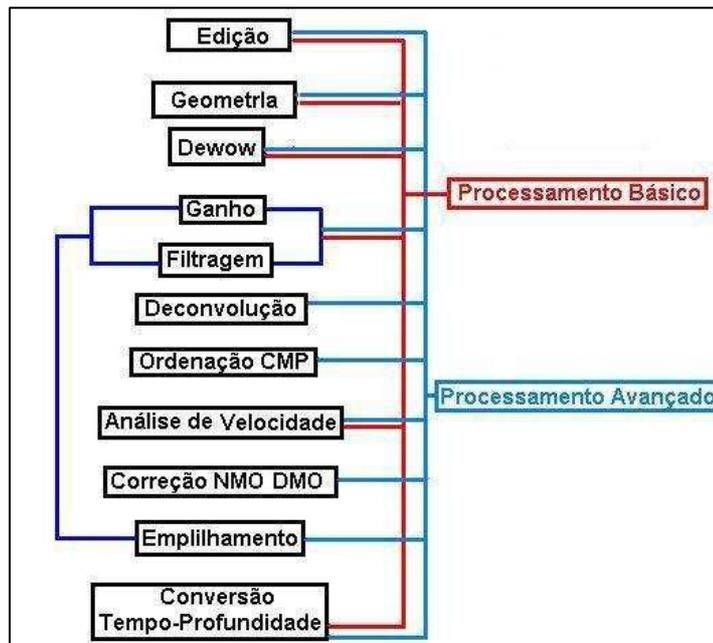


Figura 15 - Fluxograma do processamento dos dados *GPR*, dividido em básico (vermelho) e avançado (azul claro).

3.5.1. Processamento básico

O processamento básico quando feito durante aquisição em campo, oferece vantagens em avaliar a qualidade dos dados registrados em tempo real. Possibilita verificar se há ruídos provenientes de erros durante a aquisição ou gerado por algum refletor prejudicial ao sinal, assim sendo possível o ajuste melhor do aparelho (Popini, 2001).

O fluxo do processamento básico inicia-se na edição dos dados que consiste na conversão para o formato de entrada exigida pelo programa de processamento. Nesta fase é possível fazer a junção de perfis, corrigir cabeçalho, alterar a

polaridade dos traços, deletar traços com forte ruído, reamostrar sinais, reverter a direção do perfil e acrescentar informações sobre a topografia.

O procedimento seguinte é a geometria de campo que está baseada nas coordenadas das locações das antenas. Em continuidade ao processamento aplica-se o *dewowing* que consiste na filtragem temporal para remover as frequências mais baixas dos dados.

O *time gain* é a função de ganho dependente do tempo e é utilizada para compensar a rápida queda do sinal de radar que ocorre em regiões de maiores profundidades que podem tornar-se invisíveis e indiscerníveis. O ganho de *SEC* (compensação exponencial e esférica) é baseado nos fenômenos físicos de expansão esférica e dissipação ôhmica exponencial de energia, no qual tenta igualar a variação de amplitude do sinal quando este se propaga.

O procedimento da filtragem temporal atua ao longo do eixo de tempo dos dados e diversos tipos podem ser aplicados, desde filtros passa banda até vários tipos de operadores de filtros de convolução. No filtro passa-banda apenas uma faixa das frequências contidas nos traços é escolhida e normalmente é o mais utilizado por sua eficácia. O filtro passa baixa realça a continuidade lateral dos refletores horizontais enquanto minimiza refletores inclinados, pontos de difração e ruídos aleatórios. Já o filtro passa alta enfatiza os refletores inclinados enquanto elimina os refletores horizontais dominantes Porsani (2002). E os filtros de mediana, *clean-up*, são úteis para a remoção de *spikes* (ruídos localizados).

3.5.2. Processamento avançado

A natureza oscilatória do pulso de radar geralmente causa um falso senso de resolução, quase sempre se utiliza somente a parte real do sinal complexo, contudo

a parte imaginária do sinal pode revelar informação útil. As suposições de fase mínimas em séries reais e imaginárias no tempo e frequência podem ser estimadas em vários pontos ao longo do traço.

De fato, a banda larga ou envoltório do pulso é que determina a resolução e o tempo do trajeto. Por esta razão o ajuste da exposição do envoltório é extremamente útil para gerar apresentações mais simples na qual são representativos da resolução espacial.

A deconvolução atenua as reverberações, causadas por ondas múltiplas que surgem por interfaces com grande contraste de impedância elétrica. Atenua os efeitos indesejáveis de natureza convolucional que incidem sobre os dados com o objetivo de aprimorar a resolução temporal das seções finais, retirando a forma da onda básica *wavelet* (assinatura da fonte) (Marques, 1999). A subtração do *background*, remoção do traço médio é uma filtragem espacial, que em situações onde apresentam reverberações é muito efetivo. Permite sublocar os sinais mais fracos, para que possam ser visíveis na seção processada.

A análise de velocidade é importante para fazer a conversão do tempo em profundidade dos dados de radar. Um perfil de velocidade é uma seção 2D para definidos pares de velocidade/tempo que serão associados a uma seção radargrama.

As caudas das hipérbolas resultantes de aquisições *CMP* são aplanadas com as correções *NMO* (*normal-moveout*). Não se deve confundir o campo de velocidade *NMO* com a velocidade de empilhamento que corrige o *NMO* do conjunto de dados *CMP* em um determinado tempo de reflexão.

Antes do empilhamento, após a aplicação do *NMO*, nem sempre todas as hipérbolas se ajustam perfeitamente aos refletores horizontais. As velocidades

irregulares causam um problema de distorção estática ou dinâmica. Para melhorar a qualidade do empilhamento as correções estáticas residuais são realizadas sobre *CMP* aplicando-se *NMO* (Yilmaz, 1991).

A interpolação é usada para melhorar a visualização do refletor e resolve problemas de ruído proveniente de uma baixa resolução temporal ou espacial, que pode gerar danos consideráveis na migração. A migração da imagem dos dados de radar pode ser aplicada para reconstruir o aspecto do alvo assemelhando-se a sua geometria original e é extremamente útil para fazer a conversão tempo-profundidade, requerendo bom conhecimento da velocidade da estrutura do meio.

3.6 - Metodologia do Perfil Raio-Gama (RG)

O método geofísico RG é fundamentado na emissão da radiação de um núcleo atômico instável que sofre decaimento espontâneo. Os elementos urânio (U), tório (Th) e potássio (K), são os principais responsáveis pela emissão da radiação que é absorvida por um detector constituído de iodeto de sódio (NaI) e armazenado em um condensador.

De modo geral, as rochas sedimentares são as que possuem menos elementos radioativos, mas dentre estas, os folhelhos são os exemplares que normalmente, apresentam maiores valores API em análises RG, sendo que, as quantidades de argila e matéria orgânica influenciam nestes valores, assim como, a composição química dos argilo-minerais quando presentes na amostra.

Em arenitos observa-se que a textura não é fator preponderante nas variações de RG e sim a composição química de elementos associados.

A Figura 16 apresenta um perfil hipotético exemplificando a relação entre litologia e valores de RG.

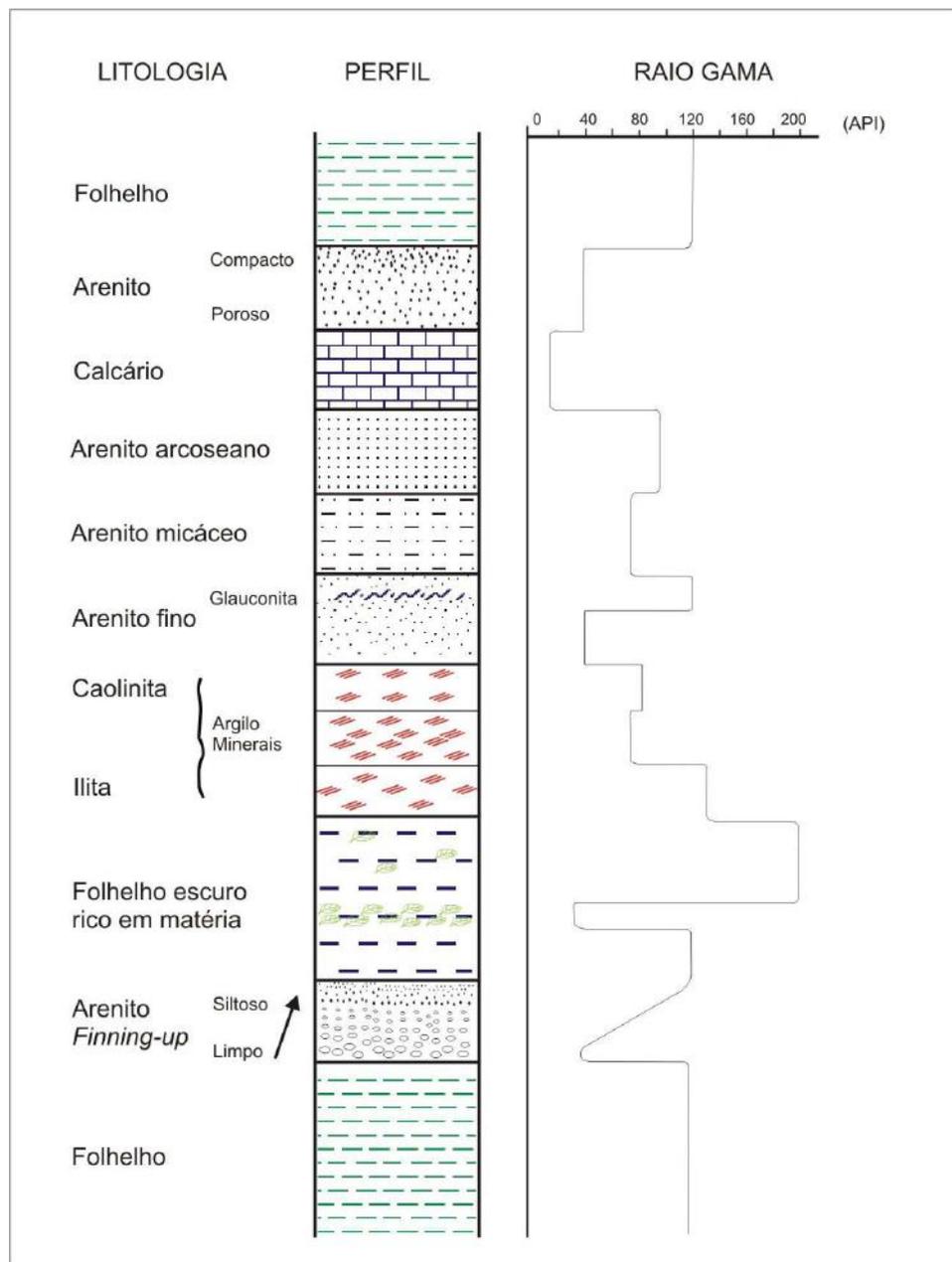


Figura 16 – Relação entre litologias típicas e perfil RG (modificado de Rider, 1996).

3.7. Equipamento de *GPR* e Aquisição de Campo

O equipamento utilizado para a aquisição dos dados foi o sistema *Ramac/Mala Geoscience* (Suécia). O aparelho faz parte do patrimônio do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (Figura 17). Os dados de *GPR* foram obtidos em aquisições no modo *COS*, realizadas com o auxílio de antenas biestáticas com frequência de 100 MHz. Os dados foram adquiridos com os valores de *offset* inicial (S_1) de 0,5 m e espaçamento contínuo (S_2) 0,25m.



Figura 17 – Aquisição de dados *GPR* em campo.

3.8. Processamento dos dados *GPR*

Os dados obtidos no modo de aquisição COS, foram primeiramente processados no programa *GRADIX* (*interpex*,1996), e seguiu com as seguintes etapas de processamento: correções *time-zero*, filtro *dewowing*, filtro passa-banda trapezoidal, ganho *AGC*, mixagem e a reformatação dos arquivos de extensão *.rd3, em *DOS/Windows* para a extensão *.sgy. O *header* foi gerado no programa *Vista 2D/3D 4.00*, para configurar a geometria do campo.

Foram obtidas 13 linhas horizontais (*strike*) e 9 linhas verticais (*dip*), espaçadas de 5 m de distância. Entre as linhas 254 e 251 houve um adensamento de aquisições compostas de 11 linhas horizontais e 11 verticais, espaçadas de 1 m, a fim de serem correlacionadas com dados de perfis de poços Raio Gama (PRG) (Figura 18). As linhas 252 e 260 obtidas em campo não são apresentadas neste estudo, pois não foi possível a sua leitura no programa de processamento.

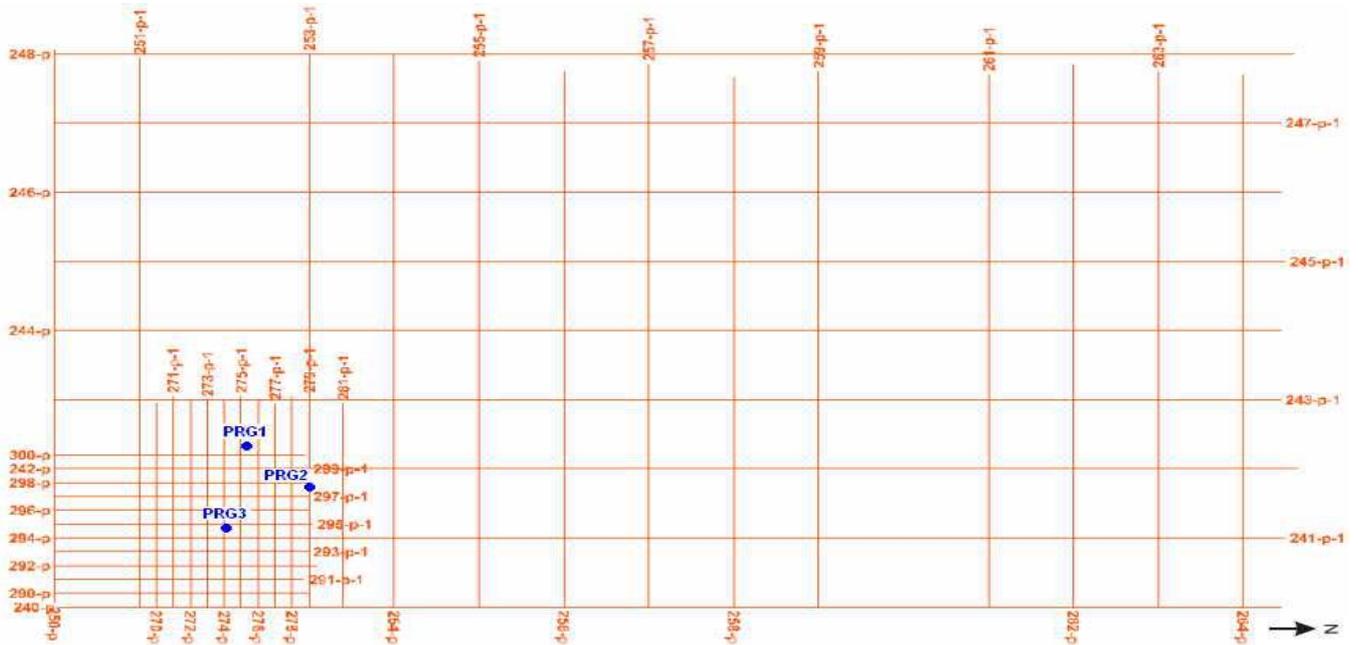


Figura 18 - Geometria de aquisição COS, representando as linhas obtidas através do processamento de dados *GPR* e localização dos poços (PRG1, PRG2 e PRG3).

No programa Vista 2D/3D 4.00, a conversão de escalas da aquisição *GPR* para sísmica se deu automaticamente nos seguintes parâmetros: frequência, atualizou de 100 MHz para 100 Hz; tempo de 100 ns para 100 ms e a velocidade de 0.3 m/ns para 300 m/ μ s. Os dados ao serem visualizados neste programa sofrem um deslocamento para baixo, cuja onda direta aérea sai do tempo de 0 ns deslocando-se para 40 ns. Com o intuito de corrigi-los, foi aplicado outro deslocamento na onda direta, de 40 ns para 0 ns (*shift*). A Figura 19 apresenta o radargrama (linha 240) antes do processamento e a Figura 20 após o processamento no programa *GRADIX* (Interpex,1996). As linhas com e sem processamento são apresentadas no anexo B.

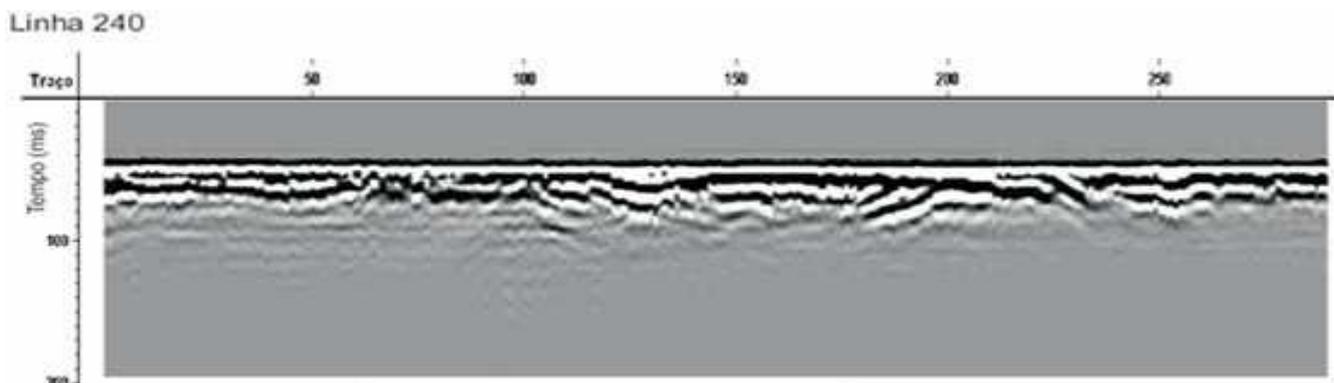


Figura 19 - Linha 240 sem processamento.

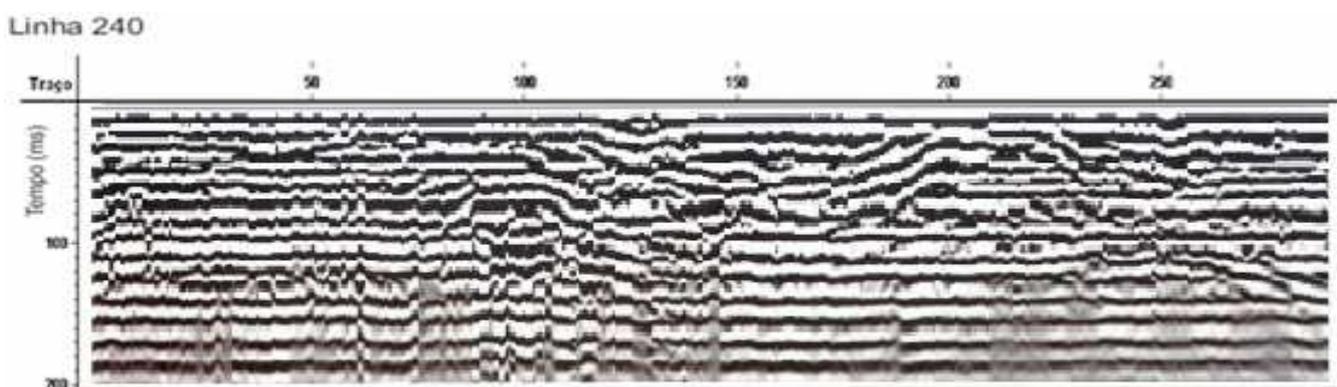


Figura 20 - Linha 240 com processamento através do programa *GRADIX* (Interpex,1996) e Vista 2D/3D 4.00.

No programa de interpretação *Petrel* é indispensável que os perfis possuam a geometria de aquisição e para isto foram realizadas construções da geometria 2D para criação do *header*, no programa Vista 2D/3D 4.00 cuja planilha de tiros e de receptores apresenta-se incompleta. Assim foram editadas as informações das posições das antenas, transmissora e receptora, no platô onde isto pode ser verificada na Figura 21.

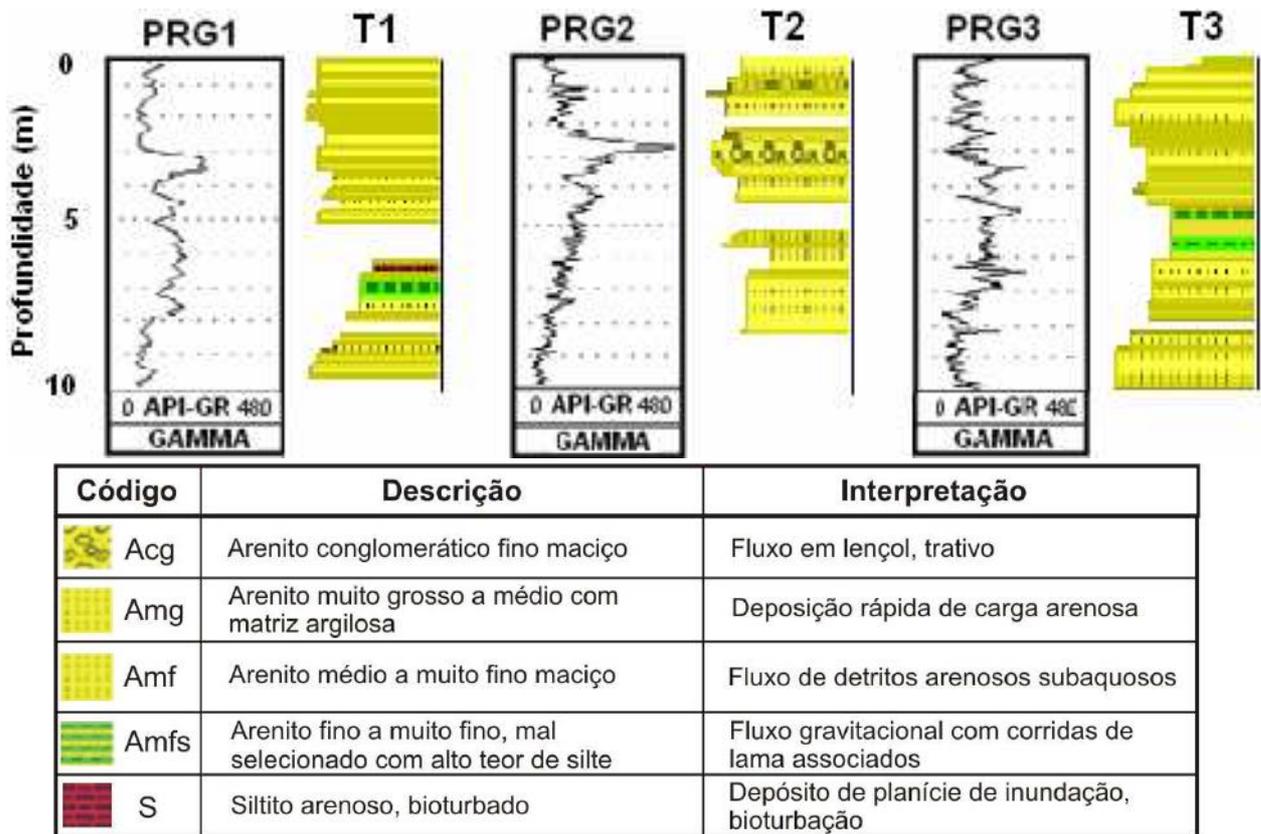


Figura 22 - Correlação de perfis RG (PRG1, PRG2 e PRG3) e litológicos (T1, T2 e T3) (adaptado de ALMADA, 2007).

Após análise dos dados (PRG1 e T1), observa-se entre as profundidades de 8 a 6 m, um ciclo *finning – up*, constituído na base por arenito fino síltico mal selecionado (fácies Amfs) e na porção superior apresenta siltito arenoso (fácies S), com valores para RG de até 350° API. O PRG1 está localizado próximo às seções radargramas referentes às linhas 242 e 299, que se sobrepõem (Figura 23). A linha 242 apresenta um canal localizado entre 4 a 73 m de extensão (em vermelho) com profundidade de aproximadamente 1 m obtido a partir de uma estrutural considerada como possível barra arenosa entre 46 a 57 m (em laranja) e o talvegue localizado em torno de 15 m (em azul). A linha 299 corrobora com os dados *GPR* adquiridos na linha 242, apresentando um sistema de canal semelhante nos primeiros 15 m da seção. A razão largura x profundidade do canal na linha 242 é superior a 40.

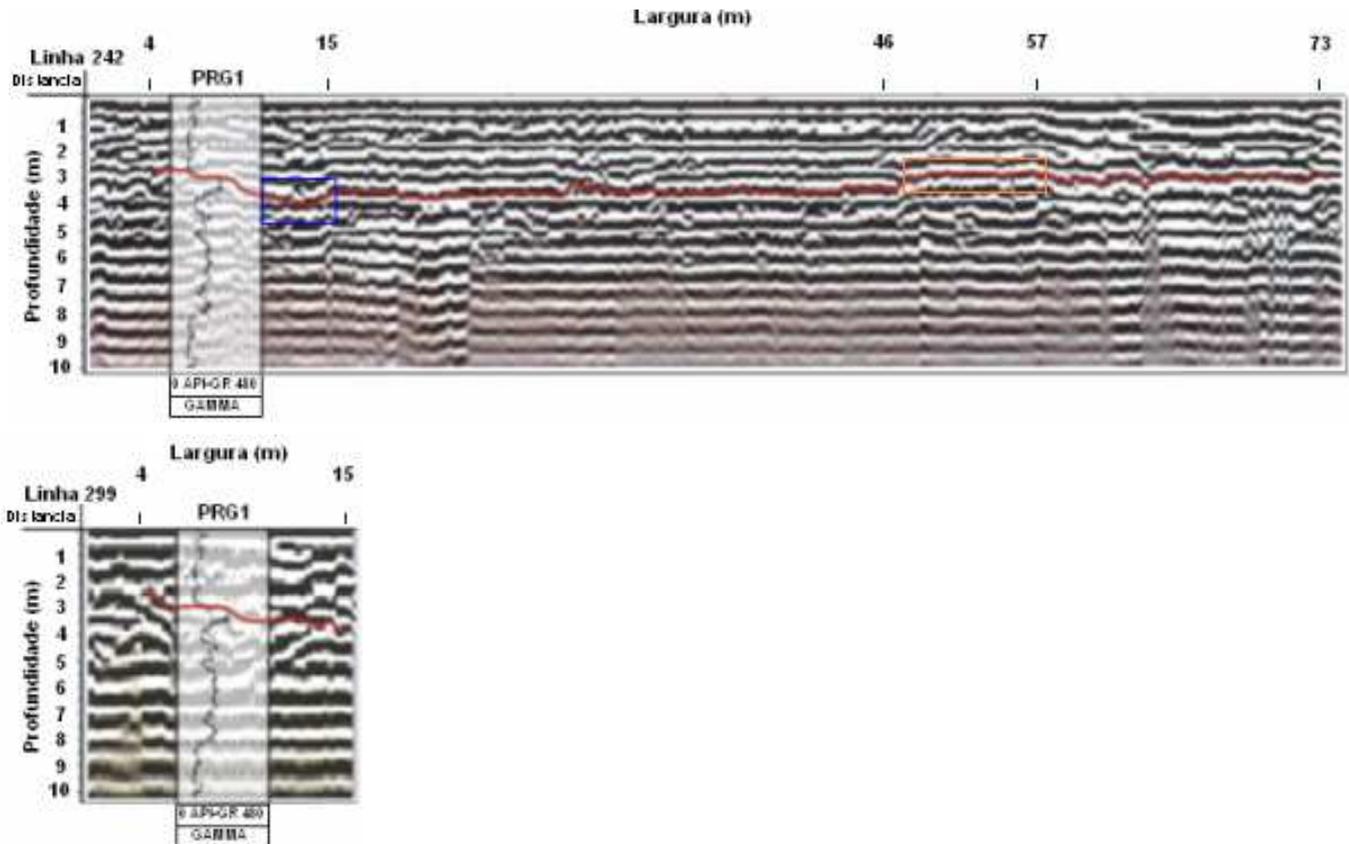


Figura 23 - Correlação entre as linhas 242 e 299 e o perfil RG do poço PRG1.

Os dados analisados no T2 o intervalo de 8 a 2 m de profundidade é constituído por arenitos médios a grossos e aumento no teor de argila em direção ao topo. O PRG2 localizado sob as linhas 253 e 279 (Figura 24), apresenta uma boa correlação com os radargramas cuja seção demonstra um canal observado do início ao fim da linha 253 (em vermelho). E em torno de 13 e 18 m de extensão observa-se dois talwegues mais pronunciados (em azul). A linha 279 de mesmo modo como linha 299, corrobora com os dados *GPR* adquiridos na linha 253, apresentando um sistema de canal semelhante nos primeiros 15 m da seção. Foi observado na linha 253 que o valor da razão largura x profundidade do canal é superior a 40.

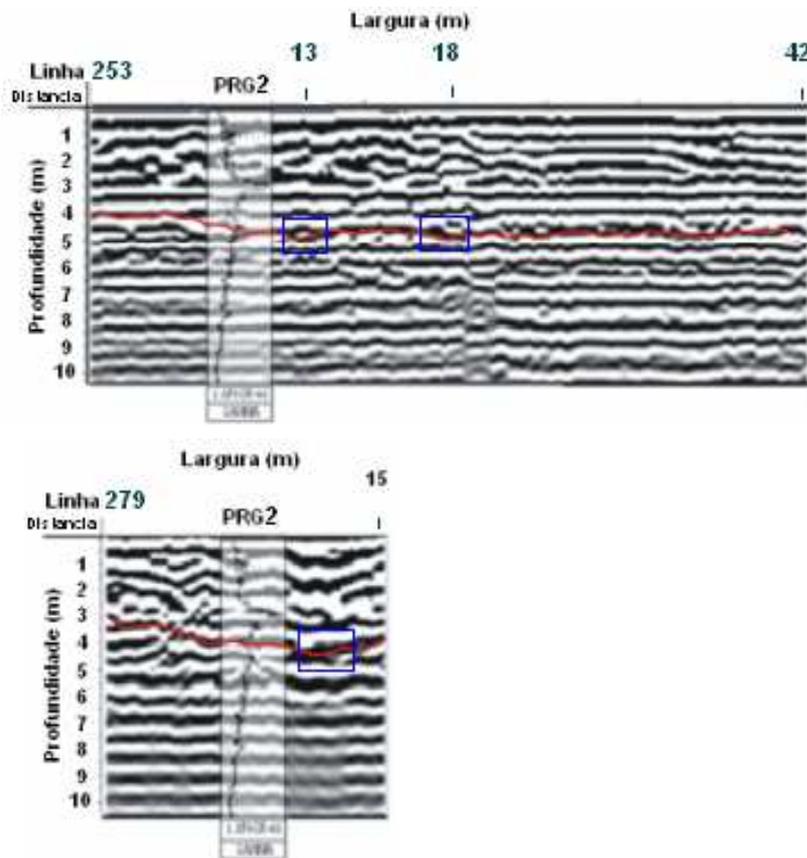


Figura 24 - Correlação entre as linhas 253 e 279 e o perfil RG do poço PRG2.

Foram observados no T3 e PRG3, dois ciclos *finning – up*. O primeiro intervalo entre 8 a 6 m de profundidade inicia na base com arenitos muito grossos que gradam progressivamente para arenitos médios (fácies Amg) e chegam ao topo a arenito fino siltico (fácies Amfs) e siltito arenoso (fácies S) finalizando com areia muito fina siltica (fácies Afms). O segundo ciclo, entre 3 m e a superfície, é caracterizado pelas mesmas fácies supracitadas, porém não apresenta fácies Afms no topo da seqüência. O PRG3 está localizado sob a linha 274 (Figura 25), apresenta a morfologia de um canal com extensão do início ao fim da linha, o talvegue está aproximadamente nos 8 m de extensão da seção (em azul).

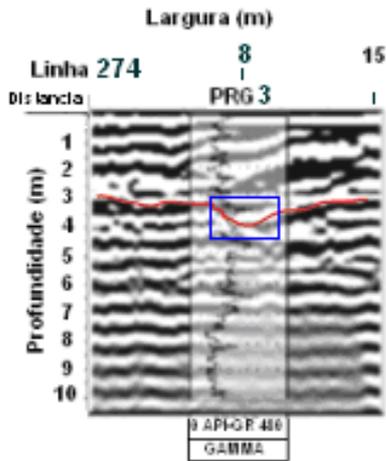


Figura 25 - Correlação entre a linha 274 e o perfil RG do poço PRG3.

A interpretação das estruturas presentes nas seções de radargrama Figura 26a seguiu o padrão de canais entrelaçados proposto por Van Overmeeren (1998) Figura 26b. A morfologia das estruturas presentes nas linhas maiores dos radargramas possui valores superiores a 40 na razão largura do canal/profundidade. Estima-se que os canais sejam mais extensos que a área coberta pelo levantamento com o *GPR*. No Anexo D encontra-se a interpretação dos demais radargramas.

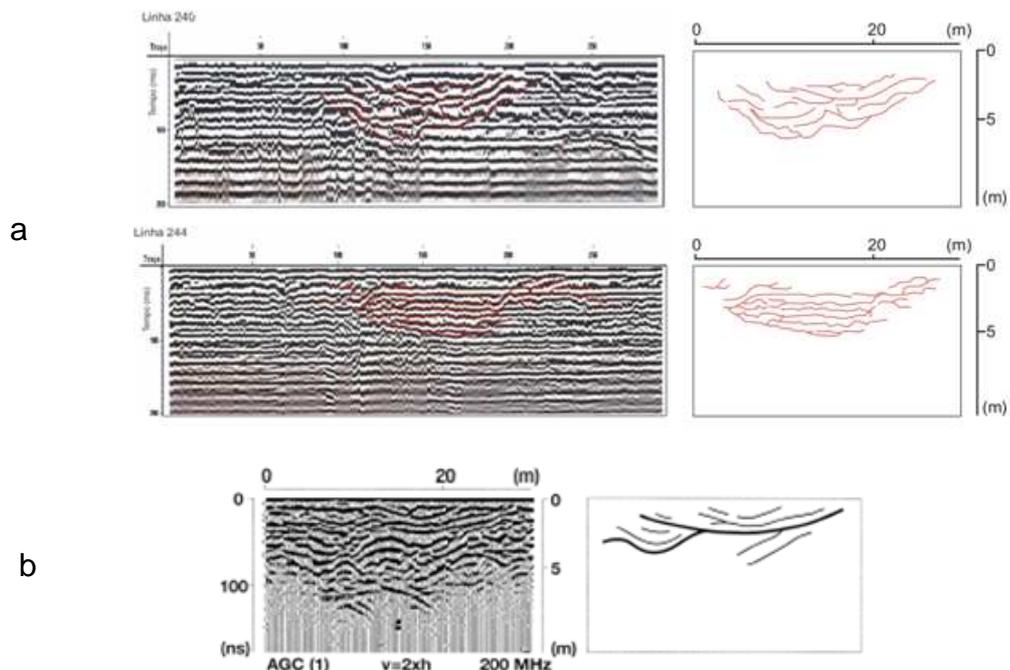


Figura 26 – a) interpretação das estruturas presentes nas seções de radargrama b) Modelo radargrama padrão para canais entrelaçados segundo Overmeeren (1998).

Nos perfis RG é verificada a presença de alta amplitude nos valores API devido à presença do elemento potássio (k) no feldspato presente nos sedimentos arenosos e o padrão de resposta do sinal representa ciclos de sedimentação característicos de preenchimento de canal.

Na Figura 27 com auxílio do programa *Petrel Seismic Interpretation* as seções radargramas apresentam um alto estrutural em vermelho ao lado direito da figura que possivelmente corresponde a uma barra arenosa. E na parte central observa-se que a superfície apresenta uma maior profundidade com relação às demais partes da seção com a presença de pequenas linhas de contorno que podem ser associados a pequenas barras arenosas.

Os canais interpretados nas seções radargramas estão posicionados no espaço por dados de paleocorrentes. Segundo Ramos (2003) a seção tipo do Membro Acácias, na porção superior do afloramento (associação de fácies 5) com direção principal de paleocorrente vetor médio de 60° e dispersão entre 40° e 75° possui aproximadamente 15 m de profundidade da superfície e as seções de radargramas obtidas próximas a estas medidas foram interpretadas da superfície até 5 m de profundidade.

A semelhança da Figura 27 foi estabelecido um modelo simplificado da planície fluvial entrelaçada (Figura 28). Richards (1982) sugere que canais entrelaçados tendem a ter margens indefinidas, seção simétrica e alta razão largura profundidade.

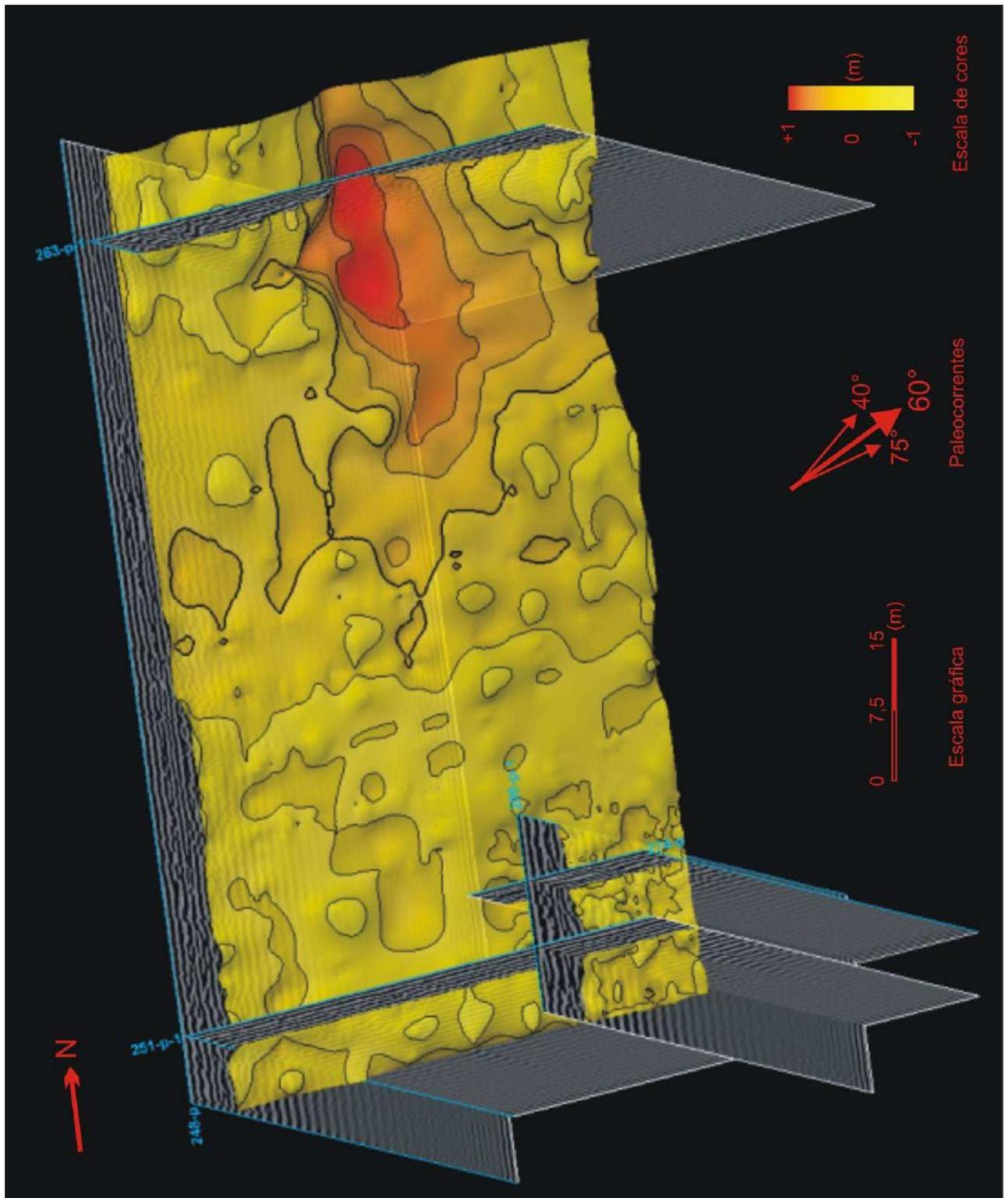


Figura 27 - Superfície representativa do paleocanal definido nos perfis radargrama.

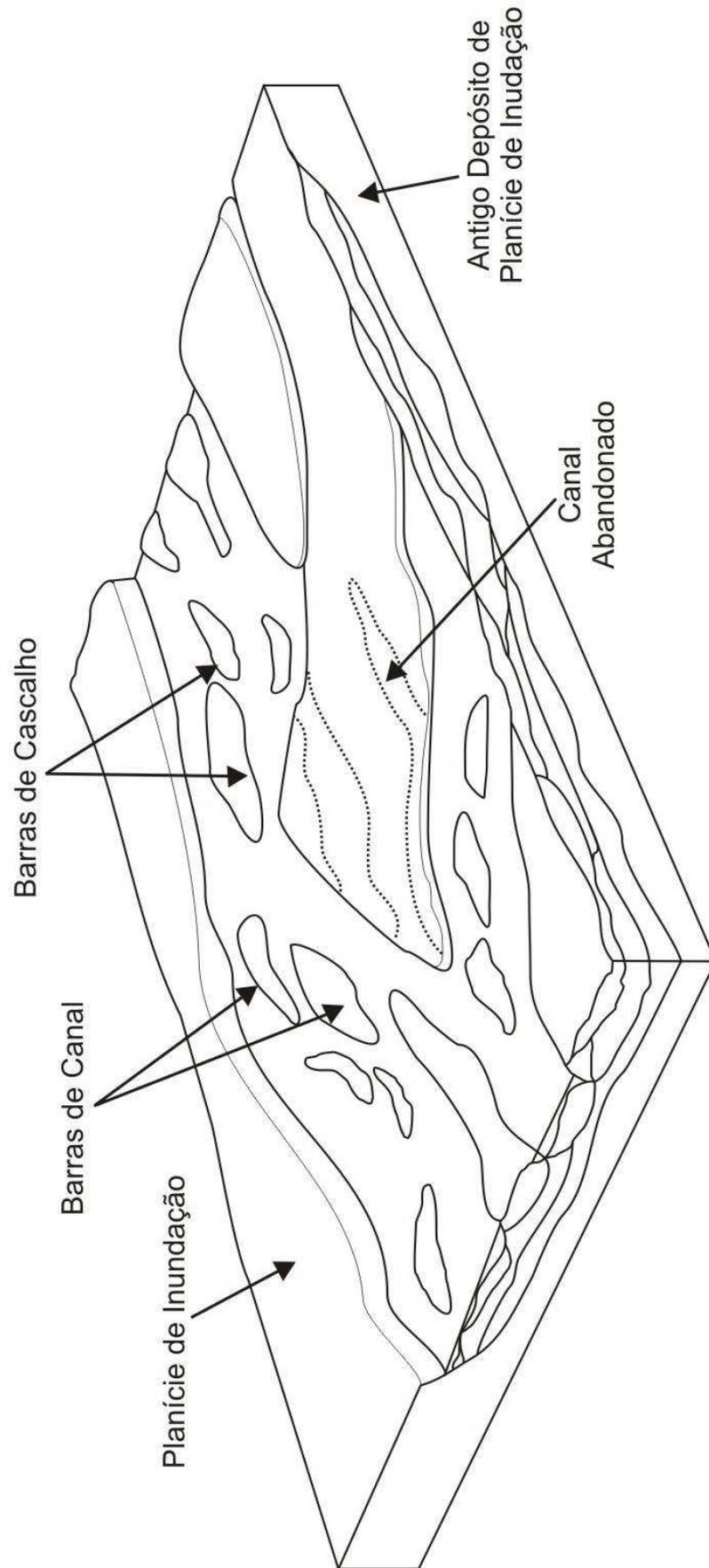


Figura 28 - Modelo de planície fluvial de canal entrelaçado.

4. CONCLUSÃO

Com a caracterização do padrão do sinal obtido pelo *GPR* e correlação com os perfis litológicos e de raios-gama, foi possível concluir que:

- Com este método é possível cobrir vasta área de forma rápida e econômica, evidenciando as principais estruturas geológicas e possivelmente modelando o arcabouço estratigráfico.
- Com o levantamento detalhado de dados em campo, ou seja, pouco espaçamento entre as linhas e o intervalo muito pequeno de aquisição de dados, torna-se possível originar imagens tridimensionais de subsuperfície.
- Os resultados de dados *GPR* neste estudo permitiram criar uma superfície que representa o leito de um paleocanal entrelaçado a partir de radargramas.
- Dados de *GPR* quando interpretados em associação a perfis litológicos favorecem melhor interpretação estratigráfica. De acordo com Van Overmeeren (1998) com base na “fácies de radar” (Anexo C), a determinação das características, história geológica das rochas sedimentares e seus ambientes deposicionais podem ser obtidos a partir de radargramas. Conforme observado no anexo D, o padrão morfológico apresentado nos perfis radargrama, possui características de canais entrelaçados.
- Os altos valores para RG apresentados nos perfis (PRG1, PRG2 e PRG3) são conseqüências da grande quantidade de K-feldspato presente nos arenitos arcoseanos, mas nos siltitos não se compreende bem o motivo destes valores.
- A razão largura do canal/profundidade encontrada nos perfis radargramas possuem valores altos, superiores a 40, conforme esperado em canais do tipo entrelaçado.

- A baixa porcentagem de material fino, ciclos *finning – up* associados, conforme evidenciado no perfil litológico (T2), além de presença de barras, múltiplos tavelgues, margens pouco definidas nos perfis radargramas caracteriza canal do tipo entrelaçado.
- A correlação de dados de perfilagem foi fundamental para definir o paleocanal nas seções radargramas, mas é evidente que apenas os perfis RG com seus valores altos em siltitos e arenitos arcoseanos, levariam a equívocos durante a interpretação de dados na conclusão dos resultados.

Referências Bibliográficas

- Annan, A. P. 1992. *Ground Penetrating Radar. Workshop Notes. Sensors and Softwares*, Inc. Canadá, 80 p.
- Almada, A. V. M. B. 2007. *Determinação de fácies sedimentares com base em dados de subsuperfície, na Formação Resende (Bacia de Resende, RJ)*. Programa de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Trabalho final de Conclusão de Curso de Graduação p.31
- Almeida, F.F.M. 1976. *The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 48:15-26.
- Bristow, C. S; Jol, H. M. 2003. *Ground Penetrating in Sediments*. Pag 2-5.
- Dias, G. A .N. 2007. Modelagem e imageamento dos dados de GPR adquiridos em afloramentos visando o estudo de reservatório petrolífero. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Tese de Doutorado, 109p.
- Davis, J. L; Annan, A. P. 1989. *Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy*. Geophysical Prospecting. V. 37, pp. 531-551.
- Ékes, C; Friele, P. 2003. *Sedimentary architecture and post-glacial evolution of Cheekye fan, southwestern British Columbia, Canada*. In: BRISTOW, C. S. & JOL, H. M (eds) 2003. *Ground Penetrating Radar in Sediments*. Geological Society, Special Publications, 211, 87- 98.
- Escobar, I. P. 1999. *Estudo Regional da Bacia de Resende com base no Método Gravimétrico*. Relatório Final, Projeto MODESTHI. CPRM, Rio de Janeiro. 26 p.
- Heilbron, M. C. L. 1995. *O Segmento Central da Faixa Ribeira: Síntese Geológica e Ensaio de Evolução Geotectônica*. Rio de Janeiro, 110 p. (Tese de Livre – Docência, Departamento de Geologia – UERJ).
- Heilbron, M.; Valeriano, C. M.; Almeida, J.C.A.; Tupinamba, M. 1991. *A Megasinforma do Paraíba do Sul e sua Implicação na compartimentação tectônica do setor central da faixa ribeira* in SBG/ Núcleo São Paulo, Simp. Geol. Sudeste, 2, SP, atas, p. 519-526.
- Heinz, J.; Aigner, T. 2003. *Three-dimensional GPR analysis of various Quaternary gravel-bed braided river deposits (southwestern Germany)*. In: BRISTOW, C. S. & JOL, H. M (eds) 2003. *Ground Penetrating Radar in Sediments*. Geological Society, Special Publications, p. 211, 99-110.
- Interpex, 1996. Gradix- Manual do Usuário. <http://www.interpex.com/>

- Macedo, J.M.; Bacoccoli, G.; Gamboa, L. A. P. 1991. *O tectonismo mesoceno-zóico da região sudeste*. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, São Paulo, 1991. Atas....São Paulo, SBG/SP. V.2, p.429-437.
- Marques, A. 1990. *Evolução tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da bacia de Taubaté, São Paulo, Brasil*. B. Geoci. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 4 (3): 253-262, jul./set. 1990.
- Marques, J.J. E. 1999. *Curso – O Radar de Penetração de Solo - GPR. Teoria – Aquisição Processamento Interpretação*.
- Olsson, O.; Falk, L.; Forslund, O., Lundmark, L.; Sandberg, E. 1992. *Borehole Radar Applied to the Characterization of Hydraulically Conductive Fracture Zones in Crystalline Rock*. Geophysical Prospecting. 40, pp. 109-142.
- Popini, M. V. F. 2001. *Processamento de dados de GPR utilizando métodos da sísmica de reflexão*. Programa de Pós-graduação em Geofísica, Universidade Federal da Bahia, Dissertação de mestrado, 116p.
- Porsani J. L. 2002. *Método GPR. Aplicações em geologia, geotecnia, meio ambiente e planejamento urbano*. IV Escola de Verão de Geofísica. Versão 3.0 Universidade de São Paulo.GPR.
- Ramos, R. R. C. 1997. *Estratigrafia da sucessão sedimentar terciária da bacia de Resende, entre Resende e Quatis (RJ), com ênfase na caracterização das litofácies, ciclicidade e paleocorrentes*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 208 p.)
- Ramos, R. R. C. 2003. *Sistemas Aluviais Terciários da Bacia de Resende, Estado do Rio de Janeiro, Brasil: Análise de Fácies e Revisão Estratigráfica*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Tese de Doutorado, 221 p.
- Ramos, R. R. C.; Andreis, R. R. 1998. *A composição dos arenitos fluviais terciários da bacia de Resende (RJ) e interpretação das áreas de procedência dos detritos* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40. Belo Horizonte, 1998. *Bol. Resumos...*Belo Horizonte, SBG, p.71.
- Ramos, R. R. C.; Melo, C. L.; Sanson, M. S. R. 2006. *Revisão estratigráfica da bacia de Resende, Rift Continental do Sudeste do Brasil, Estado do Rio de Janeiro*. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 25, n. 1, p. 59-69.
- Riccomini, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, Tese de Doutorado, 256 p.
- Richards, K. 1982. *Rivers. Forms and processes in alluvial channels*. Methuen e Co. (Ed) New York, 358 p.

Rider M. 1996. *The geological interpretation of well logs* (2nd ed.): Caithness (Whittles Publishing).

Santos, H. S.; Flexor. J.M. 2008. *O método transiente eletromagnético (tem) aplicado ao imageamento geoeletrico da bacia de Resende (RJ, Brasil)*. Rev. Bras. Geof. vol.26 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2008

Van Overmeeren, R. A. 1998. *Radar Facies of Unconsolidated Sediments in The Netherlands: a Radar Stratigraphy Interpretation Method for Hydrogeology*. Journal of Applied Geophysics, .40 pp.1-18.

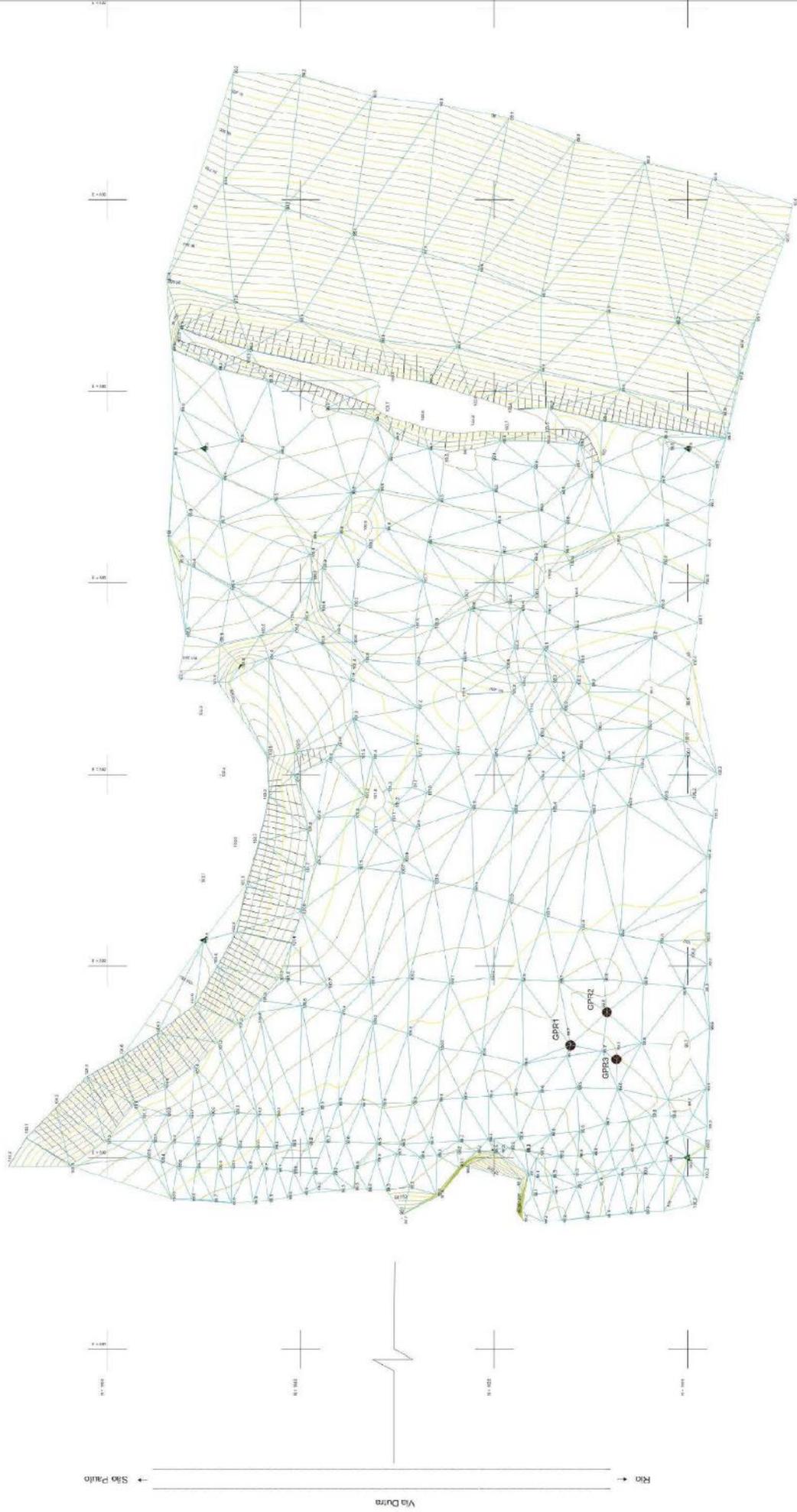
Yilmaz, O. 1991, *Seismic data Processing*, Society of Exploration Geophysicists, p.105-124.

Anexo A

Levantamento topográfico da área de aquisição de dados GPR, Resende-RJ -
Platô do afloramento da “Ponte dos Arcos”.

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Resende
Escala 1/200
29/03/2006



GPR2

- 000 Furo de sondagem
- ▲ 00,0 Piquete

Notas Técnicas

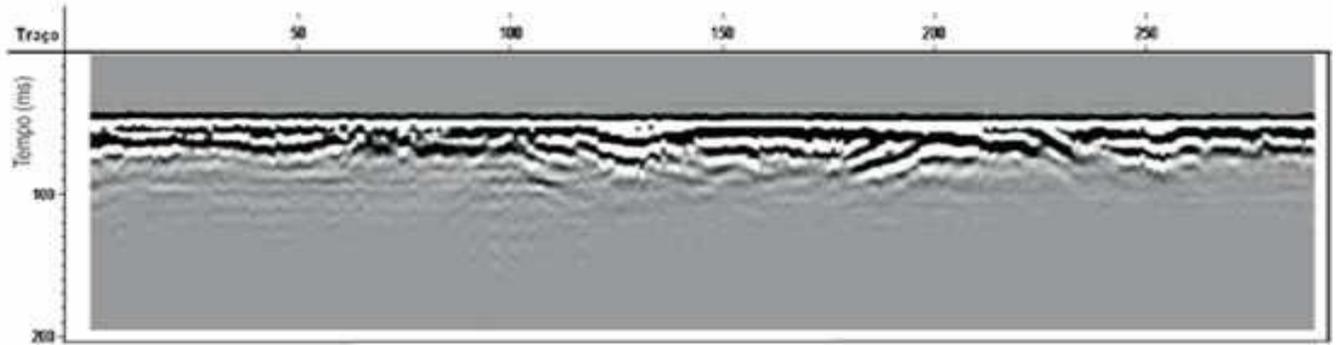
- 1 - As coordenadas e cotas estão em sistema arbitrário.
- 2 - A representação da via Dutra é esquemática e utilizada apenas para situação do terreno.
- 3 - A equidistância das curvas de nível é de 0,25 m.

Anexo B

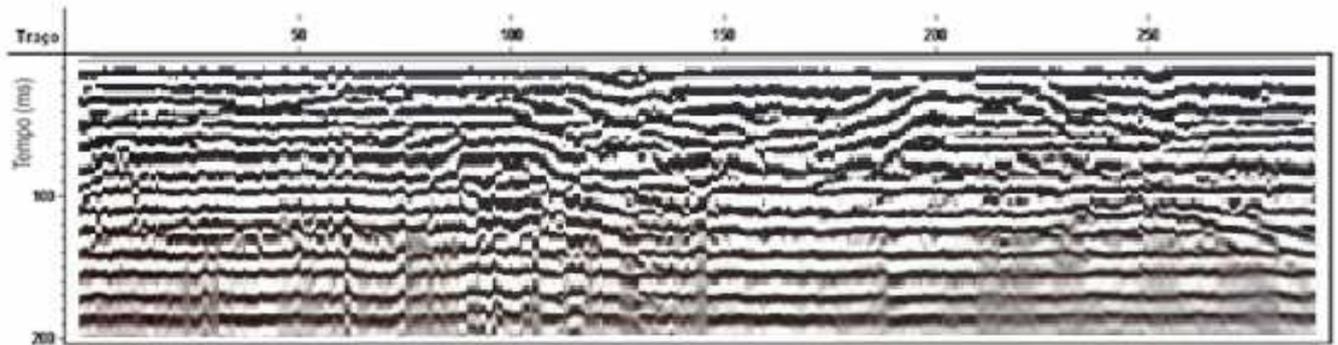
Radargrama das 23 linhas maiores (*strikes* e *dips*) e as 23 linhas menores (*strikes* e *dips*), sem e com processamento.

Linhas maiores, transversais à Rodovia Presidente Dutra, de 240 a 248 processadas e não processadas respectivamente.

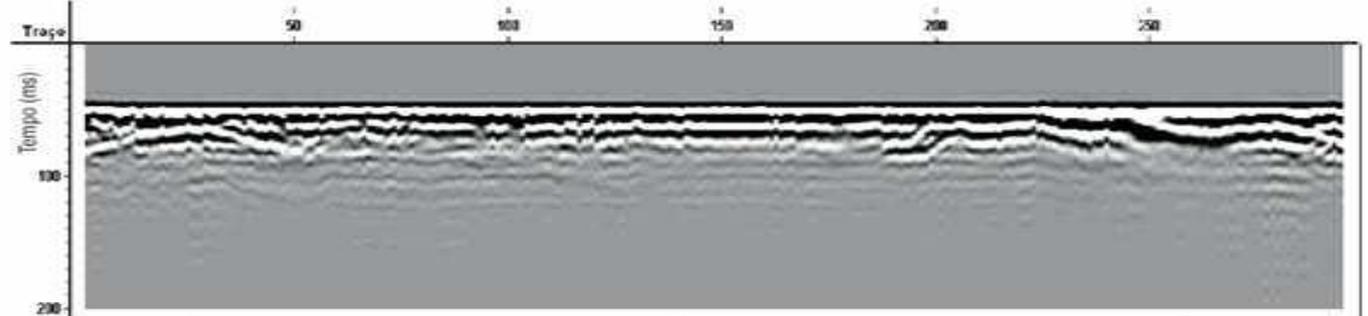
Linha 240



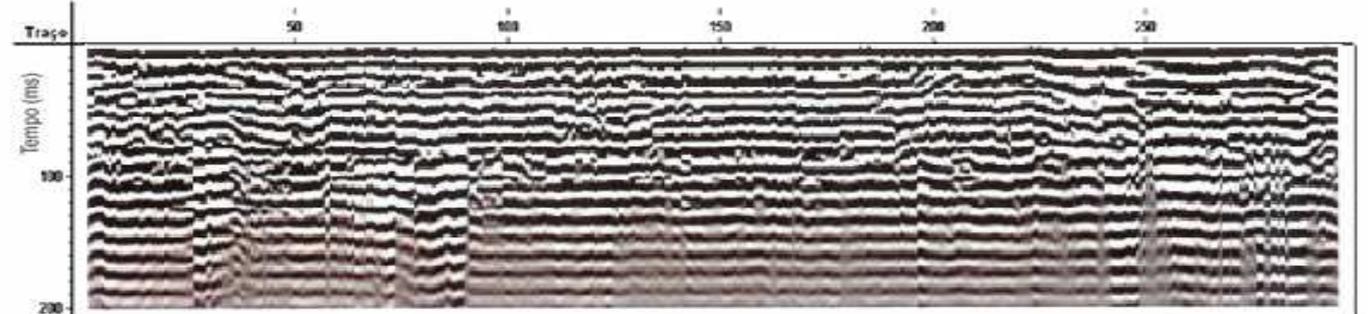
Linha 240



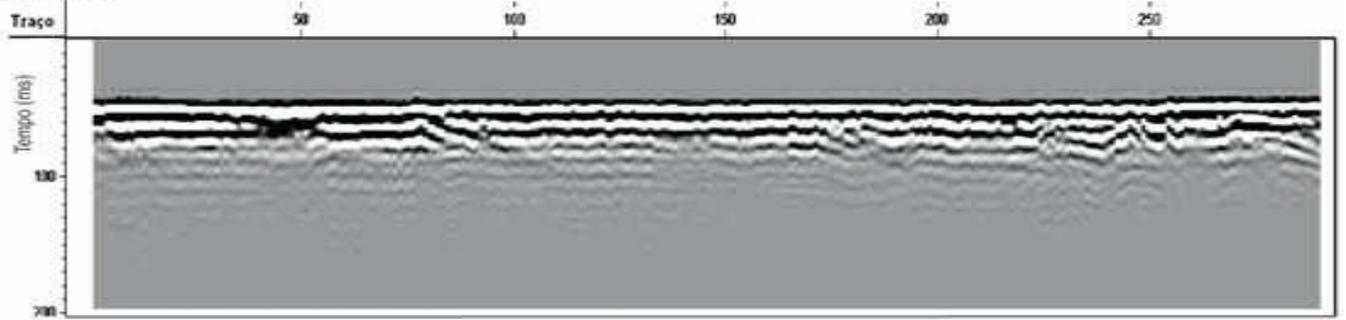
Linha 242



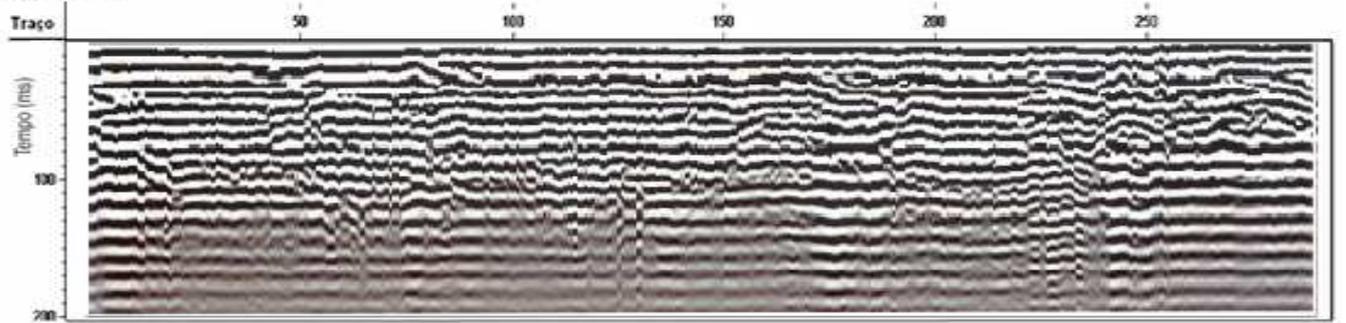
Linha 242



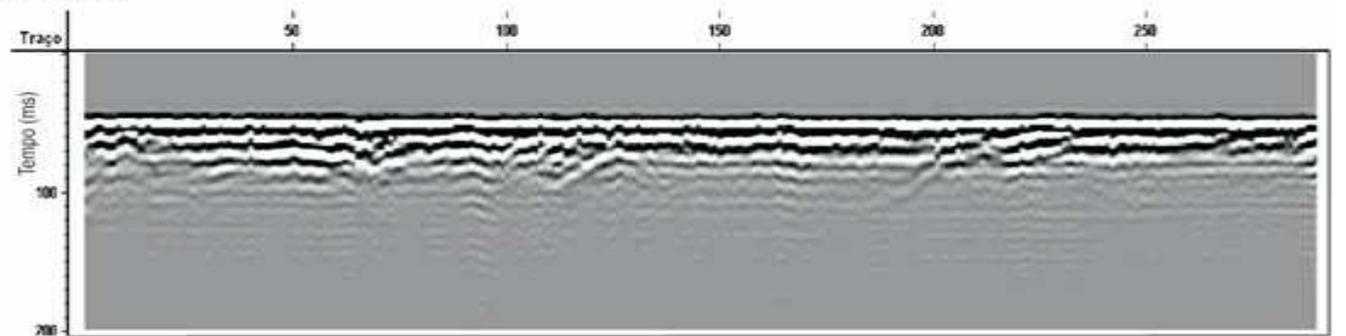
Linha 243



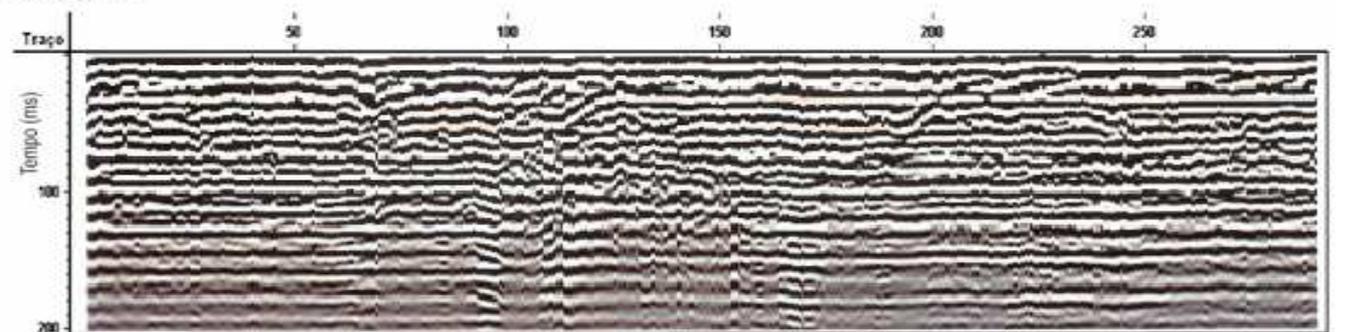
Linha 243



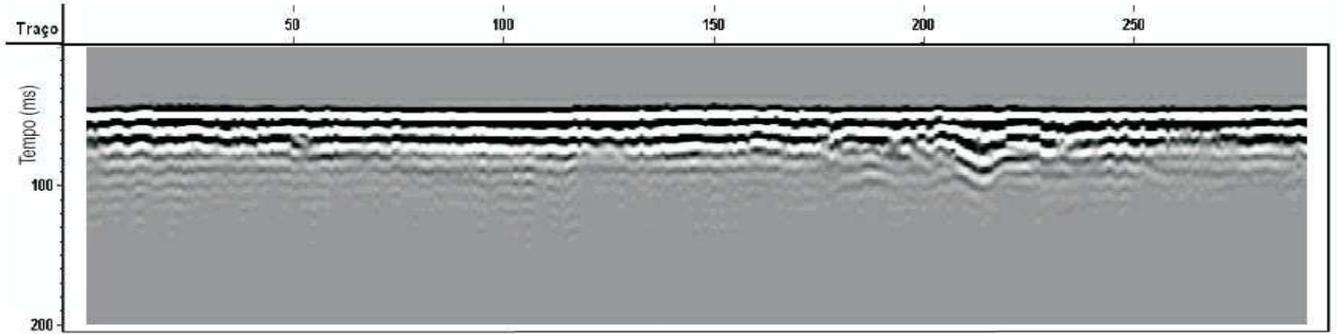
Linha 244



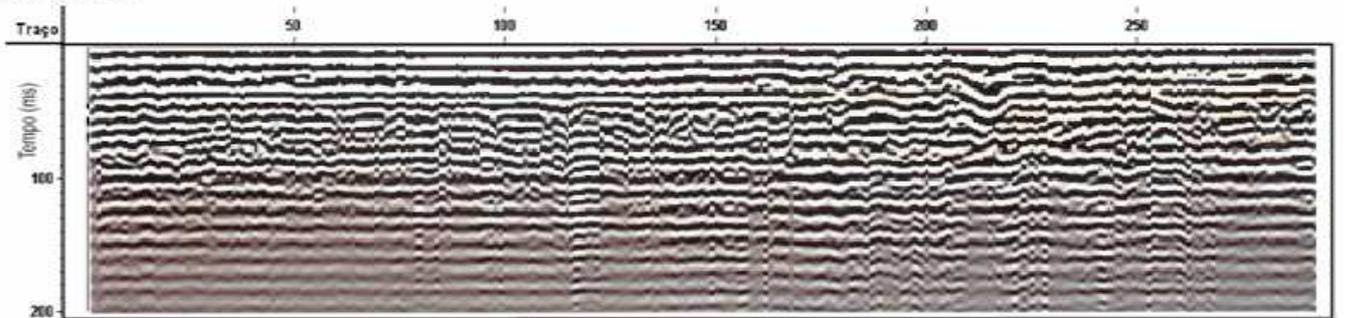
Linha 244



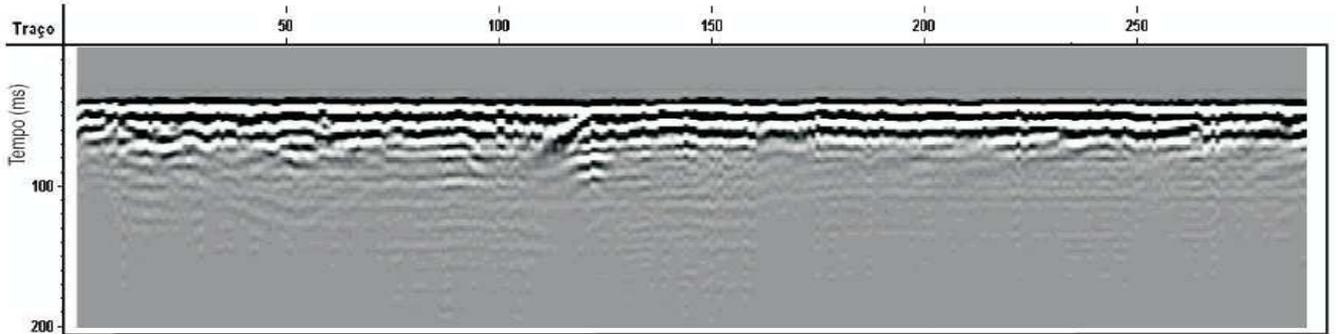
Linha 245



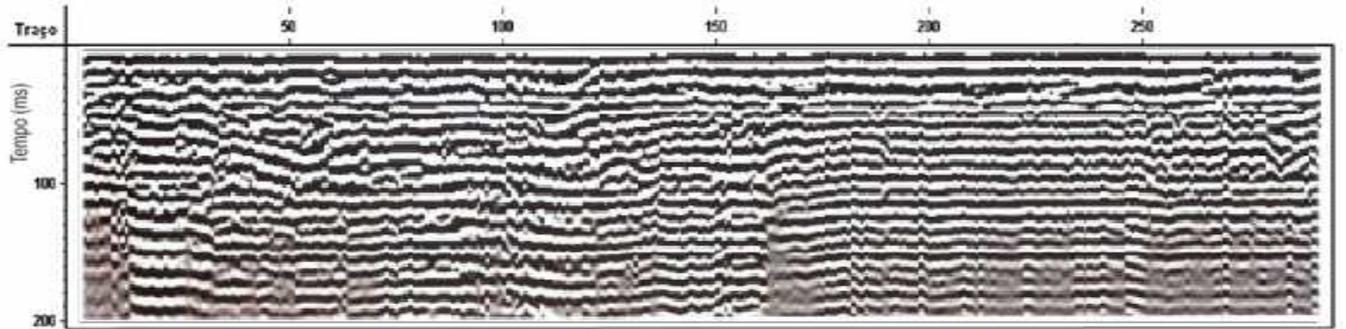
Linha 245



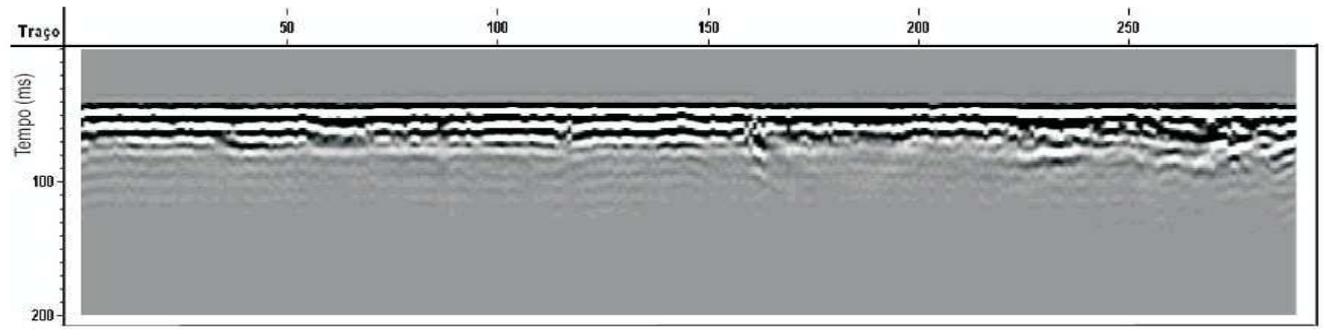
Linha 246



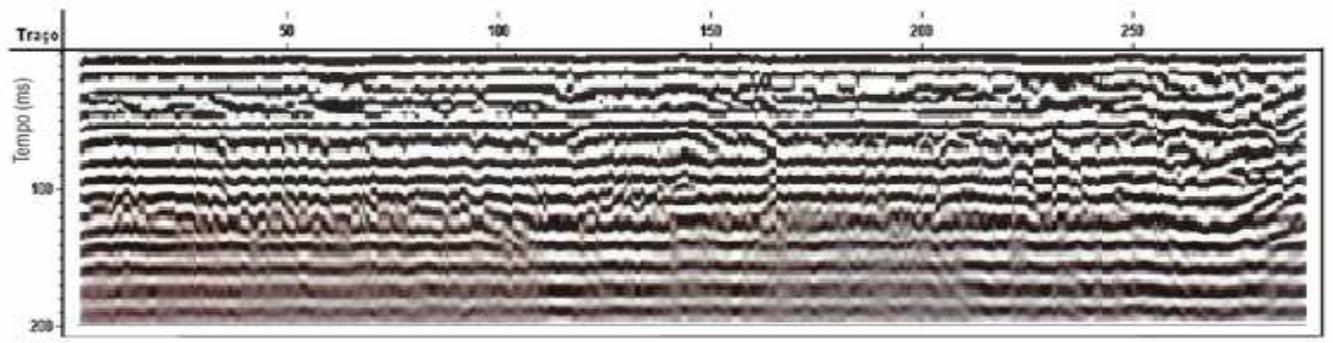
Linha 246



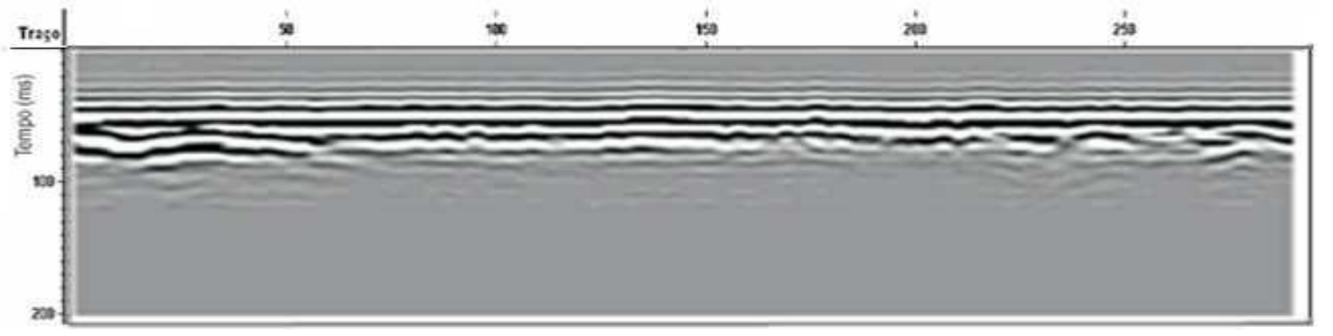
Linha 247



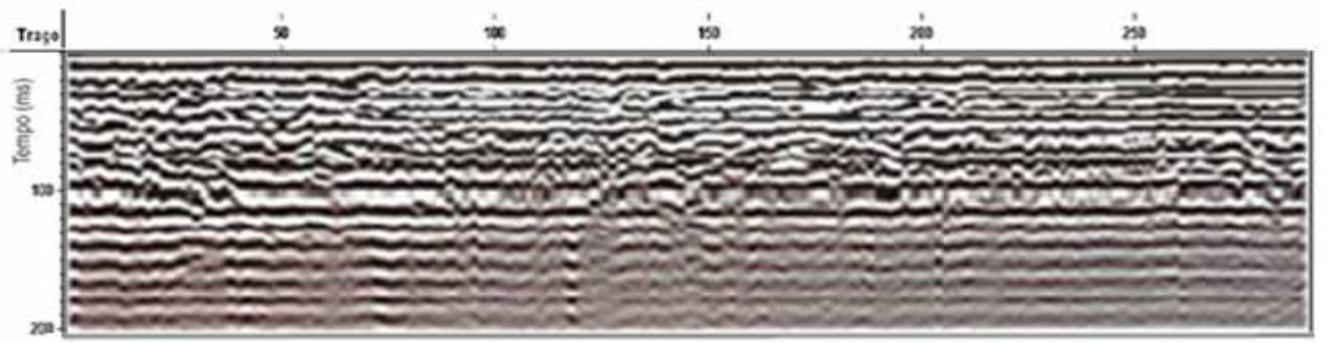
Linha 247



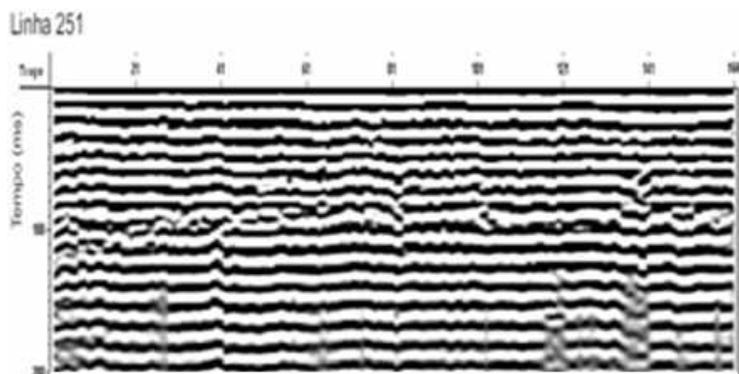
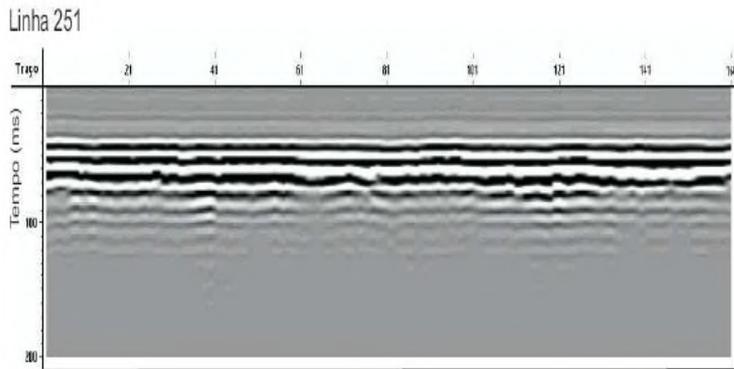
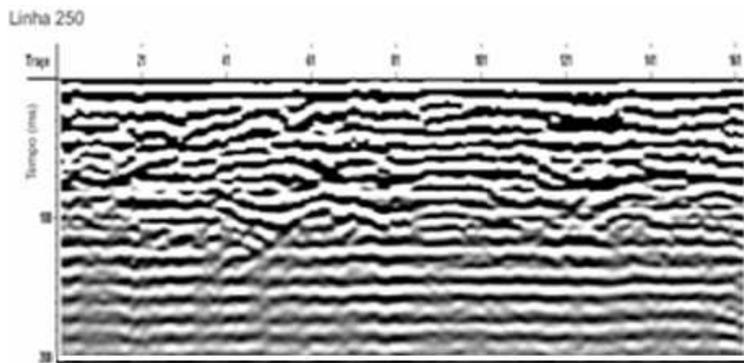
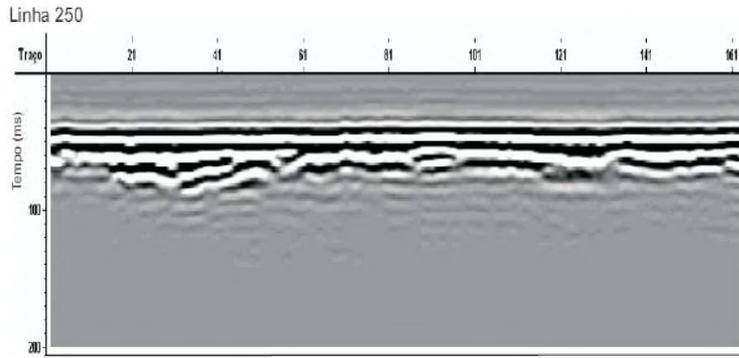
Linha 248



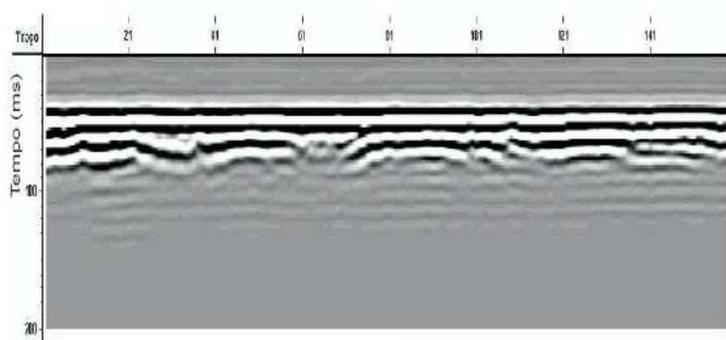
Linha 248



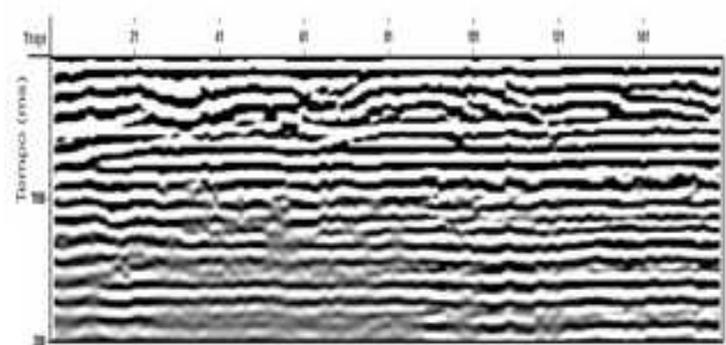
Linhas maiores longitudinais à Rodovia Presidente Dutra, de 250 a 264 processadas e não processadas respectivamente.



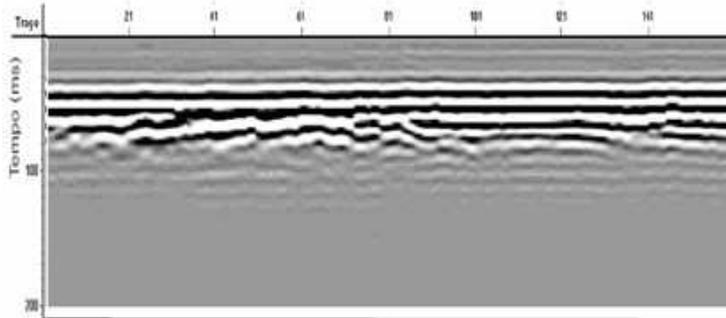
Linha 252



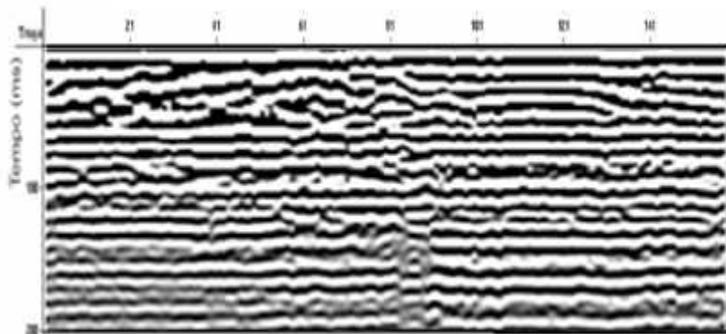
Linha 252



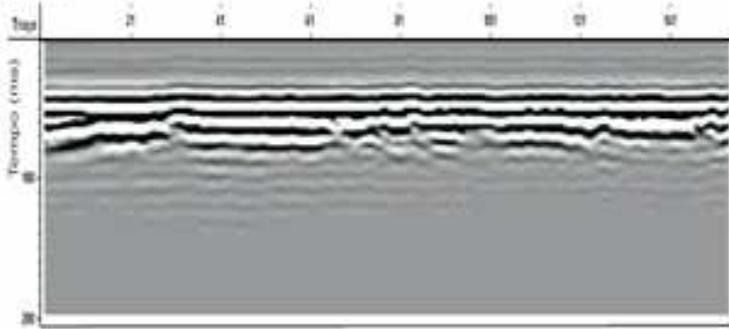
Linha 253



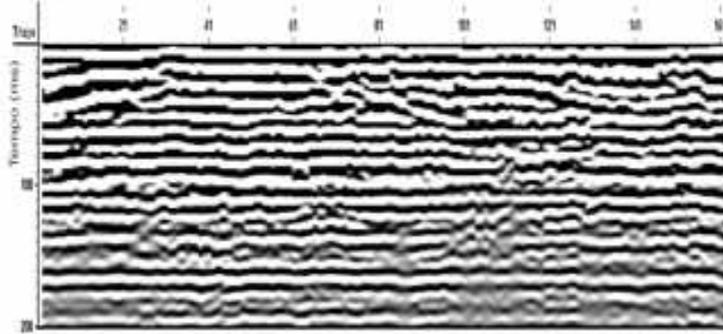
Linha 253



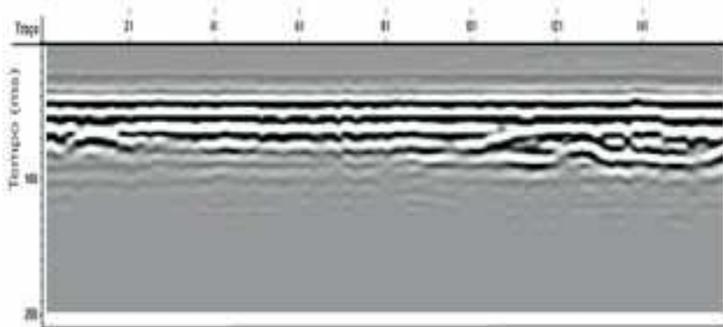
Linha 254



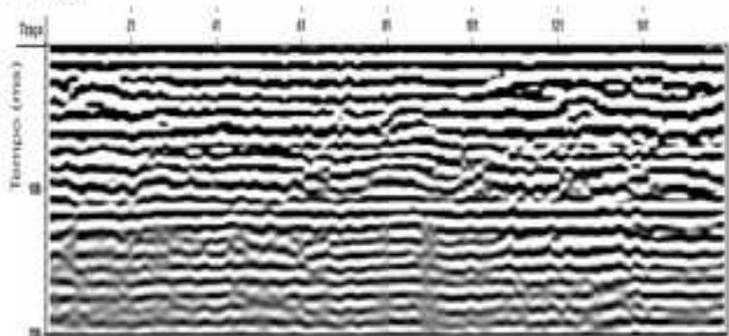
Linha 254



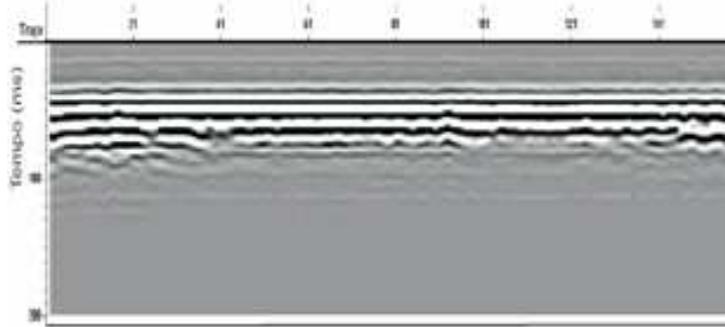
Linha 255



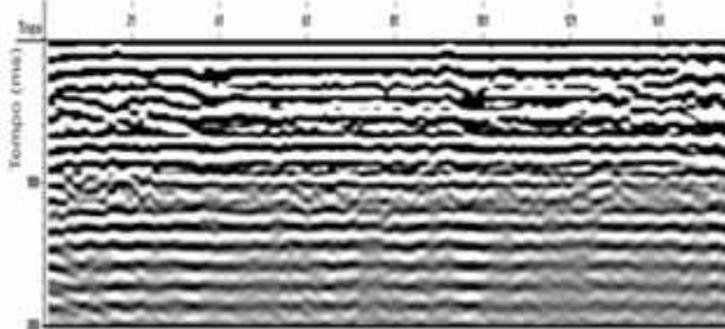
Linha 255



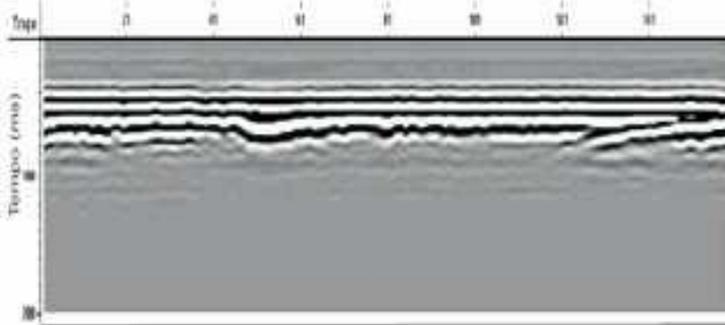
Linha 256



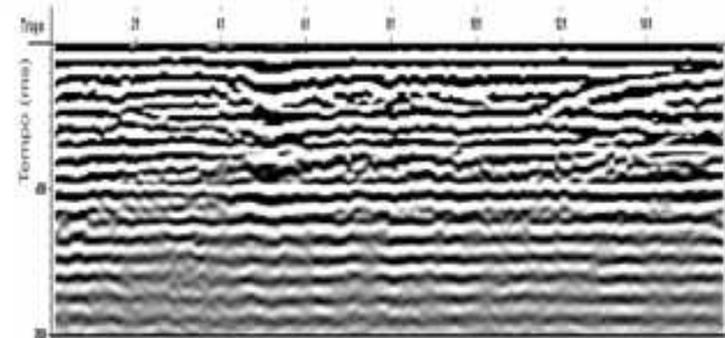
Linha 256



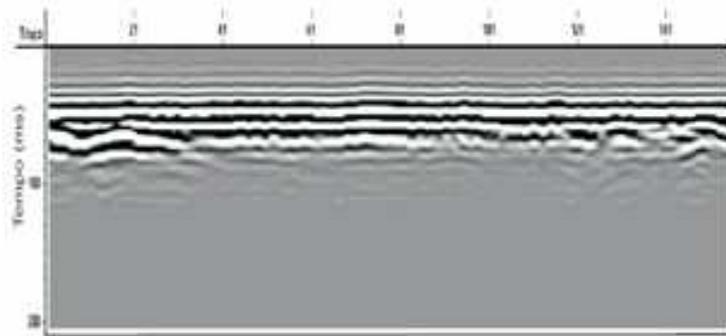
Linha 257



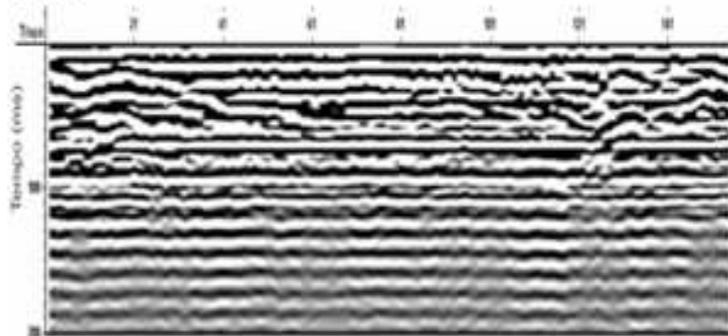
Linha 257



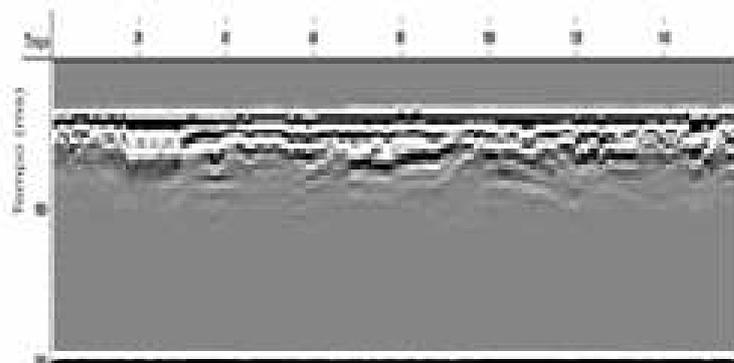
Linha 258



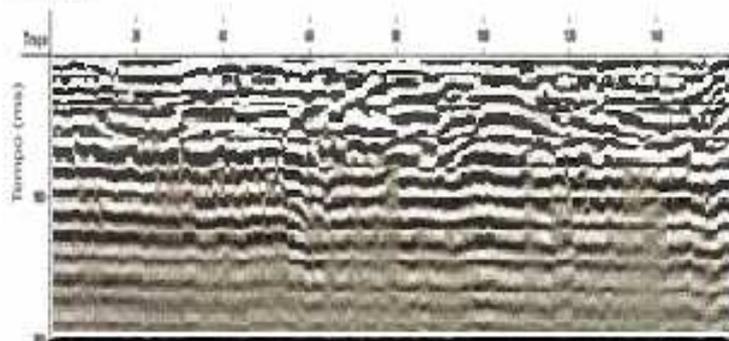
Linha 258



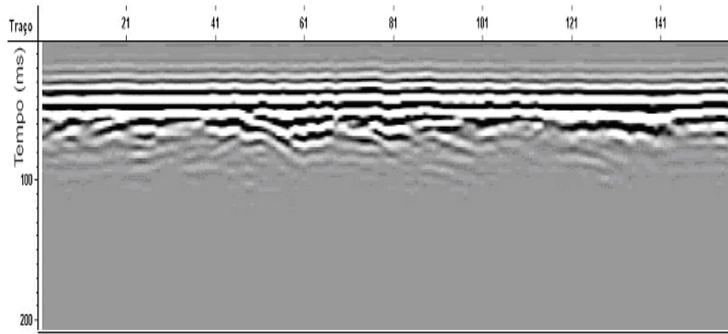
Linha 259



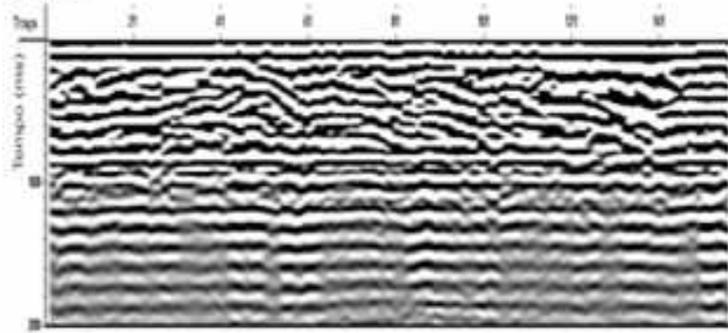
Linha 259



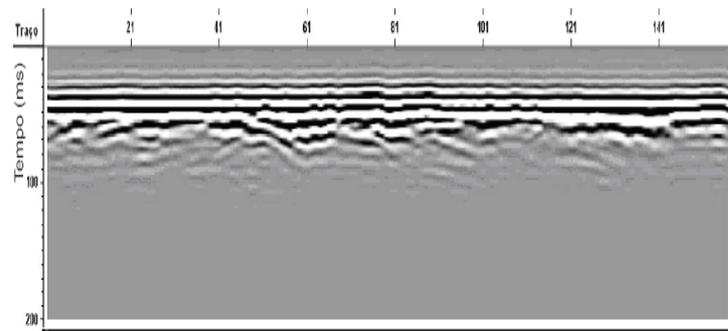
Linha 260



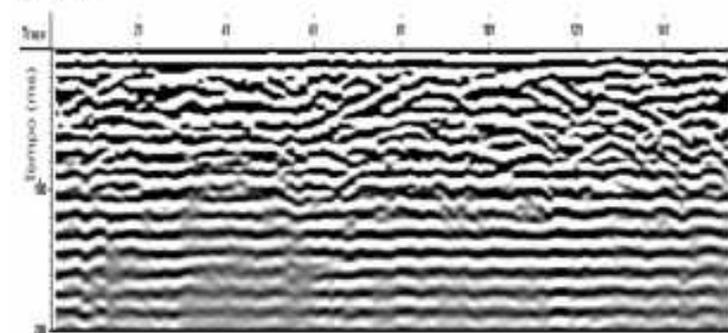
Linha 260



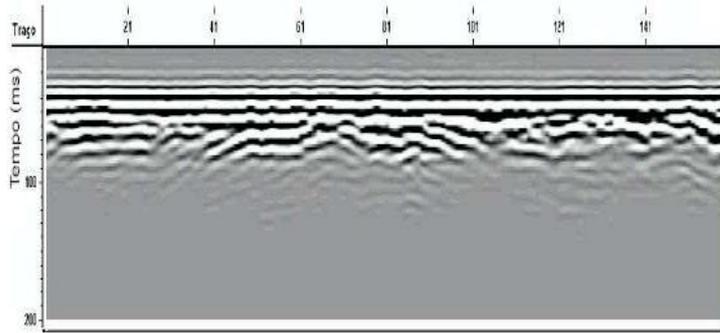
Linha 261



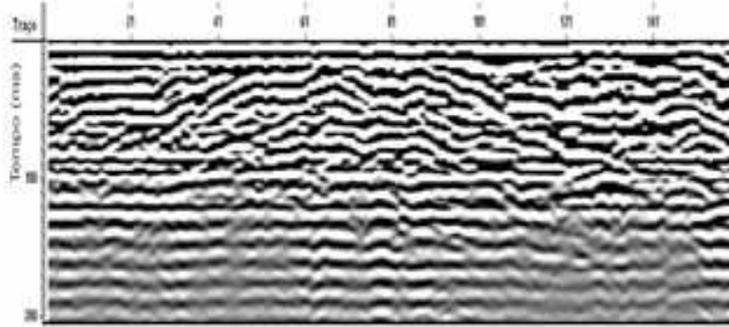
Linha 261



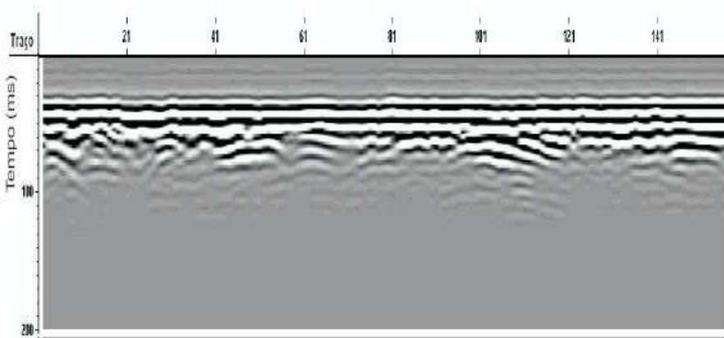
Linha 262



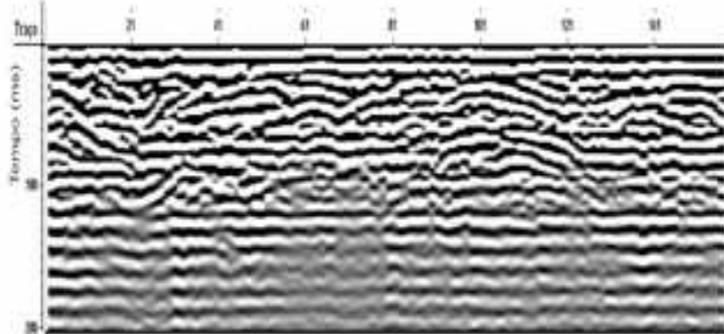
Linha 262



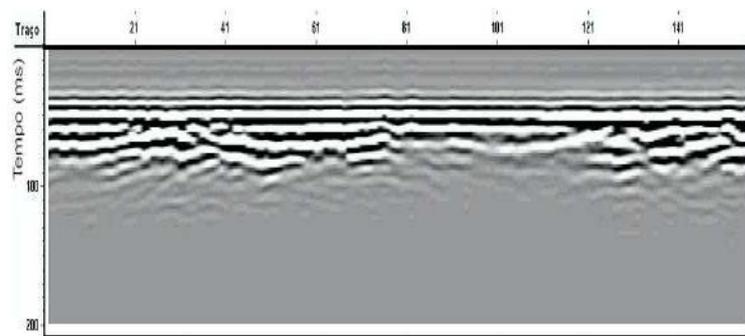
Linha 263



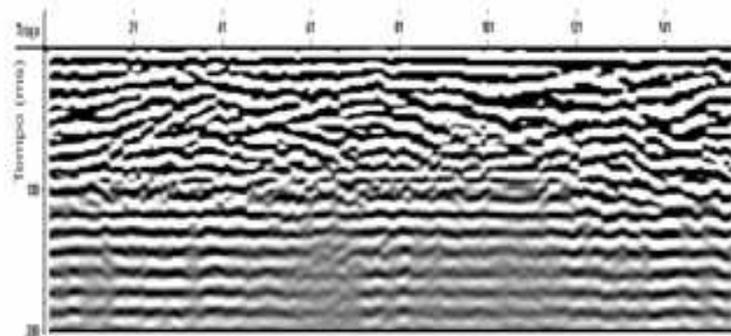
Linha 263



Linha 264

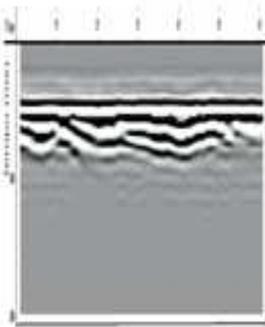


Linha 264

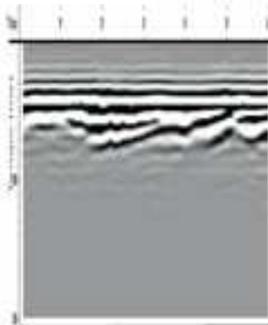


Linhas menores, transversais à Rodovia Presidente Dutra, de 290 a 300 processadas e não processadas respectivamente.

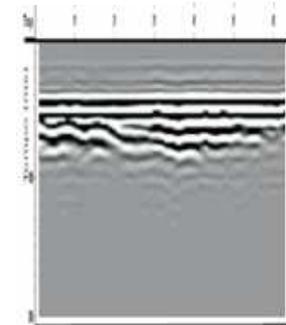
Linha 290



Linha 291



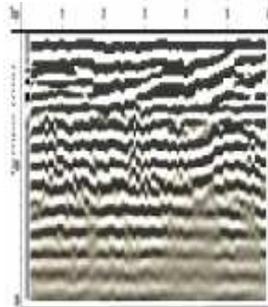
Linha 292



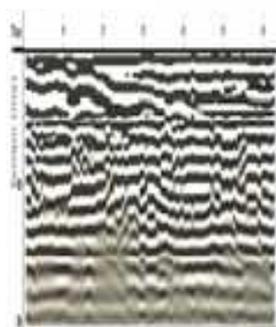
Linha 290



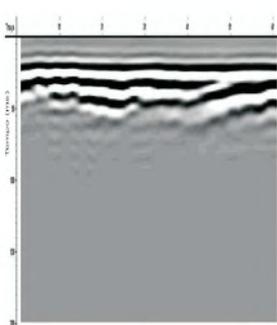
Linha 291



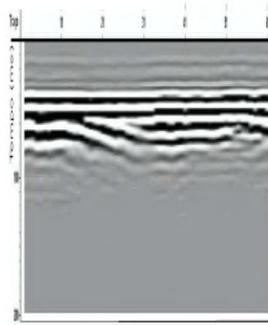
Linha 292



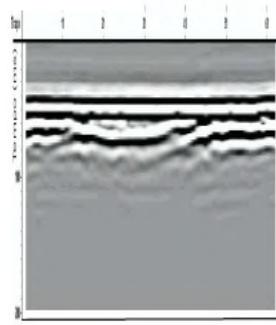
Linha 293



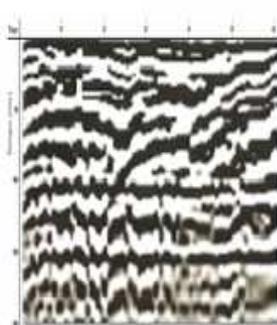
Linha 294



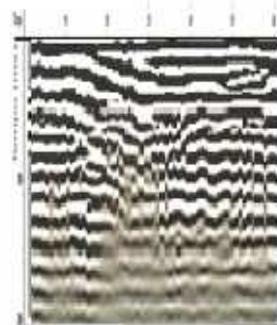
Linha 295



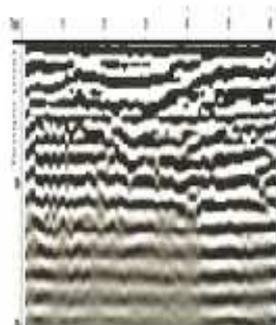
Linha 293



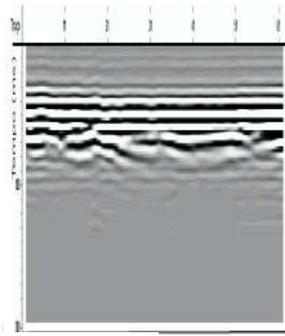
Linha 294



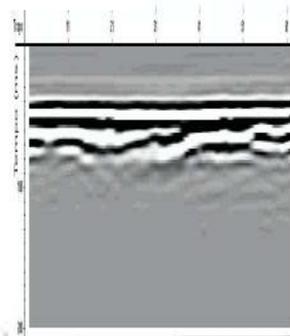
Linha 295



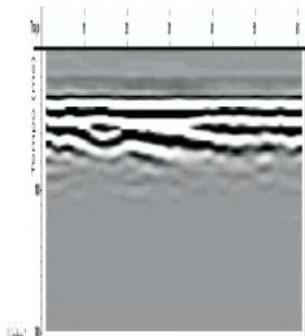
Linha 296



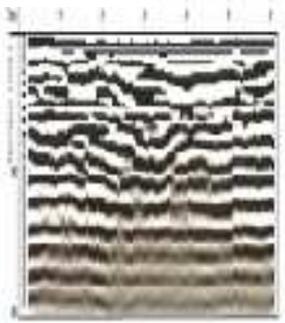
Linha 297



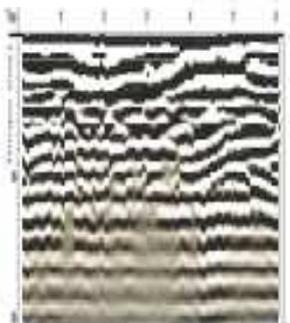
Linha 298



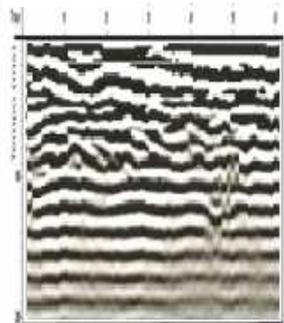
Linha 296



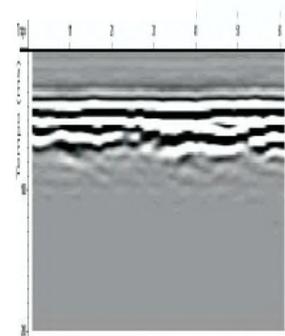
Linha 297



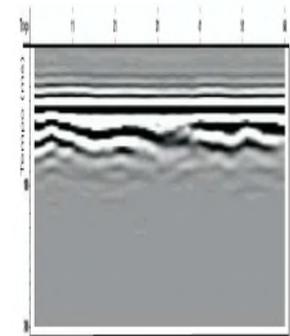
Linha 298



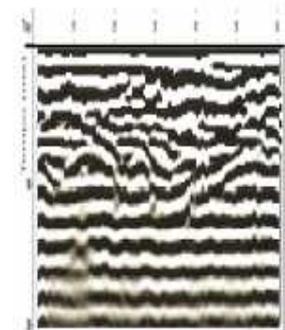
Linha 299



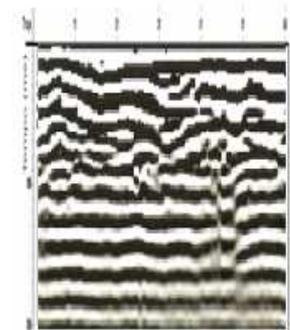
Linha 300



Linha 299

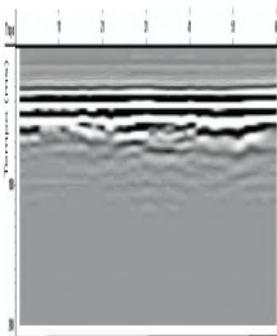


Linha 300

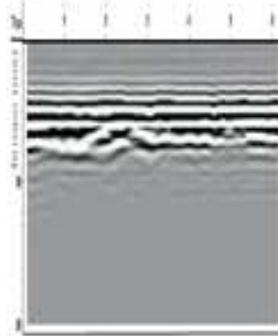


Linhas menores, longitudinais à Rodovia Presidente Dutra, de 270 a 281 processadas e não processadas resctivamente.

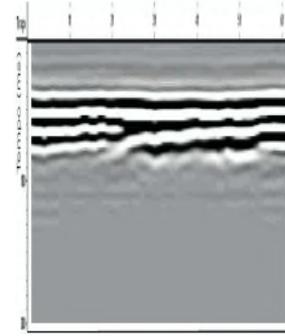
Linha 270



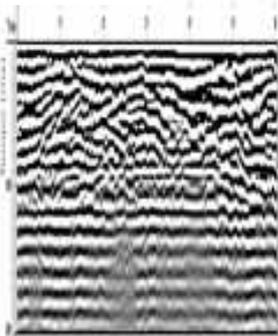
Linha 271



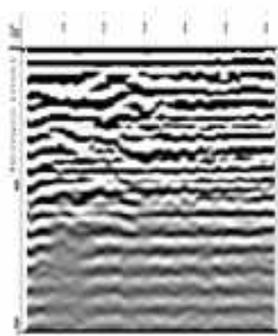
Linha 272



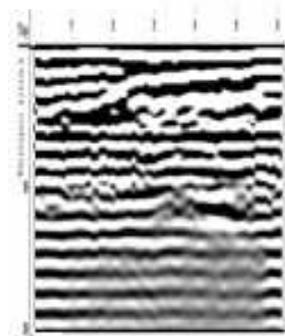
Linha 270



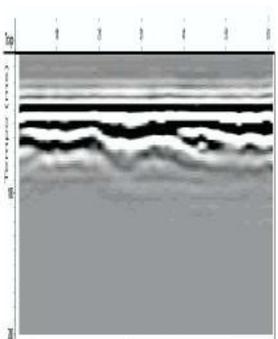
Linha 271



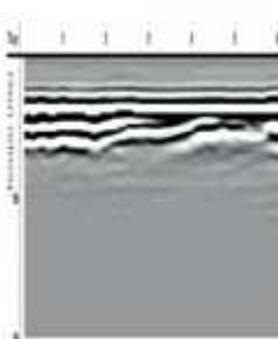
Linha 272



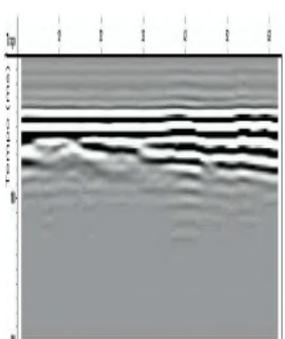
Linha 273



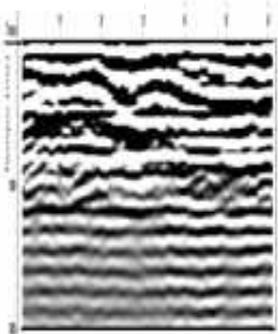
Linha 274



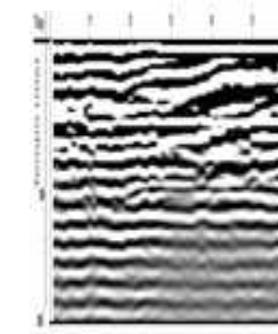
Linha 275



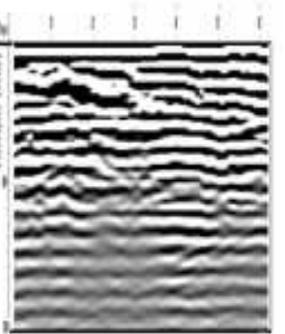
Linha 273



Linha 274



Linha 275

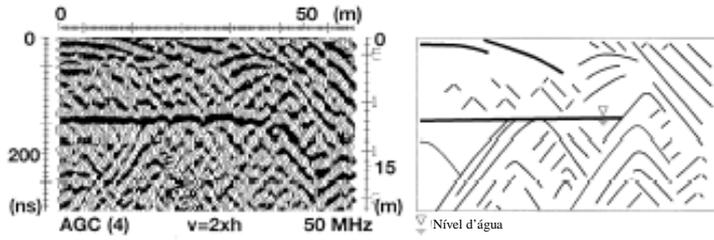


Anexo C

Diagrama de “fácies de radar” com padrões de reflexão característicos de vários ambientes sedimentares (modificado de Van Overmeeren, 1998).

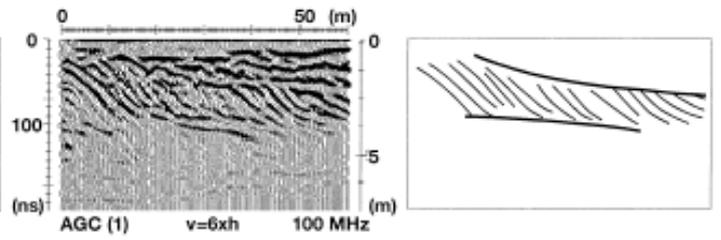
Ambiente Glacial

Morainas

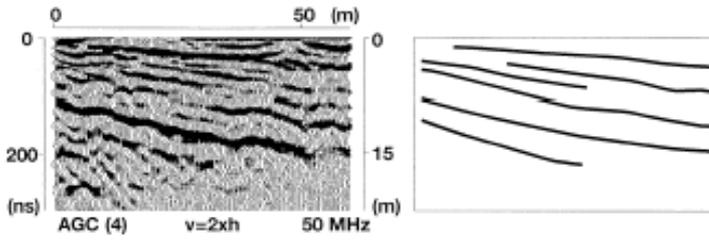


Ambiente Eólico

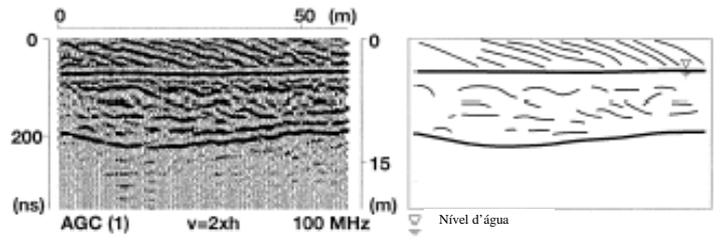
Dunas arenosas costeiras



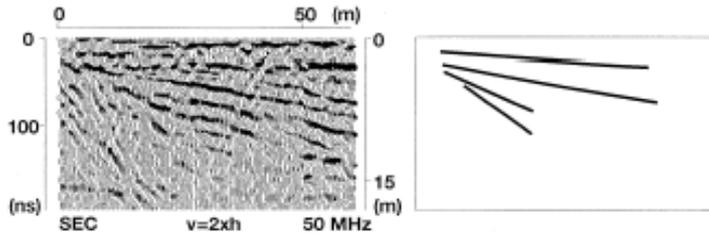
Depósitos glacio-fluviais



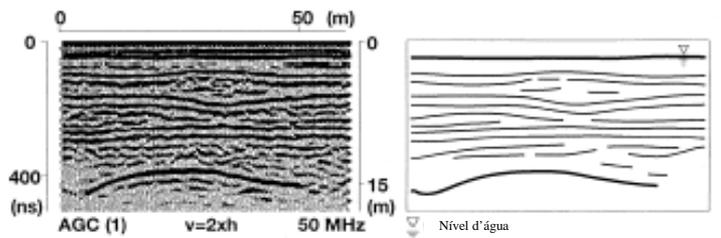
Dunas de rio



Depósitos glacio-lacustres

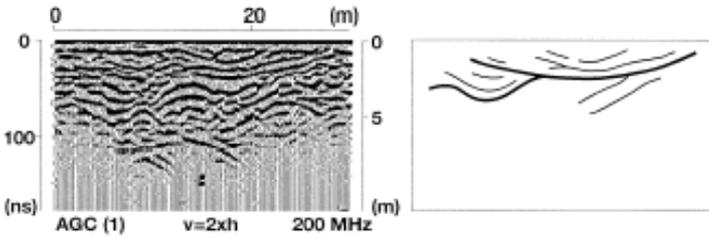


Coberturas arenosas



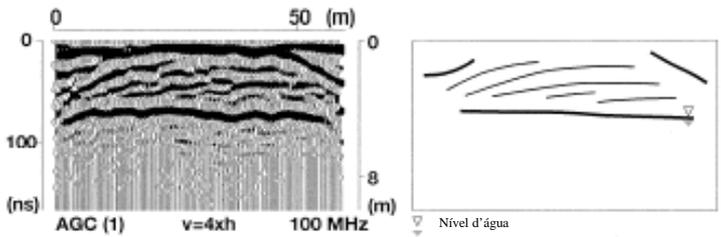
Ambiente Fluvial

Rios entrelaçados

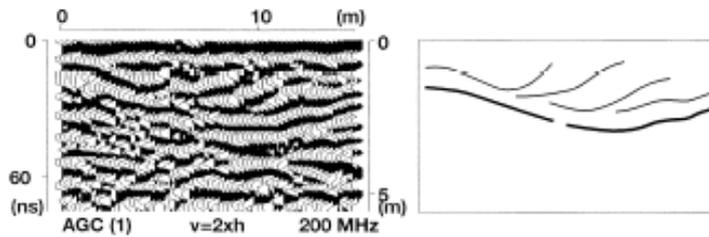


Ambiente Marinho

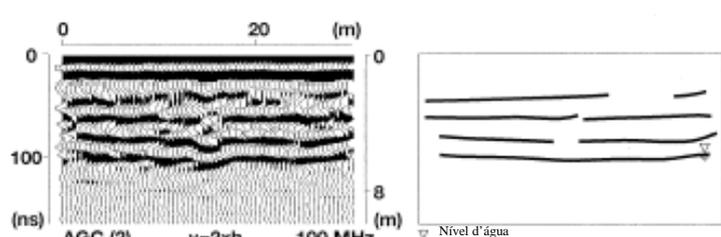
Cordilheiras de praia



Rios meandrantés

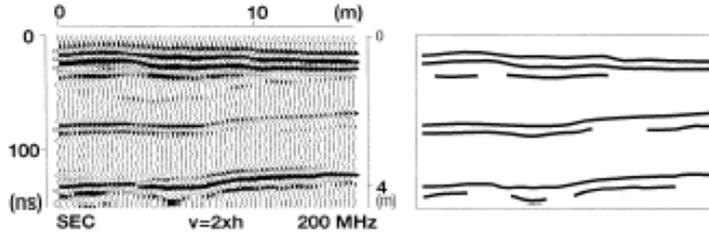


Areias marinhas costeiras

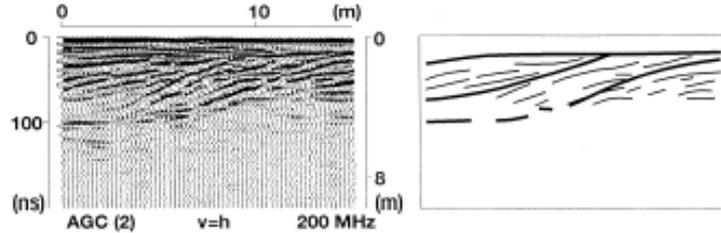


Ambiente Lacustre

Depósitos lacustres

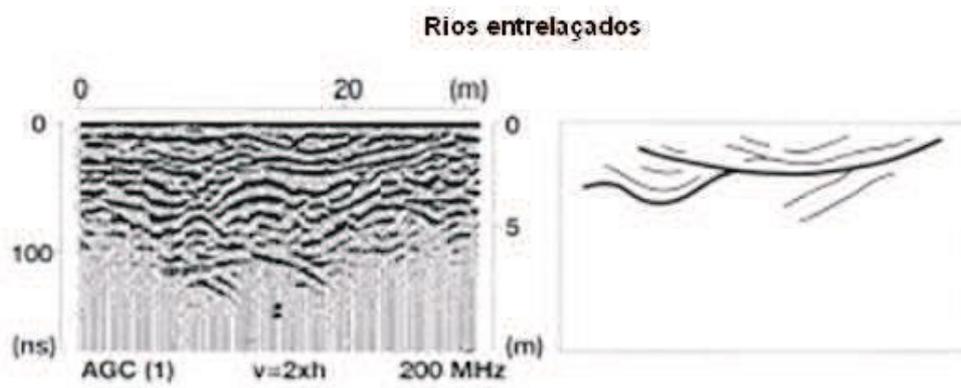


Depósitos estuarinos



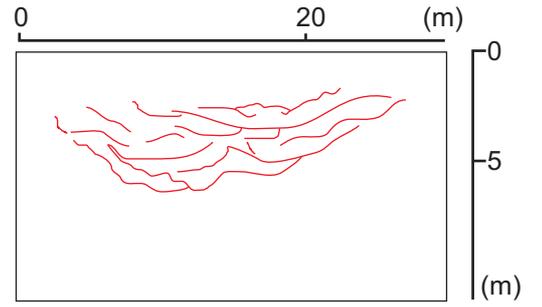
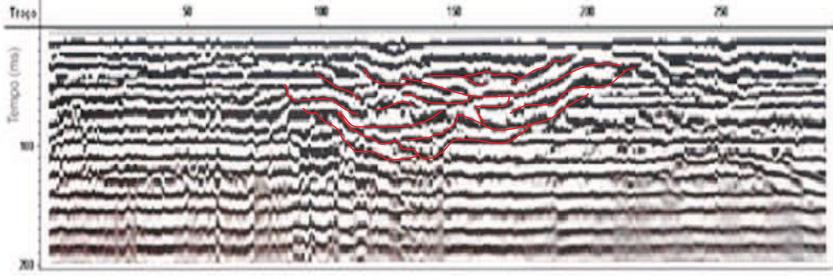
Anexo D

Padrão de reflexão das linhas *GPR*.

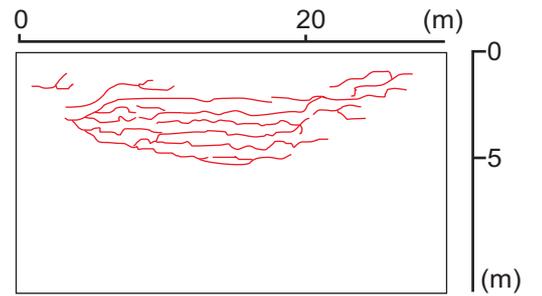
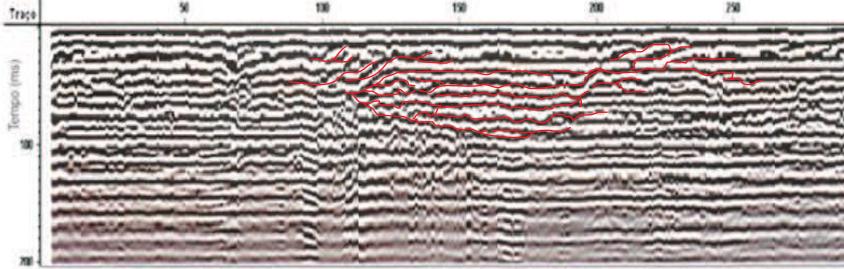


(Modificado de Van Overmeeren, 1998)

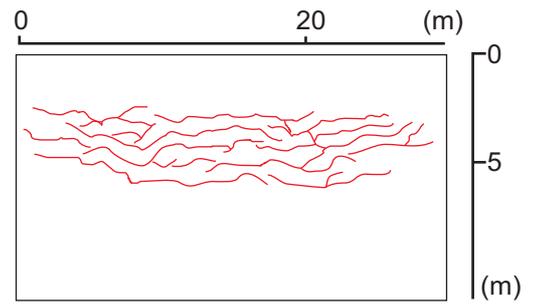
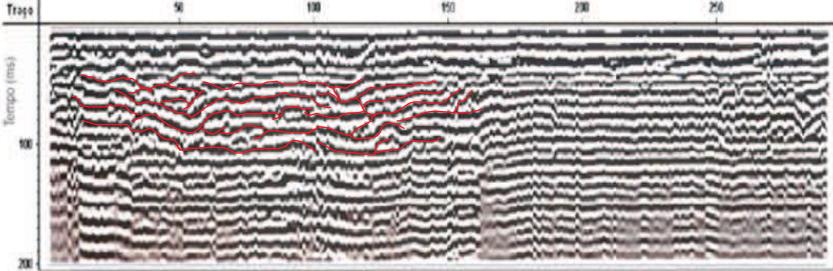
Linha 240



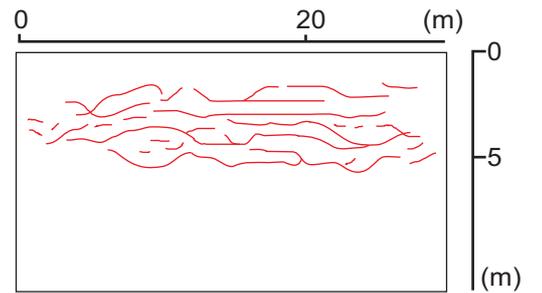
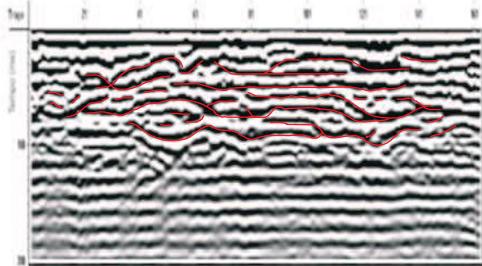
Linha 244



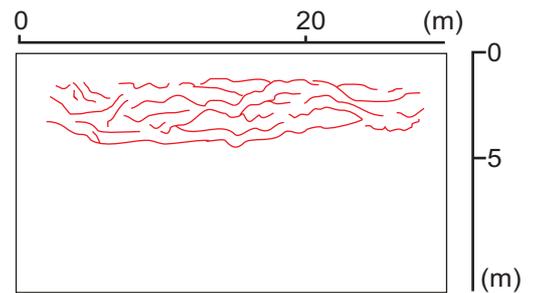
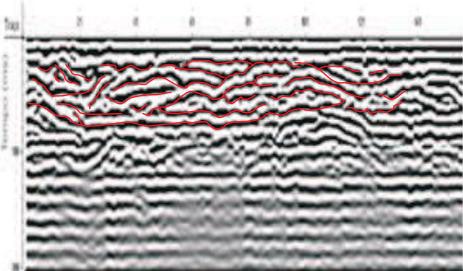
Linha 246



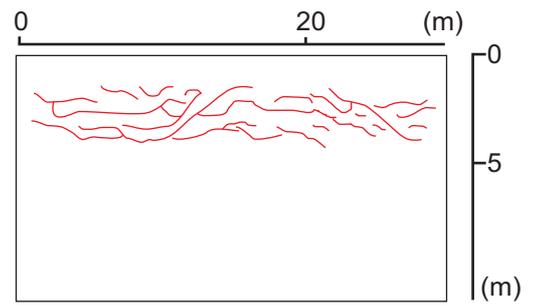
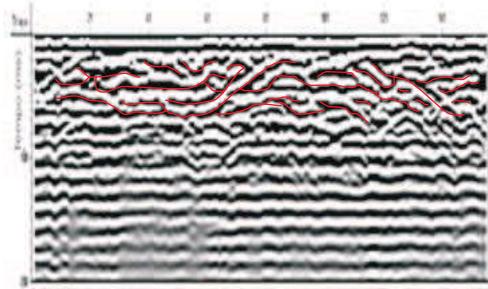
Linha 250



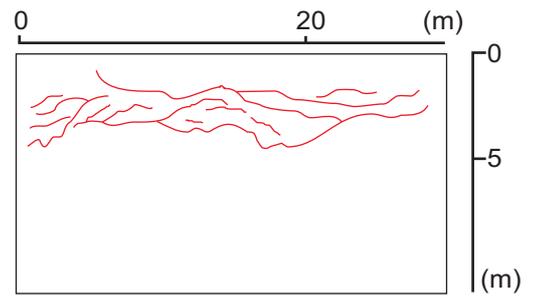
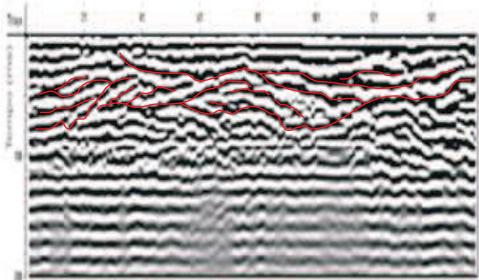
Linha 263



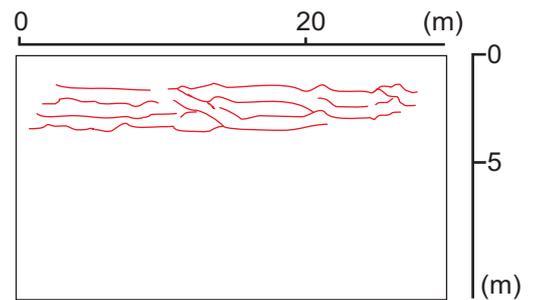
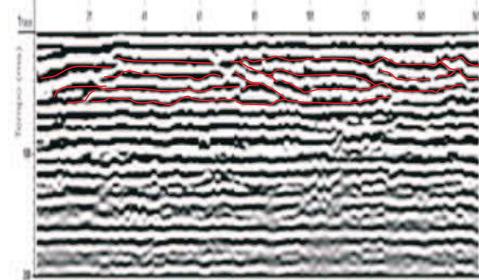
Linha 261



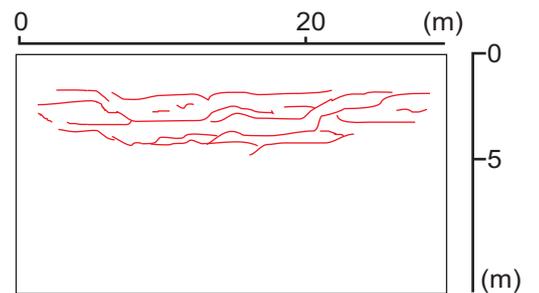
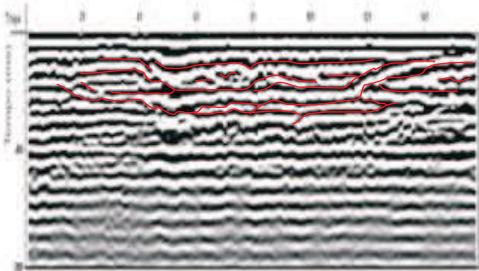
Linha 264



Linha 254



Linha 257



Linha 260

