



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia



Calvin Tamanqueira do Couto

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

O USO DE WPR NA AVALIAÇÃO DE JAZIDA DE AREIA NO RIO PRETO
FLUMINENSE E PAQUEQUER EM SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO, RJ

Rio de Janeiro
2018

Calvin Tamanqueira do Couto

**O USO DE WPR NA AVALIAÇÃO DE JAZIDA DE AREIA NO RIO PRETO
FLUMINENSE E PAQUEQUER EM SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO, RJ**

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:

Prof.^a Dra. Gleide Alencar do Nascimento
Dias

Ficha Catalográfica

COUTO, C. T

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ / Calvin Tamanqueira do Couto – Rio de Janeiro , 2018 – 34p , Departamento de Geologia, UFRJ

Orientador: Prof.^a Dra. Gleide Alencar do Nascimento Dias

O Uso De Wpr Na Avaliação De Jazida De Areia No Rio Preto Fluminense E Paquequer Em São José Do Vale Do Rio Preto, Rj – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

[Rio de Janeiro], 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso, UFRJ

Calvin Tamanqueira do Couto

**O USO DE WPR NA AVALIAÇÃO DE JAZIDA DE AREIA NO RIO PRETO
FLUMINENSE E PAQUEQUER EM SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO, RJ**

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: Prof^a Dra. Gleide Alencar do Nascimento Dias

Aprovada em:

Por:

Prof^a Dra. Gleide Alencar do Nascimento Dias
Departamento de Geologia – UFRJ

Prof Ph.D Regis da Rocha Motta
Departamento de Geologia – UFRJ

Prof DSc Edson Farias Mello
Departamento de Geologia – UFRJ

Rio de Janeiro

2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a todos da minha família, que sempre me apoiaram desde o início desta minha jornada.

Agradecer a minha esposa e também o meu filho que me impulsionaram ainda mais neste final de curso.

Ademais também a todos os meus amigos, tanto da geologia quanto de infância.

Por fim agradecer a grande Professora Gleide Dias, que me apoiou e me abriu os olhos das oportunidades junto à geologia.

ABSTRACT

In this work the volumetric quantification with the aid of the WPR method in fluvial sand was performed with the objective of opening an open pit mine, as well as knowing the best stretches to be explored. The area of the development is present in two polygons, with about 88 total hectares of area, present in the rivers Preto Fluminense and Paquequer, in São José do Vale do Rio Preto, RJ. In this study, the geophysical technique known as the Water Penetration Radar (WPR), which studies the physical property of the ground (dielectric permittiveness) and uses electromagnetic waves of high frequencies (radio waves), in the range from 10 to 2500 MHz underground. The advantage of this method is that it avoids impact to the environment and attributes agility to data acquisition, which adds a lower cost to the customer interested in exploring a particular area. Thus the different spectral responses of each material present in the subsoil will represent the different layers of rocks and ores. The WPR equipment used was the Terra SIRch SIR System-3000 with a 200 MHz antenna, which is composed of a transmitting unit for pulse emission that is picked up by another receiving unit. In the acquisition of data the equipment was placed under a fiber boat, which sailed from one margin to another across the river, in 5 points distributed inside the polygons. After the acquisition of the 5 different lines at locations along the studied area, the data were then processed in the ReflexW 5.0 program with the following processing flow: Move Statement, Dewow, Background Removal, Passabanda and Muting respectively, in order to reduce their possible noises and thus showing the reading and evaluation of these lines. By means of the results, it is possible to evaluate the feasibility of the exploration of the mineral required, in which the amount of material to be prospected in the future was evidenced as well as the water column and the contact of the material of the quaternary with the matrix rock. In the end, it was possible to prove in a technical and dynamic way in the final report of positive research that the future enterprise was feasible due to the great quantity of the ore present.

Keywords: WPR, Ore, Prospection

RESUMO

Neste trabalho foi realizada a quantificação volumétrica, com o auxílio do método WPR, de areia em calha fluvial com o objetivo da abertura de uma mina à céu aberto, assim como saber os melhores trechos a serem lavrados. A área do empreendimento está presente em dois polígonos, com cerca de 88 hectares, presentes nos rios Preto Fluminense e Paquequer, em São José do Vale do Rio Preto, RJ. Dessa forma foi empregada no estudo a técnica geofísica conhecida como Radar de Penetração em Água (*Water Penetration Radar - WPR*), que estuda a propriedade física do solo (permissividade dielétrica) e utiliza ondas eletromagnéticas de altas frequências (ondas de rádio), na faixa de 10 a 2500 MHz sob o solo. A vantagem do método é que evita impacto ao meio ambiente e atribui agilidade na aquisição dos dados, o qual agrega um custo menor ao cliente interessado em explorar uma determinada área. Assim, as diferentes respostas espectrais de cada material presente no subsolo irão representar as diferentes camadas de rochas e minérios. O equipamento de *WPR* utilizado foi o Terra SIRch SIR System-3000 com antena de 200 MHz, que é composto por uma unidade transmissora para emissão de pulso que é captado por outra unidade receptora. Na aquisição dos dados o equipamento foi colocado sob um barco de fibra, o qual navegou de uma margem à outra transversalmente ao rio, em 5 pontos distribuídos dentro dos polígonos. Após a aquisição das 5 diferentes linhas em locais ao longo da área estudada, os dados foram então processados no programa ReflexW 5.0 com o seguinte fluxo de processamento: *Move Statement*, *Dewow*, *Background Removal*, Passabanda e Muting, respectivamente nesta ordem, buscando reduzir seus possíveis ruídos e evidenciando assim a leitura e avaliação destas linhas. Através dos resultados pode-se avaliar a espessura do material arenoso a ser prospectado no futuro como também a coluna d'água sobre o mesmo e o contato deste material do quaternário com a rocha matriz. Assim pode-se comprovar de forma técnica e dinâmica no relatório final de pesquisa positivo que o futuro empreendimento possui uma grande quantidade de minério.

Palavras Chave: *WPR*, minério, prospecção

Lista de figuras

Figura 1. Planta de localização (Fonte: Google Earth, Setembro de 2017).....	4
Figura 2. Mapas de localização da área de estudo (destacada em círculo preto o local das poligonais) e vias de acesso (em linha vermelha), a região em amarelo representa parte do Estado de Minas Gerais e as demais áreas pertencem a parte do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: Google Earth, Setembro de 2017).....	5
Figura 3. Mapa das principais drenagens do vale do Piabanha (Fonte: Comitê Piabanha).....	7
Figura 4. Médias anuais de temperatura (em linha vermelha sobre o histograma) e pluviosidade (barras em azul) em São José do Vale do Rio Preto (Fonte: climatedata.org, Setembro de 2017).....	10
Figura 5. Mapa geológico de semi-detelhe da área pesquisada (em vermelho são representados os polígonos da área).....	13
Figura 6. Levantamento estrutural e litológico de um leuco-granito presente ao longo do Rio Preto Fluminense, referente ao ponto 12 no imóvel denominado Santo Antônio da Cachoeira.....	14
Figura 7: Esquema de propagação de ondas do método WPR/GPR.....	15
Figura 8. Ilustração dos arranjos para aquisição de dados (modificado de DIAS, 2007).....	20
Figura 9. Equipamento de origem norte-americana da empresa GSSI (<i>Geophysical Survey System, Inc.</i>) modelo SIR 3000 composta de antena blindada de 200 Mhz.....	23
Figura 10. Aquisição dos dados geofísicos de uma seção batimétrica com o equipamento WPR no interior de um barco de fibra, ao longo de uma das tiragens de perfil no rio Paquequer.....	24
Figura 11. Seção radargrama da linha 4 sem processamento.....	25
Figura 12. Seção radargrama com o filtro Estático de Correção de Tempo (<i>Move Statement</i>) aplicado.....	25
Figura 13. Seção radargrama com o filtro 1D (<i>1D filter</i>) aplicado.....	26
Figura 14. Seção radargrama com o filtro 2D (<i>2D filter</i>) aplicado.....	26

Figura 15. Seção radargrama com o filtro Correção Estática (<i>Static Correction</i>) aplicado.....	26
Figura 16. Seção de radargrama da linha 1 já processado mostrando o contato água / areia.....	28
Figura 17. Seção de radargrama da linha 2 já processado mostrando o contato água / areia.....	29
Figura 18. Seção de radargrama da linha 3 já processado mostrando o contato água / areia.....	31
Figura 19. Seção de radargrama da linha 4 já processado mostrando o contato água / areia.....	32
Figura 20. Mapa da área 2 com as seções batimétricas oriundas do WPR.....	34

Lista de Tabelas

Tabela 1. Propriedades eletromagnéticas típicas de alguns materiais (Fonte: ANNAN, 2003).....	18
---	----

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	i
Abstract.....	ii
Resumo	iii
Lista de figuras.....	iv
Lista de tabelas.....	vi
Sumário.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONTEXTO HISTÓRICO.....	2
3. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	3
4. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	6
4.1. Relevo e Morfologia.....	6
4.2. Hidrografia e Drenagem.....	6
4.3. Vegetação.....	7
4.4. Clima e Pluviosidade.....	9
5. GEOLOGIA.....	10
5.1. Geologia Regional.....	10
5.2. Geologia Local.....	11
6. O MÉTODO WATER PENETRATION RADAR (WPR).....	14
6.1. Fundamentação Teórica do WPR.....	14
6.2. Geração dos Dados de WPR.....	18
7. RESULTADOS DA AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DAS LINHAS.....	22
7.1. Aquisição.....	22
7.2. Processamento e Interpretação dos Dados de WPR.....	24
8. CONCLUSÃO.....	35
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

A prospecção de areia em calha de rio visa evidenciar a quantidade de material do quaternário presente no interior do mesmo. Assim houve uma motivação de buscarmos aplicar o método de WPR nas poligonais em busca de entender se este pode ser aplicado na quantificação de um mineral. Ele foi objetivado para buscar a cubagem média de sedimentos do quaternário, areia para prospecção, em duas poligonais protocoladas na ANM.

Em busca deste objetivo foi então utilizado o método de WPR (*Water Penetration Radar*) em que buscasse estimar de forma indireta dos recursos presentes no curso do Rio. Este método não-invasivo busca detectar discontinuidades elétricas em subsuperfície (SLOWIC, 2011), através de um pulso de energia eletromagnética, o qual é gerado por uma antena transmissora na superfície, que se propaga para o interior do solo e, ao interceptar uma interface, que separa materiais com propriedades dielétricas diferentes, que se refletem e se refratam (ROCHA, 2003) gerando posteriormente diferentes respostas espectrais indicando assim diferentes litologias que servirão na avaliação da jazida. A descrição detalhada desta metodologia aplicada em sedimentologia pode inclusive ser encontrada em estudos de NEAL (2004) E SCHROTT & SASS (2008).

O alcance máximo das ondas eletromagnéticas transmitidas depende de diversos fatores, tais como a litologia local e o nível de saturação de água (SMITH & JOL. 1995). Algumas unidades sedimentares podem ser diferenciadas se sua condutividade for suficientemente diferente de depósitos adjacentes se elas estiverem situadas dentro da faixa da antena do transmissora (EKES & HICKIN, 2001). Por vezes as medições e a interpretação dos resultados acabam sendo difíceis devido à ocorrência dos depósitos que causam a atenuação do sinal de radar (silte, argila) (BOWLING, HARRY, RODRIGUES & ZHENG, 2007; VAN HETEREN, FITZGERALD, MCKINLAY & BUYNEVICH, 1998), entretanto essas condições acabam por serem altamente úteis para se determinar a espessura das camadas aluviais presentes (LECLERC & HICKIN, 1997; FROESE, SMITH AND CLEMENT, 2005).

2. CONTEXTO HISTÓRICO

A povoação dos Sertões do Rio Preto se deve em princípio às proximidades com os caminhos para as Minas Gerais e com o mercado consumidor da então capital, cidade do Rio de Janeiro. A cidade está situada entre estes dois polos de desenvolvimento socioeconômico, Rio de Janeiro e Petrópolis, os quais demandam imensamente de diversos recursos, minerais e agrícolas, para crescer. Muitas das estradas foram vias de escoamento da produção das fazendas originárias das antigas sesmarias distribuídas na região que remetiam/escoavam os seus produtos para o Rio de Janeiro ou para as Minas Gerais. Algumas estradas serviam como desvios para os carregamentos de ouro que não queriam passar pelos Registros. Com a queda da mineração, aumentou o número de sesmarias doadas na região. Dom João VI distribuiu as sesmarias e incentivou o plantio de café que veio a se constituir na nova riqueza nacional. Na Província do Rio de Janeiro, a cultura do café produziu os seus primeiros efeitos com a criação das grandes fazendas e o surgimento dos Barões do Café. Em São José, podemos citar como exemplos dessa nobreza latifundiária os Barões de Águas Claras e de Bemposta. Os primeiros povoados da região do Rio Preto foram constituídos pelas famílias mineiras que atravessavam o Rio Paraíba do Sul em busca de novas terras para a agricultura, depois da queda da atividade minerária. Também vieram os plantadores de café, trazendo a experiência do plantio realizado em outras regiões da Província. Completaria este quadro a presença de colonos portugueses e, a seguir, de italianos

O ciclo do café começou a desmoronar-se com o esgotamento do solo, a libertação dos escravos e a queda internacional do preço do produto de 1888 a 1929. O ciclo da avicultura harmonizou-se com a agricultura, com o fornecimento de adubo para a lavoura. A avicultura tomou grande vulto na economia rio-pretana. De 1950 a 1960, no auge da avicultura, São José do Rio Preto foi considerado o maior centro avícola da América do Sul. Começaram, nesta época, a surgir novos loteamentos, comércios, colégios, hospitais, etc; trazendo o crescimento e progresso a São José do Rio Preto.

A partir do século XX a mineração começou a tomar espaço na economia local. Isso se deu devido ao crescimento vertiginoso de todo o estado e principalmente das cidades de Teresópolis, Petrópolis e da região metropolitana do Rio de Janeiro que cada

vez mais necessitaram de recursos para as suas obras de expansão. Assim o município de São José do Vale do Rio Preto iniciou a prospecção de areia em calha de rio, nos dois rios que cortam o município, rio Paquequer e rio Preto Fluminense, tornando-se então uma grande fonte de material arenoso.

Vale ressaltar que toda a parte de documentação, fisco, alvarás serão acometidos ao Município de Teresópolis, pois a área em questão, apesar de estar ao lado da divisa municipal, ainda se encontra sobre o regime das leis municipais da Prefeitura de Teresópolis.

3. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

As duas áreas da pesquisa conjunta (Figura 1), que estão no mesmo segmento de rio, encontram-se compreendidas entre as seguintes coordenadas:

Paralelos.: 7.536.600 a 7.540.500 = 42° 55' 47,33354" à 43° 03' 29,67410"

Meridianos: 0.713.800 a 0.715.650 = 22° 15' 46,36527" à 22° 13' 38,78033"

(Meridiano central = 45° + Fuso = 23° + folha Anta e Teresópolis)

A área é constituída no seu entorno pelos contra-fortes da Serra dos Órgãos e da Serra do Subaio, integrante da cadeia de montanhas da Serra do Mar, sendo então delimitada por altas porções de terra que acabam por sofrerem erosão, gerando assim uma carga de sedimentos do quaternário constantes, que acaba sendo levado por todos os córregos e rios que correm na região, gerando desta forma uma carga de sedimentos renovável, podendo então serem explorados nos devidos rios da pesquisa.

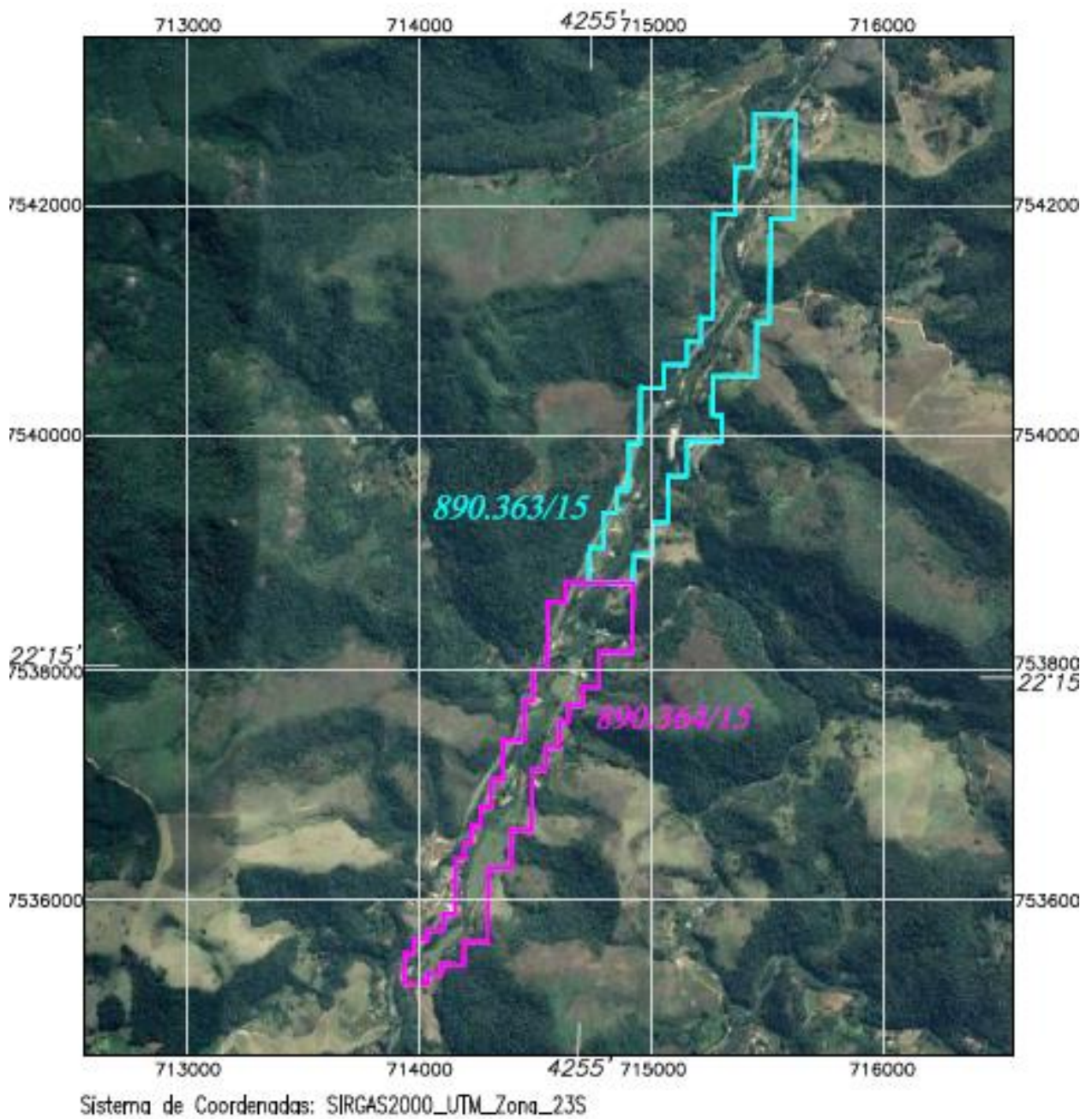


Figura 1. Planta de localização (Fonte: Google Earth, Setembro de 2017).

O principal acesso a área se dá pela Rodovia Federal Santos Dumont, também conhecida como BR 116, que liga o Rio de Janeiro à Fortaleza, sentido nordeste. O trecho fica às margens da dita rodovia (Figura 1), onde se tem fácil acesso com os equipamentos através das fazendas às margens dos rios.

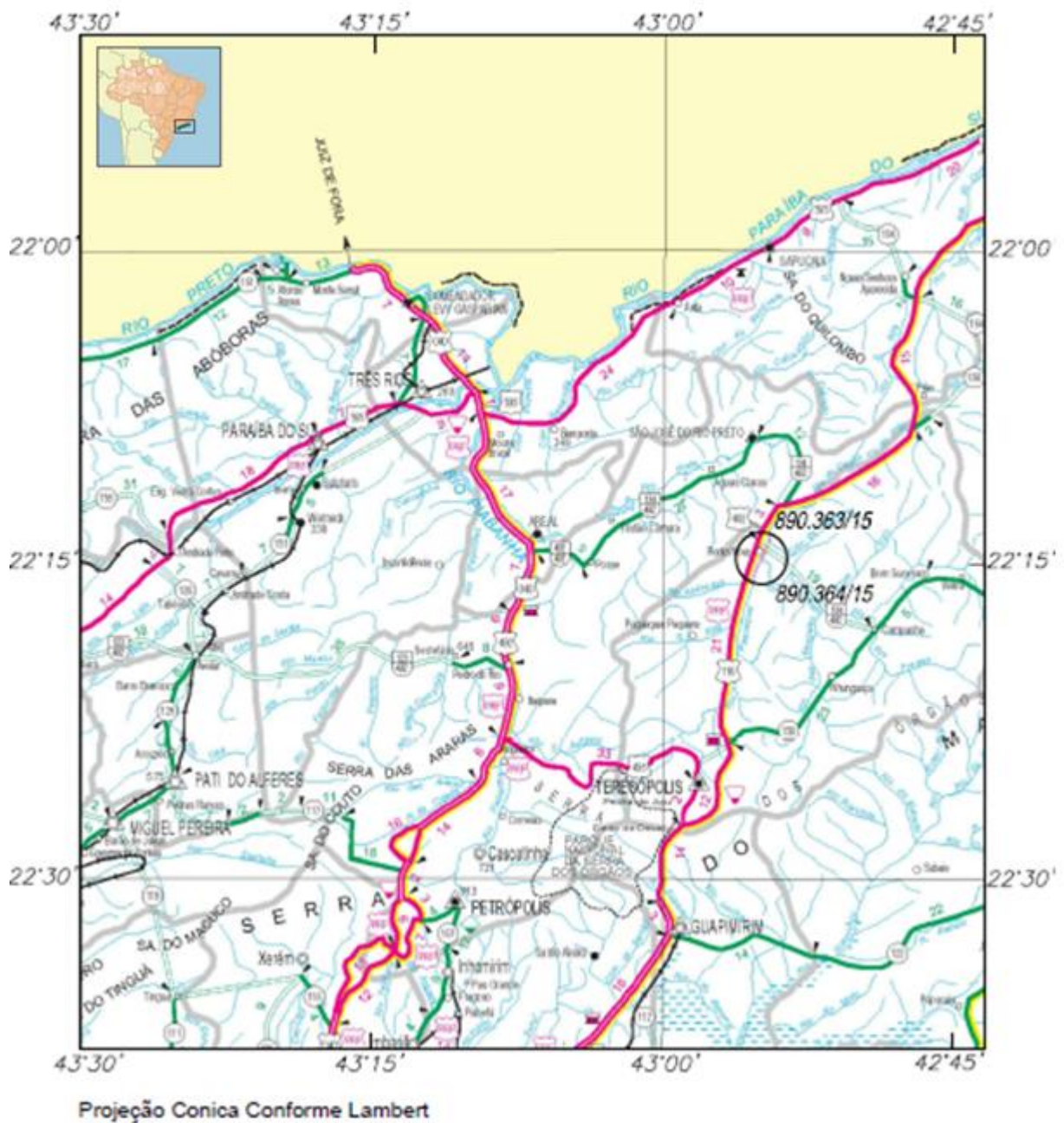


Figura 2. Mapas de localização da área de estudo (destacada em círculo preto o local das poligonais) e vias de acesso (em linha vermelha), a região em amarelo representa parte do Estado de Minas Gerais e as demais áreas pertencem a parte do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: Google Earth, Setembro de 2017).

4. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

4.1. Relevo e Morfologia

Geomorfologicamente, a área requerida situa-se na zona serrana dos grandes contra-fortes da Serra do Mar (província topográfica). Este conjunto de montanhas estende-se por vários estados do litoral brasileiro com direção estrutural predominante de trend NE-SW advindo do ciclo pan-africano-brasileiro. Seu relevo é bastante irregular por se tratar de relevo montanhoso.

Localmente, a altitude máxima da principal elevação próxima do requerimento de pesquisa mineral é de 1915 metros no pico Paquequer, enquanto, a de menor altitude encontra-se nas margens do rio Santo Antônio; em sua calha no referido vale e apresenta cota de 720 metros.

Regionalmente, as altitudes variam de 600 metros à 2200 metros, sendo a altitude máxima encontrada, corresponde ao Pico da Agulha do Diabo, que possui cerca de 2224 metros, localizado no Parque Nacional da Serra do Órgãos, enquanto a cota de 600 metros corresponde à média altimétrica da planície de inundação na calha do leito do Rio Santo Antônio no centro da folha topográfica Itaipava, mapa-base do IBGE.

O relevo da área é acidentado com a localização da confluência dos Rios Preto Fluminense e Paquequer na parte central do mapa. Uma grande superfície de descontinuidade (falha) corta o mapa com trend NNW à SSE onde convergem as cotas mais baixas e por consequência é por elas que fluem as águas dos Rios Paquequer e do Rio Preto Fluminense. Entre esta superfície de descontinuidade e a calha do Rio Paraíba do Sul as cotas acima de 1.000 metros são de ocorrência esporádica. A maioria das elevações alcançam as altitudes entre 500 e 900 metros e o nível mais baixo dos rios fica entre 220 e 230 metros de altitude. Mais ao sul, quase todas as elevações culminam entre 1.000 e 1.500 metros, e o talvegue mais profundo é a calha do leito do Rio Preto Fluminense, estando entre 510 e 700 metros.

4.2. Hidrografia e Drenagem

Devido a características morfológicas locais, a rede de drenagem assume um padrão típico de regiões serranas, montanhosas do Embasamento Cristalino Brasileiro.

Este escudo foi afetado por grandes diastrofismos associados a intrusões magmáticas, preferencialmente, ao longo das feições planares. O sistema de drenagem corresponde, regionalmente, a drenagem fortemente paralela à sub-paralela predominante, sendo estes rios caracterizados como entrelaçados, os quais acaba por formarem bancos de areia em seus interiores o que provoca o entrelaçar do fluxo das águas presentes. Em alguns pontos tais estruturas estão mascaradas pela cobertura de sedimentos quaternários. O agente hidrológico que drena a área em questão é o Rio Preto Fluminense e o Paquequer que são afluentes do Rio Paraíba do Sul pela margem direita (Figura 3).

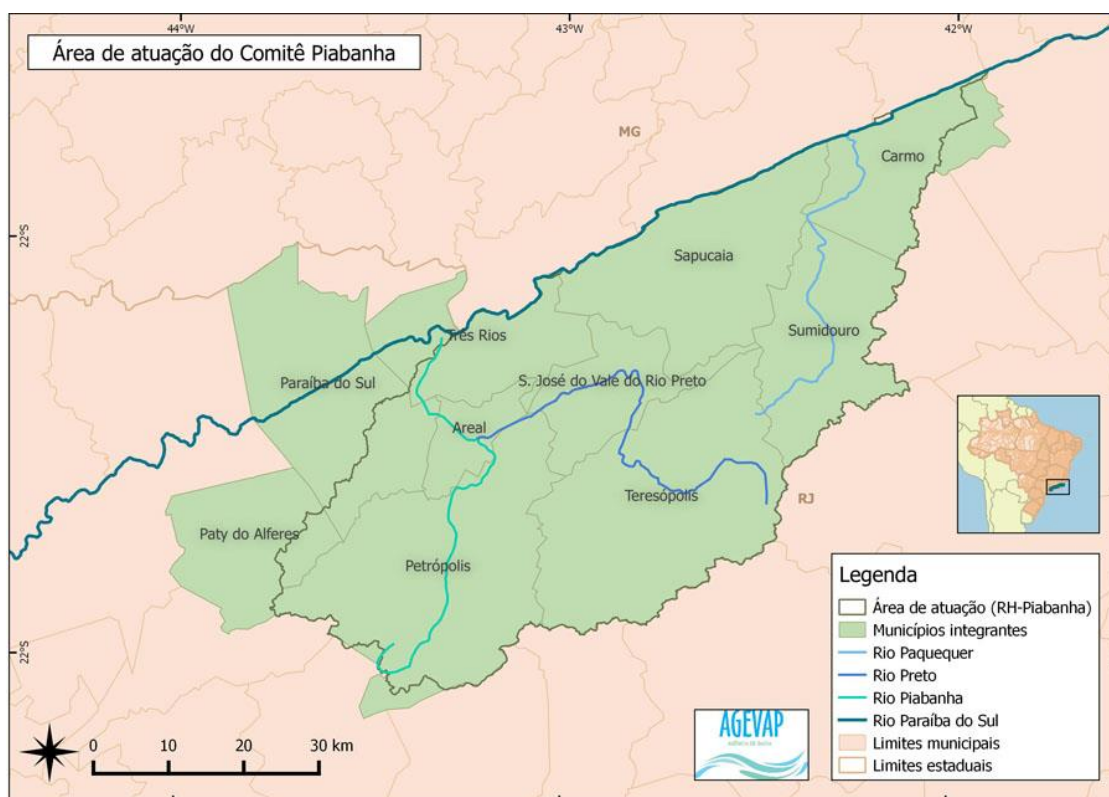


Figura 3. Mapa das principais drenagens do vale do Piabanha (Fonte: Comitê Piabanha).

4.3. Vegetação

As coberturas vegetais primitivas, de uma maneira geral, estão sendo continuamente devastadas, desde a época dos primeiros colonizadores no Brasil, e, na área em questão, foram em parte arrasadas, observando-se, localmente, vestígios

representativos de mata remanescente tipo Mata Atlântica Secundária Regenerada e por vezes nativa, sendo ela primária. São muitas as elevações colinosas eluviais ao longo de todo o município, apresentando vegetação rasteira tipo pasto, e por vezes, com pequenas voçorocas. No verão de 2012 ocorreram chuvas com alto índice pluviométrico durante 17 dias ininterruptos, sendo que no 16^o/17^o dia as chuvas foram torrenciais e contínuas (48 horas). O revelo montanhoso juntamente com o gradiente acentuado das encostas e também as espessas camadas de solo residual (eluvial) e cobertura das matas também espessas resultaram em uma esponja natural que absorvendo e acumulando toda essa umidade, promovendo um enorme deslizamento de toneladas de massa que causaram uma enorme catástrofe nos municípios de São José do Vale do Rio Preto, Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo - RJ.

Desde os tempos de Brasil colônia, viajantes estrangeiros já assinalavam a devastação da chamada “mata virgem”, isto é, Mata Atlântica Primária para extração de madeira para diversas finalidades, tais como produção de lenha e carvão, essências florestais (madeiras nobres, de - lei), etc.

Posteriormente, a estas derrubadas, instalaram-se culturas de cana-de-açúcar, depois café, nas encostas, e outras lavouras, como a da mandioca, banana, pimenta e culturas de subsistência na região peneplanizada.

Com o empobrecimento e o esgotamento dos solos, maior facilidade de penetração para o interior e a crise ocasionada pela falta de mão-de-obra barata devido à abolição da escravidão, as culturas citadas foram praticamente abandonadas, tendo-se como resultado muitos anos depois, a reversão do quadro anterior, representada pela formação paulatina de “mata secundária”, não resultante de um reflorestamento sistemático, em certos locais.

Possivelmente essas matas secundárias devem sua existência em grande parte a dispersão natural das espécies das “matas primárias” que permaneceram, pode-se assim dizer, intactas, nas regiões de maior altitude, maior declive e grotões.

Na área territorial do município de São José do Vale do Rio Preto, observamos que os maciços rochosos são de composição migmatítica associado aos granito-grnáissicos transacionando para o fácies granito-granitóide, são parcialmente cobertas por concentrações de espécimes vegetais, tendo em vista que, as elevações em questão

expõem afloramentos de rocha, com espessa camada de solo eluvial, em alguns pontos ou áreas-alvo sem cobertura vegetal originária devido os efeitos antrópicos.

A vegetação da região foi modificada pelo homem, causando interferência de forma direta na fauna que sofreu impactos. As espécies encontradas são, em sua maioria, de pequeno à médio porte, e apresentam capacidade associativa relativamente de boa representatividade. Os elementos faunísticos próximos das zonas de futura operação de extração mineral não sofrerão perdas, já que os ruídos oriundos dos equipamentos, veículos e máquinas, e a presença humana, forçaram o seu deslocamento para outras áreas, sem no entanto comprometê-las com o aumento da competição por espaço e alimento, pois estes se mantêm em populações de hábitos dinâmicos, migrando naturalmente, para locais onde as condições de reserva de alimentos se encontrem mais favorável.

O terreno é coberto por vegetação tipo Mata Atlântica primária e secundária regenerada mixada com plantações e pastagens.

4.4. Clima e Pluviosidade

Segundo Thornthwaite o clima da região que abrange a área pode ser classificado como subtropical úmido, possuindo de 01 a 03 meses secos, sendo que na estação seca o predomínio é de temperaturas de médias a baixas com média anual variando em torno de 18°C a 24°C (Figura 4).

O verão é quente e úmido, tendo seu mês mais quente uma média superior a 35°C, predominando entre 23°C a 32°C. Entretanto, no inverno a temperatura e umidade diminuem e ocorrem pelo menos em 03 meses com temperatura média inferior a 19°C e 20°C, porém nunca abaixo de 08° C. A precipitação média anual é da ordem de 1220 mm.

Vale ressaltar que o período em que foi feito o experimento foi no mês de “outubro”, onde há uma carga pluviométrica em torno de 120 mm e uma temperatura média de 22°C, já ocorrendo então um maior fluxo d`água nos rios e, por conseguinte, uma maior deposição de sedimentos trazidos pelas águas das chuvas.

No vale do Rio Preto Fluminense a temperatura média oscila entre 10° C no inverno e 40° C no verão.

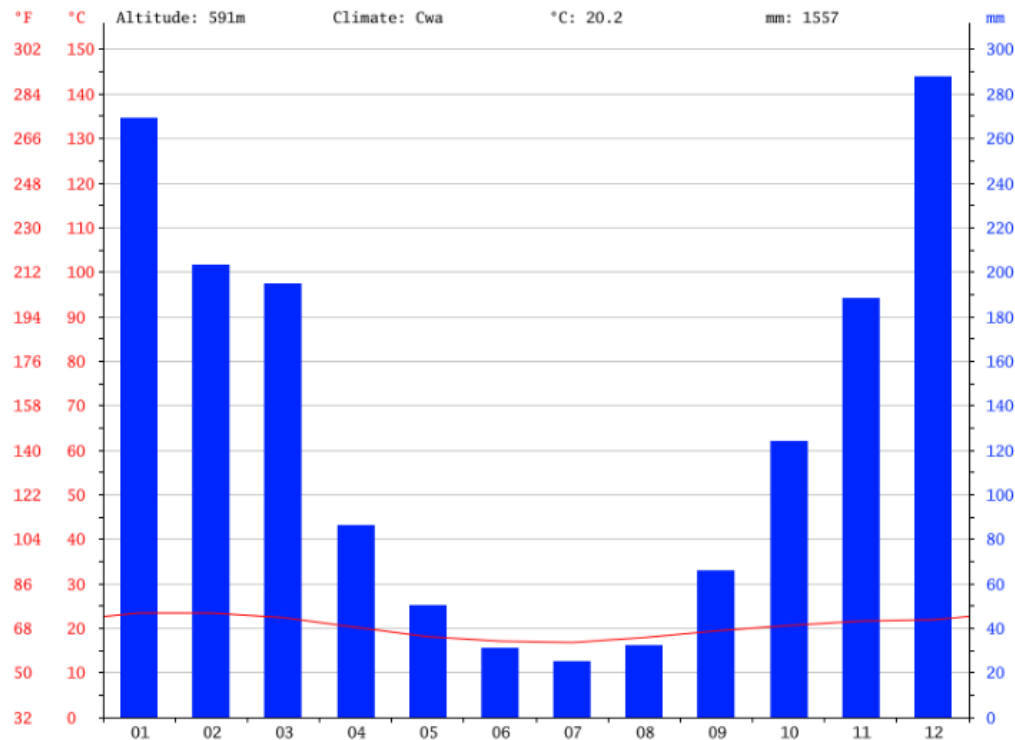


Figura 4. Médias anuais de temperatura (em linha vermelha sobre o histograma) e pluviosidade (barras em azul) em São José do Vale do Rio Preto (Fonte: climatedata.org, Setembro de 2017).

5. GEOLOGIA

5.1 Geologia Regional

A história geológica da região iniciasse no neoproterozóico, onde iniciou-se a instalação do magmatismo γ_1 dos complexos Rio Negro e Trajano de Moraes há 630 Ma, que representam a raiz plutônica de arcos magmáticos gerados durante processo de subducção. Durante a colisão deste arco com uma margem passiva a oeste teria ocorrido duplicação crustal, metamorfismo e geração do magmatismo sin-colisional γ_1-2 e γ_2 (590-570 Ma), representado pelas suítes Rio Turvo, Imbé, Cordeiro e o Complexo Anta. Já na fase final da colisão foi então gerado o magmatismo calci-alcalino γ_3 (570-560 Ma) da Suíte Serra dos Órgãos.

Os eventos metamórficos ocorreram na região na fácies anfibolito superior à granulito com deformação plástica cisalhante que acabou por provocar uma intensa gnaissificação durante a etapa colisional e os efeitos térmicos oriundos da mesma acabaram por se prolongar até os 500 Ma.

Zonas de cisalhamento rúpteis-dúcteis transtracionais foram criadas ao final do processo orogénico (500-480 Ma), durante ao colapso tectónico, que acabaram por servir de conduto para os granitos pós-colisionais γ_6 da Suíte Nova Friburgo (TUPINAMBÁ *et al.*, 2012).

O magmatismo básico fissural ocorrido na região durante o Cretáceo acabou por gerar um exame de diques da Serra do Mar, com a direção N60E. Zonas de cisalhamento rúpteis de direção NW e N15E, com enorme influência na configuração do relevo, estando relacionado ao tectonismo do Cenozóico (TUPINAMBÁ *et al.*, 2012).

A região de São José do Vale do Rio Preto está completamente subordinado à criação da Serra do Mar, e encontra-se em sua escarpa, além de ser rodeado pelo parque da Serra dos Órgãos. Na parte anterior da escarpa há patamares escalonados em direção ao vale do Rio Paraíba do Sul, para onde os rios Negro e Paquequer desaguam, que abriga o cinturão agrícola que abastece em grande parte a região metropolitana do Rio de Janeiro (Tupinambá *et al.*, 2012). A Serra do Mar prolonga-se através de todo o Estado. A porção mais elevada da cadeia está ao Norte (N) da cidade do Rio de Janeiro e diminui suas elevações para (WSW) e (ENE).

A geologia da Serra dos Órgãos, local onde se localiza o município, pertence ao Complexo Cristalino Brasileiro, que é constituída em sua maioria por granitos e gnaisses (SALGADO, 2013) tendo sua forma atual sido alterada devido aos processos de erosão, em que ocorrem com intensidades diferentes frente à resistência de cada rocha, falhamento do relevo e também das intensas trocas climáticas.

5.2 Geologia Local

O subsolo é constituído predominantemente por rochas do Pré-cambriano. As mais antigas são os litotipos retro-metamorfisados a partir de rochas migmatíticas variadas com paleossoma de biotita-gnaisse e neossoma de rocha granitoide com estrutura fina a média incluído, na mesma, uma biotita-gnaisse fino (bg), laminado da

Unidade São Fidélis. Seguem-se as rochas granitoides, fina a média, geralmente com mica muscovita. Por fim ocorrem camadas do Quaternário composta por sedimentos finos a médios que compõem a parte mais a sul da região (Figura 5).

Excetuando-se os diques básicos, todas as rochas descritas sofreram os efeitos de várias fases de dobramento acompanhado de metamorfismo regional dínamo-termal e cataclástico. Elementos estruturais de várias idades acham-se complexamente superpostos em um mesmo afloramento (Figura 6).

Seus planos axiais apresentam valores angulares de mergulho acentuado e até sub-verticais na parte (N) da folha. O caimento dos eixos das dobras raramente ultrapassa 15° e o valor do ângulo de mergulho entre os flancos excepcionalmente atinge os 30°. Nas áreas migmatizadas as charneiras geralmente são destruídas ao serem cisalhadas durante a formação da foliação de plano axial. Sua identificação só é possível onde há intercalações de quartzitos, leptinitos ou outras litologias contrastantes, entre as camadas de biotita-gnaisse (Figura 5).

Em uma segunda fase de deformação (segundo pulso), praticamente coincidente com a orientação da primeira, a foliação sofreu fortes deformações e localmente foi truncada por planos espaçados onde se desenvolveu uma nova foliação e que dividiu a rocha em microlithons.

Na figura 6 é observada uma grande falha que controla estruturalmente e direciona o fluxo das águas do Rio Paquequer e do Rio Preto Fluminense de NNE à SSW rumo a calha pela margem direita do Rio Paraíba do Sul. A partir da confluência este rio se alarga desdobrando-se em formas estruturais maiores, cujo trend é paralelo à pista de rolamento da Rodovia Federal Lúcio Meira e a BR - 116 Norte.

A unidade topo da coluna estratigráfica local, está representada pelos sedimentos de corrente constituindo os depósitos aluvionares areno-argilosos, cascalhos associados à muitas matacões, além da formação dos depósitos eluviais (solo residual) e dos depósitos coluvionares dispostos ao longo das encostas correspondente ao Período Quaternário, Holoceno (Figura 5).



Figura 6. Levantamento estrutural e litológico de um leuco-granito presente ao longo do Rio Preto Fluminense, referente ao ponto 12 no imóvel denominado Santo Antônio da Cachoeira.

6. O MÉTODO WATER PENETRATING RADAR (WPR)

6.1 Fundamentação Teórica do WPR

O Water Penetrating Radar (WPR), que tem o mesmo princípio físico que o Ground Penetrating Radar (GPR), que também é chamado de georadar, se utiliza do princípio físico de propagação das ondas eletromagnéticas no subsolo com pulsos de alta frequência pré-definidas entre 10 MHz e 4 GHz para detectar as mudanças nas

propriedades elétricas ao longo das camadas que atinge (MILSON *et al.*, 2011). Esse método tem sido utilizado para sondagens de alta resolução em subsuperfície com detecção de feições da ordem de poucos centímetros até vários metros, obtidas de forma rápida e econômica (RODRIGUES, 2004)

O equipamento é composto por uma unidade transmissora, que emite os devidos pulsos de ondas eletromagnéticas à uma frequência pré-determinada para o interior do solo onde ao atingir uma interface que separa meios com contrastes significativos de propriedades elétricas, tal como a permissividade dielétrica, permeabilidade magnética e a condutividade elétrica, uma parte é refletida para a superfície e outra continua se propagando em subsuperfície (Figura 7). Este sinal refletido acaba sendo captado por uma unidade receptora, que amplifica, digitaliza e armazena na unidade de controle, que nada mais é que um computador. O sinal é armazenado em função do seu tempo de trânsito total, desde a unidade transmissora até a unidade receptora, levando em consideração o tempo total que as ondas eletromagnéticas levaram para percorrer este caminho total. Vale ressaltar que este tempo é de questão de nanossegundos, por conta disso que a instrumentação do WPR é extremamente precisa na medição do tempo de trânsito, permitindo a partir do mesmo o imageamento da subsuperfície com uma boa resolução. A frequência e a profundidade investigada são inversamente proporcionais, isso porque quanto maior a frequência melhor será a resolução do imageamento, entretanto a profundidade a ser investigada será menor (SOUZA, 2005).

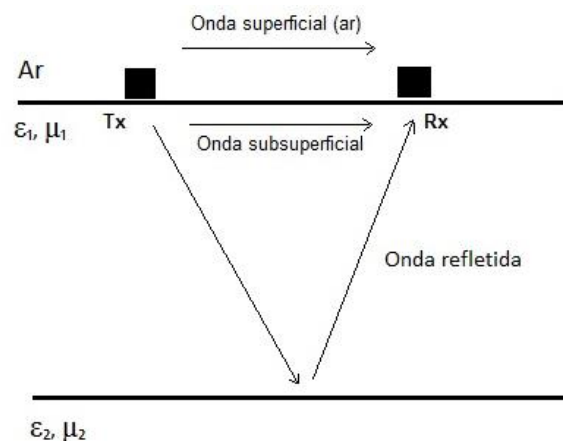


Figura 7. Esquema de propagação de ondas do método WPR/GPR.

O método é regido pelas equações de *Maxwell* que descrevem transporte, dissipação, armazenamento e geração da energia eletromagnética nos meios materiais ou no espaço livre. Estas equações relacionam o campo elétrico \mathbf{E} e o campo magnético \mathbf{B} , juntamente com suas variações no espaço, representadas pelo operador diferencial ∇ , e no tempo representadas pelo operador diferencial $\frac{\partial}{\partial t}$.

Existem os parâmetros constitutivos que se evidenciam nas equações de *Maxwell* (RODRIGUES, 2013), como densidade de corrente \mathbf{J} , densidade de cargas elétricas ρ , assim como duas grandezas inerentes ao meio em que os campos elétricos e magnéticos se propagam: a permissividade dielétrica, ϵ , e a permeabilidade magnética, μ .

As quatro leis a seguir, descrevem a teoria do campo eletromagnético e constituem a estrutura básica da teoria das interações eletromagnéticas:

As equações de *Maxwell* representam expressões matemáticas de resultados experimentais com aplicações em situações macroscópicas. Cada uma delas representa uma generalização de observações experimentais;

- i) Lei de Gauss para o campo elétrico;
- ii) Lei de Gauss para o campo magnético;
- iii) Lei de Faraday-Henry (um campo magnético variável no tempo produz um campo elétrico);
- iv) Lei de Ampère-*Maxwell* (um campo elétrico variável no tempo produz um campo magnético), onde E = campo elétrico (V/m); B = campo magnético (T); ϵ = permissividade dielétrica(F/m); μ = permeabilidade magnética (H/m); \mathbf{J} = densidade de corrente (A/m²) e ρ = densidade de cargas elétricas (C/m²).

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \rho \quad (\text{i})$$

$$\nabla \cdot \vec{\mathbf{B}} = 0 \quad (\text{ii})$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \vec{\mathbf{B}}}{\partial t} \quad (\text{iii})$$

$$\nabla \times \vec{\mathbf{B}} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (\text{iv})$$

O conjunto de equações que compõem as equações de *Maxwell* com aplicações em meios lineares apresenta as seguintes relações: $D = \epsilon E$ (C/m²), densidade de corrente de deslocamento; $J = \sigma E$ (A/m²), densidade de corrente de condução; $H = \mu/B$ (A/m), intensidade do campo magnético.

Considerando as equações de *Maxwell* no vácuo, todas as componentes dos campos eletromagnéticos satisfazem a equação de ondas unidimensional (SILVA, 2013) com velocidade de propagação representada por:

$$c = 1/\sqrt{(\epsilon_0 \mu_0)} \quad (1)$$

No caso da propagação de ondas eletromagnéticas em um meio material, e se esse é considerado homogêneo, isotrópico, horizontalmente estratificado e com estratificação (como a Terra), o efeito da polarização e magnetização do meio pela onda eletromagnética implica na substituição das constantes e nas equações de *Maxwell* por ϵ e μ características do material. Dessa maneira, o processo de indução na Terra é descrito por um processo de difusão de campos quase estáticos, cuja única diferença seria a velocidade da onda, dada por:

$$v = 1/\sqrt{\epsilon \mu} \quad (2)$$

Os aspectos mais importantes do método GPR são a resolução e a profundidade de investigação que variam em de acordo com a frequência da antena utilizada. Quanto maior a frequência, maior será a resolução vertical e menor a profundidade de investigação, e vice-versa. Já a profundidade de investigação é fortemente controlada pela condutividade elétrica do solo combinado com a frequência utilizada na central do sistema.

Outro parâmetro importante para o GPR é a amplitude do coeficiente de reflexão da onda EM que pode ser derivada a partir do conceito do tensor impedância (Z). Para uma incidência normal sobre dois meios (1 e 2) com propriedades físicas distintas a amplitude do coeficiente de reflexão GPR é expressa por:

$$\Gamma_{\text{GPR}} = \frac{\sqrt{\sigma_1 + i\omega\epsilon_1} - \sqrt{\sigma_2 + i\omega\epsilon_2}}{\sqrt{\sigma_1 + i\omega\epsilon_1} + \sqrt{\sigma_2 + i\omega\epsilon_2}} \quad (3)$$

Pode-se verificar que o coeficiente de reflexão depende tanto da condutividade elétrica quanto da permissividade dielétrica dos materiais em subsuperfície (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades eletromagnéticas típicas de alguns materiais (Fonte: ANNAN, 2003).

<i>Material</i>	<i>Constante dielétrica relativa: K'</i>	<i>Condutividade elétrica (mS/m): σ</i>	<i>Velocidade (m/ns): v</i>	<i>Atenuação (dB/m): α</i>
Ar	1	0	0,3	0
Água destilada	80	0,01	0,033	0,002
Água do mar	80	3000	0,01	1000
Areia seca	3 – 5	0,01	0,15	0,01
Areia saturada	20 – 30	0,1 – 1	0,06	0,03 – 0,3
Siltes	5 – 30	1 – 100	0,07	1 – 100
Argilas	5 – 40	2 – 1000	0,06	1 – 300
Granito	4 – 6	0,01 – 1	0,13	0,01 – 1

6.2. Geração dos Dados de WPR

A geração de dados de GPR consiste na aquisição e processamento do mesmo, assim podemos tratar de uma forma genérica que, o primeiro fator vai variar em de acordo com o equipamento empregado para as suas devidas necessidades. Todos os equipamentos possuem uma estrutura básica comum, como a unidade de controle central (UCC – por exemplo um computador), para visualização, armazenamento de dados e *quality control*, permitindo um pré-processamento com filtros de frequência e equalização de ganhos.

Os equipamentos em si possuem uma antena transmissora e outra receptora, sendo que quando ambas se encontram num mesmo equipamento este é chamado de monoestático; quando elas se encontram separadas daí o sistema é chamado de

biestático; tento exigências de frequências, tamanhos e distancias das antenas pré-definidos (*common-offset*) para cada objetivo do trabalho.

A aquisição se dá pelos seguintes modos:

- Ponto médio comum (*common midpoint* – CMP), angulo aberto de reflexão (Figura 8);
- Refração (*Wide Angle Reflection and Refraction* - WARR) (Figura 8);
- Distancia constante entre as antenas *Common Off-set* – COS ou Reflexão Simples (Figura 8);
- Arranjo de transluminação (Figura 8).

No arranjo *CMP* as antenas transmissora e receptora são afastadas simetricamente a partir de um ponto, ou seja, é crescente em sentidos opostos; enquanto o arranjo *WARR* a antena transmissora é fixada em apenas um ponto enquanto que a antena receptora é deslocada.

Estas técnicas são utilizadas com o intuito de buscar obter uma estimativa da velocidade do sinal emitido pelo equipamento contra a profundidade alcançada, através da variação do espaçamento das antenas para uma localização fica medindo-se a mudança do tempo duplo das reflexões de subsuperfície (DIAS, 2007).

No arranjo de Transluminação a antena receptora é mantida fica enquanto a antena transmissora é deslocada em posição simetricamente oposta. Vale ressaltar que este arranjo deve ser utilizado com o objetivo da identificação de alvos muito pequenos, como fraturas, veios e amidalas.

Já o arranjo *COS* tanto a antena transmissora quanto a antena receptora ficam alinhadas e são conduzidas através de uma distância fixa constante, e são transportada ao longo de um perfil pré-determinado com o objetivo de imagear as reflexões contra a posição das antenas; sendo que a distância das antenas vai variar em de acordo com o equipamento empregado, isso porque esta técnica gera um perfil onde, no eixo

horizontal, se tem as distancias percorridas pelo deslocamento das antenas e no eixo vertical, encontram-se as variações das propriedades elétricas de subsuperfície em função do tempo (DIAS, 2007).

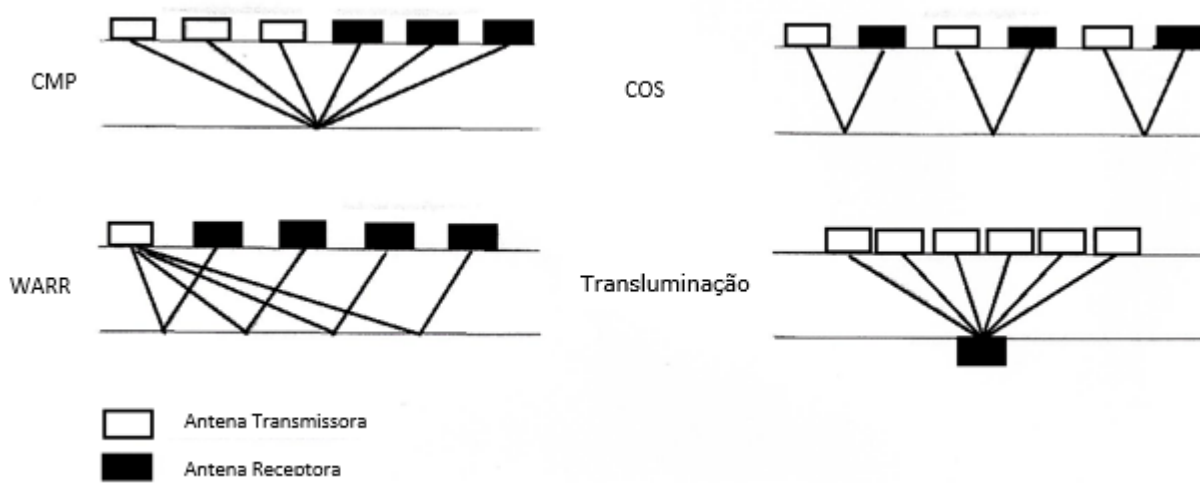


Figura 8. Ilustração dos arranjos para aquisição de dados (modificado de DIAS, 2007)

As antenas de georadar podem ser classificadas como de dois tipos; a blindada, que fornecem maior velocidade e facilidade na aquisição dos dados, além de estarem posicionadas a uma orientação e distâncias fixas em uma caixa blindada que protege de interferências externas; já as antenas não blindadas possuem a vantagem de terem um alto grau de flexibilidade quanto às orientações utilizadas entre as antenas transmissora e receptora, como também poder variar a distância entre elas tornando possível então o emprego de inúmeras técnicas de aquisição, possuindo apenas como desvantagem a possibilidade de sofrerem interferências oriundas de ruídos eletromagnéticos.

Seguido ao levantamento de campo deve então ser realizado o processamento de dados coletados pelo equipamento de GPR / WPR onde, de maneira sistemática, pode-se processar as feições dedicadas ao seu objetivo no trabalho. As etapas que envolvem este processamento são a edição de dados, processamento do sinal e a apresentação da imagem processada.

Após à aquisição dos dados, a primeira etapa a ser processada é a edição dos dados coletados em campo; com isso a edição permite a manipulação dos mesmos como forma de melhor apresentá-los frente ao objetivo do trabalho. Nesta etapa pode-se

alterar, agregar, corrigir e apagar os elementos em de acordo com a necessidade, como por exemplo unir dois perfis de um mesmo seguimento que sofreram distorções na sua coleta, alterar a polaridade dos traços ou mesmo deletar estes traços com um intenso ruído (RODRIGUES, 2004).

Já na segunda etapa ocorre então o processamento básico que inclui os processos de filtragem, onde há uma delimitação de uma banda de frequência compatível com a capacidade da antena permitindo então a remoção das bandas de frequência mais baixas que foram captadas pela mesma; e a aplicação de ganhos, que tem por objetivo buscar a equalização de todas as amplitudes em cada traço captado com o objetivo de compensar a perda e atenuação sofrida pelo sinal à medida que o mesmo se propagada em subsuperfície (RODRIGUES, 2004).

A etapa de processamento avançado inclui a aplicação dos processos de deconvolução e migração, sendo que na primeira busca-se aplicar um conjunto de operações que busca a remoção ou atenuação das reverberações do sinal captado que se apresentam nos dados, buscando então aumentar a resolução temporal dos dados captados a partir da série das refletividades captados; já na segunda há a aplicação da mesma com o objetivo de reconstruir o aspecto do alvo, buscando sua semelhança à geometria original, sendo extremamente útil esta técnica para a conversão do tempo/profundidade. Vale ressaltar ainda que buscasse alcançar o objetivo da inversão dos processos distorcidos causados pela inclinação de uma sequência de camadas as quais são planejadas e subsuperfície proporcionando assim um quadro mais realista da distribuição dos eventos ocorridos em profundidade (RODRIGUES, 2004).

Os programas presentes no mercado para a aplicação de todas as técnicas acima descritas são numerosos, sendo que cada qual tem suas peculiaridades e benefícios, podendo serem citados os PulseEKKO, da Sensors e Software, o GRANDIX e IXe Terra, da Interpex Limite, e o ReflexW, da SandMeier, o qual foi utilizado neste trabalho.

Já no estágio de interpretação de dados, o primeiro estágio a ser executado na análise dos perfis é a identificação da origem das reflexões e se as interfaces indicadas por essas reflexões representam algum tipo de mudanças em subsuperfície ou alguma interferência. As feições que forem identificadas no perfil acabam por se enquadrarem em três principais classes, sendo a primeira os refletores horizontais contínuos, depois

os refletores de objetos 2D e 3D e por fim as hipérbolas de descontinuidades laterais (Souza, 2005). Vale ainda ressaltar que as interferências que podem se apresentar nos perfis acabam por vezes sendo originadas por uma série de objetos em superfície tal como casas, árvores, cercas elétricas e estradas.

Reflexões oriundas de objetos 2D e 3D que estejam em subsuperfície tais como tanques, canos, tubos, galerias, bunker são caracterizados por feições hiperbólicas do tipo fechada; já aquelas reflexões oriundas de objetos os quais estejam dispostos em superfície, como os citados no parágrafo anterior, são caracterizados por feições hiperbólicas do tipo aberto (SUN & YOUNG, 1995 apud SOUZA, 2005).

Por fim é muito importante citarmos que as interpretações dos perfis gerados pelos programas já descritos vão variar de pesquisados a pesquisador, sendo de extrema importância que cada qual busque neles aquilo que estejam objetivados à descobrirem assim como tenham em mente as características elétricas dos alvos propostos e das litologias e estruturas presentes na área pesquisada. Também é recomendável a interpolação de outras técnicas geológicas e geofísicas e uma fonte abrangente de informação da área ao seu redor para que se possa confrontar os dados apresentados com aqueles previamente propostos em outras fontes já pesquisadas.

7. RESULTADOS DA AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DAS LINHAS

7.1. Aquisição

A aquisição dos dados foi executada com o equipamento de origem norte-americana da empresa GSSI (*Geophysical Survey System, Inc.*) modelo SIR 3000 (Figura 9) composta de antena blindada de 200 MHz, no modo de aquisição *common-offset* (perfil de reflexão com afastamento constante), podendo nos resultados ser observado resultados com profundidade de até 7 metros.



Figura 9. Equipamento de origem norte-americana da empresa GSSI (*Geophysical Survey System, Inc.*) modelo SIR 3000 composta de antena blindada de 200 Mhz.

A aquisição foi realizada com o equipamento de GPR adaptado no interior de um barco de fibra (Figura 10), o qual não gera ruídos nem distorções nos dados adquiridos.



Figura 10. Aquisição dos dados geofísicos de uma seção batimétrica com o equipamento WPR no interior de um barco de fibra, ao longo de uma das tiragens de perfil no rio Paquequer.

Foram obtidos quatro perfis perpendiculares ao fluxo do rio, ligando margem a outra margem, sendo este guiado por uma linha esticada em uma linha predisposta em determinados pontos dos rios Paquequer e Rio Preto Fluminense. Três perfis possuem cerca de 4 metros e um deles possui cerca de 8 metros pois este foi feito no encontro dos dois rios, local onde costuma-se haver um maior fluxo d'água e, portanto, uma maior área a ser percorrida, totalizando entre as 4 linhas cerca de 20 metros percorridos ao longo da área da poligonal 2 (Figura 20).

7.2. Processamento e Interpretação dos Ddados WPR

Os dados adquiridos foram processados no software ReflexW 5.0 da SandMeier (SandMeier, 2008). O processamento foi composto pelas etapas filtro Estático de Correção de Tempo (*Move Statement*) (Figura 11), filtro 1D (*1D filter*) (figura 12), filtro 2D (*2D filter*) (figura 13) e a Correção Estática (*Static Correction*) (figura 14). O processamento para a linha 4 é representada da figura 12 a 14.

Primeiramente foi importado os dados brutos do aparelho para o programa ReflexW 5.0 onde foi definido as distâncias de 0.1 m. Após isso foi aplicado o filtro Estático de Correção de Tempo (Move Statement) com o padrão de -9.

Após isso aplicou-se um filtro 1D (1D filter) chamado Dewow com a definição do atributo em 5. Seguido a isso aplicou-se dois filtros 2D (2D filter), sendo o primeiro o Background Removal; e depois o filtro Passabanda com atributos em 5, 15, 240 e 260, sendo que os dois últimos podem variar em de acordo com a resposta aplicada na linha.

Por último foi aplicado uma Correção Estática (Static Correction) através do filtro Muting, onde foi definido a parte em que será removida pois a mesma não será utilizada para nenhum tipo de avaliação ou cálculo.

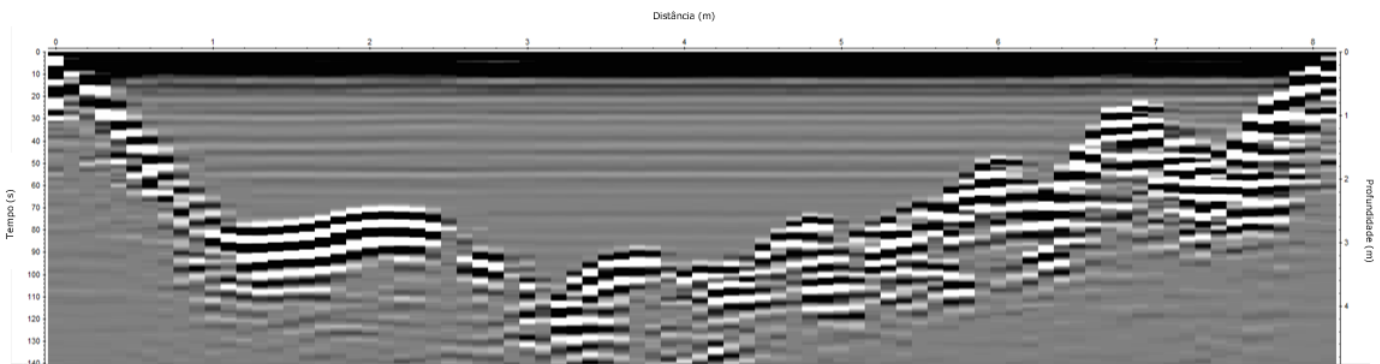


Figura 11. Seção radargrama sem processamento.

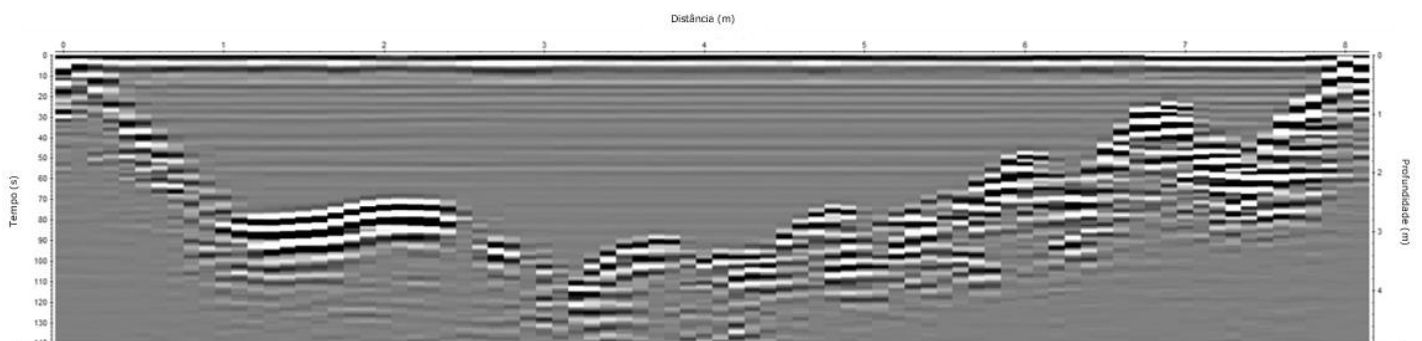


Figura 12. Seção radargrama com o filtro Estático de Correção de Tempo (*Move Statement*) aplicado.

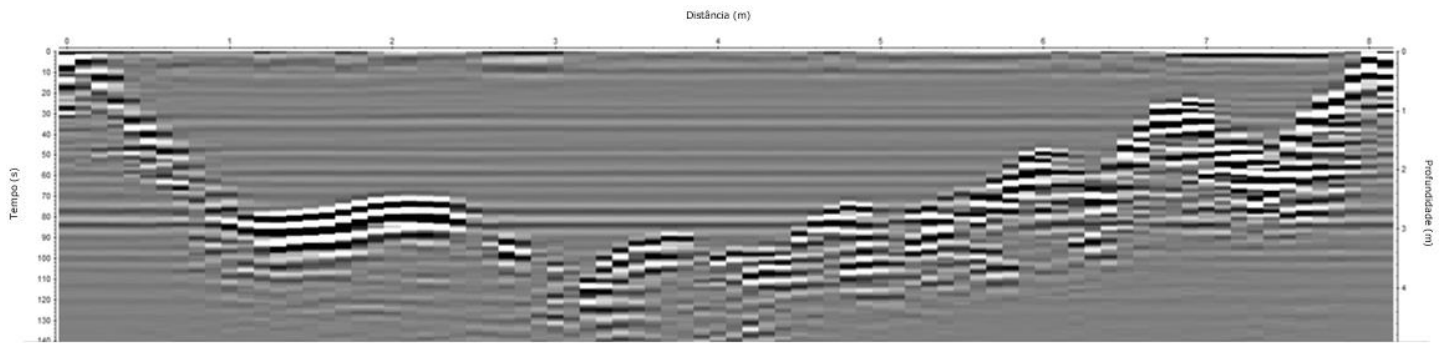


Figura 13. Seção radargrama com o filtro 1D (*1D filter*) aplicado.

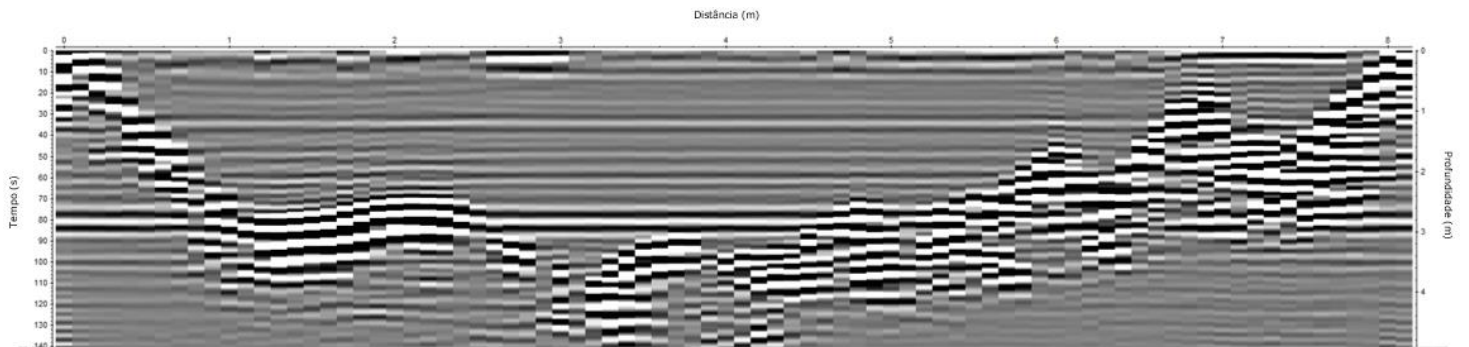


Figura 14. Seção radargrama com o filtro 2D (*2D filter*) aplicado.

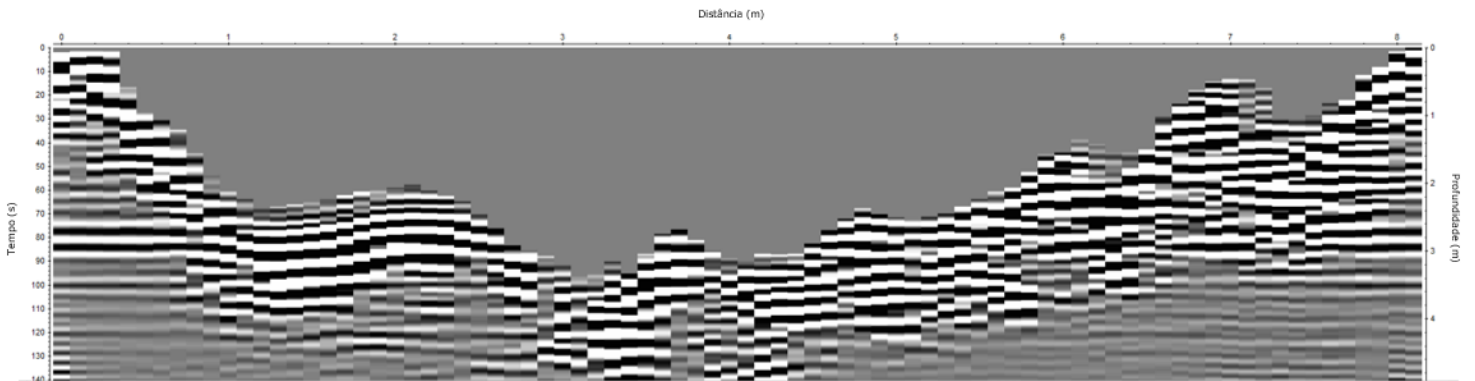
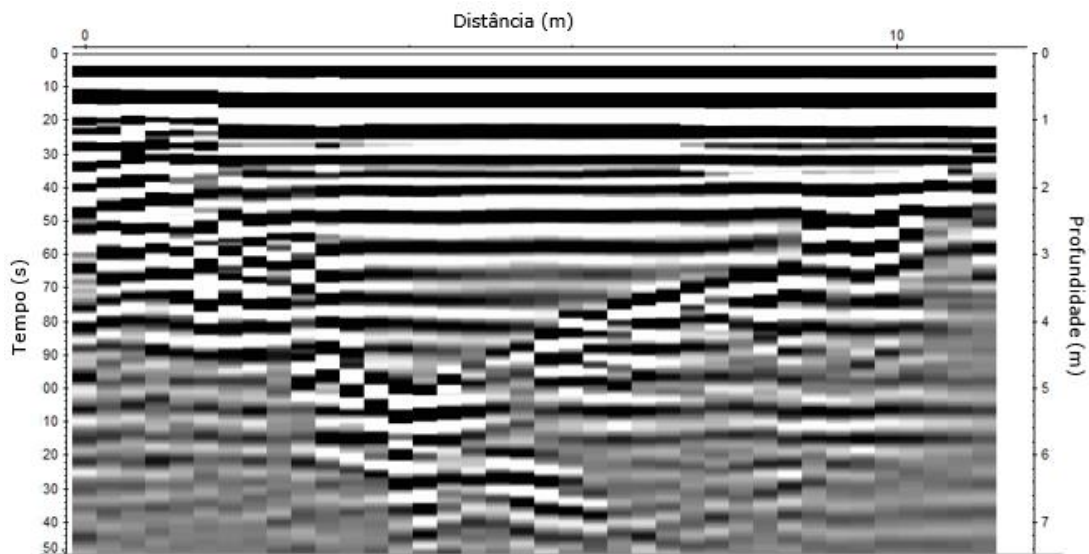


Figura 15. Seção radargrama com o filtro Correção Estática (*Static Correction*) aplicado.

A partir dos perfis já processados com todos os filtros anteriormente descritos aplicados podemos fazer a devida interpretação de cada um, visando a cubagem do minério em questão. Os resultados das seções radargramas com e sem processamento são apresentadas e descritas nas figuras 16 a 19.

Na linha 1 (figura 16) percebemos que há aproximadamente 3 metros de material sedimentar de diferentes granulações, estando o mais grosso na parte de cima (parte zebrada) e a mais fina embaixo (parte mais acinzentada) que podem ser utilizados na cubagem do minério a ser explorado e comercializado. Percebemos que a água (parte

cinza) se aprofunda nesta linha possuindo assim uma maior energia, isso devido a um maior fluxo a mesmo por ocorrer um afunilamento devido as pilastras de contenção da ponte.



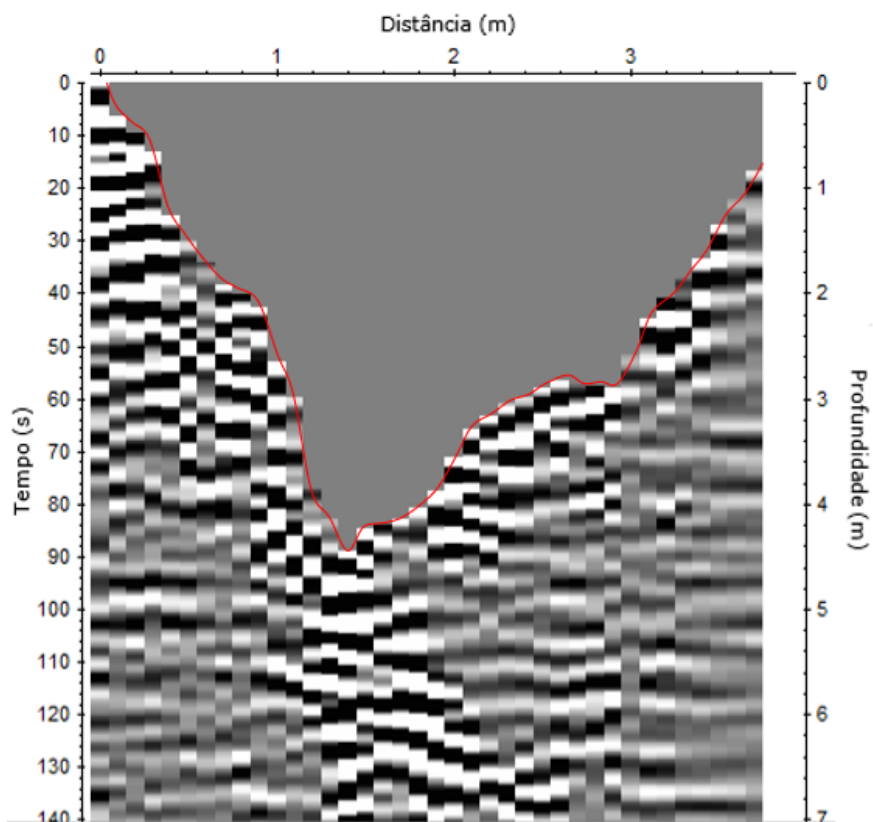


Figura 16. Seções radargramas da linha 1 não processada (acima) e processada (abaixo).

Já na linha 2 (figura 17) fica evidenciado que o rio está fazendo uma leve curva para esquerda, que pode ser comprovado com o acúmulo de sedimento na margem direita, indicando um maior fluxo na margem esquerda. Neste trecho o rio possui menos energia que pode ser comprovado com a elevada quantidade de sedimentos depositado, que chega a alcançar o nível da lâmina d'água. Visualizamos uma profundidade máxima de 1.5 metro com 5 metros de sedimento captados pelo equipamento, havendo uma camada mais grossa de areia depositada em cima com cerca de 1.5 metros de profundidade, e uma camada de areia mais fina, de cerca de 4 metros, depositada logo abaixo.

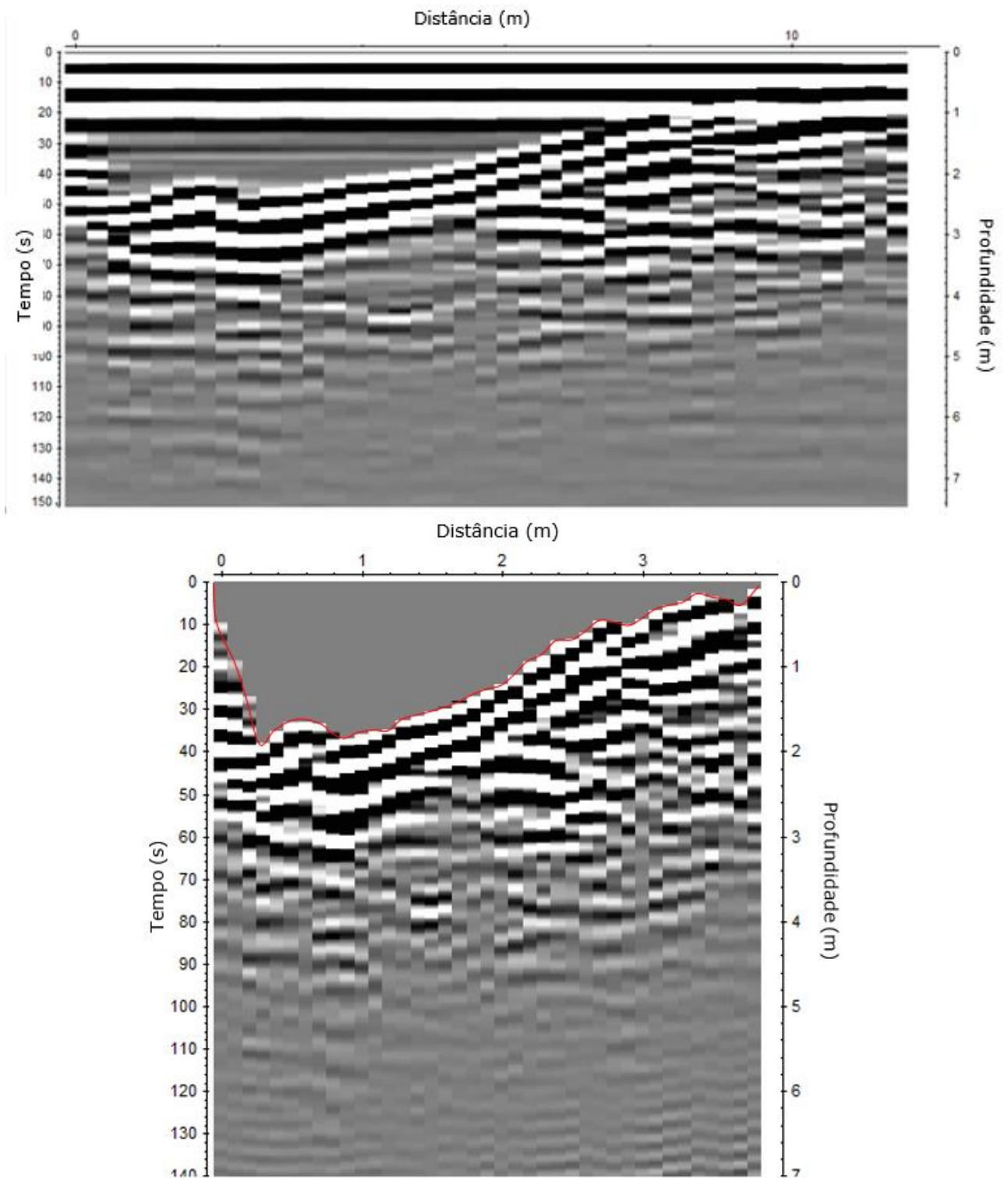
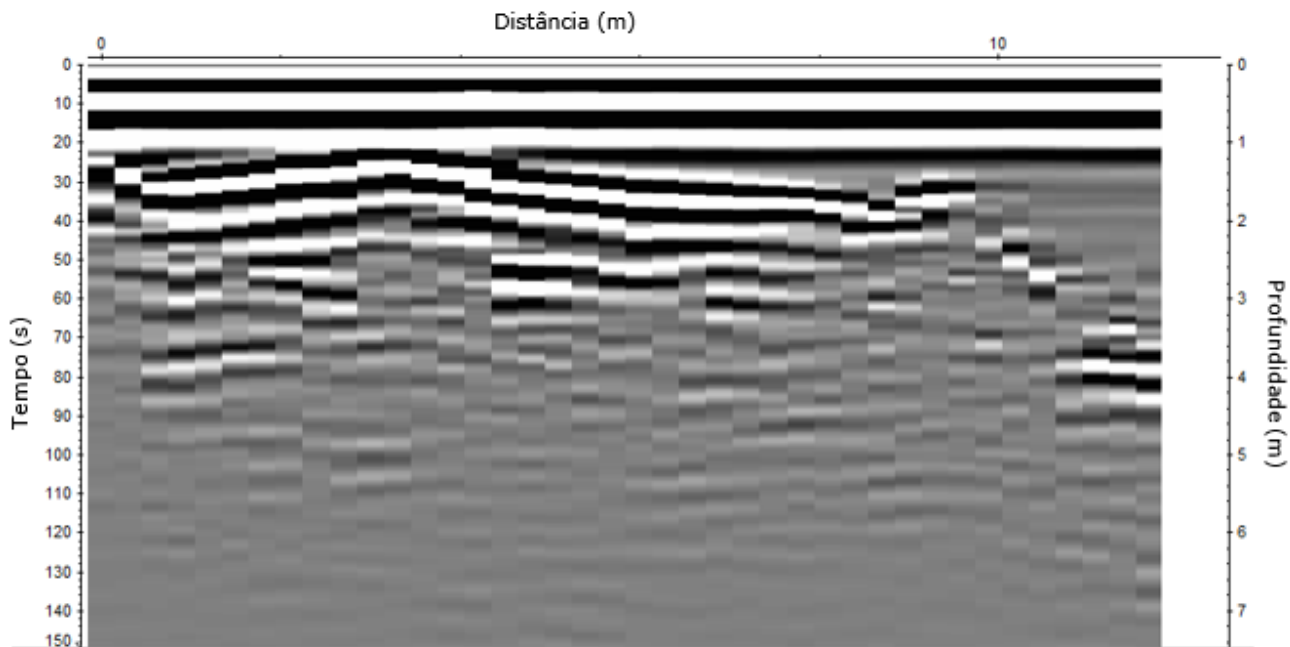


Figura 17. Seções radargramas da linha 2 não processada (acima) e processada (abaixo).

Ao contrário da linha 2 (figura 18); a linha 3 é um trecho do rio faz uma curva para a direita havendo igualmente pouca energia por parte da água. Sua profundidade máxima, no entanto, chega a 3 metros apenas na margem direita, ponto esse que o rio faz a curva; entretanto em todo o resto da linha a profundidade máxima não passa do 1.5 metro. Este trecho também possui a presença de cerca de 1.5 de areia mais grossa e mais 4 metros de areia mais fina.



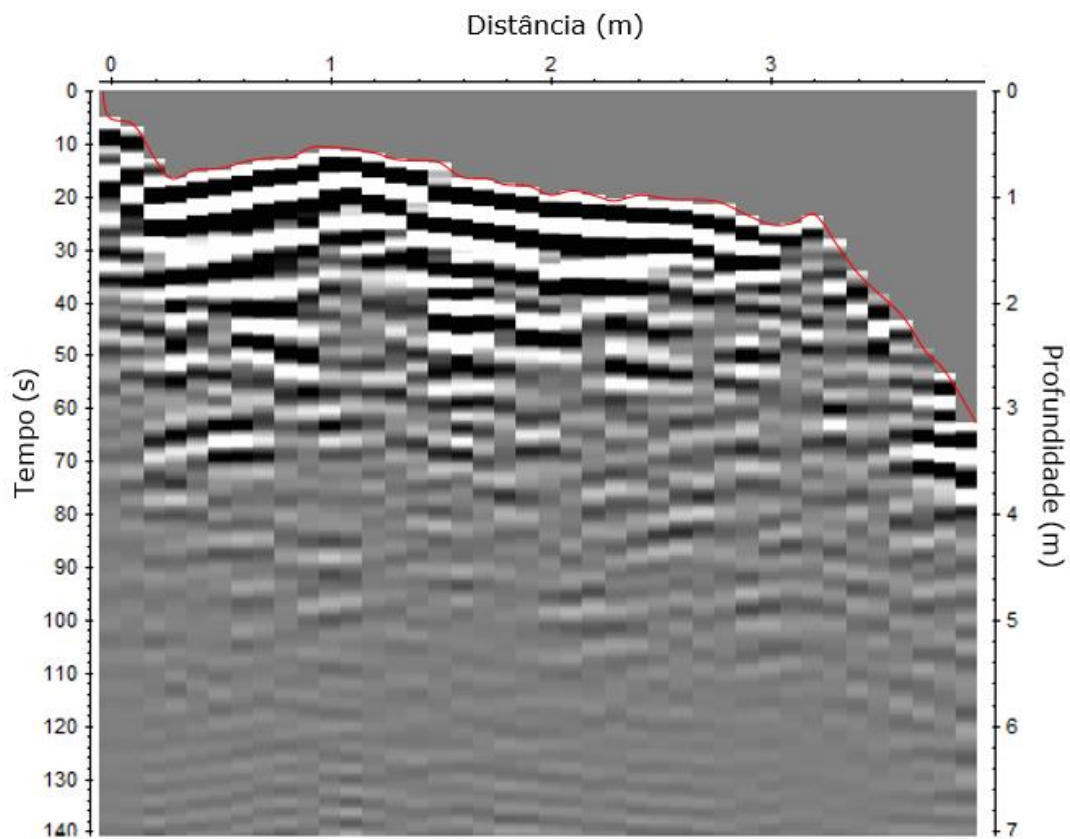


Figura 18. Seções radargramas da linha 3 não processada (acima) e processada (abaixo).

Já a linha 4 (figura 19) encontra-se na área de confluência dos rios Preto Fluminense e Paquequer havendo assim uma maior quantidade de água e por conta disso uma enorme energia por parte da mesma. Dessa forma pudemos fazer uma linha com tamanho maior, já que as margens estavam mais distantes, e alcançamos profundidades ainda maiores de coluna d'água, onde a mesma alcançou até os 5 metros de profundidade na parte mais central do rio. A coluna de areia se mostrou mais instável para a cubagem, variando do 1 metro aos 5 metros, onde pode-se inclusive notara presença de possíveis matacões presentes junto à areia de fragmento mais grosso, parte essa que se apresentou com uma coluna média de 2 metros de espessura, enquanto a areia de fragmento mais fina oscilou sua quantidade em torno de no máximo 3 metros.

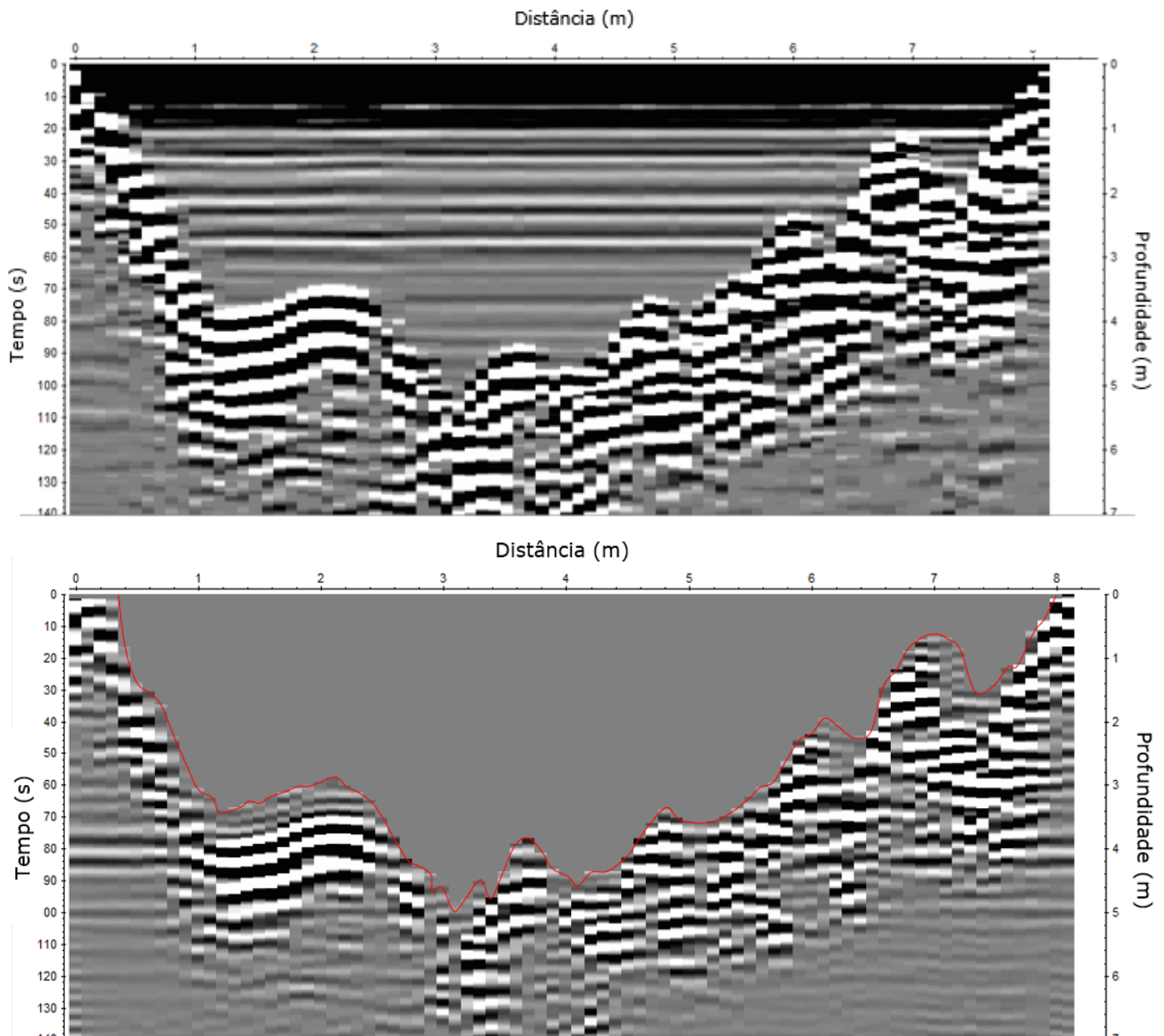


Figura 19. Seções radargramas da linha 4 não processada (acima) e processada (abaixo).

Após processarmos todas as quatro linhas adquiridas ao longo dos rios podemos inferir o contato água/rocha com muito mais precisão, que está demarcado com uma linha vermelha, podendo assim apontar a profundidade média dá área para que se faça uma instalação precisa dos equipamentos para exploração do material requerido, que é areia em calha de rio.

Ademais podemos igualmente precisar a quantidade média de areia presente no fundo dos rios, já que as ondas eletromagnéticas transpassam a água doce atingindo com muita precisão o material requerido até o limite máximo médio de 7 metros de profundidade total, limite atingido pelas ondas eletromagnéticas. Vale ressaltar que como não achamos a rocha matriz, pode ser que a camada de areia presente na área seja ainda mais profunda.

Após retirarmos a camada d'água, que se apresente em cinza, pegamos a camada de areia e podemos assim fazer a sua devida cubagem e apresentar ao órgão regulamentador e também ao requerente com muito mais precisão, menor custo e maior dinamismo.

Assim após vários cálculos, a média da cubagem das áreas é de cerca de 96.500 toneladas, tendo em vista que a massa específica do material que foi calculada em laboratório é de $2,54 \text{ g/m}^3$, e o volume médio amostrado pelos quatro perfis que resultou no volume já explicitado.

Com isso pode-se auxiliar na programação do tempo de vida útil da mina, assim como os métodos tempestivos a serem aplicados, como a instalação de um porto de areia, colocação da balsa com a bomba, a área de proteção a qual deve ser disposta, dentre outros.

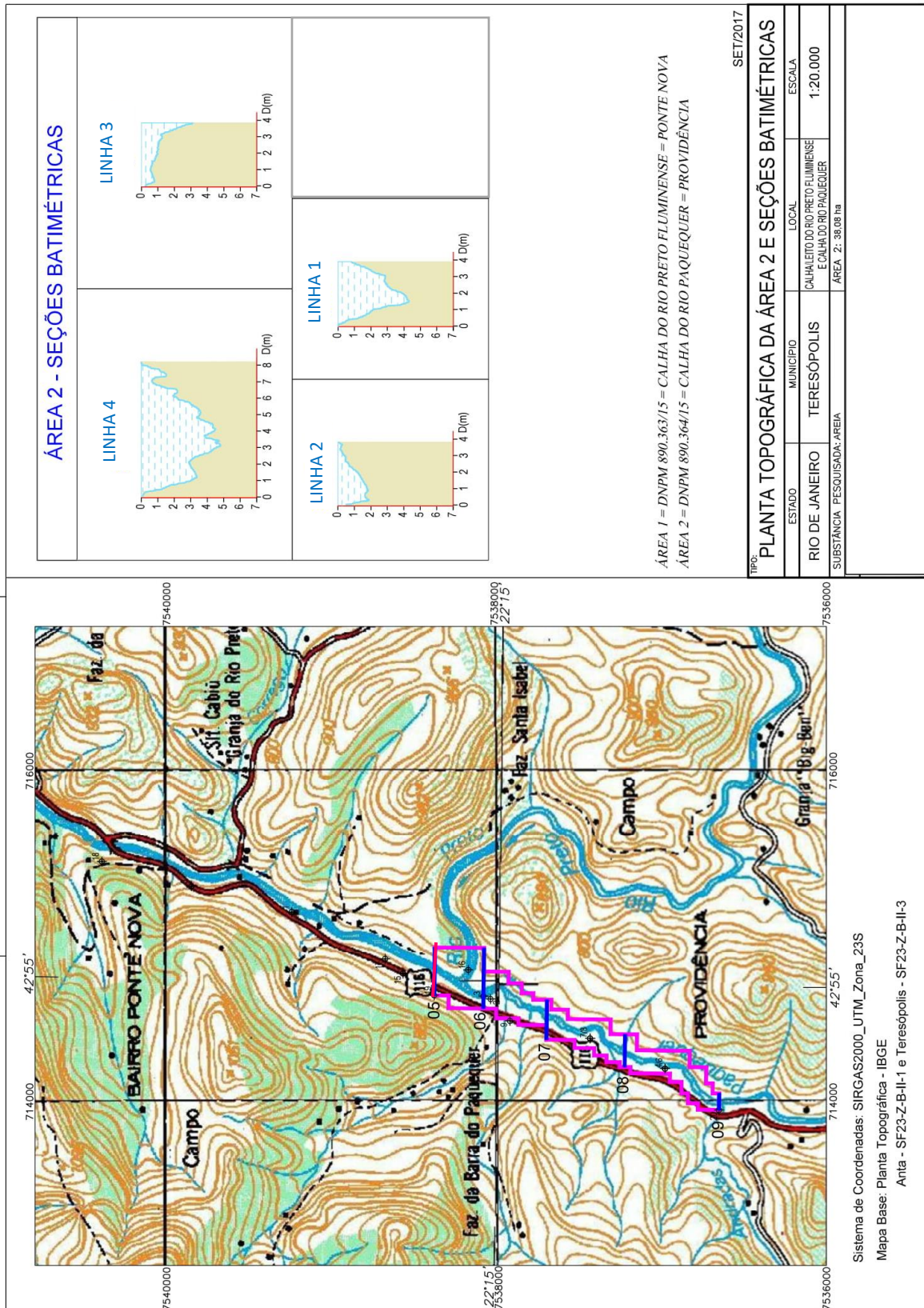


Figura 20. Mapa da área 2 com as seções batimétricas oriundas do WPR.

8. CONCLUSÃO

A utilização do método WPR se mostra útil para a definição da cubagem de areia em calha de rio, onde nas seções radargramas foram verificados a interface fundo da areia em contato com a água doce (em destaque da área cinza com o primeiro refletor da seção radargrama), sendo visualizado alguns matacões misturados à areia (presença de descontinuidade dos refletores de forma hiperbólica), sem a presença do embasamento.

As quatro seções nortearam a quantidade volumétrica média de areia que pode ser explotada em trabalhos relacionados a mineração, servindo como uma das fontes de estudo para quantificar a areia com a finalidade de apoiar o estudo de viabilidade econômica.

A grande vantagem na utilização do método WPR é que esse trata-se de um método geofísico não-invasivo, onde há uma coleta de informações em subsuperfície no qual não se pode verificar o volume de areia de forma direta, mas sim através das seções radargramas. Vale ressaltar que a utilização de um método empírico pode ser utilizada para atestar a veracidade do dado geofísico adquirido.

O resultado se mostrou extremamente eficiente, comprovando a cubagem média da poligonal de forma rápida e precisa, gerando dados com alto grau de confiabilidade que podem auxiliar na aprovação de projetos juntos aos órgãos regulamentadores do governo.

O método WPR pode ser utilizado não somente para a cubagem de minerais com o intuito exploratório mas também para avaliar a taxa de reposição frente a taxa de extração quando a mina for aberta, comprovando desse modo o fluxo de sedimentação do rio, sendo este positivo ou negativo, gerando um dado de estudo de recuperação ambiental que pode inclusive ser usado pelo minerador, a fim de haver um controle e uma apresentação aos órgãos ambientais competentes.

Pode-se concluir que o método geofísico utilizado nesse estudo representa de forma satisfatório a presença de areia na calha do rio, e pode viar a ser utilizado em outros estudos de mesmo aspecto geológico.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANNAN, A. P. Ground penetrating radar: Principles, procedures & applications. Sensors & Software Inc. Technical Paper. Disponível em: <http://www.rohan.sdsu.edu/~geology/jiracek/sage/documents/Sensors%20and%20Software%20GPR%20Manual.pdf>. Acesso em 1 de julho de 2018. 2003.
- BOWLING, J. C., HARRY, D. L., RODRIGUEZ, A. B., & ZHENG, CH (2007). Integrated geophysical and geological investigation of a heterogeneous fluvial aquifer in Columbus Mississippi. *Journal of Applied Geophysics*, 62, 58e73.
- DIAS, G.A.N. Modelagem e imageamento dos dados de GPR adquiridos em afloramentos visando o estudo de reservatório petrolífero. 196 f, Tese (Doutorado em Ciências em Geologia) – Instituto de Geociências da UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- EKES, C., & HICKIN, E. J. (2001). Ground penetrating radar facies of the paraglacial Cheekye Fan, southwestern British Columbia, Canada. *Sedimentary Geology*, 143, 199e217.
- FROESE, D. G., SMITH, D. G., & CLEMENT, D. T. (2005). Characterizing large river history with shallow geophysics: middle Yukon River, Yukon Territory and Alaska. *Geomorphology*, 67, 391e406.
- LECLERC, R. F., & HICKIN, E. J. (1997). The internal structure of scrolled floodplain deposits based on ground penetrating radar, North Thompson river, British Columbia. *Geomorphology*, 21, 17e38
- MILSON, J.; ERIKSEN, A. The geological fields guide series: Field Geophysics. 4ª Edição. Chichester. John Wiley & Sons Ltd. 2011.
- NEAL, A. (2004). Ground penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews*, 66, 261e330.
- ROCHA, P.L.F. Aplicações de técnicas geofísicas na parte emersa da Baía de Guanabara: uma revisão bibliográfica, Workshop Baía de Guanabara. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Rio de Janeiro, v. 26, p. 117 – 125. 2003.
- RODRIGUES, S.I. Caracterização GPR de tambores metálicos e plástico: estudo sobre o sítio controlado IAG/USP. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto

de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

RODRIGUES, V.H.S.R. Imageamento da subsuperfície empregando a migração split-step em dados sísmicos marinhos e de radar de penetração no solo (GPR). 2013. 59 f. Monografia (Bacharelado em Geofísica) – Instituto de Geociências, Departamento de Geofísica Aplicada, Universidade Federal da Bahia, Bahia. 2013.

SALGADO, J. C. R. S. S. Avaliação e Modelação da Suscetibilidade d Movimentos de Vertente Superficiais Translativos em Nova Friburgo. Dissertação. Faculdade De Letras Universidade do Porto. 2013.

SANDMEIER K. J. (2008). ReflexW Version 5.0. Windows 9x/NT/2000/XP-program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. pp. 1e476.

SCHROTT, A., & SASS, O. (2008). Application of field geophysics in geomorphology: advances and limitations exemplified by case studies. *Geomorphology*, 93, 55e73.

SILVA, A, M. S. F. M. S. O Uso do Radar de Penetração no Solo (GPR) em Estudo de Afloramento Carbonático do Membro Cráto da Formação Santana na Bacia do Araripe Ceará (CE) - Brasil. 2013.

SLOWIK, M. (2011). Changes of river bed pattern and traces of anthropogenic intervention: The example of using GPR method (the Odra River, western Poland) - Adam Mickiewicz University, Department of Geographic and Geologic Sciences, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznan, Poland. 2011.

SMITH, D. G., & JOL, H. M. (1995). Ground penetrating radar: antenna frequencies and maximum probable depths penetration in Quaternary sediments. *Journal of Applied Geophysics*, 33, 93e100.

SOUZA, M.M.de. Uso de georadar (GPR) em investigações ambientais 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.

TUPINAMBÁ, M. (*et al.*) Geologia e recursos minerais da folha Nova Friburgo SF.23-Z-B-II, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000; organizador Luiz Carlos da Silva. Belo Horizonte: CPRM, 2012.

VAN HETEREN, S., FITZGERALD, D. M., MCKINLAY, P. A., & BUYNEVICH, P. V. (1998). Radar facies of paraglacial barrier systems: coastal New England, USA. *Sedimentology*, 45, 181e200.