

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS, HIDROGEOLÓGICOS E
GEOFÍSICOS NA PROSPECÇÃO DE ÁGUA NO SEMI-ÁRIDO SERGIPANO.**

Fabiana Pereira Coelho

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA DO OBSERVATÓRIO NACIONAL
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM GEOFÍSICA.**

RIO DE JANEIRO - BRASIL

DEZEMBRO DE 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

DEDICATÓRIA

A MINHA MÃE CERIZIA E MINHA TIA MARILDA (AMBAS IN MEMORIAN).

A MEU PAI, MINHA IRMÃ E FAMÍLIA.

AO MEU NOIVO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minha família, meu pai Manuel, minha irmã Flavia, meus sobrinhos (Agnes, João Victor e Emmanuel) e ao meu noivo Henrique Cezar, pois eles viram e compartilharam as noites mal dormidas e unidos e chegamos a mais uma conquista. Os amigos, em especial Suze e Esaú, que adquiri ao longo dessa jornada.

Agradeço a compreensão e oportunidade a mim oferecida pelo Observatório Nacional, e ao Diretor Dr. Sergio Fontes nessa trajetória acadêmica.

Agradeço ao Departamento de Pós Graduação e ao Departamento de Geofísica, pelo apoio e auxílios a mim oferecidos. Aos Professores e técnicos de todo o Departamento de Geofísica, aos que ajudaram diretamente na obtenção dos dados deste trabalho, e aos que me ajudaram e sempre estiveram dispostos a ajudar.

Agradeço à CAPES pela bolsa a mim oferecida. Aos Colaboradores e Amigos Flavia Nascimento e Maciel pela colaboração tão gratificante desde meu início na instituição.

E agradeço em especial a pessoa que mais me apoiou nessa trajetória tão turbulenta mas enfim concluída, agradeço a meu orientador Dr. Irineu pela grande ajuda, compreensão e ensinamentos a mim passados ao longo desse período.

RESUMO

Os métodos geofísicos, em particular os eletromagnéticos, têm sido utilizados para a prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas fraturadas, que normalmente se apresentam como regiões onde as condutividades tendem a ser mais altas do que na mesma rocha quando não fraturada/sã. Isto porque, as fraturas tendem a armazenar água e conter materiais fragmentados pela ação da água e conseqüente alteração da rocha. Por outro lado, os altos valores de condutividade podem estar correlacionados a variações faciológicas nas fraturas secas.

A perfuração de poços e a realização de perfis geofísicos em fraturas secas ou de baixa vazão é um desperdício de recursos, que deve ser minimizado. Para otimizar a prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas sugere-se, neste trabalho, que as fraturas onde serão realizados os perfis geofísicos sejam escolhidas após uma integração de dados geológicos, de fotointerpretação e de conhecimentos hidrogeológicos bem como um inventário de poços da região em estudo.

Esta metodologia foi aplicada no semi-árido brasileiro, em particular no Estado de Sergipe, no âmbito de um projeto multi-institucional e multi-disciplinar, coordenado pelo Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó, no qual o Observatório Nacional teve participação. Os mapas de drenagens, lineamentos e morfoestrutural, obtidos para a região, indicaram as fraturas propícias para a ocorrência de água subterrânea. O inventário de poços mostrou que mesmo em altos estruturais foram perfurados poços com vazões significativas. Assim, foram indicadas fraturas para as 10 localidades definidas pelo projeto, onde foram realizadas medidas de eletroresistividade e de indução eletromagnética em perfis perpendiculares à direção de

fratura. As curvas de resistividade nesses perfis sugeriram 13 pontos para a perfuração de poços. No único poço perfurado, em Lagoa da Areias no Município de Monte Alegre de Sergipe, encontrou-se água a 30 m de profundidade com uma vazão de 2.000 l/h. O fato deste poço se localizar em alto estrutural indica que a metodologia empregada é promissora.

Os dados de eletroresistividades são ruidosos, possivelmente devido à alta resistividade da camada superior, onde se encontra o eletrodo, indicando não ser um bom método para a prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas fraturadas. Por outro lado, os métodos de indução eletromagnética são bons indicadores da localização de água, visto que seu resultado propiciou na perfuração de um poço tubular contendo água..

Em uma tentativa de estimar a profundidade da água e a geometria do aquífero, foram realizadas inversões uni e bi-dimensionais nos dados eletroresistivos e de indução eletromagnética, verificando que os programas disponibilizados pela comunidade científica ainda são bastante limitados.

ABSTRACT

The geophysics methods, electromagnetics in particular, have been used in exploration of underground water in fractured crystallizes regions, which normally appear as regions where the conductivity tends to be higher than in the not fractured rocks. This happens, because normally fractures store water and contains material's fragments by water action and the consequent rock alterations. On the other hand, the high values of conductive can be correlated to faciological variations in the dry fractures.

The well drilling on dry fractures or in low flow, it's a resource waste that has to be minimized. To optimize the exploration of underground water on the crystallizes regions, it's suggested in this work that the fractures where the geophysics logs will be realized should be chooser after the integration of the geological and photo-interpretation data as well as hydrologic knowledge and wells inventory of the region that is under in study.

This methodology was applied on the Brazilian semi-arid, in particular on the Sergipe State, under multi-institutional and multi-disciplinary project, coordinated by the Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó, and of which the Observatório Nacional was part. The drainage, lineament and morpho-structural maps which were obtained for the region, indicated the propitious fractures to occur underground water. The wells inventory showed that even on structural highs wells were drilled with significant flow. In this way, was indicated fracture for the 10 localities that were defined by the project, where realized electric resistivity measurements and electric magnetic induction were on logs "perpendicular" to the

fracture direction. The resistivity curves in these logs suggested 13 points for well drilling. The only well drilled, in the Lagoa da Areias in the Município de Monte Alegre de Sergipe, found out water at 30 m deep with a flow rate of 2.000 l/h. The fact of being on a structural high showed that the methodology that was applied is promising.

The electric resistivity data is noisy, probably because of the high resistivity of the superior layer where was located the electrode, indicating not to be a good method for the prospection of the underground water in fractured crystallized regions. In the other side, the methods of electromagnetic induction were good indicators of waters localizations.

A way to try to estimate the water deep that and the aquifer geometry was to realize uni and bi-dimensions inversions in electric resistive and electromagnetic induction data, verifying that the programs that are available from scientific society are still for limited.

SUMÁRIO

Dedicatória	II
Agradecimentos	III
Resumo	IV
Abstract	VI
Lista de Figuras	X
Lista de Tabelas	XII
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - ASPECTOS GEOLÓGICOS	5
.2.1. Geologia Regional	5
.2.2. Geologia Local	11
.2.3. Evolução Geotectônica da Faixa Sergipana	14
.2.3.1 Estruturação da Faixa Sergipana	16
CAPÍTULO 3 - FOTOINTERPRETAÇÃO	21
.3.1. Rede de Drenagem	23
.3.2. Mapa de Lineamentos Estruturais	24
3.3. Mapa de Tendência do Fluxo de Água Subterrânea	25
.3.4. Condutividade da Água	30
.3.5. Inventário de Poços Tubulares e Correlação com Fraturamentos	31
CAPÍTULO 4 - MÉTODOS GEOFÍSICOS: ELETROMAGNÉTICO E ELÉTRICO	35
4.1. Aspectos Teóricos dos Métodos Eletromagnéticos	36
.4.1.1. Resistividade Elétrica (ρ) ou Condutividade Elétrica (σ)	37
.4.2. Método Elétrico	39

.4.2.1. Descrição Geotest Rd 300A	42
4.2.2. Aquisição de dados	42
.4.3. Método de Indução Eletromagnética	45
.4.3.1. Profundidade de Penetração (Skin Depth)	46
.4.3.2. Descrição do EM34	47
.4.3.3. Aquisição de dados	49
CAPÍTULO 5 – INVERSÃO	52
.5.1. Programas Utilizados	52
5.1.1. WinGlink – Inversão 1D	53
5.1.2. DC2D – Inversão 2D	53
5.1.3. CICEM35 – Inversão 2D	54
.5.2. Apresentação dos Dados da Inversão	56
CAPÍTULO 6 – RESULTADOS	60
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APENDICE I – CURVAS DE ELETRO-RESISTIVIDADE	67
APENDICE II – CURVAS DO EM34	82
APENDICE III – MODELOS DO ELETRO-RESISTIVIDADE 1D E 2D	88
APENDICE IV – MODELOS DO EM34 - 2D	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Delimitação do Semi-árido.	1
Figura 2 - Localização da área de estudo no Estado de Sergipe.	3
Figura 3 - Localização das províncias estruturais limítrofes.	6
Figura 4 – Localização da área e seus domínios tectono-estratigráficos.	7
Figura 5 – Localização dos Domínios e Municípios: GUR – Guararu, PDF – Porto da Folha, PR – Poço de Redondo e MAS – Monte Alegre de Sergipe.	7
Figura 6 – Litologias dos Municípios pertencentes às áreas de estudo.	13
Figura 7 - Evolução da Faixa de Dobramentos Sergipana. Fonte: CPRM, 1997.	14
Figura 8 - Bloco Diagrama da Faixa de dobramentos Sergipana e subdivisões faixa de Dobramentos Sergipana e Faixa de dobramentos do Baixo São Francisco.	17
Figura 9 - A) Empurrão do “Maciço Pernambuco-Alagoas” (MPA) sobre o Cratón São Francisco (CFS) gerando vergências centrífugas. O empurrão principal pode ou não corresponder a uma sutura. B) Dobras F3 (S3) com vergência para norte (região Alagoana), redobrando estruturas F1 (S1) - F2 (S2) com critérios cinemáticos de movimento para sul.	18
Figura 10 - Eventos deformacionais na Faixa de Dobramentos do Baixo São Francisco. Fonte: Destro et al. (1993).	20
Figura 11 – Rede de Drenagens.	24
Figura 12 - Mapa de lineamentos estruturais.	25
Figura 13 - Mapa morfoestrutural, gerado após fotointerpretação e com as comunidades do trabalho.	27
Figura 14 - Comunidades com luz, aplicadas no ArcGis no “Datum” Córrego Alegre 24.	28
Figura 15 - Distribuição das vazões dos poços tubulares e correlação entre as	31

vazões e tendências das linhas de fluxo.	
Figura 16 - Distribuição das vazões por município, a direção da fratura e a localização morfoestrutural (baixo, médio ou alto)	34
Figura 17 – Disposição dos eletrodos para determinação da resistividade	39
Figura 18– Arranjo de Schlumberger.	41
Figura 19 - Aplicação do equipamento Geotest RD 300A, no trabalho de campo realizado em Sergipe.	44
Figura 20 - Princípio geral de uma medição eletromagnética	46
Figura 21 - Simplificação do equipamento EM34.	48
Figura 22 - Aplicação do equipamento EM34 Geonics, no trabalho de campo realizado em Sergipe.	50
Figura 23 – Gráfico do Município de Lagoa das Areias – Monte Alegre de Sergipe, contendo as 47 sondagens (EM-34).	51
Figura 24 - Apresenta o formato do conjunto de prisma segundo Pérez-Flores.	55
Figura 25 - Inversão unidimensional de Lagoa das Areias SEV LA_0: a inversão suavizada (curva rosa) e a “layered Inversion” com quatro camadas (curva verde).	57
Figura 26 - Inversão bidimensional de Lagoa das Areias: a inversão em quatro camadas processadas pelo Matlab 6.5 através do programa DC2D.	58
Figura 27 - Inversão dos dados Hlem a partir do programa CICHEM35, modelo de blocos.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Localização e métodos aplicados nos 10 perfis.	4
Tabela 2: Principais Preferências de Lineamentos, com integração de dados aéreos, de campo e perfis.	29
Tabela 3: Condutividade direta da Água. Fonte: adaptado de Vieira e SEED, 2008	30
Tabela 4: Métodos e Propriedades Físicas	35
Tabela 5: Resistividade de Minerais e Rochas. Adaptado de Vieira, 1998.	38
Tabela 6a: Espaçamento dos Eletrodos	42
Tabela 6b: Espaçamento dos Eletrodos	43
Tabela 7: Profundidade de exploração relacionada ao espaçamento entre as bobinas (Fonte: Geonics TN – 6).	49
Tabela 8: Estações do EM34 e GeoTest.	50
Tabela 9: Inventário de poços	60

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O Semi-árido brasileiro é um dos maiores, mais populosos e também mais úmidos do mundo, se estendendo por 853.853,59 Km² (Figura 1), segundo relatório do Ministério da Integração Nacional (2005), abrangendo o norte dos Estados de Minas Gerais, o agreste e o sertão nordestino (Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e uma parte do sudeste do Maranhão). Vivem nessa região mais de 18 milhões de pessoas, sendo 8 milhões na área rural. O Semi-árido é caracterizado por uma escassez de recursos hídricos de superfície, resultante de baixas precipitações pluviométricas, em média de 750 mm anuais. Em condições normais, chove mais de 1.000 mm anuais. Na pior das secas, choveu pelo menos 200 mm anuais, o suficiente para dar água de qualidade somente a uma família de cinco pessoas por um ano.

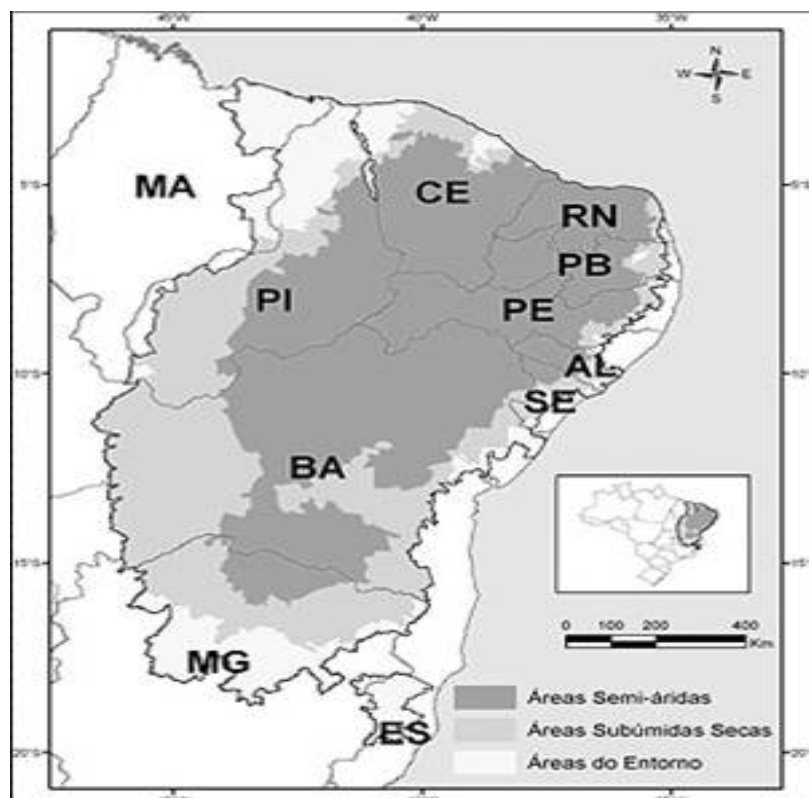


Figura 1: Delimitação do Semi-árido.

Por outro lado, a região também está sujeita a taxas de evapotranspiração muito elevadas, oscilando com maior frequência em torno de 90%, o que torna os reservatórios de água pouco profundos inúteis em épocas de seca. Além disso, a água dos barreiros e açudes, baixadas onde se acumula a chuva, é geralmente poluída e cheia de vermes. Essa água é responsável por grande parte das doenças do sertão: amebíase, diarreia, tifo, cólera.

O Observatório Nacional tem realizado medidas geolétricas em áreas carentes de água no semi-árido nordestino, principalmente em regiões cristalinas fraturadas, objetivando localizar poços para água subterrânea em falhas e fraturas existentes.

Normalmente, zonas fraturadas em rochas cristalinas apresentam-se como regiões onde as condutividades tendem a ser mais altas do que na mesma rocha quando não fraturada/sã. As fraturas tendem a armazenar água e conter materiais fragmentados pela ação da mesma. Porém, anomalias de condutividade podem estar correlacionadas a variações faciológicas que não correspondem à água nas fraturas. Como consequência, não basta ter a fratura e uma anomalia de condutividade associada para a ocorrência de água subterrânea. Em torno de 80% dos pontos locados pelo Observatório Nacional e perfurados forneceram água, em profundidades menores que 70m.

O Observatório Nacional participou de um projeto ambiental elaborado pela Petrobrás Ambiental, de cunho multi-institucional e multi-disciplinar, coordenado pelo Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó, que consistiu em pesquisas sobre os aspectos quantitativos e qualitativos das águas subterrâneas, em estudos socioeconômicos e em programas de educação ambiental em oito municípios dos Estados da Bahia, Sergipe e Piauí. Aqui, denominado de Projeto Xingó.

Neste escopo, com a finalidade de otimizar a prospecção de água subterrânea, o trabalho aqui apresentado, propôs aplicar uma metodologia que utiliza a geologia, a hidrogeologia e a fotointerpretação, na área de estudo do Projeto Xingó, para indicar as fraturas com maior probabilidade de conter água subterrânea. Nesta metodologia são utilizados recursos de geoprocessamento e fotointerpretação para obtenção de mapa morfoestrutural, que indicam as principais áreas com provável armazenamento de água subterrânea. As informações dos poços já instalados, na região, permitiram uma correlação entre vazão e as linhas de tendência do fluxo de água. Assim, foram indicadas 10 fraturas, distribuídas em quatro municípios sergipanos: Poço Redondo, Monte Alegre de Sergipe, Guararu e Porto da Folha, (Figura 2).

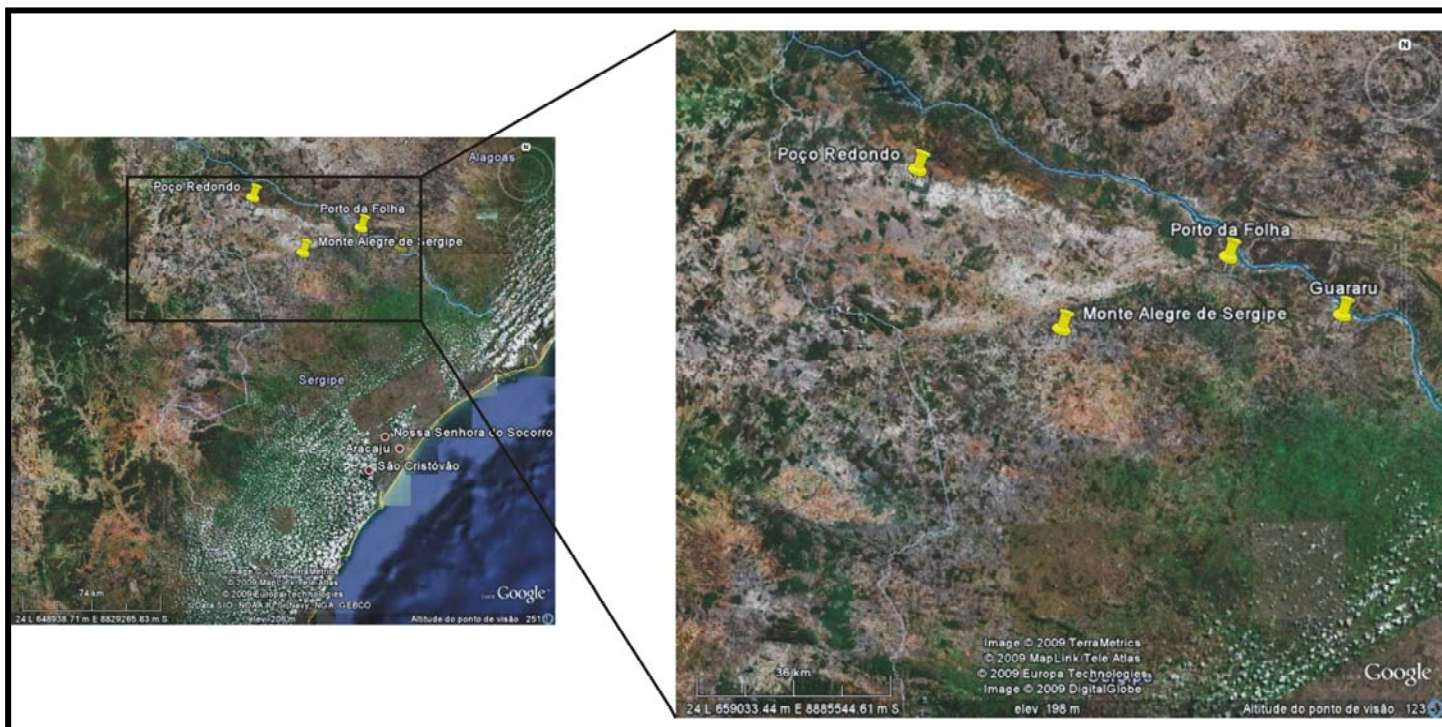


Figura 2: Localização da área de estudo no Estado de Sergipe. Fonte: Google Earth.

O Observatório Nacional realizou medidas de indução eletromagnética e de eletrorresistividade, utilizando os equipamentos EM34 e Geotest RD 300, em perfis perpendiculares a estas fraturas, e, indicou os pontos para perfuração dos poços baseando-se na análise qualitativa das medidas geoeletricas. A localização das comunidades e os métodos aplicados estão indicados na Tabela 1.

Ainda, objetivando otimizar a prospecção de água subterrânea com métodos geoeletricos foram realizadas inversões uni e bi-dimensionais nos dados obtidos. Os programas utilizados para tais inversões foram aqueles disponibilizados pela comunidade científica.

Município	Comunidade	X	Y	Técnica Aplicada
Poço Redondo	São José de Nazaré	654157	8915402	Eletrorresistividade e Indução Eletromagnética
	Lagoa das Areias II	653939	8916702	Eletrorresistividade e Indução Eletromagnética
	Salgadinho	634868	8898865	Indução Eletromagnética
	Maravilha	643909	8928612	Eletrorresistividade e Indução Eletromagnética
M. A. Sergipe	Lagoa das Areias I	633723	8879305	Eletrorresistividade e Indução Eletromagnética
	Bom Jardim	645144	8883206	Eletrorresistividade e Indução Eletromagnética
Guararu	Lagoa do Tubi	688849	8878207	Eletrorresistividade e Indução Eletromagnética
	Barriguda	690436	8886317	Eletrorresistividade e Indução Eletromagnética
Porto da Folha	Gentileza_ Januária	649718	8891960	Eletrorresistividade e Indução Eletromagnética
	Floresta	649975	8895008	Eletrorresistividade e Indução Eletromagnética

Tabela 1: Localização e métodos aplicados nos 10 perfis

CAPÍTULO 2 – ASPECTOS GEOLÓGICOS

.2.1 – GEOLOGIA REGIONAL

O Estado de Sergipe está localizado na região limítrofe de três províncias estruturais definidas por Almeida et al. (1977): a Província São Francisco, a Província Borborema e a Província Costeira e Margem Continental (Figura 3).

A Província Borborema se estende desde o litoral dos estados de Sergipe e Alagoas até o norte da Bahia, sul de Curaçá.

O Cráton de São Francisco se caracteriza pela presença de extensas zonas de cisalhamento transcorrentes, resultantes do Ciclo Brasileiro.

A Província Costeira e a Margem Continental são constituídas pelas bacias sedimentares costeiras mesocenozóicas, e suas extensões submersas na margem continental, desenvolvidas a partir do Jurássico. No Estado de Sergipe, esta província inclui a Bacia Sedimentar de Sergipe e segmentos restritos da Bacia do Tucano, além de formações superficiais terciárias e quaternárias continentais, e os sedimentos quaternários da plataforma continental (Brito Neves et. AL. 1978).

A Faixa de Dobramentos Sergipana (Brito Neves, 1975) localiza-se na Província Borborema. Esta mesma é limitada a sul pela porção nordeste do Cráton do São Francisco e a norte pelo Maciço Pernambuco-Alagoas. A faixa de Dobramento Sergipana é formada predominantemente por micaxistos granadíferos, granito-gnaisses e granitóides.

A complexidade da estruturação da porção norte da Faixa Sergipana durante sua evolução geológica sugere que a área é constituída da justaposição de "terrenos tectono-estratigráficos" que representam diferentes níveis crustais, colocados lado a lado devido aos soerguimentos

provocados pelas movimentações tectônicas compressivas e transcorrentes brasileiras, com vergência geral para SSW (Amorim et. al, 1993).



Figura 3 - Localização das províncias estruturais limítrofes. Fonte: CPRM (2002).

Os terrenos cristalinos foram individualizados em domínios tectono-estratigráficos (Davinson & Santos, 1989) onde os situados a norte expõem níveis crustais mais profundos do que aqueles adjacentes a sul.

As Figuras 4 e 5 mostram a localização dos domínios, cujos limites, metamorfismos, origem e principais características estruturais e litológicas (adaptado CPRM, 2002), serão descritos a seguir.

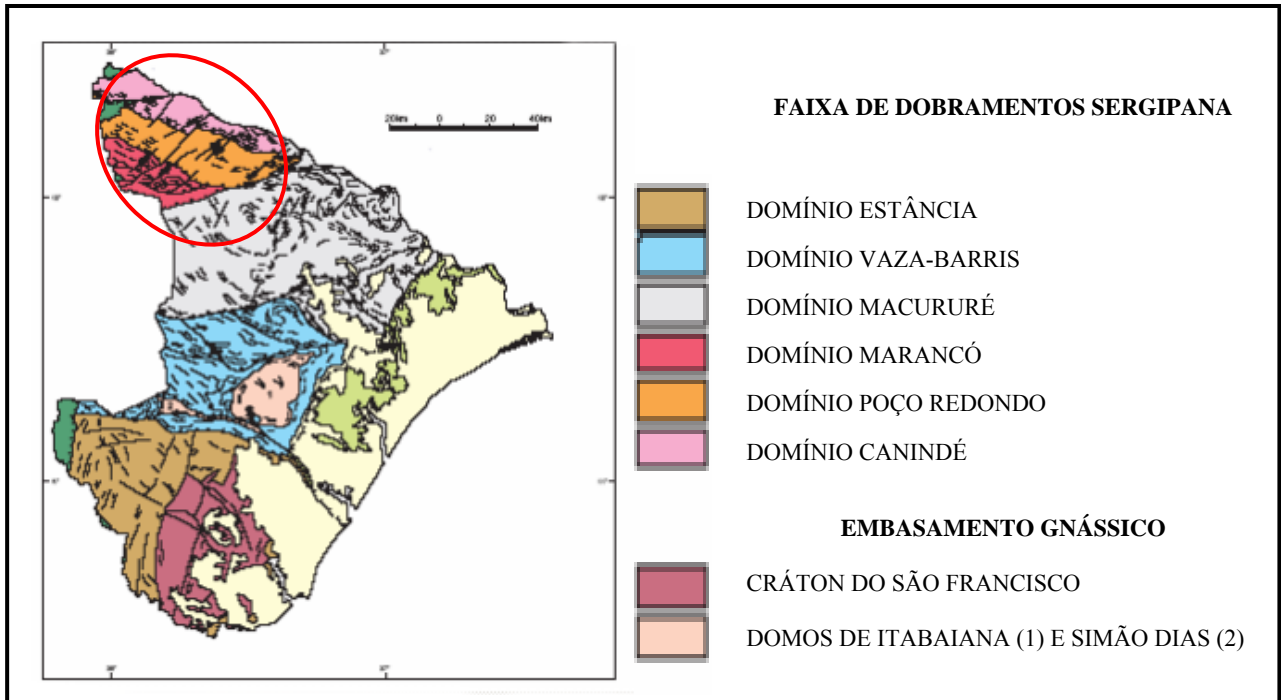


Figura 4 – Localização da área e seus domínios tectono-estratigráficos.

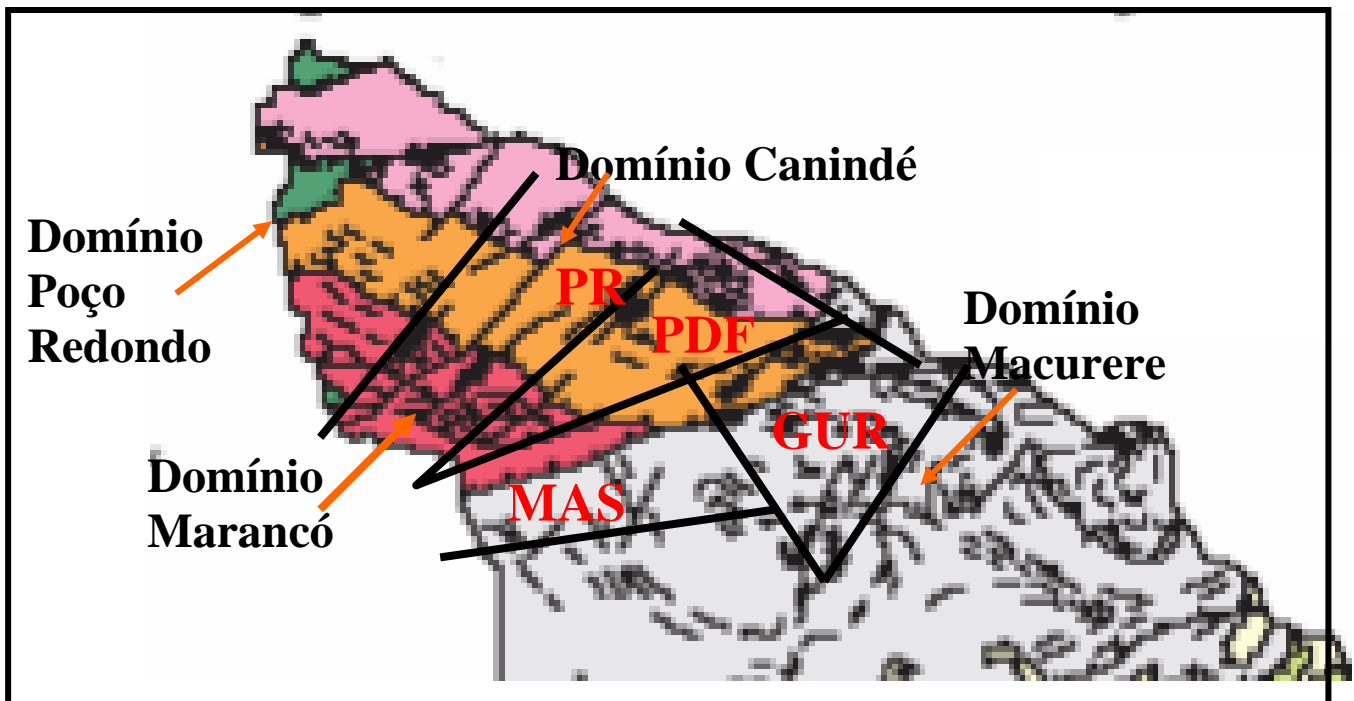


Figura 5 – Localização dos Domínios e Municípios: GUR – Guararu, PDF – Porto da Folha, PR – Poço de Redondo e MAS – Monte Alegre de Sergipe.

CANINDÉ

Limites: Faixa de direção NW-SE, paralela ao rio São Francisco, entre quatro e dez quilômetros de largura. Limite sul com o Domínio Poço Redondo

Metamorfismo: Fácies xisto-verde a anfíbolito.

Origem: Arco magmático, ou bacia de pós-arco, soldado à Faixa de Dobramentos Sergipana por processo colisional.

Características Estruturais: Os litótipos do Complexo Canindé acham-se quase sempre tectonicamente imbricados, principalmente aqueles situados mais a sul do domínio. Os dobramentos estão mais preservados em sua extremidade sudeste, por vezes com geometrias de braquiantiformes ou de prováveis seções de megadobras tipo bainha. O limite sul com o Domínio Poço Redondo é marcado por expressiva zona de cisalhamento dúctil contracional, de alto ângulo, deslocada em vários pontos por falhas transcorrentes sinistrais transversais, de direção NE-SW. Estas falhas estão, em alguns pontos, preenchidas por diques básicos.

Características Litológicas: Rochas metavulcano sedimentares do Complexo Canindé, polideformadas, freqüentemente transpostas e cisalhadas, intrudidas por expressivo corpo gabróico diferenciado (Suíte Intrusiva Canindé). Também ocorrem abundantes corpos irregulares de granitóides diversos, de colocação sin, tardi a pós, e pós-tectônicos.

POÇO REDONDO

Limites: Limita-se a sul e norte através de zonas de cisalhamento contracionais oblíquas sinistrais de alto ângulo.

Metamorfismo: Fácies anfíbolito alto.

Origem: Representa nível crustal mais profundo que os demais, soerguido pela tectônica compressional cujo transporte de massa foi dirigido de nordeste para sudoeste.

Características Estruturais: A deformação é quase sempre registrada por dobramentos polifásicos desarmônicos, provavelmente, em parte, pré-brasilianos. A deformação pré-brasiliana não é

discernível com clareza, devido ao envolvimento com as deformações subseqüentes. As deformações que produziram dobras com vergência para sudoeste, são similares à estruturação regional da Faixa de Dobramentos Sergipana.

Características Litológicas: Seqüência de ortognaisses tonalito-granodioríticos e de paragnaisses subordinados, freqüentemente migmatizados, denominados de Complexo Migmatítico de Poço Redondo, e por intrusões de granitóides tardi a pós-tectônicos. As rochas migmatíticas de Poço Redondo ocorrem sob a forma de abundantes lajedos, aflorantes ao longo de uma faixa orientada NW-SE, concordante com a estruturação regional. Observa-se que os contatos com os granitóides tipo Glória são quase sempre muito irregulares e difusos.

MARANCÓ

Limite: Limita-se com o Domínio Macururé através de expressiva zona de cisalhamento contraccional oblíqua sinistral denominada Belo Monte-Jeremoabo,

Metamorfismo: Fácies anfibolito, com paragênese original raramente preservada, devido ao retrometamorfismo que acompanha as zonas de cisalhamento.

Características Estruturais: Os granitóides do tipo Serra Negra mostram-se intensamente cisalhados, com foliações subverticais, subparalelas a zonas de cisalhamento dúctil contraccionais oblíquas de alto ângulo, e com transcorrências rúpteis transversais superpostas. A Zona de cisalhamento contraccional oblíqua sinistral Belo Monte- Jeremoabo para oeste limita parcialmente a Bacia do Tucano e foi reativada no Mesozóico, e marca o alto estrutural que limita os compartimentos central e norte da Bacia do Tucano.

Características Litológicas: Presença de litótipos do Complexo Marancó, de natureza vulcano-sedimentar, imbricado tectonicamente com granitóides do tipo Serra Negra.

MACURURÉ

Limites: Limita-se com o Domínio Vaza-Barris ao longo das zonas de cisalhamento São Miguel do Aleixo e Nossa Senhora da Glória, de movimentação contracional oblíqua sinistral.

Metamorfismo: Fácies anfíbolito

Origem: O Domínio Macururé representa um nível crustal inferior em relação ao Domínio Vaza-Barris.

Características Estruturais: A deformação é polifásica, com orientação geral NW-SE na parte oeste do domínio, sendo mais desarmônica na parte leste. As intrusões granitóides provocam metamorfismo de contato nos metassedimentos encaixantes e modificações nas estruturas pretéritas. Falhas transcorrentes NE-SW são freqüentes, por vezes controlando a colocação de diques básicos de espessuras métricas, provavelmente mesozóicas.

Características Litológicas: Compõe-se pelo Grupo Macururé (Santos et al., 1988 e outros, apud CPRM 2002), predominantemente metapelítico e com grande variação de faciologias, e raras intercalações de metavulcanitos de ácidos a intermediários. Seus litótipos apresentam estratificação rítmica e foram interpretados por Jardim de Sá et al. 1986, apud CPRM 2001, dentre outros, como turbiditos de natureza flyschóide. A presença de abundantes corpos de granitóides intrusivos, tardi a pós-tectônicos, é uma característica marcante deste domínio.

2.2 – GEOLOGIA LOCAL

A Geologia local é formada predominantemente por micaxistos granadíferos, granito-gnaisses e granitóides.

Os quatros municípios em estudo (Poço Redondo, Porto da Folha, Guararu, Monte Alegre de Sergipe) estão inseridos nos quatros Domínios apresentados anteriormente (Figura 6), como descritos a seguir:

POÇO REDONDO – Na parte inicial da porção norte, ao longo do Rio São Francisco, ocorrem pequenas manchas de depósitos aluvionares. Porém nas outras partes da porção norte, afloram leucogranitos (Granitóides tipo Xingó), dioritos, granitos e monzonitos (Granitóides tipo Curralinho), ortognaisses graníticos (Granitóides tipo Garrote), e gabros, microgabros, diabásios, troctolitos e ultramafitos da Suíte Intrusiva Canindé. Na região central do município, predominam granitos e granodioritos tipo Glória, migmatitos, anfíbolitos, paragnaisses e biotita-xistos do Complexo Migmatítico de Poço Redondo, biotita-granodioritos (tipo Propriá) e metabasaltos, metarritmitos, ultramafitos, metavulcanitos, mármore, quartzitos, metabasaltos, metatufos, e rochas calcossilicáticas do Complexo Canindé. Na porção sul, afloram predominantemente augen-granodioritos e quartzo-monzonitos gnáissicos do tipo Serra Negra, ao lado de filitos, metassiltitos, anfíbolitos, xistos, metarriolitos, latitos, mármore, ultramafitos, metaconglomerados milonitizados e metabasitos do Complexo Marancó.

PORTO DA FOLHA – No extremo norte, observam-se pequenas manchas de aluviões e coluviões relacionadas às Formações Superficiais Continentais. Já no centro-norte da área, afloram migmatitos, anfíbolitos, paragnaisses e biotita-xisto do Complexo Migmatítico de Poço Redondo; metabasaltos, metatufos, metavulcanitos, quartzitos e rochas calcossilicáticas do Complexo Canindé; dioritos, granitos, monzonitos do tipo Curralinho; sienitos e monzonitos do

tipo Serra do Catu; biotita-granodioritos/ monzonitos do tipo Propriá e gabros, diabásios, troctolitos, leucogabros e ultramafitos da Suíte Intrusiva Canindé. Na porção centro-sul da região, ocorrem micaxistos granatíferos com lentes de quartzito e metarritmitos finos com lentes de metavulcanitos (Grupo Macururé), granitos/granodioritos do tipo Glória e metarritmitos, metavulcanitos, metabasitos e mármore (Unidade Monte Azul/Complexo Marancó).

GUARARU – Aproximadamente 85% do território é dominado por micaxistos granatíferos com lentes de quartzito milonitizado, relacionados ao Grupo Macururé. Pequenos corpos granodioríticos e quartzo-monzonitos com freqüentes autólitos máficos, do tipo Glória, ocorrem associados aos micaxistos.

MONTE ALEGRE DE SERGIPE – Caracterizado por litótipos do Grupo Macururé (micaxistos granatíferos, metarritmitos finos, metavulcanitos, metagrauvas, metarenitos finos e metassiltitos maciços). Corpos esparsos de granitos, granodioritos e quartzo-monzonitos do tipo Glória, ocorrem associados ao Grupo Macururé por toda a área do município, normalmente na sua parte centro-leste.

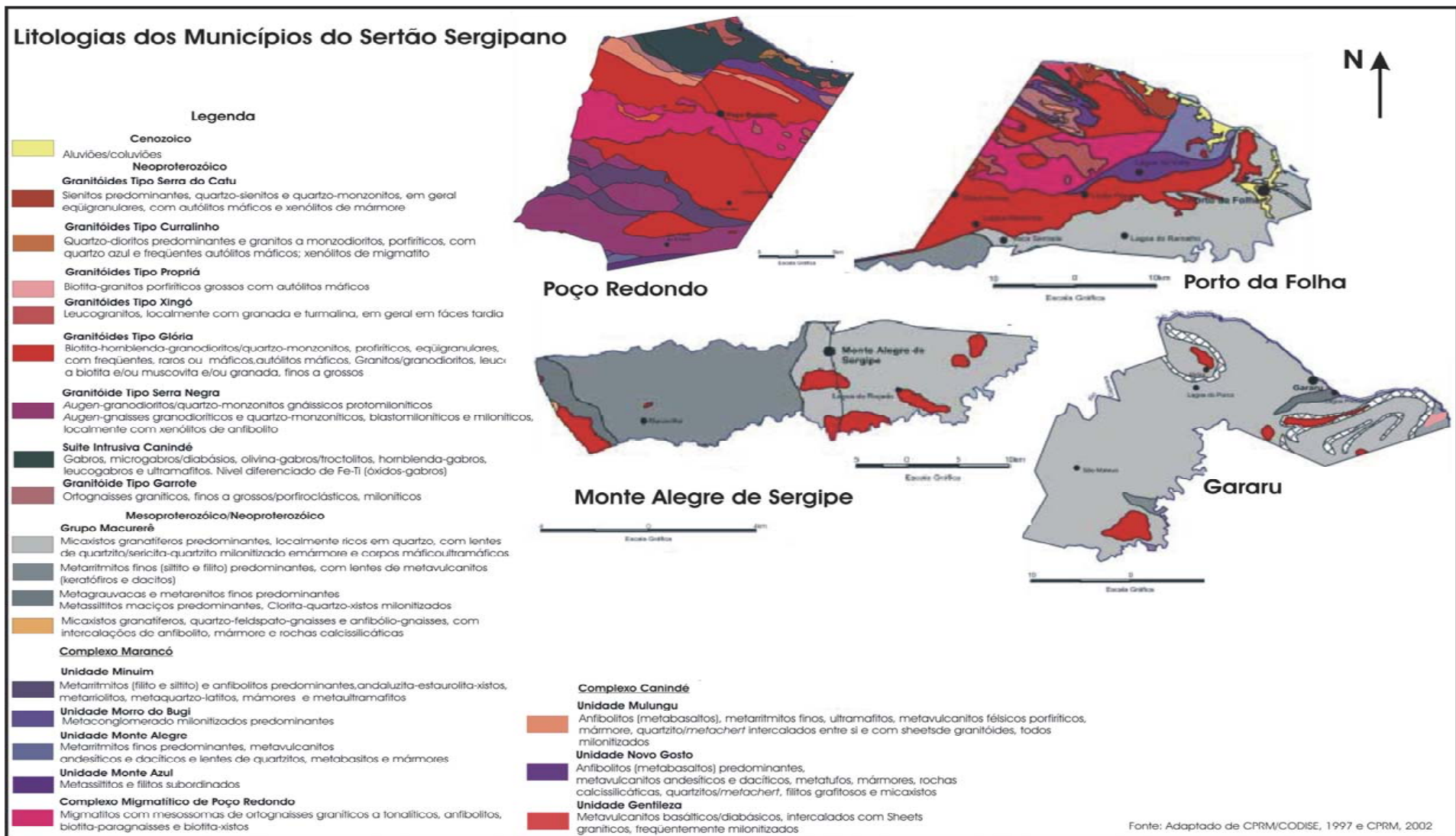


Figura 6 - Litologias dos Municípios pertencentes às áreas de estudo.

2.3 – EVOLUÇÃO GEOTECTÔNICA DA FAIXA SERGIPANA

A evolução da Faixa de Dobramentos Sergipana (Figura 7) desde o Mesoproterozóico até o Neoproterozóico é decorrente da justaposição de três terrenos: o Cráton do São Francisco e suas coberturas; o Arco Canindé-Marancó; e a Placa (microcontinente) Pernambuco-Alagoas (CPRM, 2002). Com a placa e o Cráton funcionando como Antepaís e além-país do Sistema de Dobramento Sergipano.

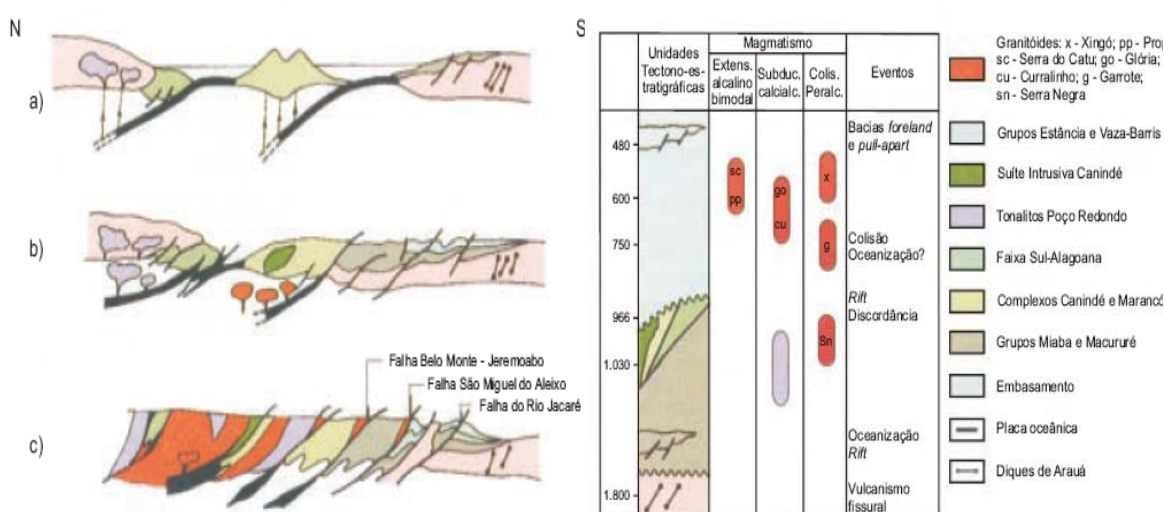


Figura 7 - Evolução da Faixa de Dobramentos Sergipana. Fonte: CPRM, 2001.

Considerando o modelo da tectônica de placas, a subducção teria sido provocada por uma colisão continente–continente, acavalcando em grande escala o maciço Pernambuco-Alagoas, no final da orogênese brasileira.

Esta colisão seria de uma placa superior Paleo-Africana compreendendo o Maciço Pernambuco-Alagoas e uma placa de subducção Paleo-brasiliana tendo o complexo Costeiro em sua extremidade leste, podendo gerar magmas de origem mantélica a supra-crustal em ascensão, no mesmo espaço crustal e temporal durante a fase de tardi a pos-colisional (Chaves e Celino, 1993).

Conforme a Figura 7, durante a colisão as seguintes fases estariam envolvidas (CPRM, 1997):

1 – A fase distensiva sobre o cráton é dada pelas vulcânicas de Arauá, colocadas sob forma de diques há 1.800Ma, sendo correlata ao início do Ciclo Espinhaço;

2 – Após a fase distensiva, instalou-se uma bacia em margem continental do tipo Atlântica;

3 – Os domínios Canindé e Marancó (1.007Ma) sugerem um ambiente de arco vulcânico insular, onde a Placa Sanfranciscana estava em subducção sob uma placa oceânica a norte, condição necessária à formação do arco insular do Complexo Canindé;

4 – A colisão entre esse arco, então formado, e a pilha sedimentar Macururé de assoalho ensialítico tem idade incerta. Os augen gnaisses, derivados de granitos do tipo “S”, são considerados sincolisionais, sugere-se que a colisão do Arco Canindé-Marancó com a Placa Sanfranciscana provavelmente aconteceu em época próxima à intrusão dessas rochas leuco-graníticas, e, portanto, o granito tipo Serra Negra, seria marcador da colisão mesoproterozóica;

5 – O Domínio de Poço Redondo tem composição que revela mistura de material juvenil com o substrato mais antigo. A zona de subducção mergulhante para norte, tanto pode ter sucedido à colisão do Arco Canindé-Marancó com a Placa Sanfranciscana, como poderia já ser ativa e concomitante à primeira subducção que originou o arco vulcânico. A seqüência supracrustal do Complexo Canindé, pelo menos em parte, poderia ser integrante deste conjunto litológico;

6 – Após a colisão do arco vulcânico-Placa Sanfranciscana são registradas rochas do tipo vulcânicas e plutônicas gabróides nos domínios Vaza-Barris e Macururé. A bacia neoproterozóica expandiu-se a partir do rift Palestina através da Seqüência calcopelítica Olhos d'Água;

- 7 – O fechamento do “Oceano Canindé” e a amalgamação da Placa Sanfranciscana com a Placa Pernambuco-Alagoas (microcontinente) permeiam toda a seqüência do Arco Canindé-Marancó, e têm idade de 715Ma. Durante a colisão brasileira, provavelmente, o fragmento Poço Redondo foi tectonicamente introduzido no Arco Canindé-Marancó;
- 8 – A evolução tectônica dessas bacias sedimentares se processou em quatro fases, caracterizadas pelas feições sedimentares e tectônicas das diversas unidades litoestratigráficas descritas: fases sinéclise;
- 9 – Seguiu-se longo período de erosão desnudando as seqüências mais superiores e fazendo aflorar os plútons granitóides dos domínios Macururé, Canindé, Marancó e Poço Redondo e Sergipe, as formações Tacaratu, Curituba e Santa Brígida;
- 10 – A zona de cisalhamento transpressiva de Jeremoabo, coalescente com a Zona de Cisalhamento Belo Monte, pode indicar uma zona de sutura. A outra sutura mesoproterozóica, tanto pode ter seu traço na Zona de Cisalhamento de Belo Monte-Jeremoabo, como em outras situadas mais a norte, como aquela que limita o Domínio Canindé do Domínio Poço Redondo, ou ainda a zona de cisalhamento que limita este domínio do Domínio Marancó. Estas suturas foram sucessivamente reativadas, tanto pela tectônica trans-corrente de escape lateral, como posteriormente no Fanerozóico;
- 11 – Durante o Paleozóico e o Mesozóico processou-se a deposição dos sedimentos pertencentes às bacias de Tucano e Sergipe, relacionadas a eventos precursores e concomitantes à separação entre América do Sul e África.

2.3.1 – Estruturação da Faixa Sergipana

A estruturação da Faixa de Dobramentos Sergipana acarretou em seu desmembramento em dois seguimentos: Faixa de Dobramentos Sergipana (Grupo Miaba e Vaza Barris) e Faixa de Dobramentos do Baixo São Francisco (Grupo Macururé). Este desmembramento deve-

se à presença de estruturas orientadas na direção N-S, no segmento norte, sub-ortogonais à orientação geral WNW-ESSE da faixa (Destro et. al, 1993).

A Figura 8 ilustra as principais feições regionais existentes na faixa de dobramentos que são: o Anticlinal de Recumbente Dobrado de Girau do Ponciano, o Sinforme de Propriá, o Anticlinório de Pinhão e o Domo de Itabaiana.

Os municípios estão inseridos na Faixa de Dobramentos do Baixo São Francisco, localizado entre o Maciço de Pernambuco-Alagoas, e ao norte da falha de São Miguel do Aleixo, sendo no Sinforme de Própria, entre a falha de São Miguel Aleixo e o Anticlinal de Girau do Ponciano (D’el Rey Silva, 1993).

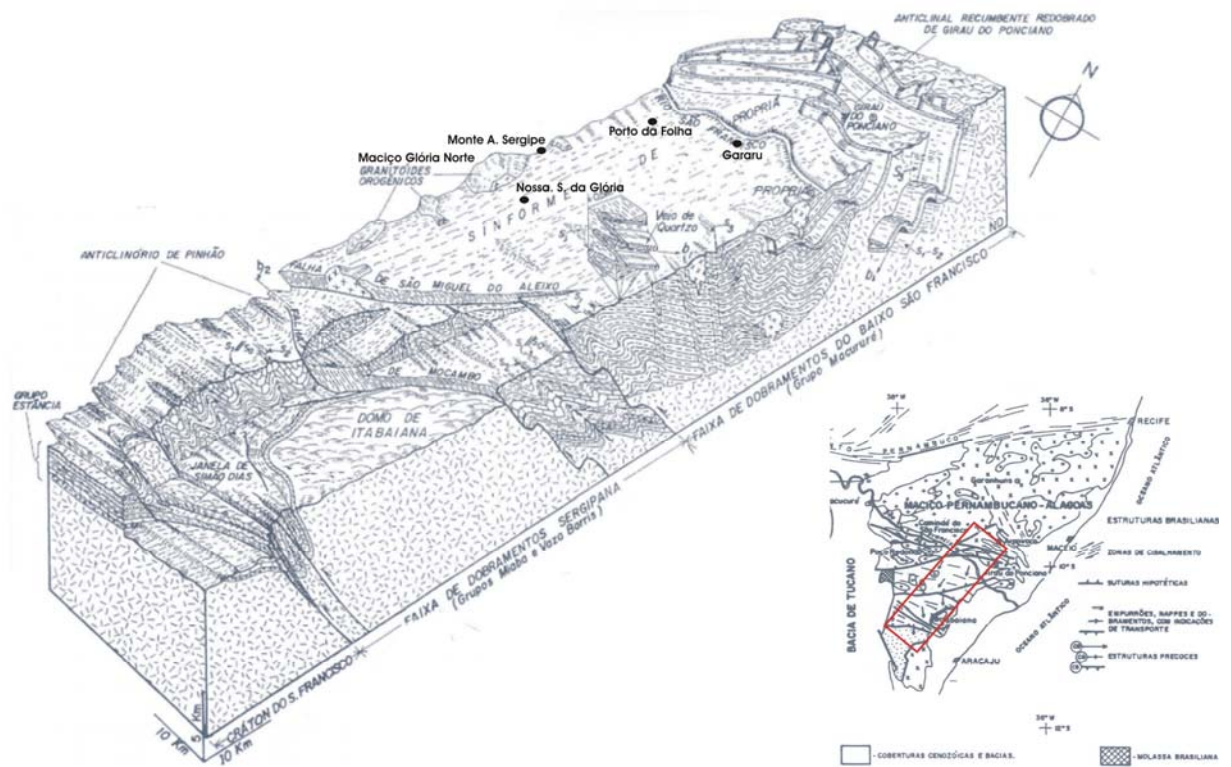


Figura 8 - Bloco Diagrama da Faixa de dobramentos Sergipana e subdivisões faixa de Dobramentos Sergipana e Faixa de dobramentos do Baixo São Francisco. Fonte: Destro et al (1993).

A seqüência de eventos cinemáticos é complexa. Estruturas reliquias, atestando transporte tectônico para o sul e em alto ângulo com a direção da faixa, são observadas nas rochas do Domínio Canindé do São Francisco e no Grupo Macururé, na região de Arapiraca (Figura 9). Entretanto, a estruturação dominante é expressa por movimentos oblíquos ou longitudinais à faixa. (Davison & Santos, 1989; Jardim de Sá et al, 1992).

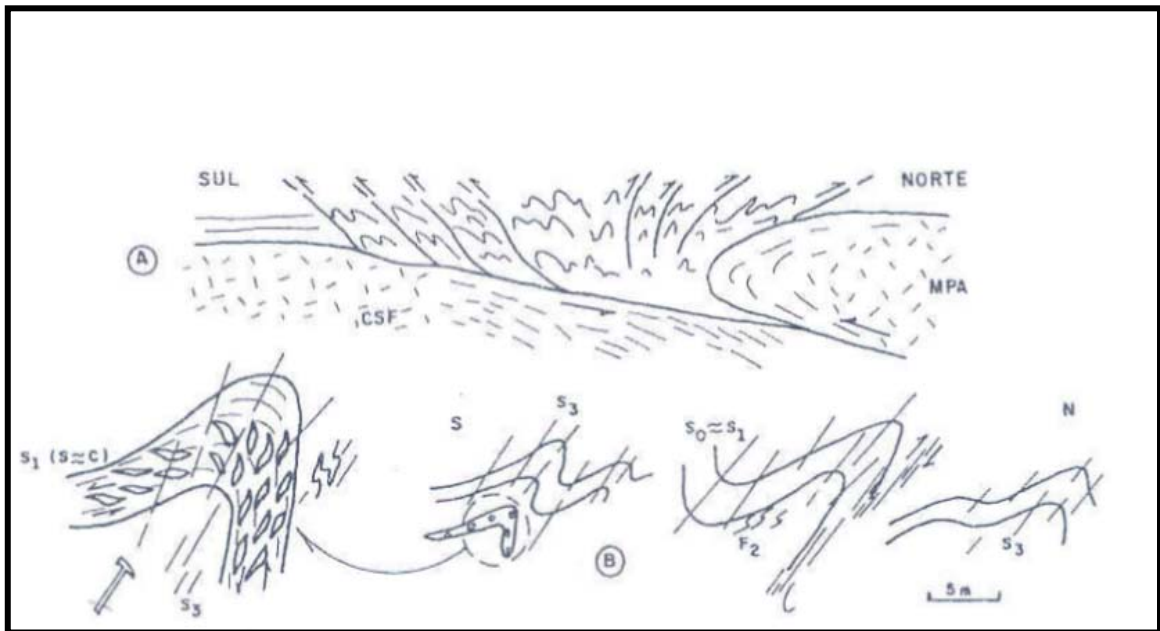


Figura 9 - A) Empurrão do “Maciço Pernambuco-Alagoas” (MPA) sobre o Cratón São Francisco (CFS) gerando vergências centrífugas. O empurrão principal pode ou não corresponder a uma sutura. B) Dobras F3 (S3) com vergência para norte (região Alagoana), redobrando estruturas F1 (S1) - F2 (S2) com critérios cinemáticos de movimento para sul. Fonte: Destro et al, 1993.

Segundo Destro et al. (1993), foram gerados três eventos deformacionais na Faixa de Dobramentos do Baixo São Francisco (Figura 10), sendo D1 e D3 mais expressivos, e este ultimo evento formador de outra feição regional, denominado de Sinforme de Própria.

Na borda sul da seqüência de Canindé de São Francisco e da Antiforme de Jirau do Ponciano é registrada zona de transcorrência sinistral, que parece materializar zona de

compensação (transferência) entre movimentos longitudinais diferenciais (Destro et. al, 1993).

A zona de transcorrência dextral, que marca o contato do maciço Pernambuco-alagoas com o Grupo Macururé, sugere movimento do maciço para SE e parece representar antigo empurrão reativado como rampa lateral (Jardim de Sá et al, 1992).

O Grupo Macururé é a unidade predominante na área de estudo. O seu contato com os terrenos Marancó é representado por espessas faixas miloníticas, relacionadas ao empurrão oblíquo para SE que afeta os granitóides brasileiros. Retro empurrões e dobramentos vergentes para norte sucedem o transporte tangencial para WNW impresso no Grupo Macururé em Alagoas.

O Grupo Macururé limita-se com o Domínio Vaza-Barris ao longo das zonas de cisalhamento São Miguel do Aleixo e Nossa Senhora da Glória, de movimentação contracional oblíqua sinistral. Predominam neste domínio litofácies, constituídas por biotita xistos granadíferos, com variadas proporções de quartzo, e lentes de quartzitos miloníticos, de mármore e de rochas máfico-ultramáficas. Os contatos são gradacionais, localmente tectônicos, e são freqüentes os redobramentos (Santos et al. 1988).

A presença de abundantes corpos de granitóides intrusivos é uma característica marcante deste domínio. Estas intrusões provocam metamorfismo de contato nos metassedimentos encaixantes e modificações nas estruturas pretéritas. Falhas transcorrentes NE-SW são freqüentes, por vezes controlando a colocação de diques básicos de espessuras métricas.

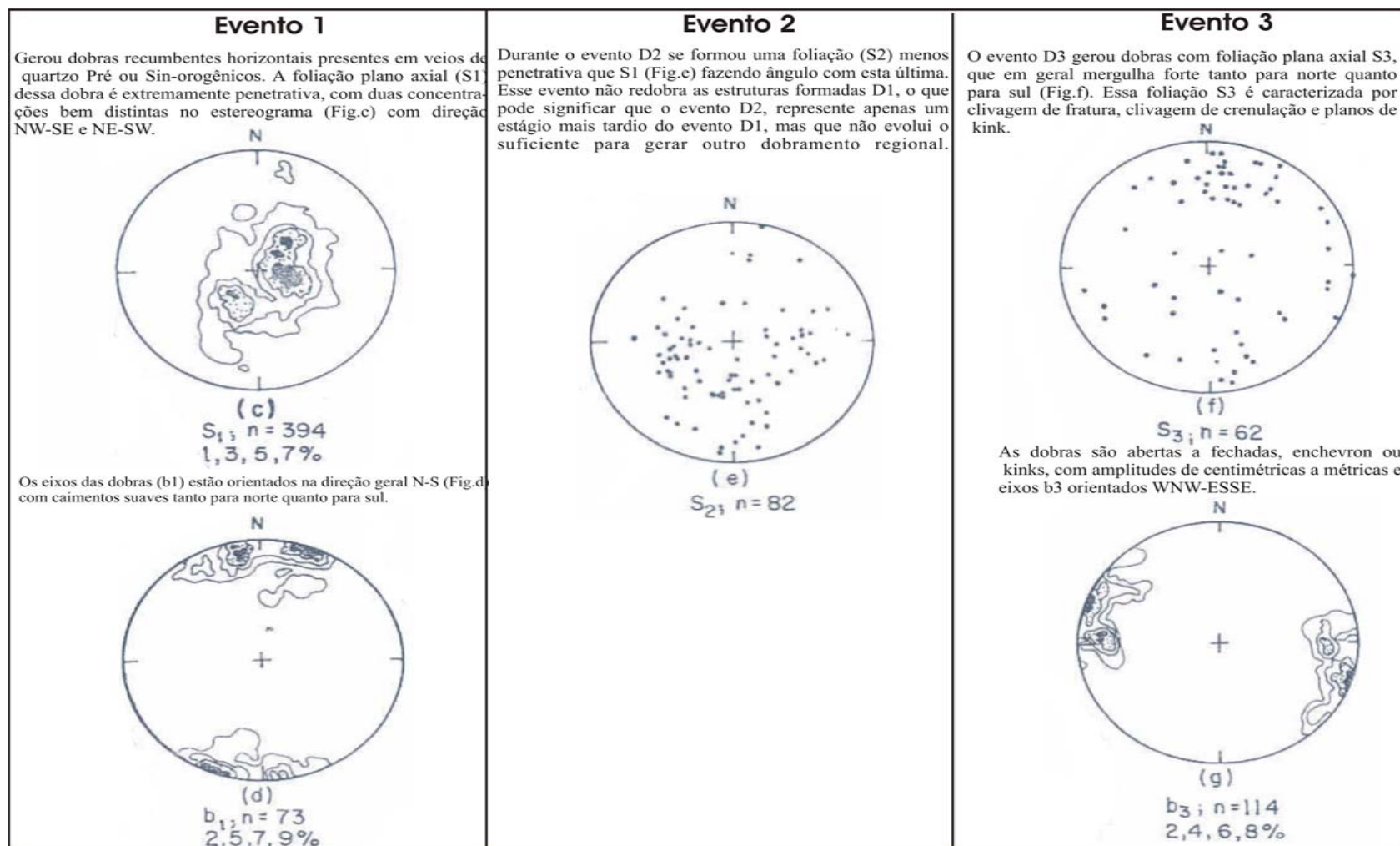


Figura 10 - Eventos deformacionais na Faixa de Dobramentos do Baixo São Francisco. Fonte: Destro et al. (1993).

CAPÍTULO 3 – FOTOINTERPRETAÇÃO

Para a locação de poços em áreas do cristalino, como a região em estudo, é necessária a associação do conhecimento das zonas fraturadas ao sistema de drenagem superficial. Para tal associação é feita a pesquisa de zonas retilíneas associadas à presença de falhas no maciço. Portanto, o primeiro passo é a fotointerpretação, técnica utilizada para identificação dessas direções retilíneas preferenciais, (Feitosa e Filho, 2000).

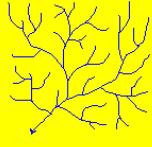
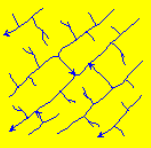
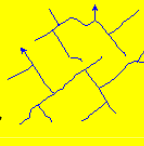
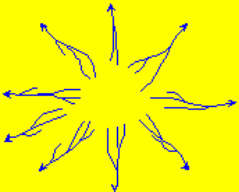

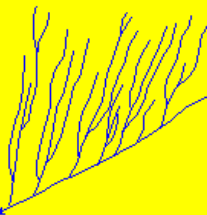
Segundo Castany (1975), a fotointerpretação é a interpretação de fotografias aéreas com o objetivo de descrever as características da geomorfologia e da geologia de uma área estudada. As fotografias aéreas são obtidas a partir de mecanismos aerotransportados e retratam uma porção da superfície da terra. Podem ser verticais ou oblíquas, que se diferenciam pela posição do eixo da câmera fotográfica em relação à superfície do solo.

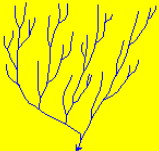



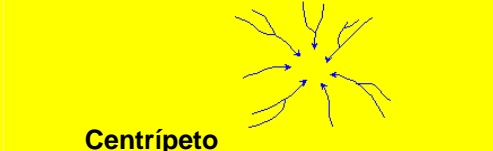
Os vôos são preferencialmente feitos na direção leste-oeste, de forma que o norte sempre fique na parte superior da foto produzida. Para permitir estereoscopia, as fotos devem ter uma sobreposição em torno de 60% em sentido lateral (na direção do vôo) e em torno de 25% no sentido transversal. O estereoscópio é o equipamento utilizado para a visualização dessas fotos em três dimensões, quando colocadas em pares, permitindo a observação de relevos, drenagens, fraturas entre outros elementos.

Na fotointerpretação alguns elementos visuais devem ser considerados, tais como: tonalidade, forma, tamanho, padrão, textura e associação.

A fotointerpretação é o método mais adequado para um estudo completo do sistema de drenagem, devido a grande extensão de terreno coberta pela foto, dando a possibilidade de maior

apreciação de detalhes do relevo e a possibilidade de mapear com um bom detalhamento a rede de drenagem, sobretudo em áreas planas onde as distorções são mínimas. Com a fotointerpretação é possível verificar os seguintes padrões:

Padrão	Significado
 <p data-bbox="279 604 406 638">Dendrítico</p>	<p>Caracteriza-se por ramificações irregulares de cursos de água em todas as direções, com os afluentes formando ângulos variados com o curso principal; sugere a presença de rochas sedimentares com atitude horizontal e com geral ausência de fraturas ou rochas sedimentares dobradas sem zonas ou linhas de menor resistência à erosão ou ainda rochas ígneas, maciços, rochas metamórficas ou depósitos inconsolidados.</p>
 <p data-bbox="303 817 391 851">Treliça</p>	<p>Caracteriza-se pela presença de tributários principais conspicuamente alongados e retos e aproximadamente paralelos entre si e ao curso principal, sendo que os tributários secundários entram nos tributários principais com ângulo reto. Sugere materiais de resistências diferentes aflorando paralelamente entre si ou estruturas paralelas.</p>
 <p data-bbox="279 996 422 1030">Retangular</p>	<p>Caracteriza-se pela presença de ângulos retos tanto no curso principal como nos tributários. A principal diferença para o padrão treliça é o não perfeito paralelismo entre os cursos de água, sendo estes, ainda, menos alongados. Esse padrão é diretamente condicionado pelas diáclases e falhas que se cruzam em ângulos retos.</p>
 <p data-bbox="263 1254 343 1288">Radial</p>	<p>Caracteriza-se pelo fato dos cursos de água irradiarem-se a partir de uma área central e nem todos divergem necessariamente entre si, podendo até haver união de dois ou mais rios quando, em função de irregularidades do declive inicial, eles correm obliquamente, um em direção ao outro. Sugerem regiões com domos estruturais ou vulcões.</p>
 <p data-bbox="247 1500 335 1534">Anular</p>	<p>Caracteriza-se por uma série de cursos de água que correm mais ou menos paralelos entre si em uma extensão relativamente grande. Sugerem áreas onde durante o estágio inicial de erosão de um domo, por exemplo, formaram-se cursos de água conseqüentes com padrão radial que posteriormente, em função de processos erosivos, em vários níveis do declive descobrem estratos de menor resistência, ao longo dos quais se desenvolvem tributários subsequentes de forma circular; estes, crescendo em comprimento, atingem cursos de água conseqüentes que correm radialmente em relação à crista da estrutura e capturam a porção superior dos referidos cursos conseqüentes; o resultado será uma série de cursos subsequentes com traçado anular.</p>
 <p data-bbox="255 1892 359 1926">Paralelo</p>	<p>Caracteriza-se por uma série de cursos de água que correm mais ou menos paralelos entre si em uma extensão relativamente grande. Sugere a existência de declives unidirecionais extensos e suficientemente pronunciados ou cristas lineares homoclinais alongadas, constituídas por estratos resistentes uniformemente inclinados.</p>

 <p>Pinado</p>	<p>Representa uma modificação do padrão dendrítico. Os maiores cursos são de origem conseqüente e são controlados pelo declive topográfico regional.</p>
 <p>Anastomótico</p>	<p>Representa mais uma modificação do padrão dendrítico, com presença de meandros, pântanos, canais entrelaçados, característico de áreas de planícies aluviais e deltas.</p>
 <p>Angular</p>	<p>Representa uma modificação do padrão retangular e sugere a presença de sistemas de falhas e diáclases com ângulos não retos.</p>
 <p>Retangular-Dendrítico</p>	<p>Sugere áreas com rochas homogêneas cortadas por sistemas de fraturas inter cruzadas com malhas relativamente grandes. O padrão dendrítico é implantado nos corpos de rochas isolados pelas fraturas enquanto o padrão retangular instala-se nos planos de menor resistência.</p>
 <p>Centrípeto</p>	<p>Representa uma variação do padrão radial e é característico de áreas com declives internos de crateras e caldeiras e onde cristas topográficas bordejam, circularmente, depressões, como no caso de domos brechados e bacias estruturais.</p>

Fonte: modificado por Ricci & Petri, 1965.

A partir desses padrões citados o objetivo do trabalho é de obter o mapa da rede de drenagem da região de estudo.

3.1 – REDE DE DRENAGEM

O mapa de drenagem da área de estudo foi gerado na escala 1:25.000 a partir da fotointerpretação de 99 fotografias aéreas adquiridas junto à CPRM. Com a sobreposição das fotos foi realizada a estereoscopia. Nesta, foram interpretados os sistemas de drenagens da área de estudo e elaborado o mapa de drenagens, visto na figura 11. Toda a rede de drenagem obtida com a estereoscopia foi vetorizada e georreferenciada com auxílio do ArcGis, com Datum Córrego Alegre. Para que não fossem geradas grandes distorções das bordas das fotos, todas

foram referenciadas pontualmente na extensão lateral, posterior e superior . Este mapa visou o subsidio para a elaboração dos mapas de lineamentos estruturais, associados aos fraturamentos, e de linhas de tendência do fluxo de água subterrânea. A integração destas informações permitiu seleccionar as estruturas (fraturas e falhas) mais favoráveis ao armazenamento de água subterrânea priorizando os perfis para o levantamento geofísico terrestre.

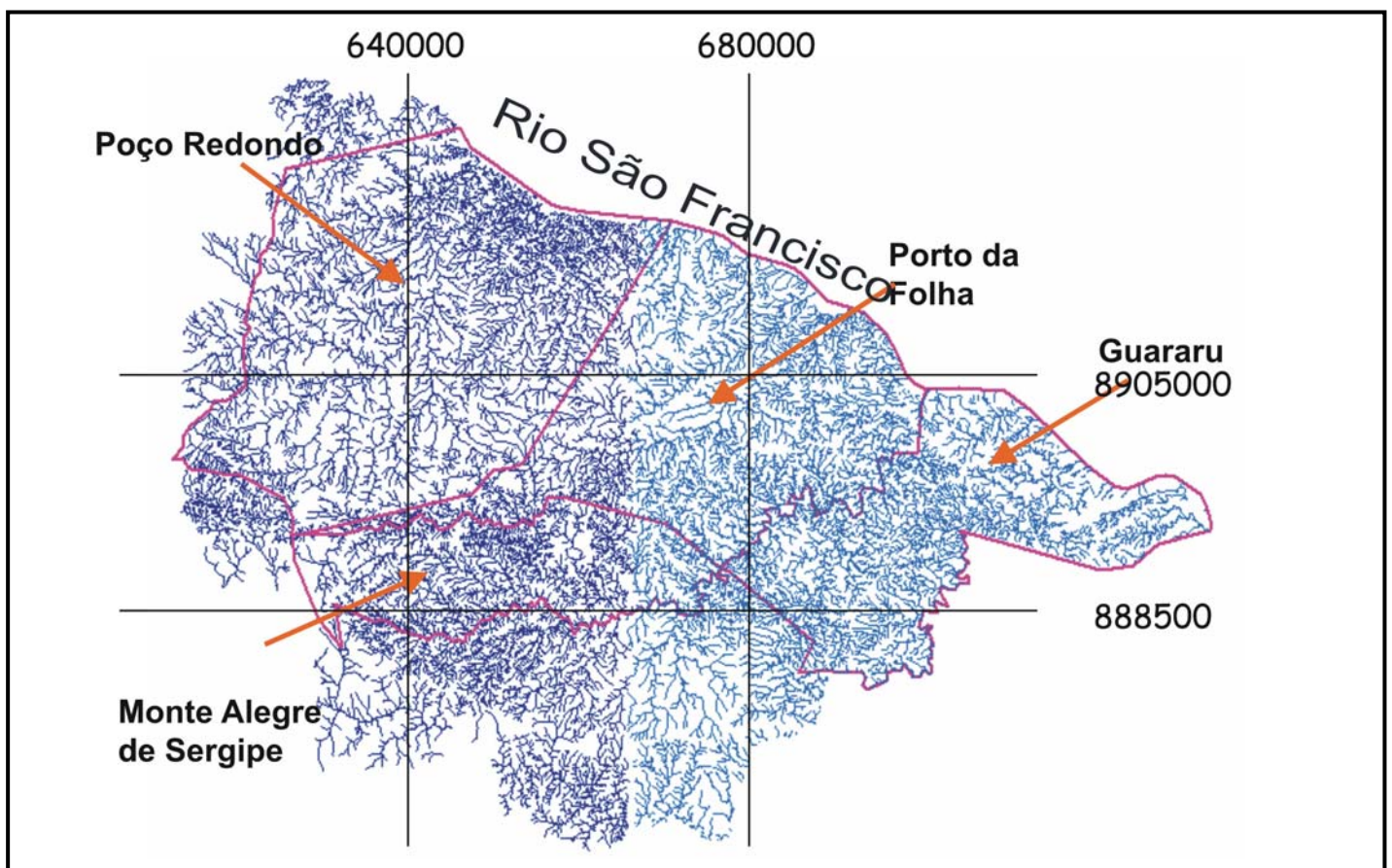


Figura 11 – Rede de Drenagem.

3.2 – MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

O mapa de lineamentos estruturais (Figura 12) foi elaborado a partir do traçado da rede principal das drenagens, indicando assim as principais feições de lineamento nos domínios geológicos existentes na região. O traçado foi obtido com auxílio da ferramenta de geoprocessamento ArcGis . Este mapa de lineamentos permitiu, assim, estabelecer duas áreas bem expressivas:

superior que corresponde aos Domínios Canindé, Poço Redondo e Marancó e a inferior ao Domínio Macureré.

Na área superior predominam as falhas associadas às zonas de cisalhamento dúctil contracional, deslocadas por falhas rúpteis transcorrentes sinistras e com direções de N60-70W. Na parte inferior ocorrem lineamentos de maior densidade e direções preferências de N50-60E.

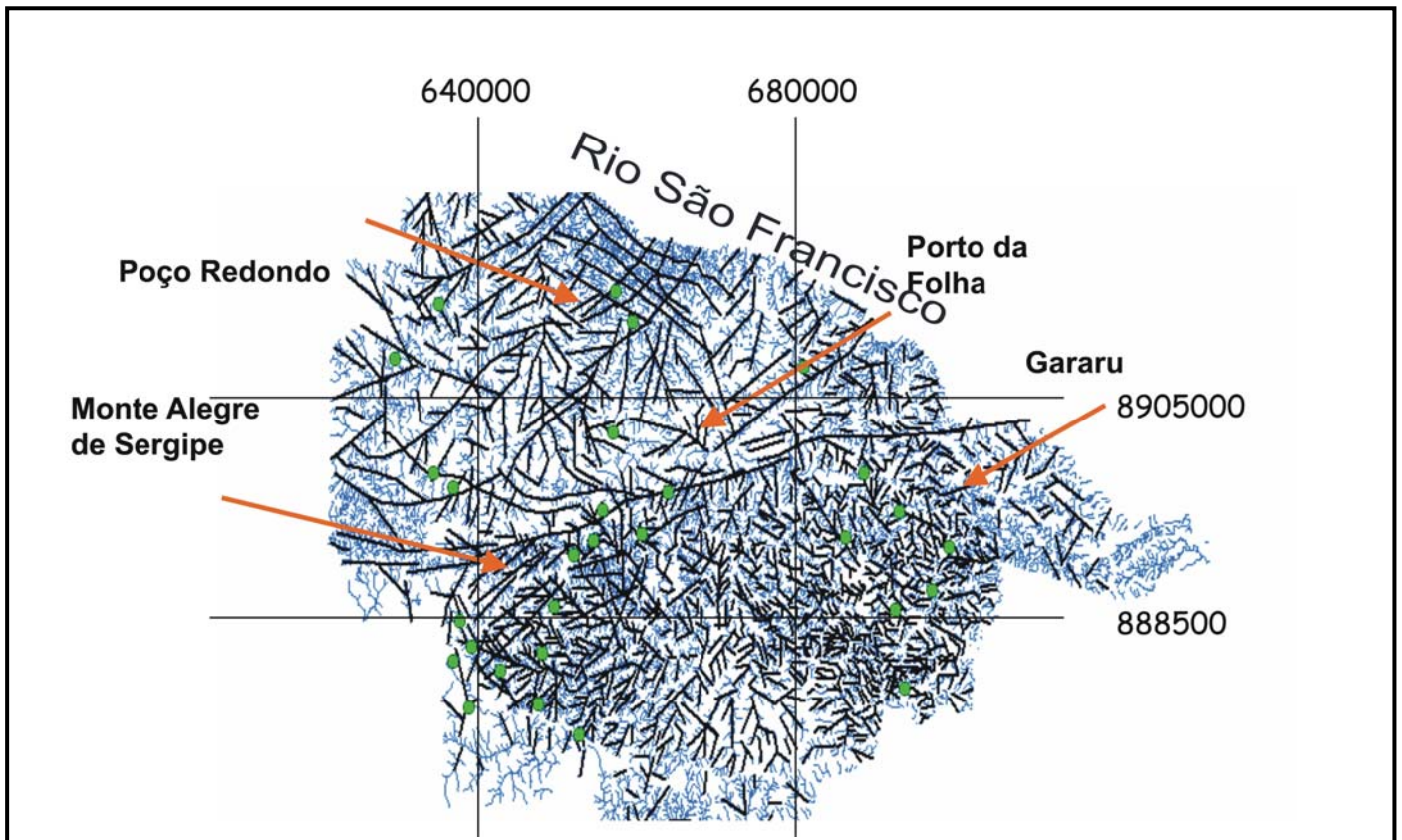


Figura 12 - Mapa de lineamentos estruturais.

3.3 – MAPA DE TENDÊNCIA DO FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

O mapa de tendências foi realizado com base na simetria da rede de drenagem. Soares e Fiori (1976) definem a simetria de drenagem e/ou relevo como a presença de elementos texturais em ambos os lados de um elemento de drenagem maior.

Em áreas onde predominam rochas ígneas e metamórficas, estruturadas de maneira complexa, o delineamento das linhas de contorno estrutural fica condicionado ao sentido do basculamento dos blocos, delimitados por discontinuidades estruturais, principalmente os falhamentos.

Depois de traçada as linhas de contorno estrutural, ao longo das drenagens principais, e obtidas suas relações de simetria, juntamente com as relações de simetria do relevo e do mapa de lineamento, foram definidas as áreas de altos e baixos estruturais, localizando assim, as áreas mais favoráveis ao armazenamento de água subterrânea.

Segundo Veneziani (1993) os altos e baixos estruturais são formados por dobramentos flexurais com eixos subhorizontais resultantes de movimentos gravitacionais devido à reativação de antigas linhas de fraqueza crustal, sendo bem definidos por padrões de drenagem superimpostos formando feições circulares que provavelmente estão associadas a movimentos distensivos. Conseqüentemente, podem prover informações sobre a distribuição de água subterrânea por estas feições circulares, sendo os baixos estruturais os locais mais favoráveis ao armazenamento de água subterrânea.

Na Figura 13 foram delineadas as formas da estruturação geral da área que condicionam a presença de água subterrânea na região. Nesta, se podem observar as trajetórias dos rios principais ao longo dos principais baixos estruturais existentes na região do Sertão Sergipano. As estruturas localizadas nestes baixos apresentam maior probabilidade de armazenar quantidades razoáveis de água.

Os baixos estruturais são identificados na figura 13 pelo sentido das direções de basculamento. Os altos estruturais estão relacionados com o sentido oposto das direções rachuradas em vermelho na figura.

No âmbito do projeto Xingó, a escolha das comunidades teve como critério a carência de água, priorizando aquelas com luz elétrica, pois facilitariam a campanha geofísica. Desta forma, foram selecionadas dez comunidades que estão indicadas na Figura 14.

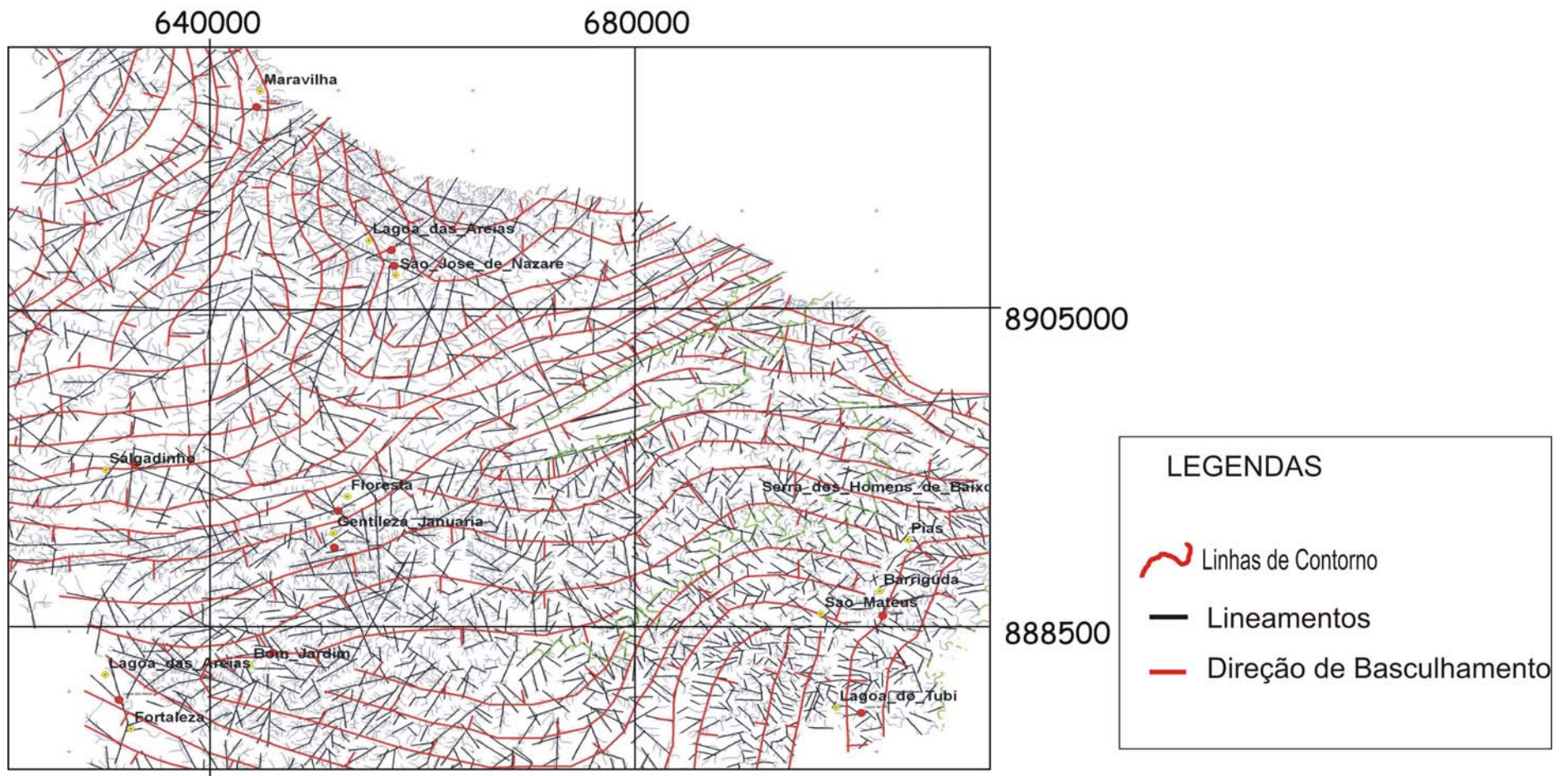


Figura 13 - Mapa morfoestrutural, gerado após fotointerpretação.

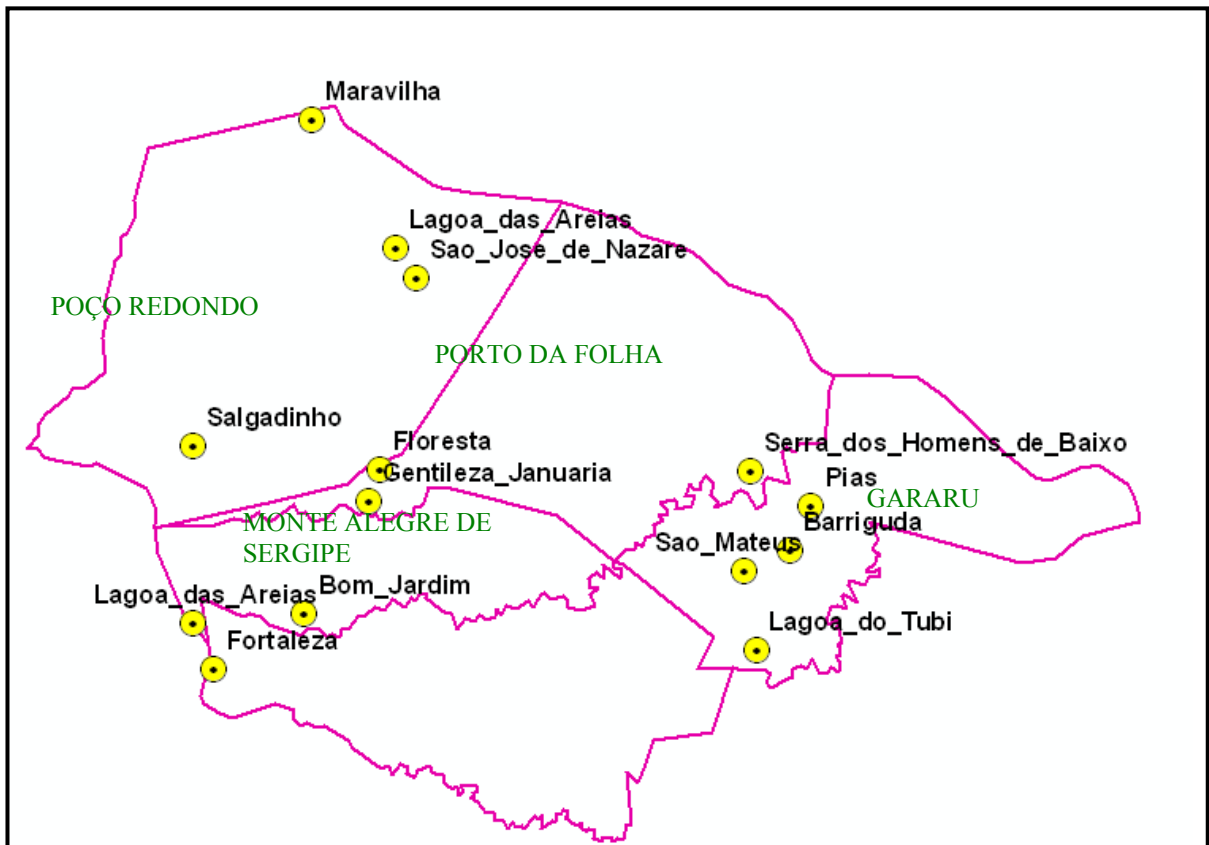


Figura 14 - Comunidades com luz, aplicadas no ArcGis no “Datum” Córrego Alegre 24.

A partir das informações de fotointerpretação, mapa de tendências e lineamentos, e com as informações adquiridas com medições locais de lineamento a partir do trabalho de campo, este efetuado entre os meses de Janeiro e Fevereiro de 2006 pela a equipe técnica do Observatório Nacional, foi possível elaborar a Tabela 2, com a indicação das principais direções de lineamento para as comunidades escolhidas.

As direções dos perfis dos levantamentos geofísicos foram executadas perpendicularmente as direções de lineamentos. Os dados geofísicos foram obtidos com método eletromagnético indutivo e eletrorresistividade, utilizando os equipamentos EM34 e o Geotest RD 300A, respectivamente.

Tabela 2: Principais Preferências de Lineamentos, com integração de dados: aéreos de campo e perfis

Município	Comunidade	Morfoestrutural	Direção de Lineamento		
			Fotos Aéreas	Campo	Perfis
Gararu	Barriguda	Alto	N10W	N50W	N20E
	Lagoa do Tubi	Alto	N-S	N-S	E-W
Poço Redondo	Salgadinho	Alto – Médio	N10E	N50E	N23W
	São José de Nazaré	Médio – Baixo	N60E	N20E	N86W
	Lagoa das Areias	Médio – Baixo	N60E	N20E	E-W
	Maravilha	Médio – Baixo	N50E		N70W
Monte Alegre de Sergipe	Bom Jardim	Médio – Baixo	W-E	N50E	N-S
	Lagoa das Areias	Alto	N55W	N50W	N30E
Porto da Folha	Gentileza	Alto – Médio	N-S	N10W N80-90E	E-W
	Floresta	Alto	N60E	N50E	N8W

3.4 – CONDUTIVIDADE DA ÁGUA

A condutividade, ou seu recíproco a resistividade, é uma expressão numérica da capacidade de um material conduzir a corrente elétrica. No caso da água, é comumente usada para medir a quantidade de sal na água – um importante indicador da qualidade da água.

A água pura é muito pouco condutora, devido ao seu caráter de moléculas dipolares e reduzida dissociação, de modo que a resistividade da água tridestilada é de aproximadamente 10^5 ohm.m, próxima de um isolante. Porém, a água da natureza apresenta condutividade apreciável, pois possui alguma quantidade de sais dissolvidos, como cloreto de sódio. A quantidade e o tipo de sal dissolvido dependem da natureza das rochas com que as águas tenham entrado em contato no processo de percolação que ocorre no subsolo.

Tabela 3: Condutividade direta da Água. Fonte: adaptado de Vieira , 1998

TIPOS DE ÁGUAS	RESISTIVIDADE (Ohm.m)	CONDUTIVIDADE (μS/cm)
Água Ultrapura	200	50
Água Destilada	20	500
Água Potável	10	1000
Água do Mar	0,3	30000
Grandes Lagos, EUA	0,16	60000

Entretanto, não é possível, a partir dos valores de condutividades obtidos com os métodos geoeletricos, estimar a salinidade da água, pois na verdade se estima a condutividade da mistura da rocha com a água.

3.5 – INVENTÁRIOS DE POÇOS TUBULARES E CORRELAÇÃO COM FRATURAMENTOS

Dos 144 dados de poços tubulares coletados junto a SEPLANTEC, apenas 32 poços possuem dados de vazão. Cerca de 41% dos poços registraram vazão entre 1 e 3 m³/h, 23% entre 6 e 10 m³/h, 14% entre 3 e 6 m³/h e 11% entre 0,6 e 1 m³/h, e também 11% para os poços de maiores vazões, entre 10 e 20 m³/h. Com base nas linhas de tendência do fluxo de água na região observa-se que os poços estão locados preferencialmente na região de médio a baixo estrutural (Figura 15).

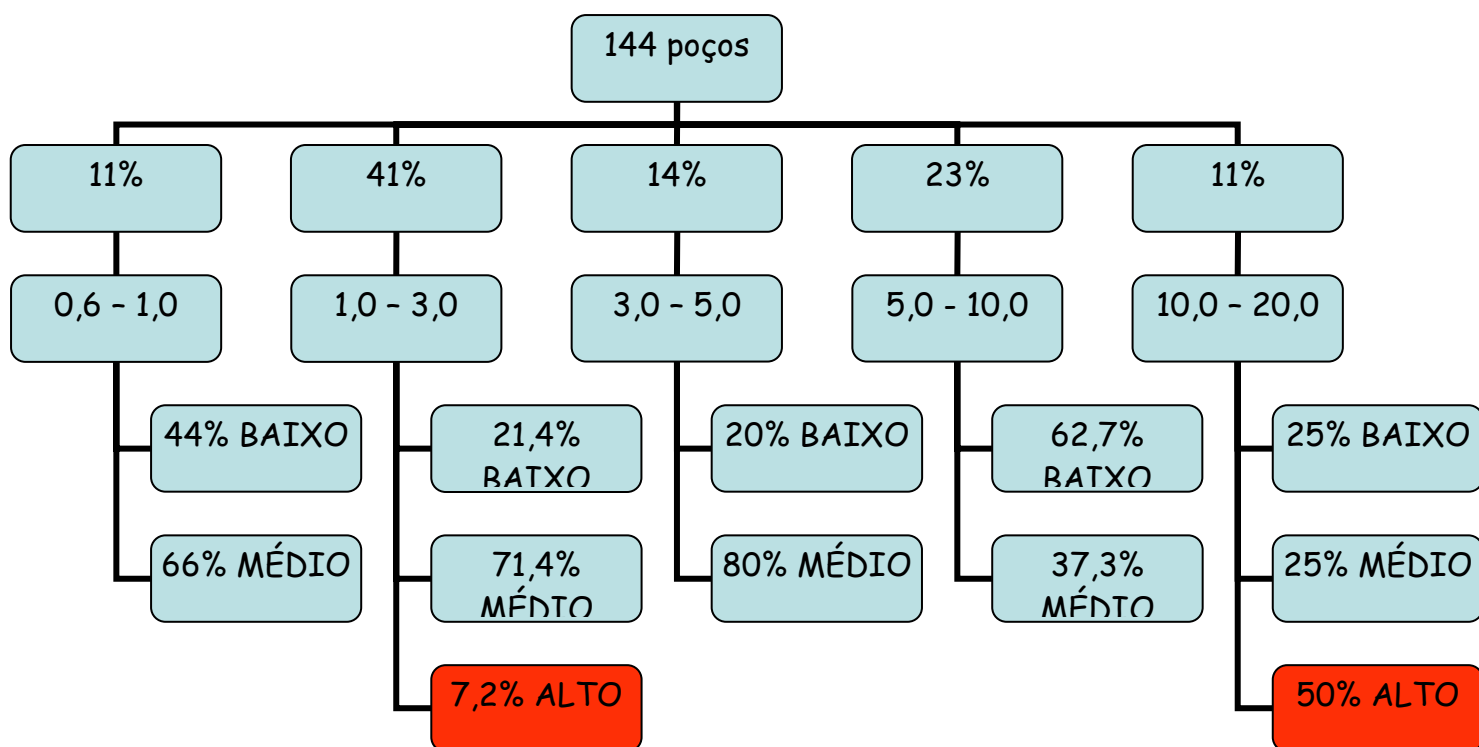


Figura 15 – Fluxograma com distribuição das vazões dos poços tubulares e correlação entre as vazões e tendências das linhas de fluxo.

A seguir são apresentadas as principais características dos poços tubulares de cada município, obtidas a partir do levantamento de dados junto à Superintendência de Recursos Hídricos de Sergipe relacionados com vazão e condutividade direta.

Poço Redondo

Foram identificados oito poços com vazão que variaram de 0,6 a 5 m³/h, que utilizam bomba injetora (2), catavento (2), bomba submersa (2) e com compressor (2). Os poços estão em fraturas com direção preferencial N50W, N-S. Todos os poços foram locados no médio estrutural e apresentam profundidades entre 40 e 60 metros, diâmetro de 6". O NE (nível estático) varia de 4 a 10 m e o ND (Nível Dinâmico) entre 7 e 42 m. Apresentam água com condutividade alta, variando de 3000 a 15.000 µS/cm.

Monte Alegre de Sergipe

Foram identificados quatro poços com vazões que variaram de 2,8 a 10 m³/h e que utilizam bomba preferencialmente do tipo Catavento . Os poços estão em fraturas com direção preferencial N50W. Todos os poços foram locados no médio estrutural e apresentam profundidades entre 42 e 72 metros e com diâmetro de 6". O NE varia de 2 a 8 m e ND entre 24 a 32 m. Apresentam água com condutividade alta, variando de 1600 a 6500 µS/cm.

Porto da Folha

Foram identificados seis poços com vazões que variaram de 1,6 a 5,7 m³/h e que utilizam bomba preferencialmente do tipo submersa (4) e injetora (2). Os poços estão sobre fraturas com direção preferencial N40-60W. A maioria está no médio estrutural, sendo o poço de maior vazão no baixo estrutural. Apresentam profundidades entre 54 a 65 metros, diâmetro de 6". O NE varia de 3 a 16 m e ND entre 20 a 30 m. Apresentam água com condutividade alta, variando de 3000 a 13000 µS/cm.

Gararu

Foram identificados 11 poços com vazão que variaram de 0,6 a 20 m³/h, que utilizam bomba preferencialmente do tipo submersa (5), injetora (3) e catavento (3). Os poços estão sobre fraturas com direção preferencial N50-70E, N50W e N-S x E-W. As maiores vazões encontram-se no alto estrutural, porém com maior distribuição nos baixos estruturais. Apresentam profundidades entre 34 e 68 metros, diâmetro de 6". O NE varia de 1,3 a 20 m e ND entre 6 a 45 m. Apresentam água com condutividade em média no valor de 4000 μ S/cm.

Na Figura 16 são apresentadas às distribuições das vazões por município, as direções da fratura onde possivelmente foram localizados e a localização morfoestrutural (baixo, médio ou alto).

È importante salientar, que devido as necessidades do projeto Xingó, nem todas as localidades escolhidas para o estudos geofísico, visando a locação de poços, são as que têm maior possibilidade de se encontrar água. Por outro lado, das localidades escolhidas as fraturas indicadas, com a metodologia aplicada, são as mais propícias para a ocorrência de água subterrânea.

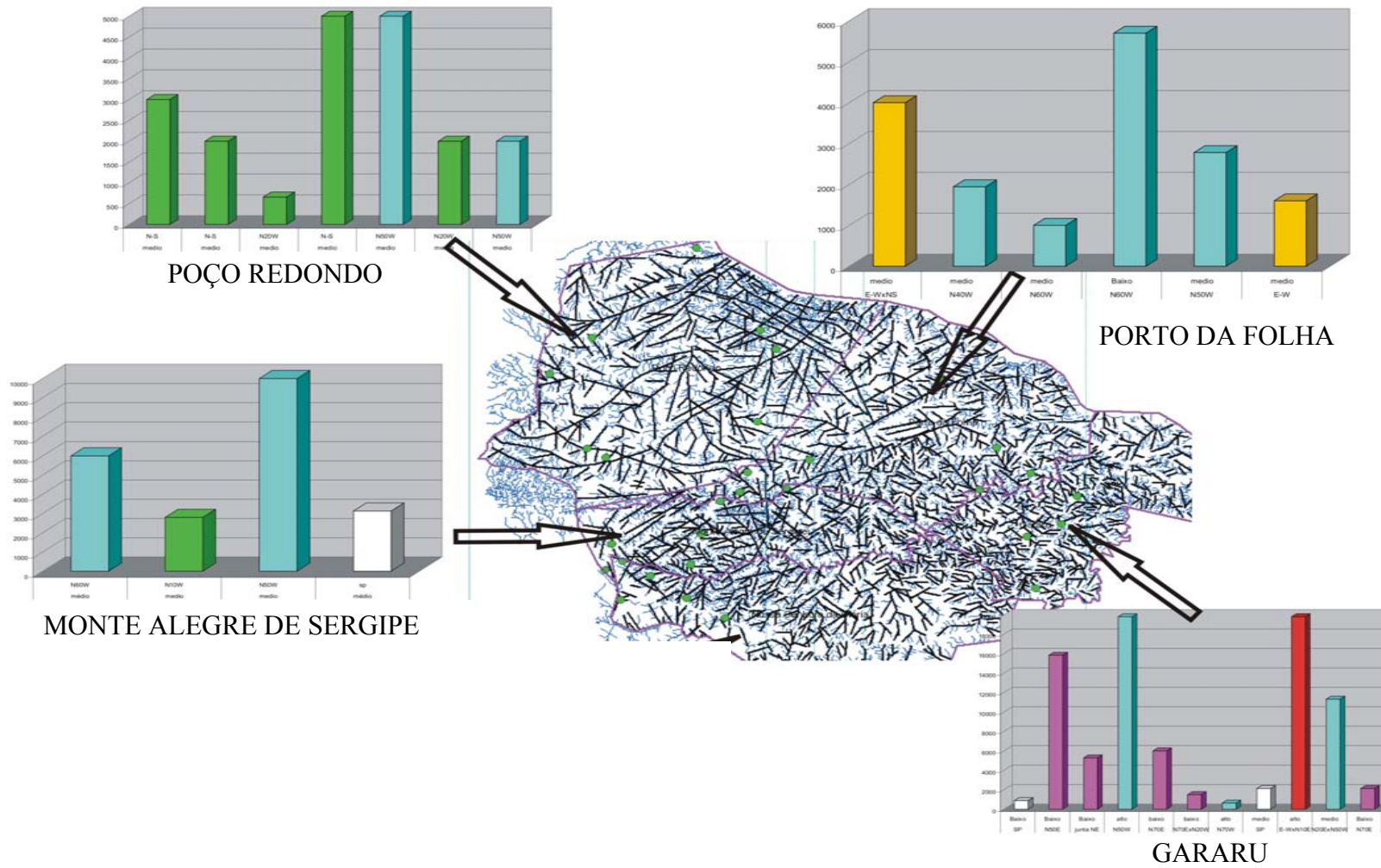


Figura 16 - Distribuição das vazões por município, a direção da fratura e a localização morfoestrutural (baixo, médio ou alto).

CAPÍTULO 4 – MÉTODOS GEOFÍSICOS: ELETROMAGNÉTICO E ELÉTRICO

Os métodos geofísicos são técnicas indiretas de investigação das estruturas de subsuperfície através da aquisição e interpretação de dados utilizando as propriedades físicas para caracterizar os diferentes tipos de materiais que se encontram no ambiente geológico. Os métodos são aplicados, portanto, com o objetivo de conhecer a distribuição destes materiais na subsuperfície e abrange áreas tão diversas como as do reconhecimento geológico, hidrogeológico, geotérmico e mineração.

As rochas, em função de suas composições mineralógicas, texturas e disposições, apresentam propriedades físicas características, tais como densidade, condutividade térmica, resistividade, permeabilidade magnética, constante dielétrica, entre outros. Em função disto, uma seção geológica pode ser considerada como um meio, cujos materiais existentes apresentam diferentes propriedades físicas. A tabela abaixo apresenta os métodos e as propriedades físicas relacionadas (Tabela 4).

Tabela 4: Métodos e Propriedades Físicas

MÉTODOS	PROPRIEDADES FÍSICAS
Elétricos e Eletromagnéticos	Condutividade Elétrica (Inverso da Resistividade)
Gravimétrico (Gravimetria)	Densidade
Magnético (Magnetometria)	Susceptibilidade Magnética
Sísmico (Sísmica)	Elasticidade
Térmicos	Condutividade Térmica
Radioatividade	Isótopos
Perfilagem de Poço	Densidade e Porosidade

Portanto, a realização de levantamentos de dados usando métodos geofísicos tem por objetivo a definição de feições geológicas e hidrogeológicas dos locais investigados, como por exemplo, litologia, presença de falhas e fraturas, profundidade de nível da água, profundidade do embasamento e outras feições geológicas.

Dentre os métodos geofísicos os mais apropriados para o estudo de águas subterrâneas são os métodos eletromagnéticos, incluindo-se aqui os denominados métodos elétricos.

4.1 – Aspectos teóricos dos métodos eletromagnéticos

A teoria de indução eletromagnética é baseada nas equações de Maxwell, que foram estabelecidas tendo como base os trabalhos empíricos de Ampère, Faraday, Gauss e Coulomb. As relações fundamentais e problemas específicos da teoria de indução eletromagnética aplicados em geofísica têm sido descrita por diversos autores (Keller & Frischknecht, 1996; Ward, 1967; Patra & Mallick, 1980; Kaufman & Keller, 1983; Ward & Hohmann, 1988; Zhdanov & Keller, 1994).

A aplicação de métodos eletromagnéticos permite estimar as propriedades elétricas das rochas e minerais constituintes. Elas se expressam através de três propriedades físicas: a resistividade elétrica (ρ), a constante dielétrica (ϵ) e a permeabilidade magnética (μ). As rochas, além de terem o comportamento definido por essas propriedades, são também influenciadas por outros fatores dentre eles: arranjo dos minerais, sua forma, volume e preenchimento dos poros, pressão e temperatura.

As propriedades elétricas, juntamente com os parâmetros geométricos dos materiais geológicos do meio, determinam a seção geoeétrica, que caracteriza a geologia de uma determinada área.

4.1.1 – Resistividade Elétrica (ρ) ou Condutividade Elétrica (σ)

Para definição de uma propriedade a qual possa transmitir corrente elétrica independentemente dos fatores geométricos pode utiliza-se a resistividade (ρ). Essa magnitude é um coeficiente que depende da natureza e do estado físico do corpo considerado. Portanto a resistividade pode ser definida por:

$$R = \frac{\rho L}{S} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{R.S}{L} \quad (2)$$

Unidades:

$$\rho = \Omega.m ; L = m^2 ; S = m ; R = \Omega ;$$

Assim, a resistividade é uma propriedade intrínseca que caracteriza cada material quanto à dificuldade que a corrente elétrica encontra para atravessá-lo ou a facilidade, nesse caso designada por condutividade, que é o inverso da resistividade.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3)$$

Unidade: $\sigma = \text{Siemens} / m$, S/m.

O ambiente geológico, devido aos diferentes tipos litológicos existentes, pode apresentar a propriedade como a resistividade para caracterizar as alterações em relação ao seu estado, fraturamento e saturação, entre outros.

Uma rocha condutora de corrente elétrica pode ser considerada como um conjunto de estruturas de minerais sólidos, líquidos e gases, que influenciam sua resistividade pelos fatores abaixo:

- Resistividade dos minerais que formam a parte sólida da rocha;
- Resistividade dos líquidos e gases que preenchem os poros;
- Umidade das rochas;
- Porosidade da rocha;
- Textura da rocha e a forma e distribuição de seus poros;
- Processo de adsorção de íons na superfície do esqueleto do mineral.

A resistividade de solos e rochas é caracterizada principalmente por quatro fatores: a composição mineralógica, porosidade, teor em água e quantidade e natureza dos sais dissolvidos. Dentre esses fatores, os mais importantes são, sem dúvida, a quantidade de água contida e a salinidade dessa água. O aumento do valor desses fatores, teor de umidade e quantidade de sais dissolvidos, leva a uma diminuição dos valores de resistividade. Na Tabela 5 se apresenta a variação de resistividade das rochas e minerais.

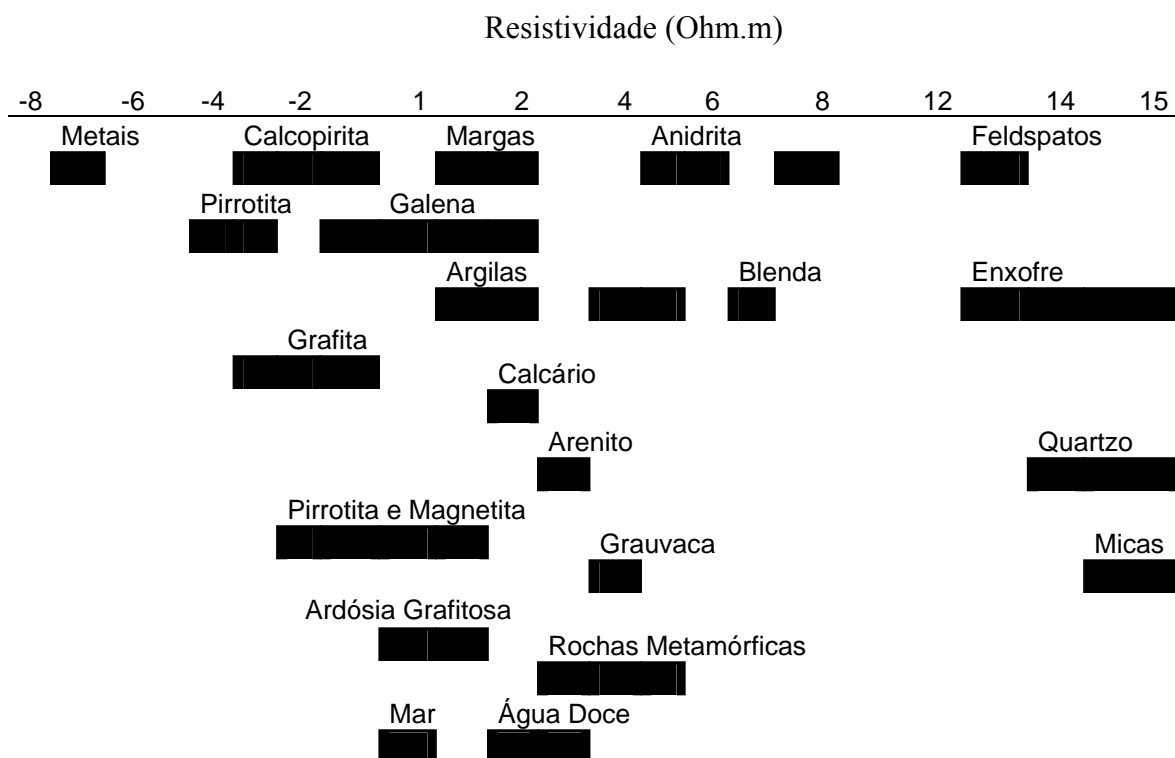


Tabela 5: Resistividade de Minerais e Rochas. Adaptado de Vieira, 1998.

4.2 – Método Elétrico

O método elétrico, através das técnicas de sondagem elétrica (perfilagem elétrica na vertical) e caminhamento elétrico (perfilagem elétrica na horizontal), é um dos mais utilizados em estudos ambientais, podendo fornecer informações sobre o perfil do solo, profundidade do substrato rochoso e zona saturada, detecção e mapeamento de contaminação (Braga, 2005).

A Técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) é aplicada para se obter informação das camadas em subsuperfície observando a variação vertical de resistividade. Enquanto o caminhamento elétrico permite observar a variação lateral de resistividade. Neste estudo, foram realizadas SEV's em um perfil cruzando as falhas.

Em relação ao mecanismo, trata-se de eletrodos na superfície do terreno que injetam uma corrente contínua ou de baixa frequência, onde a distância entre eles é finita, e outros eletrodos que medem a diferença de potencial (V), como representados na Figura 17.

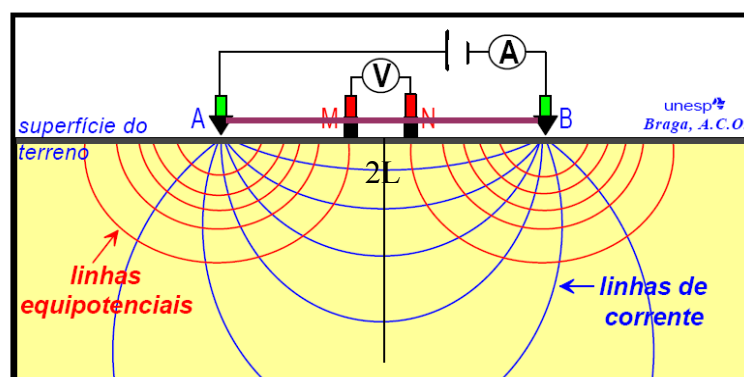


Figura 17 – Disposição dos eletrodos para determinação da resistividade. Em geral, constam de quatro eletrodos cravados na superfície do terreno, sendo um par para introduzir a corrente elétrica na subsuperfície (A e B), enquanto o outro par serve para medir a diferença de potencial que se estabelece entre eles (M e N).

O potencial em cada um dos eletrodos de medida (M e N) é obtido pela lei de Ohm e dado por:

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right] \quad (4)$$

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right] \quad (5)$$

Logo, a diferença de potencial entre M e N è:

$$\Delta V = V_M - V_N \quad (6)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right] - \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right] \right] \quad (7)$$

Sabendo-se a corrente injetada, o potencial medido e a geometria dos eletrodos a resistividade pode ser calculada por

$$\rho = 2\pi \frac{\Delta V}{I} K \quad (8)$$

Sendo K um fator geométrico, relacionado às distâncias entre os eletrodos, definido na Equação 7. Este fator está relacionado aos vários arranjos utilizados (Werner, Schlumberger, dipólo-dipólo, pólo-pólo, pólo-dipólo).

Neste trabalho foi utilizado o arranjo Schlumberger (Figura 18), que de acordo com Braga, 2005 é o arranjo com maior facilidade de operação e melhor eficácia, estando menos sujeito às interferências produzidas por ruídos indesejáveis.

Este arranjo linear é mais eficaz e usado nos trabalhos de campo aplicados à hidrogeologia. A idéia de Schlumberger foi fazer a distância que separa os eletrodos M e N tender a zero.

Neste caso o fator geométrico assume a seguinte relação:

$$K = \pi \left[\left(\frac{AB}{2} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] * MN$$

$$\rho = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \left[\left(\frac{AB}{2} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] * MN \quad (9)$$

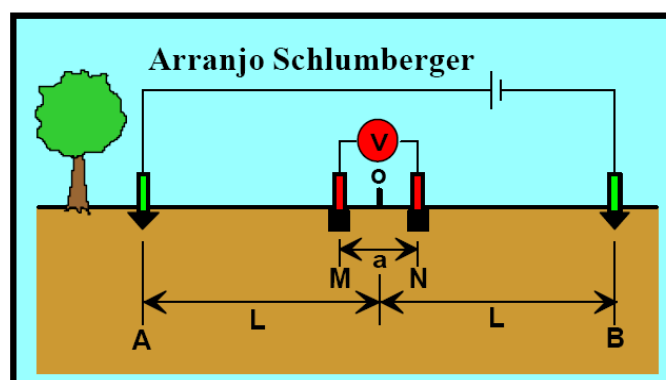


Figura 18– Arranjo de Schlumberger.

4.2.1 - Descrição Geotest Rd 300A

O GEOTEST RD-300A é um resistivímetro com potência do circuito inversor de 300 W, mas efetivamente, ele aplica até 500 W no terreno. O princípio de funcionamento do RD-300A segue a seguinte seqüência:

1) Quando acionado o instrumento aplica uma corrente no solo, através dos eletrodos A-B, enviando um pulso de tensão de polaridade negativa que, de acordo com a posição da chave de tensões, pode chegar até 600 V. Em seguida envia outro pulso de tensão, também de até 600 V, mas agora de polaridade positiva.

2) Nos eletrodos M-N, o RD-300A discrimina as tensões telúricas assim como as tensões de contacto existentes e, integra somente as tensões devidas à resposta aos pulsos de correntes que foram emitidos através dos eletrodos A-B, obtendo desse modo a tensão ΔV .

As vantagens do equipamento são: a obtenção da duplicação da potência aplicada, pois quando se aplica nominalmente quase 1200 V no terreno; atenua-se bastante o problema da polarização dos eletrodos e por último dobra-se a tensão do sinal ΔV .

4.2.2. – Aquisição de dados

As SEV foram realizadas em perfis variando de 90 a 460 metros com espaçamento entre SEV no intervalo de 10 a 20 metros. O espaçamento AB e MN utilizados para as comunidades de Floresta, Gentileza, Lagoa das Areias – Poço, Lagoa do Tubi, Maravilha e Nazaré pode ser vista na Tabela 6a,

MN(m)	AB/2 (m)
2	6
2	8
2	10
2	12

2	15
6	15
2	20
6	20
6	25
6	30
6	40
6	50
6	60
20	60
20	80
20	100

Tabela 6a: Espaçamento dos Eletrodos

Já para as comunidades de Bom Jardim, Barriguda, Lagoa das Areias, foram utilizados os seguintes espaçamentos abaixo, Tabela 6b.

MN(m)	AB/2 (m)
0,6	1
0,6	1,2
0,6	1,5
0,6	2
0,6	2,5
0,6	3
0,6	4
0,6	5
2	5
0,6	6
2	6
2	8
2	10
2	12
2	15
6	15
2	20
6	20
6	25
6	30
6	40
6	50
6	60
20	60
20	80
20	100

Tabela 6b: Espaçamento dos Eletrodos

Portanto a partir da geometria do arranjo Schlumberger e os espaçamentos informados acima, foram realizadas medidas com o resistivímetro Geotest RD 300A, como pode ser visto na figura 19.

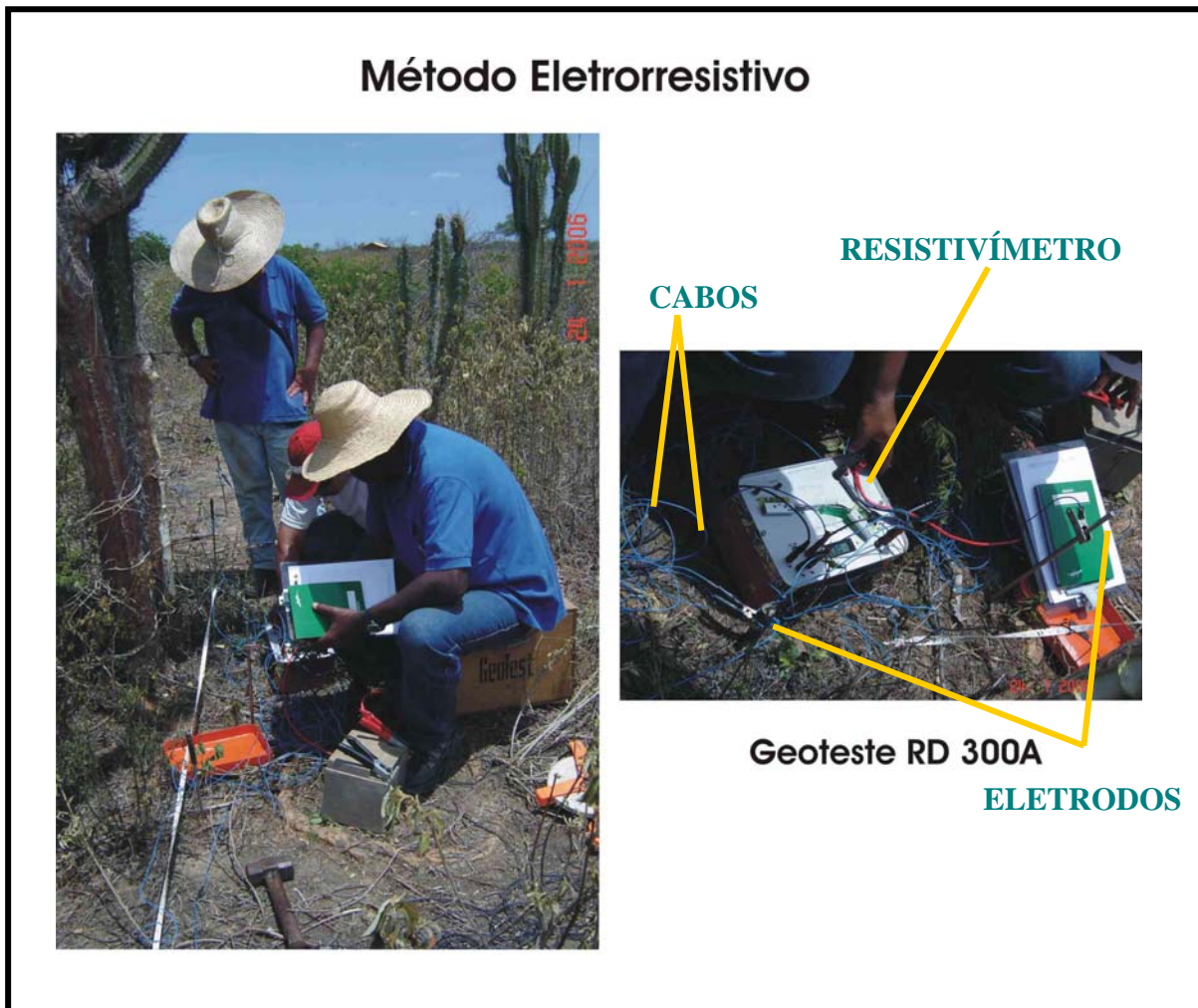


Figura 19 - Aplicação do equipamento Geotest RD 300A, no trabalho de campo realizado em Sergipe.

Os dados de resistividade obtidos em todos os perfis se mostraram ruidosos. Isto pode ter ocorrido devido aos altos valores de resistividade superficiais. As inversões uni e bidimensionais foram realizadas, apresentadas no próximo capítulo, após a remoção dos valores espúrios. As curvas de resistividade dos perfis estão no Apêndice 1.

4.3 – Método de Indução Eletromagnética

Os métodos eletromagnéticos foram desenvolvidos na década de 60 na Escandinávia, Estados Unidos e Canadá. Estes métodos eram aplicados em regiões onde havia depósitos de metais condutivos que eram facilmente detectados devido ao grande contraste com rochas resistivas. Estes métodos podem ser classificados em domínio da frequência e domínio do tempo. No domínio do tempo as medidas são feitas em função do tempo e no domínio da frequência, a corrente transmitida varia com o tempo a uma frequência variável.

O termo “métodos eletromagnéticos” é uma designação genérica de grande quantidade de métodos passivos e ativos de prospecção, baseados na medição dos campos elétricos e magnéticos. Os métodos eletromagnéticos considerados passivos são os que utilizam sinais naturais do solo como, por exemplo, o MT, AMT, e os métodos ativos são aqueles que utilizam fonte artificial, temos como exemplo o “HLEM” e o TEM, entre outros. A investigação em subsuperfície usando métodos eletromagnéticos não exige contatos galvânicos com o terreno, pois tem como base o fenômeno de indução.

Os métodos ativos fazem uso da resposta do solo à propagação de ondas eletromagnéticas, que podem ser gerados pela passagem de uma corrente alternada numa bobina. O campo magnético gerado na bobina é denominado de campo primário. A resposta do solo a esse estímulo é a geração de correntes induzidas, que são alternadas, e que por sua vez geram campos magnéticos (campo secundário), que induzem correntes na bobina de recepção.

O campo eletromagnético primário viaja da bobina de emissão à de recepção por dois percursos: pelo solo e acima do solo. Quando o solo é homogêneo não existem diferenças entre os campos que se propagam acima e abaixo (para além de uma pequena redução em amplitude do segundo em relação ao primeiro). Contudo, na presença de um condutor, a componente magnética do

campo eletromagnético induz a formação de correntes alternas no condutor, como exemplificado na Figura 20.

O receptor responde assim à resultante dos campos primário e secundário, de maneira que a resposta difere tanto em fase como em amplitude da resposta devida somente ao campo primário. Estas diferenças entre os campos transmitido e recebido revelam à presença de um condutor e fornecem informação sobre as suas propriedades elétricas.

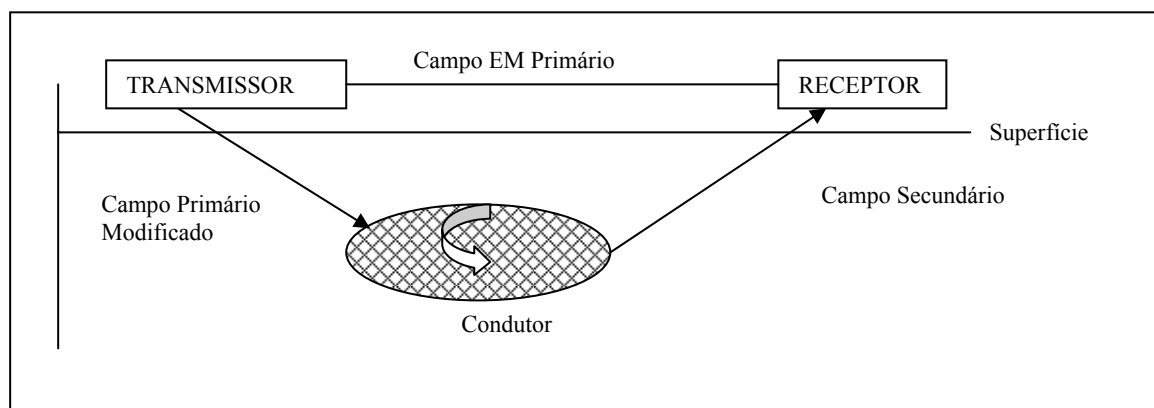


Figura 20: Princípio geral de uma medição eletromagnética

A indução de correntes é resultado da variação do campo magnético (Lei de Faraday). Conseqüentemente, não há necessidade de contacto físico, quer do emissor quer do receptor, com o solo. Deste modo, os levantamentos eletromagnéticos efetuam-se muito mais rapidamente que os levantamentos com corrente contínua (e podem ser feitos por avião).

4.3.1 – Profundidade de Penetração (Skin Depth)

A profundidade de penetração de uma onda eletromagnética (ou “skin depth”) depende da sua frequência e da condutividade elétrica do meio através do qual ela se propaga. As ondas eletromagnéticas são atenuadas durante a sua passagem pelo solo, sendo que a sua amplitude decresce exponencialmente com a profundidade. A profundidade de penetração (δ), em um meio

uniforme, pode ser definida como a profundidade para a qual a amplitude do campo decresce por um fator de $1/e$ da amplitude na superfície (A_0):

$$A_d = A_0 e^{-1} \quad \text{Neste caso } \delta \approx 500 (\sigma f)^{-1/2} \quad (\delta = \text{metros}; \sigma = \text{S m}^{-1}; f = \text{Hz}).$$

A profundidade de penetração aumenta, assim, quando f e/ou σ diminuem. Em consequência, a frequência usada nos levantamentos eletromagnéticos pode ser ajustada para um dado alcance de profundidade.

A expressão anterior para δ é uma relação teórica. Na prática, uma profundidade efetiva de penetração, Z_e , pode ser definida como sendo aquela para a qual um condutor ainda produz uma anomalia mensurável, isto é, $Z_e \approx 100 (\sigma f)^{-1/2} = (1/5) \delta$.

4.3.2 – Descrição do EM 34

O método eletromagnético indutivo foi realizado com equipamento EM-34, de operação simples e rápida, composto de duas bobinas, uma de emissão e outra de recepção. A bobina transmissora é alimentada por uma corrente alternada de frequências definidas como 6,4 KHz para distâncias entre transmissor e receptor de 10m; 1,6 KHz para distâncias entre receptor e transmissor de 20m e 0,4 KHz para distâncias entre transmissor e receptor de 40m. As bobinas são conectadas por um cabo de comprimento fixo, sendo o transmissor constituído de um circuito gerador de sinal quadrado de alta estabilidade e um amplificador de potência que alimenta um circuito ressonante LC paralelo, formado pela bobina transmissora. O receptor emprega circuitos de demodulação síncrona para detecção das componentes em fase e em quadratura do sinal da bobina receptora.

Os tempos de integração destes demoduladores são otimizados para obter uma relação sinal/ruído elevada. O instrumento mede a combinação das variações do campo magnético

primário e secundário. A bobina transmissora emite um campo primário (H_p) alternado de frequência definida que, ao contato desse com um corpo condutor gera um campo secundário (H_s). A combinação destes dois campos é medida pela bobina receptora (Reynolds, 1997). A Figura 21 é um esquema simplificado do equipamento.

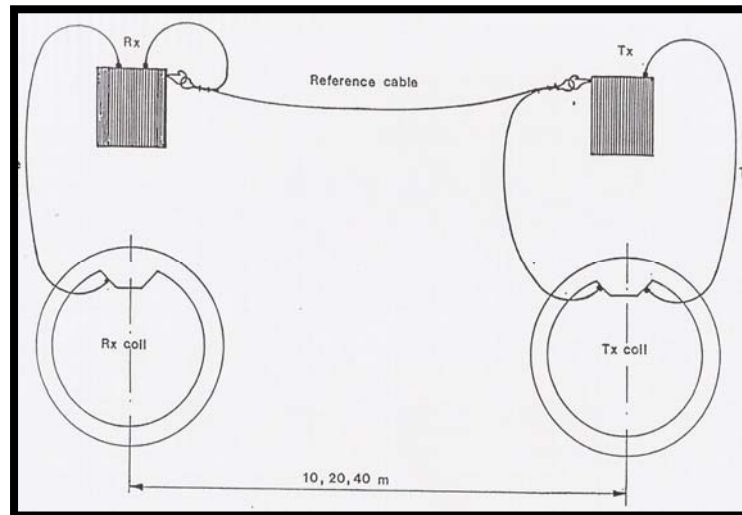


Figura 21: Simplificação do equipamento EM34.

Portanto a razão entre o campo magnético secundário e o campo magnético primário permite estimar a condutividade do solo, e é dada por

$$\frac{H_s}{H_p} \approx \frac{i\omega\mu_0\sigma s^2}{4} = \frac{iB^2}{2}, \quad (10)$$

Sendo H_s o campo magnético secundário, H_p o campo magnético primário, μ_0 a permeabilidade, σ a condutividade do solo, s o comprimento do cabo que liga o transmissor ao receptor, $\omega = 2\pi f$ a frequência angular, f a frequência, $B = s/\delta$ o número de indução $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_0\sigma}}$ e o “skin depth”. Neste método $\delta \gg s$ e conseqüentemente têm um baixo número de indução.

Conhecendo-se a razão H_s/H_p a condutividade aparente é obtida por

$$\sigma_a = \frac{4 \frac{H_s}{H_p}}{w \mu_0 S^2} . (11)$$

Alguns equipamentos fornecem, para cada frequência, a razão Hs/Hp. No EM34, os sinais correspondentes aos componentes (fase e quadratura) do campo magnético secundário são tratados por um multiplicador analógico, cuja tensão de saída corresponde ao valor da condutividade elétrica aparente do solo, em mS/m (miliSiemens por metro).

A profundidade de alcance da exploração com o equipamento EM34 a partir da disposição do dipolo, e dada na Tabela 7.

Espaçamento (m)	Dipolo Horizontal (m)	Dipolo Vertical
10	7,5	15
20	15	30
40	30	60

Tabela 7: Profundidade de exploração relacionada ao espaçamento entre as bobinas (Fonte:Mc Neill, 1980 - Geonics TN – 8).

4.3.3 – Aquisição de dados

As medidas foram realizadas em perfis variando de 90 a 460 metros em intervalos de 5 a 10 metros. Para o trabalho foram obtidos os dados com a utilização do EM34 (Figura 22), com as configurações das bobinas transmissoras e receptoras ambas na posição vertical e ambas na posição horizontal, que geram respectivamente dipolos na direção horizontal e vertical (Mc Neill – TN 6, 1980). Características dos perfis nas dez comunidades são apresentadas na Tabela 8.

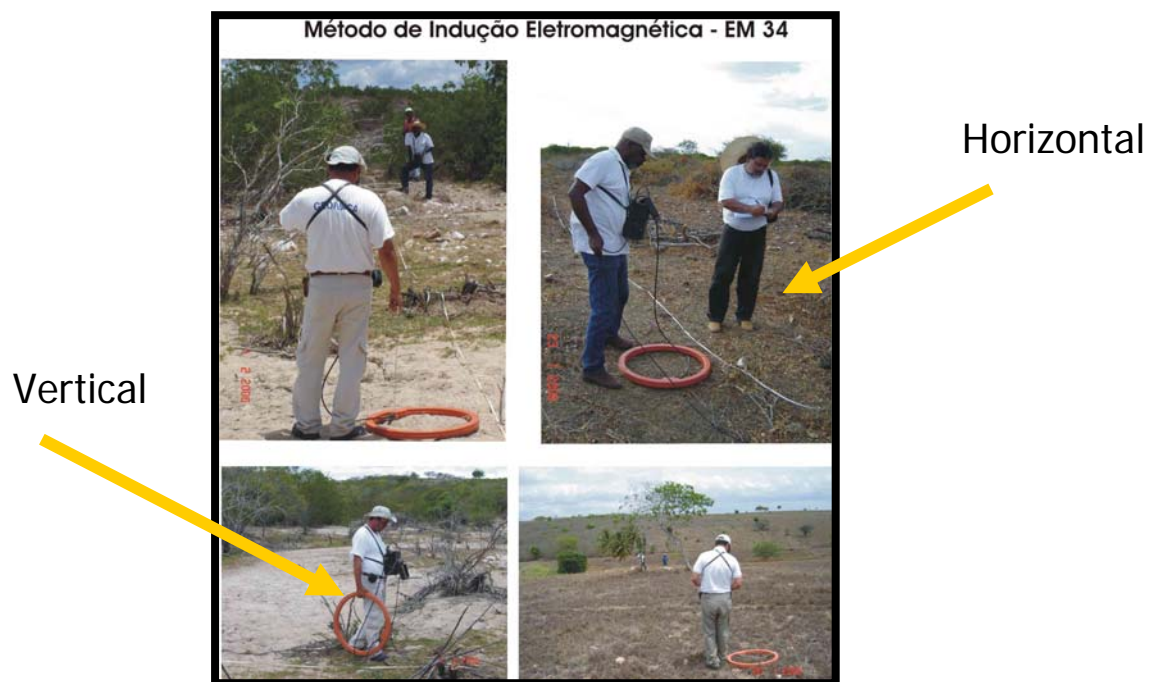


Figura 22 - Aplicação do equipamento EM34 Geonics, no trabalho de campo realizado em Sergipe.

Município	Comunidade	Direção	Estações EM34	Estações GEOTEST	PERFIL (m)
Gararu	Barriguda	N20E	17	15	230
	Lagoa do Tubi	E-W	12	09	110
Poço Redondo	Salgadinho	N23W	22	-	280
	São José de Nazaré	N86W	19	02	250
	Lagoa das Areias	E-W	47	28	460
	Maravilha	N70W	11	08	100
Monte Alegre de Sergipe	Bom Jardim	N-S	21	13	200
	Lagoa das Areias	N30E	10	11	100
Porto da Folha	Gentileza	E-W	12	10	110
	Floresta	N8W	10	07	90

Tabela 8 – Estações do EM34 e GeoTest.

A partir desses perfis foram gerados gráficos com os dados das sondagens com EM34. No Apêndice 2 são apresentados os valores de condutividade em mS/m para cada estação, na direção do dipolo horizontal (dH) e na direção do dipolo vertical (dV), nos espaçamentos de 10, 20 e 40 metros. A análise dessas curvas permitiu sugerir, para o projeto Xingó, os pontos onde deveriam ser feita as perfurações, como exemplo, a Figura 23 mostra o resultado do perfil de Lagoa da Areia do Município de Monte Alegre de Sergipe. As curvas de resistividade aparente para todos os perfis estão no Apêndice 2. Tentando obter informações mais acuradas foram realizadas inversões bidimensionais, tratadas no próximo capítulo.

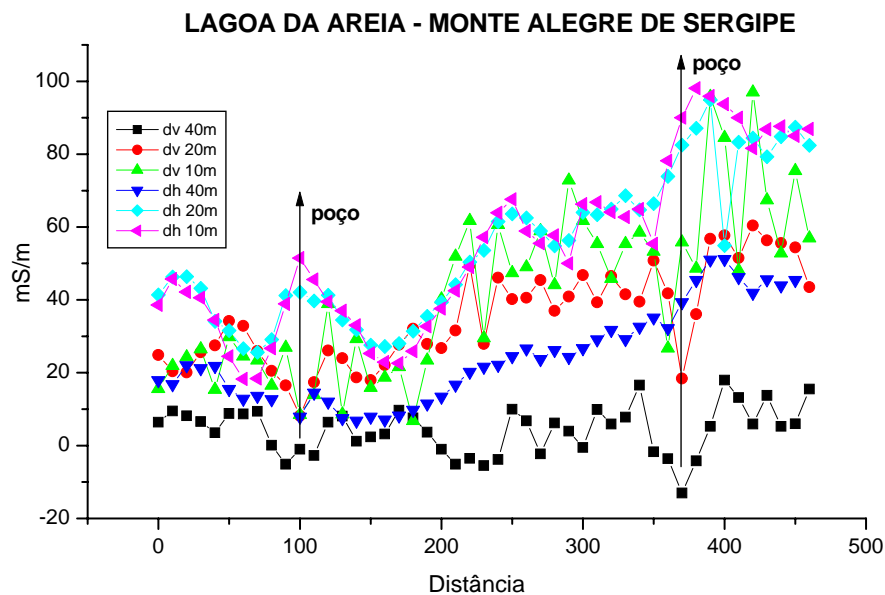


Figura 23 – Gráfico do município de Lagoa das Areias – Monte Alegre de Sergipe, contendo as 47 sondagens (EM-34).

CAPÍTULO 5 – INVERSÃO

A interpretação dos dados adquiridos numa campanha de geofísica se constitui como sendo um dos mais importantes estágios do trabalho geofísico. Por interpretação dos dados entende-se que a tarefa de estabelecer um modelo geofísico deva cumprir duas condições fundamentais: 1) que satisfaça o conjunto de dados obtidos, de acordo com um critério pré-estabelecido, e 2) seja susceptível de ter interpretação geológica que esteja de acordo com a informação já conhecida. Neste contexto, o termo “modelo” designa o conjunto de valores das propriedades físicas das rochas (designados por parâmetros do modelo) que caracterizam os fenômenos físicos em que se baseia a metodologia de prospecção utilizada.

O problema direto é um problema bem posto no sentido de que, dado um conjunto de valores para os parâmetros e conhecidas as expressões que regem o comportamento do campo, a solução é única e pode ser calculada, em princípio, com a precisão que se desejar. Já o problema inverso é, pelo contrário, um problema mal posto, pois diferentes modelos podem representar igualmente bem os dados (o problema inverso não tem solução única) e a solução é geralmente instável.

Nos últimos anos tem crescido o uso da inversão de dados geofísicos, ligados a problemas ambientais, aplicados diretamente no reconhecimento e monitoração de zonas contaminadas, por exemplo, na dimensão da contaminação em aterros sanitários (Guttman, 2003). Portanto, o uso dos métodos geofísicos com a utilização da inversão auxilia na observação indireta da subsuperfície.

5.1 – PROGRAMAS UTILIZADOS

No trabalho apresentado foram utilizados três programas com aplicação de inversões, estes foram: WinGlink, DC2D e CICEM35 2006.

5.1.1 – WinGlink – Inversão 1D

O WinGlink é um software desenvolvido pela Geosystem que permite a inversão 1 D de dados magnetotélúricos, eletrorresistivos e TDEM. Neste trabalho foram utilizados dados de resistividade aparente obtidos nas SVE's com equipamento Geotest RD300A, através do método de eletrorresistividade, com utilização do arranjo tipo Schlumberger.

No WinGlink a inversão 1D é realizada através do método NLCG (Gradientes Conjugados), segundo Mackie e Rodi (2001) utilizando a função objeto:

$$\psi(m) = (d - F(m))^T V^{-1} (d - F(m)) + \lambda m^T L^T L m \quad (12)$$

Onde, λ , V e L são parâmetros de regularização sendo λ um numero positivo, V a matriz variação do erro e L a Laplaciana do $\log \rho$.

Para os dados de eletrorresistividade faz-se uso do comprimento $AB/2$ e do valor de resistividade aparente. Com o modelo de camadas são geradas curvas editadas (“layer inversion”) e suavizadas (smooth).

5.1.2 – DC2D – Inversão 2D

Também foi utilizado para o processamento das SEV's um programa de inversão 2D cedido pelo Dr. Emin Ulugergerli, do departamento de Geofísica da Universidade de Osekizmart, Turquia, chamado de DC2D e desenvolvido para trabalhar no MatLab.

Este programa, utiliza para o problema de inversão o SVD (decomposição de valores singulares)¹, método que tem a função de achar soluções para o problema de inversão em 2D. O

¹ SVD – consiste na determinação de matrizes ortogonais (U e V) e da matriz dos valores singulares de A (S), de modo a satisfazer $A = USV^T$, (Golub e Van Loan, 1996).

modelo é baseado na solução da equação de Poisson por diferenças finita, obtidas por meio de áreas discretizadas (Dey e Morrison, 1979). Isto é, a subsuperfície é representada por blocos.

Como indicado Menke 1989, Meju 1994 apud Ulugergerli, 2006 a equação utilizada para inversão de SVD é:

$$\Delta\rho = (A^T A + \beta I)^{-1} A^T \Delta G \quad (13),$$

Sendo: A é matriz que contém as derivadas parciais, $j = \frac{\partial \rho_{aj}}{\partial \rho_i}$ e “smoothig” são matrizes, C, que contém as derivadas do tipo Occam, β é um fator “damping” calculado usando valores singulares (máximo e mínimo) da matriz A. Já ΔG é o vetor de dados discrepantes e $\Delta\rho$ é o logaritmo da resistividade:

$$\rho_i^{k+1} = 10^{\log(\rho_i^k) + \Delta\rho}, \text{ onde } k \text{ e } i \text{ são interações numéricas e indexa para o parâmetro modelado.}$$

5.1.3 – CICHEM35 – Inversão 2D

O programa denominado de CICHEM35 foi desenvolvido para a inversão de dados de indução eletromagnética obtidos com equipamento EM34, e utiliza a teoria desenvolvida por Gómez-Treviño (1987).

O processo de inversão é feito para estimar a condutividade de um modelo de prisma 2D, em um semi-espaco plano conforme equação abaixo:

$$\sigma_a(x_s, x_r) = \int_{x_1}^{x_2} \int_{z_1}^{z_2} K_m(x_s, x_r, x, z) \sigma(x, z) dx dz \quad (14),$$

sendo σ_a a condutividade aparente, que depende da localização do transmissor e do receptor (x_s e x_r). A função de Kernel (K_m) vai depender do campo magnético originado no transmissor, no receptor e no conjunto de prismas da subsuperfície, que representa o aglomerado de prismas 2D que modelam a terra no semi-espaco, representada por blocos como na Figura 24. O $\sigma(x, z)$ é a condutividade do prisma localizado em x e z .

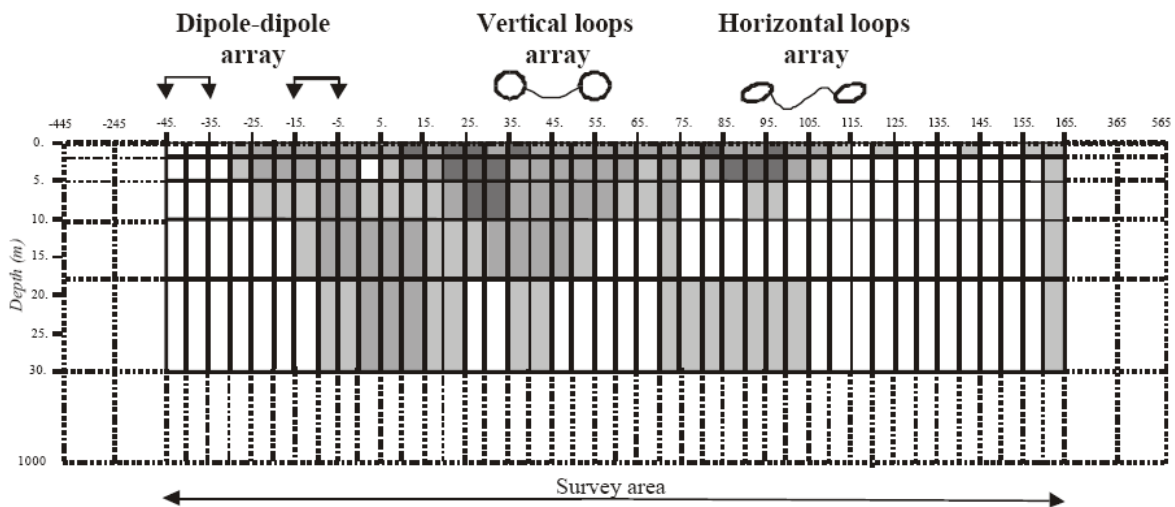


Figura 24 - Apresenta o formato do conjunto de prismas segundo Pérez-Flores.

Para o processo de inversão utiliza-se programa quadrático, e a função objeto para dados de condutividade é:

$$F(\sigma') = \|\sigma'_a - K_m \sigma'\|_{C_y}^2 + \beta \|D\sigma'\|^2 \quad (15),$$

sendo σ_a a matriz coluna que representa a condutividade aparente, onde o número de linhas é o número de medidas, σ é outra matriz coluna que representa a condutividade aparente dos prismas, e o número de linhas é o número de prismas que representam a subsuperfície. K_m é a matriz da função Kernel, que tem tantas linhas quanto o número de medidas e tantas colunas quanto o número de prismas. D é um operador diferencial espacial. $D\sigma$ contém as derivadas da condutividade em relação a x e z . β (fator smoothing) é uma escala pretendida para igualar a importância do segundo termo da equação 13 em relação ao primeiro termo.

- Primeiro termo: ajusta os dados no processo de inversão;
- Segundo termo: “acha” o melhor modelo, utilizando as permissas estritamente necessárias – Princípio de “Occam Knife”².

5.2 – APRESENTAÇÃO DOS DADOS DA INVERSÃO

Com os dados obtidos nas estações SEV’ foram geradas as inversões unidimensionais e bidimensionais.

A inversão 1D com WingLink para os perfis foi realizada após a remoção de pontos espúrios baseada em ajuste polinomial, visto que os mesmos estavam muito ruidosos. As curvas de resistividade aparente após a remoção de dados espúrios se encontram no apêndice 1. Utilizou-se para a inversão um modelo de quatro camadas e 60 interações.

² Princípio de Occam - O princípio afirma que a explicação para qualquer fenômeno deve assumir apenas as permissas estritamente necessárias à explicação do fenômeno e eliminar todas as que não causariam qualquer diferença aparente nas predições da hipótese ou teoria.

Os dados utilizados para a inversão 2D com o DC2D foram os mesmos que os da inversão 1D. Entretanto, o programa define o número e as dimensões dos blocos, limitando a profundidade de investigação em torno de 70m.

Nas Figuras 25 e 26 estão sendo apresentados os resultados das inversões 1D e 2D, respectivamente, para uma estação. Os resultados das inversões 1D e 2D para todos os perfis em estudos estão no Apêndice 3.

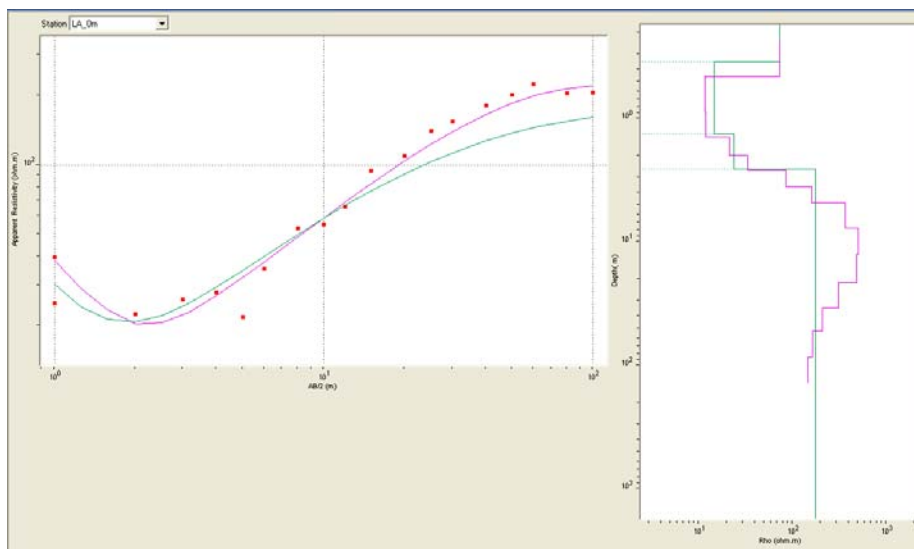


Figura 25 - Inversão unidimensional de Lagoa das Areias SEV LA_0: a inversão suavizada (curva rosa) e a “layered Inversion” com quatro camadas (curva verde).

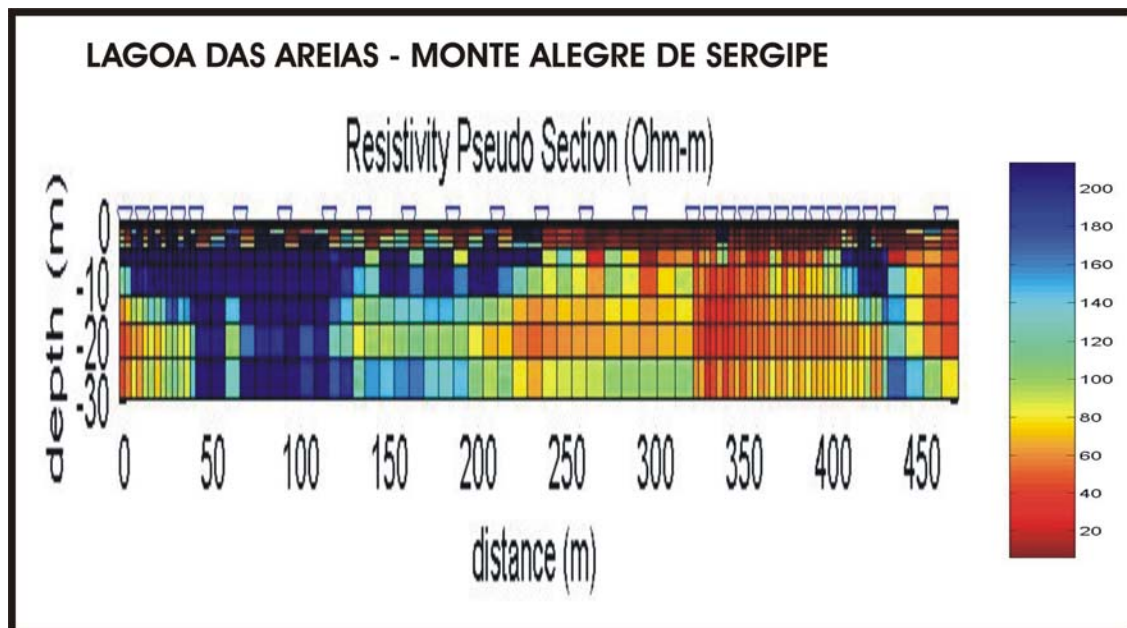


Figura 26 - Inversão bidimensional das sev's de Lagoa das Areias: a inversão em quatro camadas processadas pelo Matlab 6.5 através do programa DC2D.

Os resultados da inversão obtidos com o CICESM 35 foram gerados através do site: <http://arcada.cicese.mx/geofisica/dc2/index.html>. O programa gera uma figura na qual o modelo está limitado em 30 m de profundidade, Figura 27. Entretanto o programa, apesar de ser um pacote fechado, fornece alguns dados como: o número de camadas, os valores das camadas, a quantidade de “prismas”, misfit, o numero de dados, valor de condutividade em relação aos espaçamentos de 10, 20 e 40m e o posicionamento das bobinas, vertical e horizontal. Estas informações permitiram gerar uma figura que representa os resultados da inversão 2D em maiores profundidades, pois são esperadas anomalias em torno de 70 m. Além disso, numa tentativa de melhorar o modelo, foi elaborado um grid maior com menor espaçamento. Porém, quanto maior era o número de células maior a dificuldade de obtenção dos perfis já que o programa era todo gerado pela internet.

O resultado das inversões para todos os perfis estão no Apêndice 4.

LAGOA DAS AREIAS

2D electromagnetic inversion

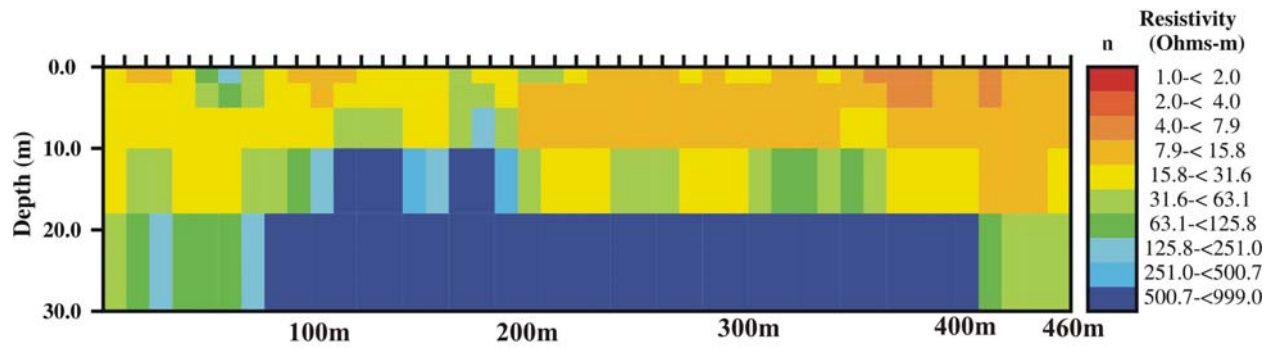


Figura 27: Inversão dos dados Hlem a partir do programa CICEM35, modelo de blocos.

CAPÍTULO 6 – RESULTADOS

Foi realizada uma integração das informações de geologia e fotointerpretação, visando otimizar a localização de água subterrânea com o uso de métodos geofísicos.

Para a região em estudo podemos destacar que:

1 – A geologia indica rochas de embasamento cristalino com três eventos deformacionais D1 e D3 dúcteis e D2 ductil/rúptil. Esses eventos resultaram em esforços distensionais gerando direções preferenciais de fraturamento;

2 – Na análise feita a partir da fotointerpretação e elaboração de mapas de drenagens, de lineamentos e morfoestrutural pode se concluir uma diferenciação nas direções preferenciais de fraturamento, nos municípios de Poço Redondo e Porto da Folha com direções de N60-70W e posicionadas em um Alto-Médio estrutural e Monte Alegre de Sergipe e Gararu com direções N50-60E e posicionadas em um Alto estrutural;

3 – Na avaliação do inventário dos poços podem ser considerados os seguintes níveis e vazões,

Tabela 9:

Tabela 9: Inventário de poços

MUNICIPIOS	NE	ND	PROFUNDIDADE	VAZÃO
POÇO REDONDO	6,83	27,1	54,89	2258
GARARU	5,49	23,3	58,71	7759
PORTO DA FOLHA	7,53	24,7	59,67	2688
MONTE ALEGRE DE SERGIPE	10,37	32,6	60,20	5483

Fonte: SEPLANTEC

Nota-se, que as maiores vazões não necessariamente estão nos baixos estruturais. Esta informação é importante, pois não há restrições de local para a prospecção. A metodologia empregada seria, então, para indicar as falhas com maior possibilidade de ocorrência de água subterrânea.

Os métodos geofísicos de indução eletromagnética têm se mostrado bastante propícios para a prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas. Por outro lado, o método eletroresistivo deixa a desejar, possivelmente devido à alta resistividade da camada mais superficial que fica em contato com os eletrodos.

O local para a perfuração dos poços, em geral, é determinado pelas curvas de resistividades. Isto é, grandes variações de resistividade estariam associadas a localização de água. Entretanto, é desejável se conhecer uma estimativa da profundidade desta anomalia bem como de sua geometria, que podem ser conhecidas após processo de inversão.

Infelizmente, os programas de inversão para dados de eletroresistividades e de indução eletromagnética, disponibilizados pela comunidade científica, são pacotes fechados que limitam sua utilização. Os resultados obtidos, apresentados nos Apêndices 3 e 4, mesmo após vários testes e do uso de informações de poços já perfurados, não mostram informações relevantes.

Os dados geofísicos obtidos com o método de indução permitiram indicar um local para perfuração em sete localidades e nas outras três localidades foi possível indicar dois pontos com possibilidade de ocorrência de água subterrânea, como pode ser visto no Apêndice II.

7 – CONCLUSÕES

A perfuração de somente um poço, dos dez pontos indicados, não permite validar de todo a metodologia empregada. No entanto, o fato do poço no Município de Monte Alegre de Sergipe, na Comunidade de Lagoa das Areias, tenha sido perfurado em um alto estrutural permite dizer que a integração de dados geológicos, fotointerpretação e inventário de poços é bastante promissora para a prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas fraturadas.

O poço foi perfurado na posição 370m do perfil, com profundidade de 70m, encontrando-se água, no cristalino formado por mica xisto gnaisse, em 30 m de profundidade e vazão de 2000 l/h.

As características físico-químicas desta água é de uma água tipo dura, cloretada com valor de 9,4g/l e elevados valores de sólidos (24,4 g/l) e sulfatos (0,8 g/l).

Os dados ruidosos obtidos com o método eletroresistivo, sugere que este não seja adequado para a prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas fraturadas.

O método denominado HLEM, que foi utilizado com o equipamento EM34, tem fornecido bons resultados na prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas fraturadas.

Os programas de inversão disponíveis para os métodos eletroresistivo e de indução eletromagnética não forneceram resultados significativos. E, por serem pacotes fechados não se tem controle sobre todos os parâmetros envolvidos.

Diante do exposto, sugere-se que para otimizar a prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas fraturadas deva ser realizada a integração de dados geológicos, fotointerpretação e inventário de poços, e sejam utilizados os métodos de indução eletromagnética.

Sugere-se, também, que para uma caracterização das anomalias encontradas com estes métodos geofísicos sejam desenvolvidos programas de inversão mais amigáveis para o usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8. Campina Grande, 1977. Atas... Campina Grande, SBG/NE. bol. 6, p. 363-391.
- Amorim, J.L.; Torres, H.H.F.; Silva Filho, M.A. 1993. O Complexo de Embasamento da Faixa Sergipana na Região do Jirau do Ponciano (AL): Estratigrafia, Evolução Tectonometamórfica e Potencialidade Metalogenética. XV Simpósio de Geologia do Nordeste – Natal, 1993 p. 240 -241.
- Braga, A. C. O. – Métodos Geométricos Aplicados. Disponível em <http://ns.rc.unesp.br/igce/aplicada/geoeletricos-V3>. 2005.
- Brito Neves, B. B. 1975 – Regionalização Geotectônica do Pré-cambriano nordestino. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 198p.
- Brito Neves B.B., Long L.L., Kawashita K., Sial A.N., Cordani U.G., Pessoa R.R. 1978. Estudo da geocronologia da faixa costeira Pré-Cambriana do nordeste. Unpublished report, CNPq no. 22220884/75. Brito Neves B.B., Sa J.M., Nilson A.A.,
- CASTANY, G., 1975. Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Barcelona: Ediciones Omega. 738 p.
- Chaves, J.M.; Celino, J.J. Os Granitóides do domínio Macururé e a sua Implicação na Evolução Geodinâmica da Faixa Sergipana (NE do Brasil). Anais do II Simpósio do CSF Salvador, Agosto 1993 pp.308 – 311.
- CPRM Projeto Cadastro da Infra-Estrutura Hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe. Diagnóstico do Município de Porto da Folha. Aracaju, 2002. 14p.
- CPRM Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe. Escala 1:250.000. Texto explicativo do Mapa geológico do Estado de Sergipe. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT; CODISE, 2001. 156 p.
- D’el-Rey Silva, L.J.H. 1993 Evolução Tectônica da Faixa Sergipana e Implicações para o Sistema Brasileiro-Pan-Africano. Anais do II Simpósio do CSF, Salvador Agosto 1993, p. 246-248.
- Davison, I. & Santos, R. A. -1989 -Tectonic evolution of the Sergipano Belt, NE of Brazil, during Brazilian orogeny. Precambrian Research. V.45. p. 319-342. .
- Destro, N. Magnavita, L. P. Aragão, M.A.N.F. 1993 - Faixa de Dobramentos do Baixo São Francisco: Individualização tectônica do segmento Norte da Faixa Sergipana. Evolução Tectônica e Metalogenética do Cratón São Francisco. Anais do II Simpósio do Cratón São Francisco. Salvador, Bahia, 22-31 de Agosto de 1993, p.312-315, SBG, Núcleo Bahia/ SGM.

Dey, A. and Morrison, H. F., 1979, Resistivity modelling for arbitrarily shaped two-dimensional structures: *Geophys. Prosp.*, 27, no. 1, 106-136.

Feitosa, F.A.C., Filho, J. M. – 2000 – Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações 2ª edição. Fortaleza CPRM/ REFO, LABHID-UFPE. p.133-174.

Golub, G. H. and Van Loan, C. F. "The Singular Value Decomposition" and "Unitary Matrices." §2.5.3 and 2.5.6 in *Matrix Computations*, 3rd ed. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, pp. 70-71 and 73, 1996.

GÓMEZ-TREVIÑO, E., 1987. Nonlinear integral equations for electromagnetic inverse problems. *Geophysics*, 52, 1297-1302.

Gutman, A. M., 2003. Utilização de Métodos Geofísicos Eletromagnético transiente (TEM) no Aterro Sanitário de Gramacho, Duque de Caxias, Estado do Rio de Janeiro. Tese de Mestrado. Observatório Nacional.

Jardim de Sá, E.F. Moraes, J.A.C., Silva, L.J.D. 1986. Tectônica Tangencial na Faixa Sergipana. *Anais do XXXIV Congr. Brasileiro de Geologia*, v.3. Goiânia, 1246-1259.

Jardim de Sá, E.F.; Macedo, M.H.F.; Fuck, R.A.; Kawashita, K. 1992. Terrenos proterozóicos na Província Borborema e a margem norte do Craton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, 22: 472-480

Kaufman, A. A. & Keller, G. V., 1983 *Frequency and Transient Soundings*. Series in Methods in Geochemistry and Geophysics volume 16. Elsevier, Amsterdam, pp685.

Keller, G. K. & Frischknecht, F. C. 1966. *Electrical Methods in Geophysics Prospection* Pergamon Press Inc. , Oxford, p. 11-23.

Mackie R., Rodi. W. 2001. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *GEOPHYSICS*, VOL. 66, NO. 1 (JANUARY-FEBRUARY 2001); P. 174–187

McNeill, J. D. - Technical Note TN-6: Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. GEONICS LIMITED October, 1980. 13p.

McNeill, J. D. - Technical Note TN-8: EM34-3 Survey Interpretation Techniques. GEONICS LIMITED November, 1980 REVISED January, 1983. 17p.

Meju, M.A. 1994. *Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory and Applications*. Soc. Expl. Geophys. Publ., Tulsa, OK, (296pp).

Menke, W. 1989. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, revised edition. Academic Press (pp285).

PÉREZ-FLORES, M.A. 2-D inversion of dipole-dipole and shallow electromagnetic: data by Internet. CICESE, Dpt. Applied Geophysics, Baja California 10p. <http://arcada.cicese.mx/geofísica/dc2/index.html>

- Patra, H. P. & Mallick, K. 1980. Geosounding Principles, 2: Time-series, Series in Methods in Geophysics volume 14, Elsevier, Amsterdam, PP 419.
- Reynolds, J. M. – 1997 – An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons. Inglaterra. 796p.
- RICCI, M.; PETRI, S. Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo: Editora Nacional, 1965, 226 p.
- Santos, R.A., Menezes Filho, N.R. & Souza, J.D. de 1988. Programa Levantamentos Geológicos Básicos; carta geológica, carta metalogenética e provisional, 1:100.000, Projeto Carira. DNPM/CPRM, 4v
- Soares, P.C.; Fiori, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícia geomorfológica, 16 (32) 107-121, 1976.
- Ulugergerli, E.U 2006. Users manual for DC2D and software documentation for two-dimensional inversion of DC sounding data: Onsekizmart University, Department of Geophysics Engineering, Terzioğlu Yerleşkesi, Çanakkale, 17020, Turkey.
- Veneziani, P. Reconhecimento de figuras de interferência geradas pela superposição de dobras flexurais na região do vale do Paraíba (SP) com a utilização de sensoriamento remoto. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. Anais. pp.368-375.
- Vieira, M. A. 1998 . Eletrorresistividade Aplicada à Prospecção de Água Subterrânea. CPRM. 64p.
- Ward, S. H., 1967, Electromagnetic Theory for Geophysical applications in Mining Geophysics, v. 2, part A: Tulsa, SEG, p.196.
- Zhdanov, M. S. & Keller. G. V., 1994. The Geoelectrical Method in Geophysical Exploration, in Methods in Geophysics, volume 31, Elsevier, Amsterdam.

APENDICE I – CURVAS DE ELETORRESISTIVIDADE.

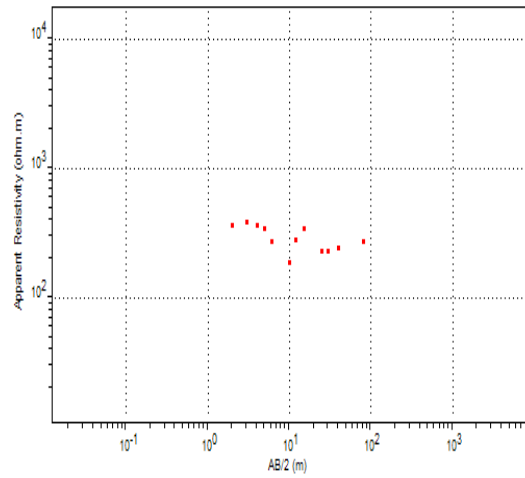
As curvas de resistividade aparente obtidas com o Geotest estão apresentadas para cada perfil em uma figura.

Os perfis estão agrupados por município.

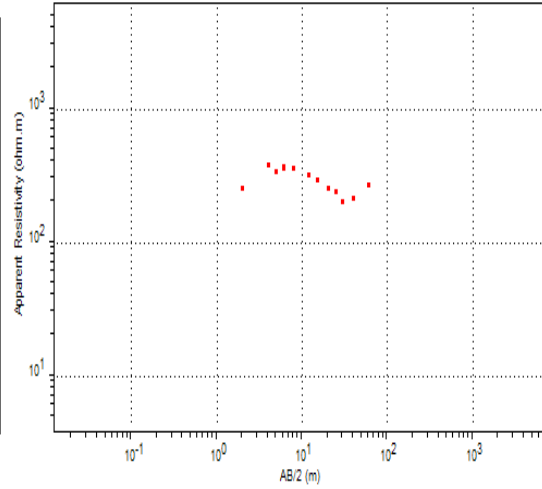
Nas figuras os valores de resistividade aparente espúrios não estão sendo representados, pois queríamos mostrar os dados que foram utilizados nas inversões..

Observe que nas comunidades de Salgadinho e Maravilha não foram realizadas leituras de eletorresistividade.

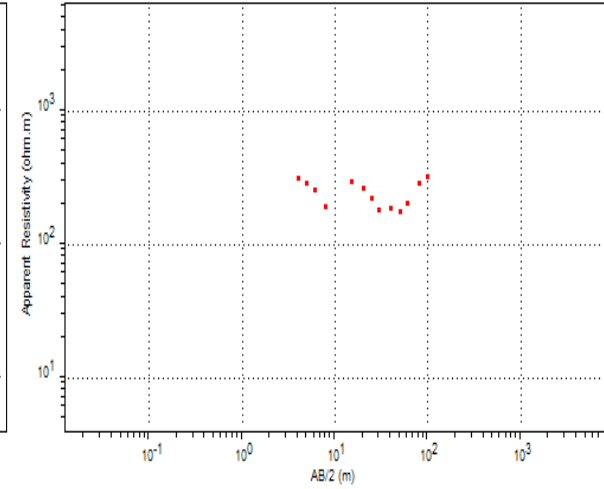
Barriguda



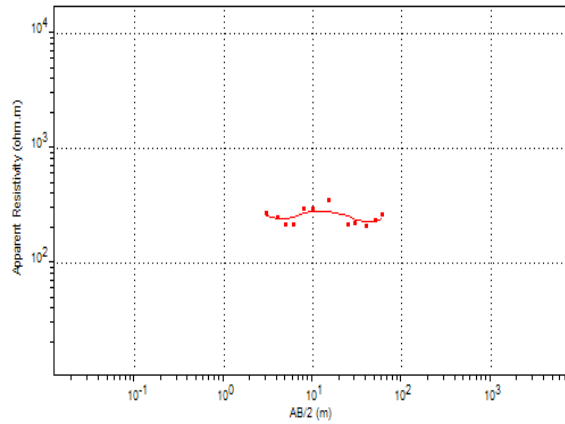
BRR - 0m



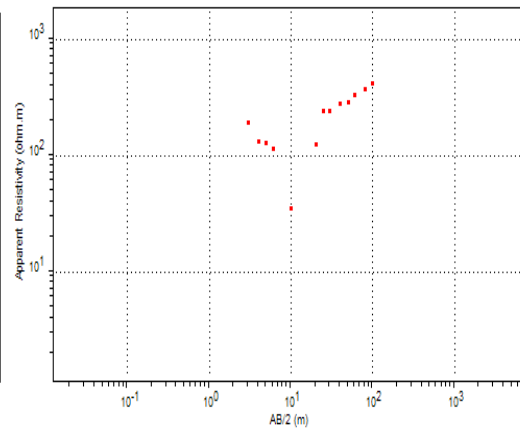
BRR - 10m



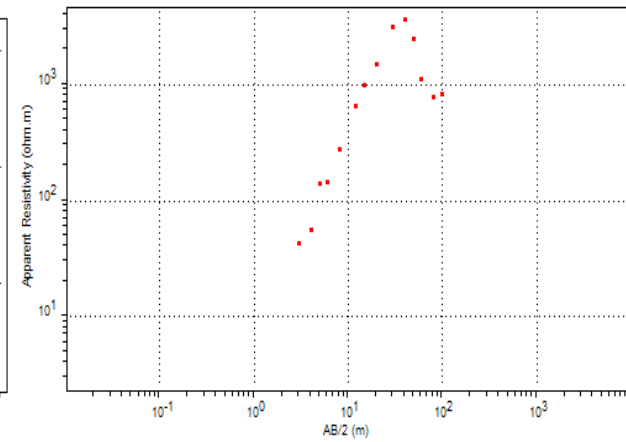
BRR - 20m



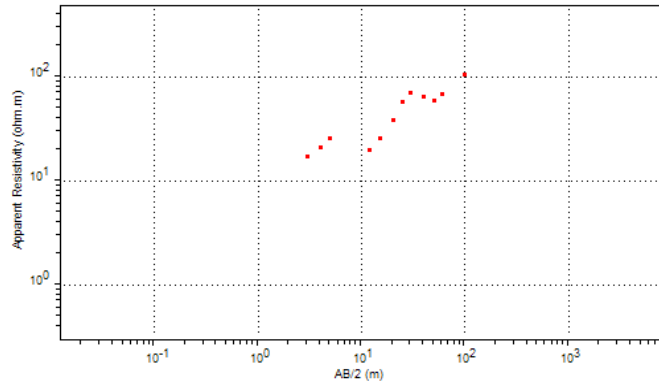
BRR - 30 m



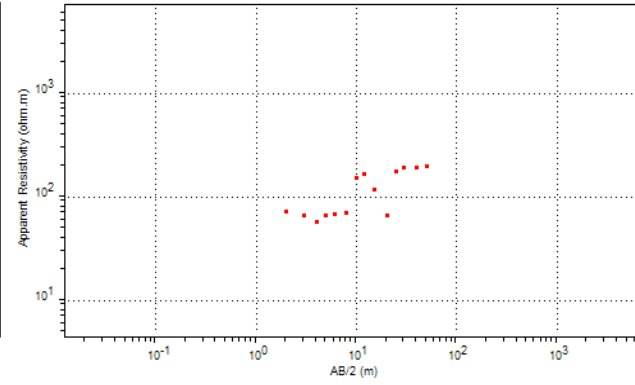
BRR - 40m



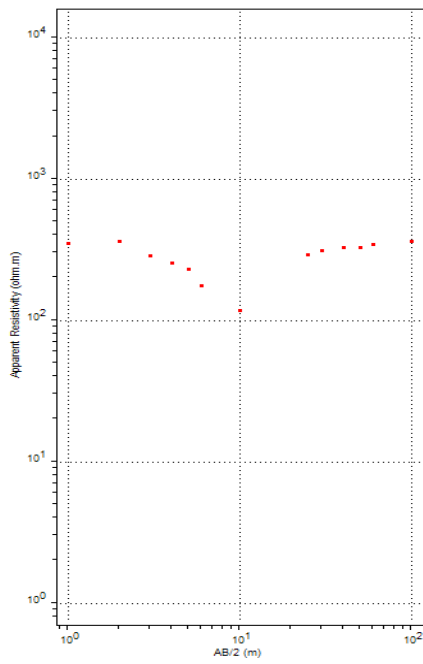
BRR - 50m



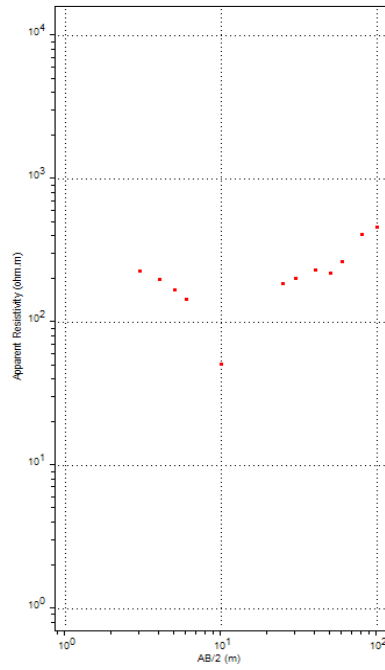
BRR - 60m



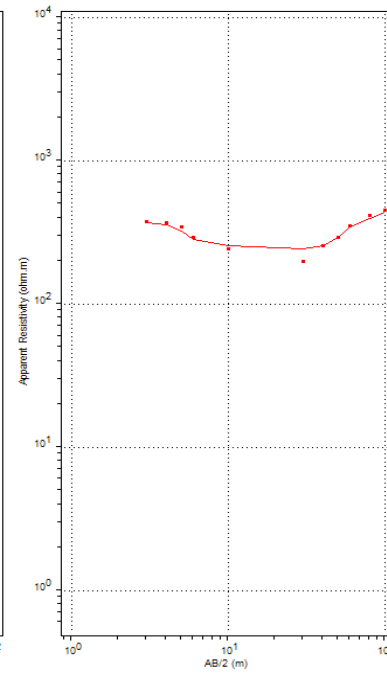
BRR - 70 m



BRR - 80m

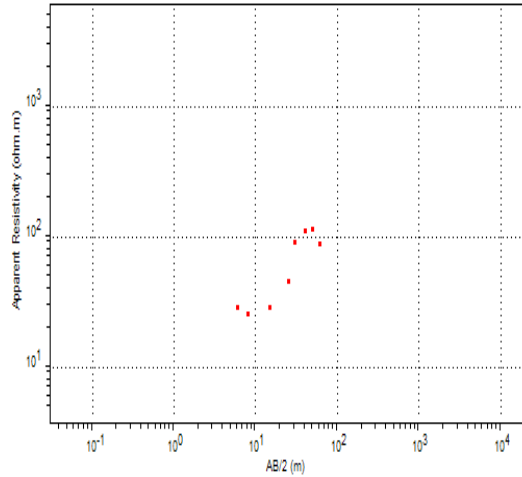


BRR - 90m

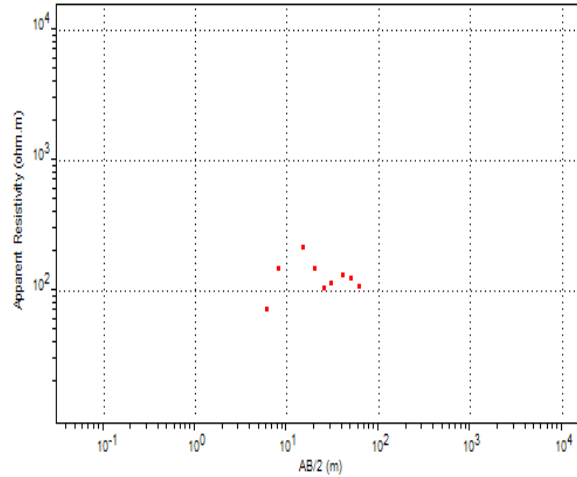


BRR - 100 m

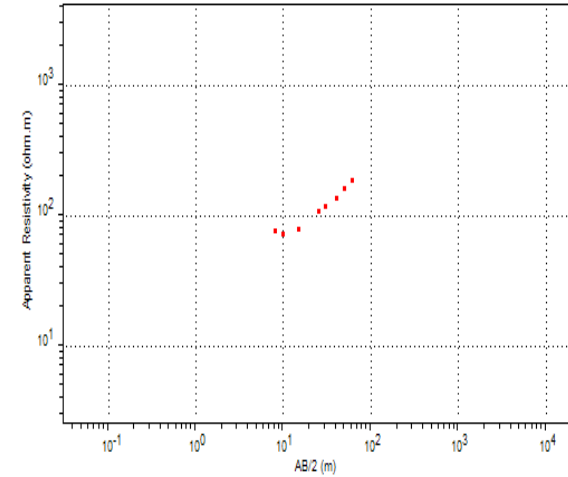
Lagoa do Tubi



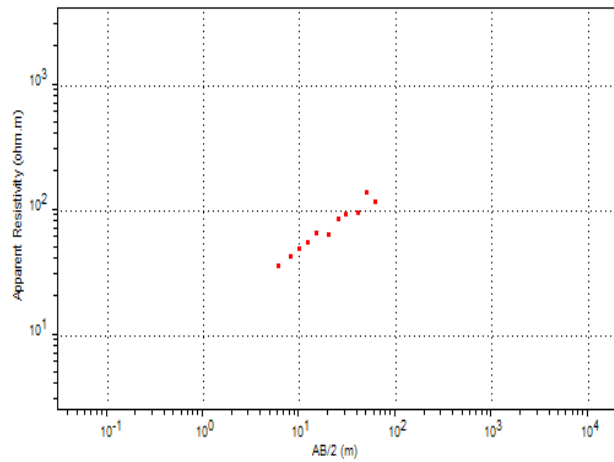
LT - 0m



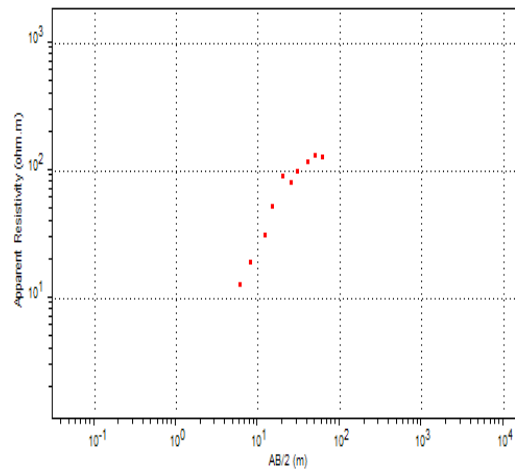
LT - 30m



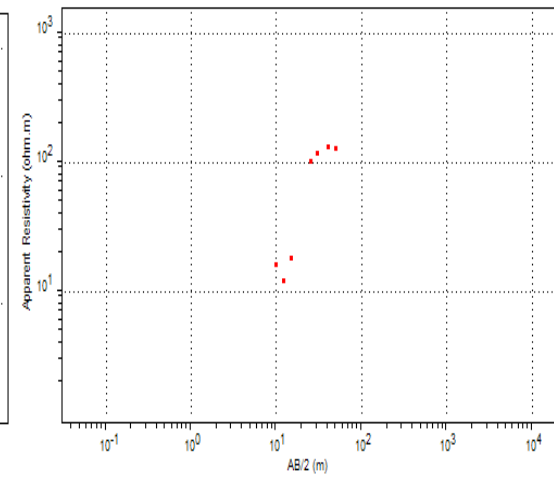
LT - 50m



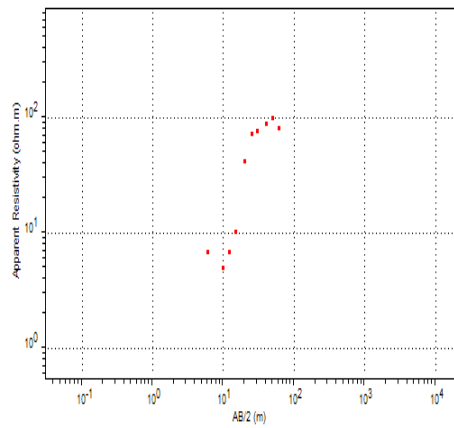
LT - 70 m



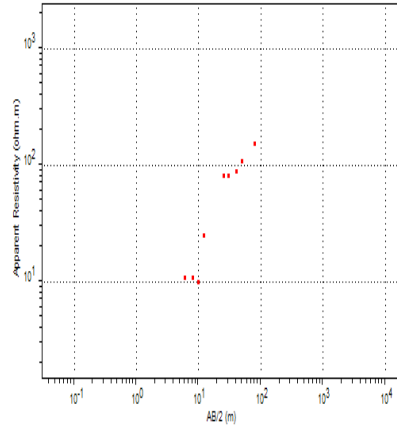
LT - 80m



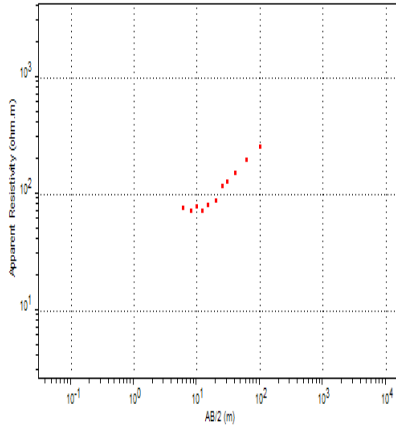
LT - 90m



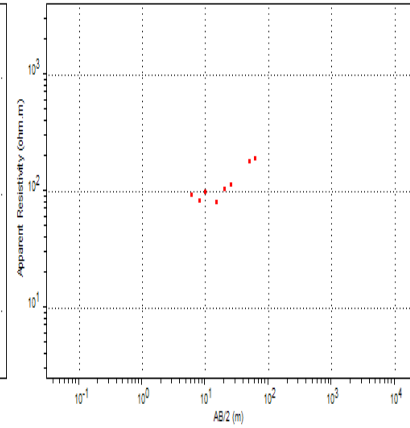
LT - 100m



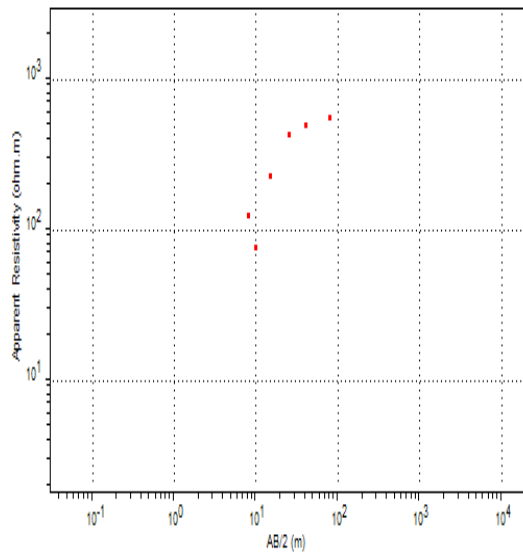
LT - 110 m



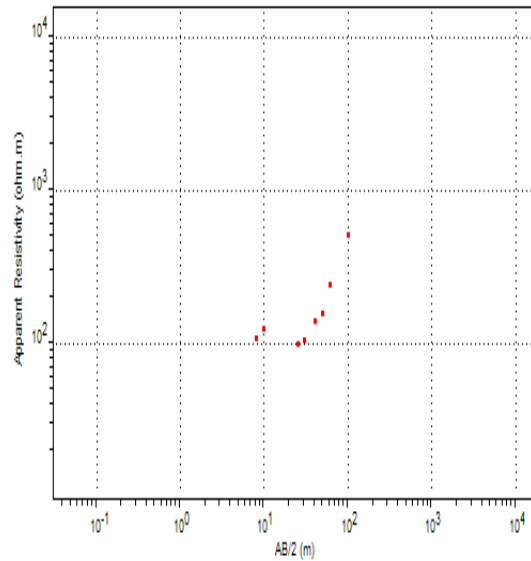
LT - 120m



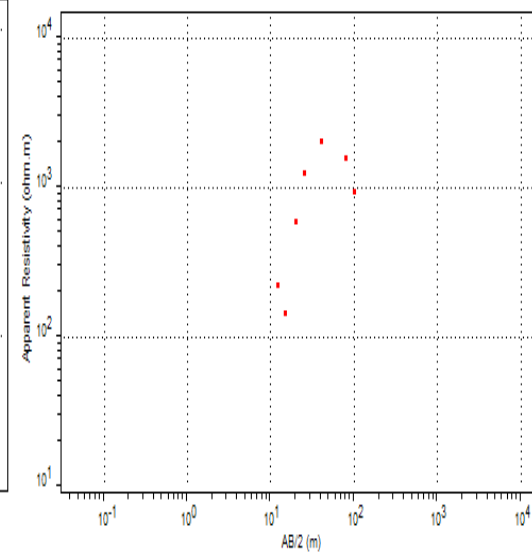
LT - 140m



LT - 160m

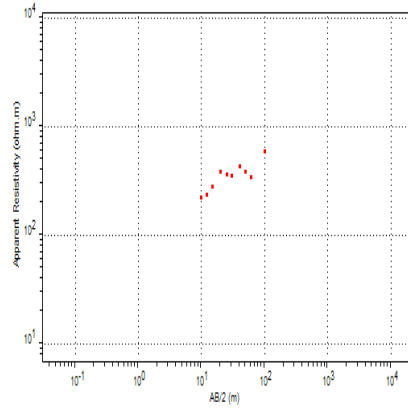


LT - 180 m

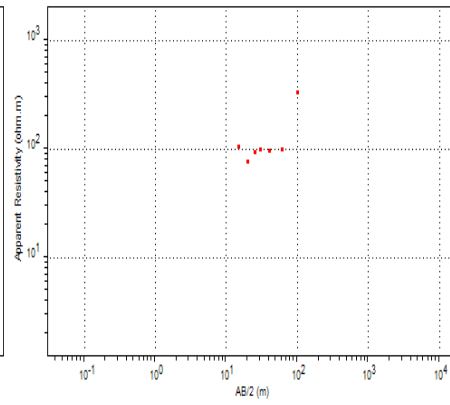


LT - 200m

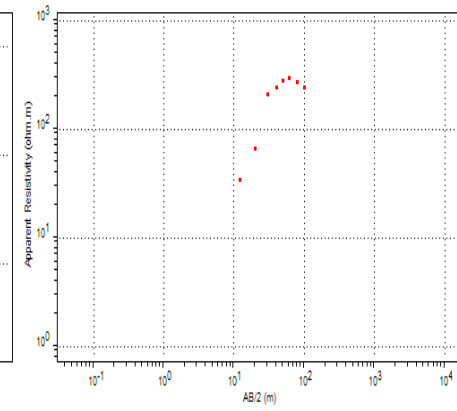
Floresta



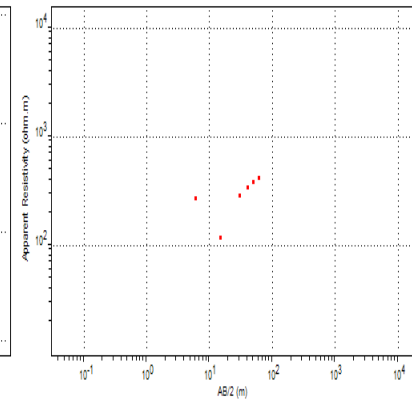
FL - 0m



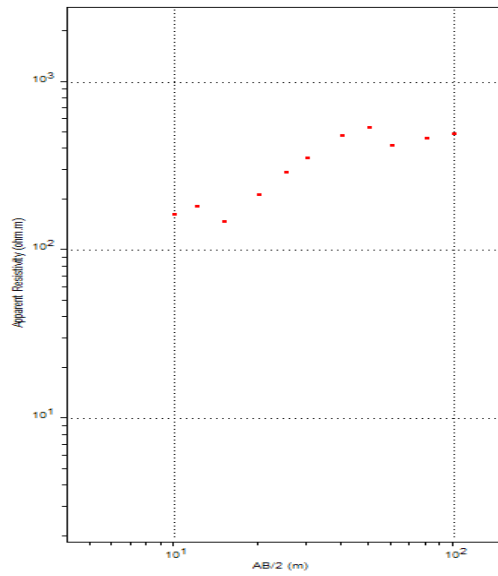
FL - 10m



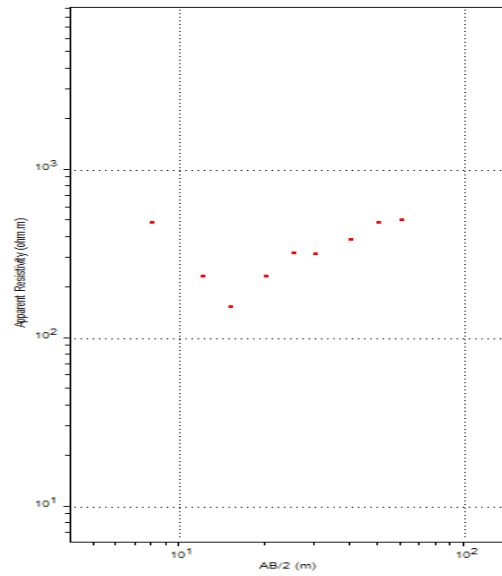
FL - 20m



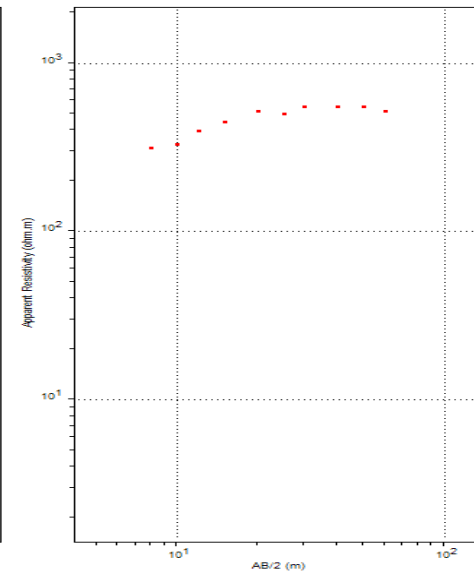
FL - 30m



FL - 40m

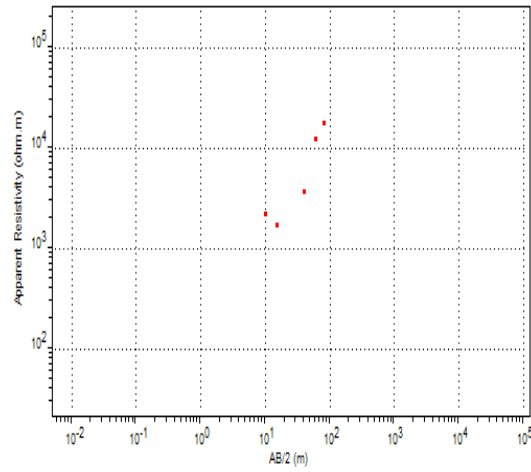


FL - 60m

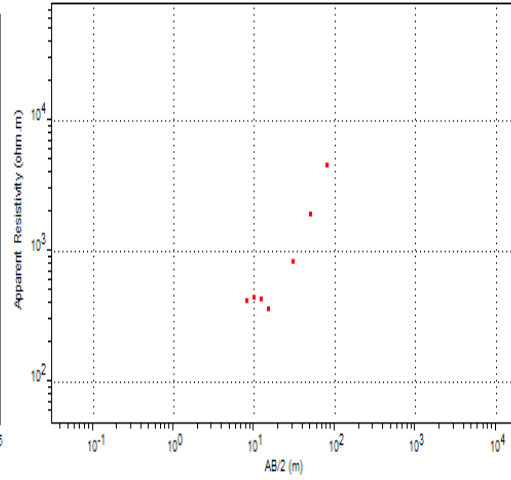


FL - 90m

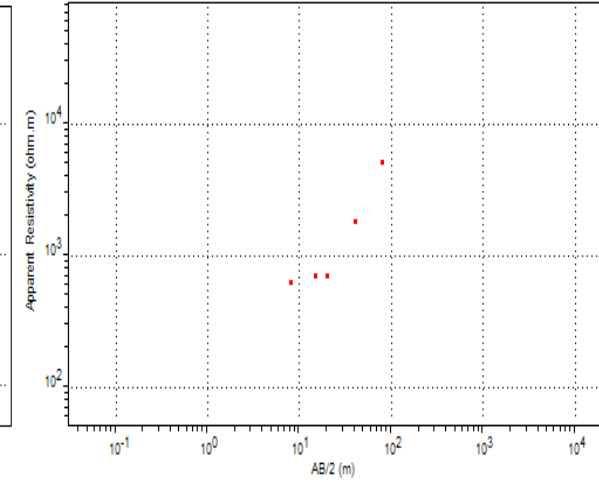
Gentileza



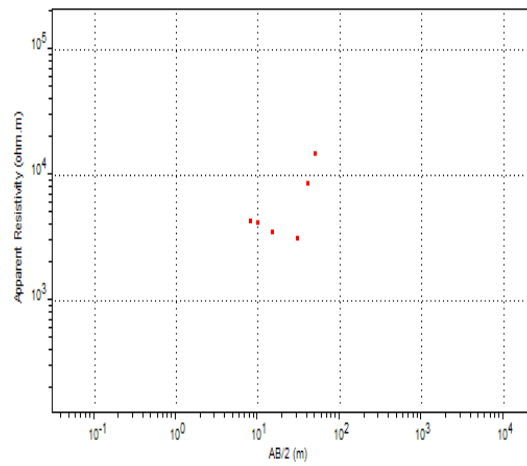
GZ - 0m



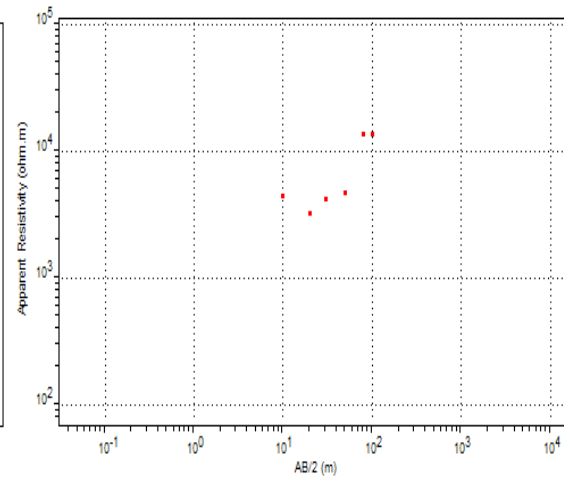
GZ - 20m



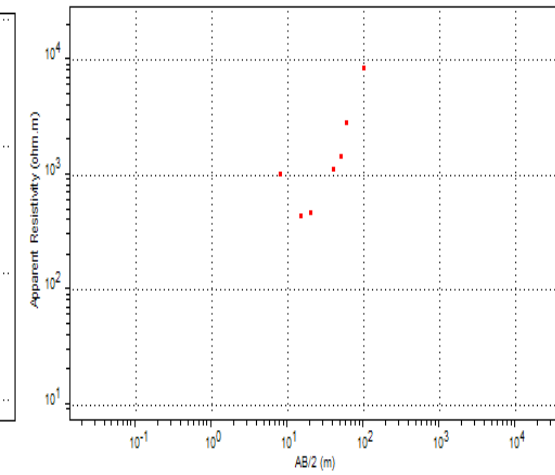
GZ - 30m



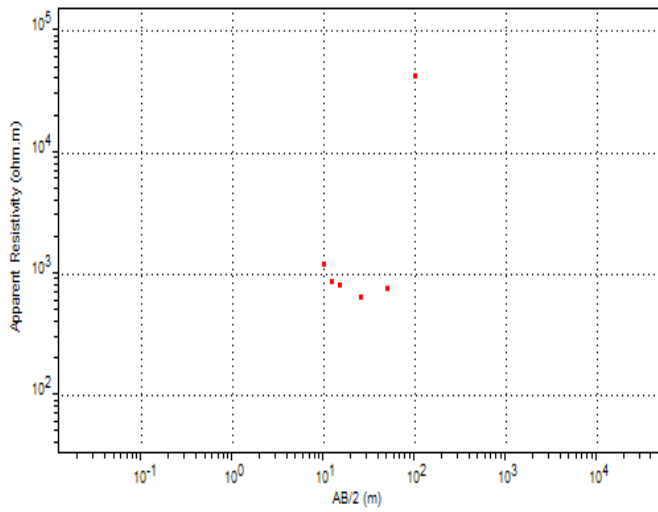
GZ - 40m



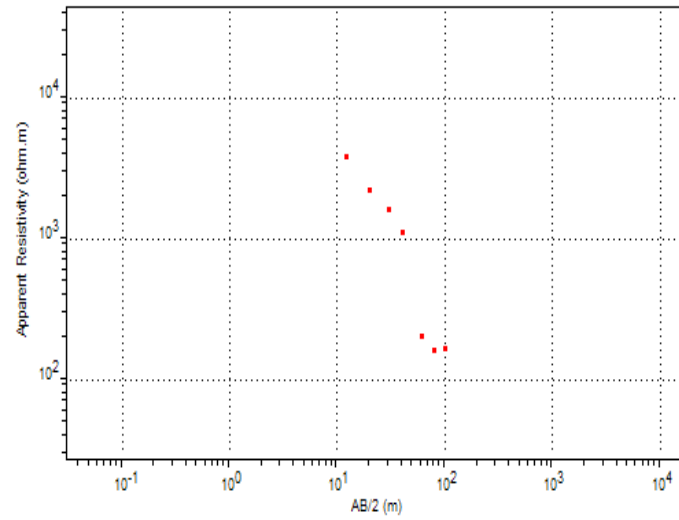
GZ - 50m



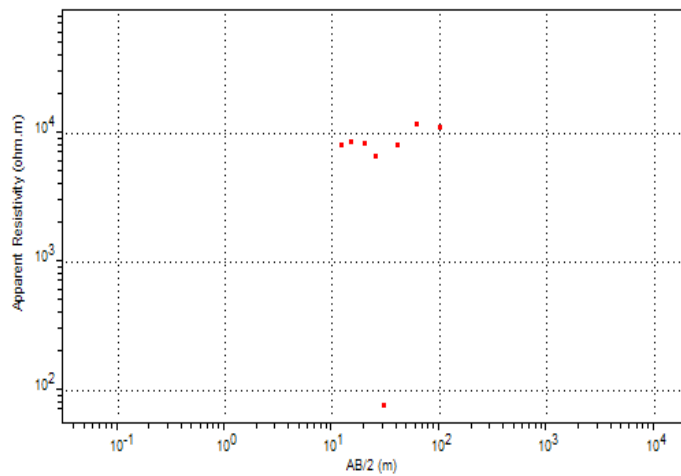
GZ - 60m



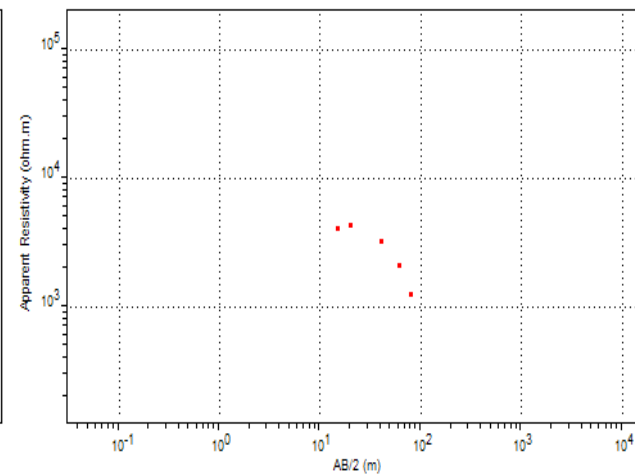
GZ - 70m



GZ - 80m

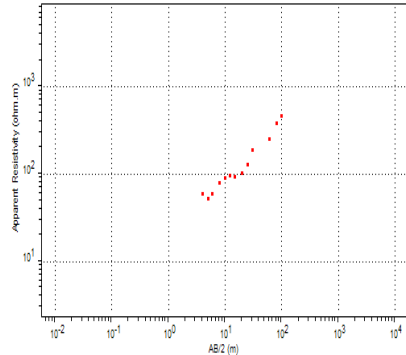


GZ - 90m

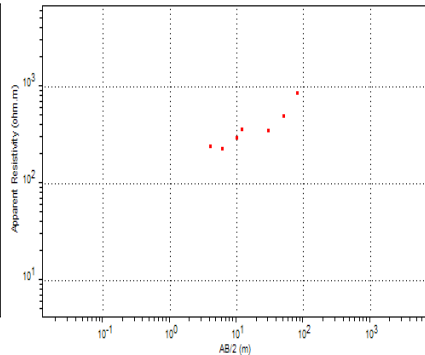


GZ 110m

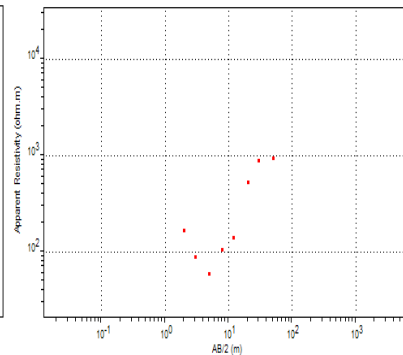
Bom Jardim



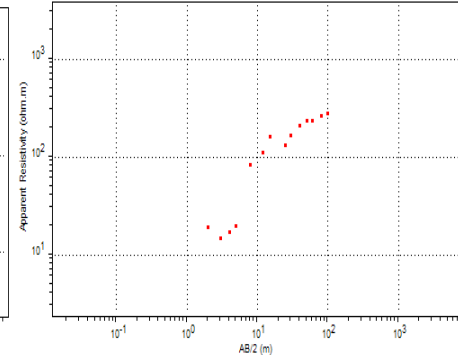
BJ - 0m



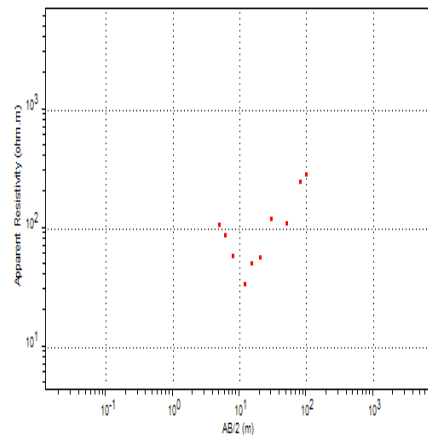
BJ - 20m



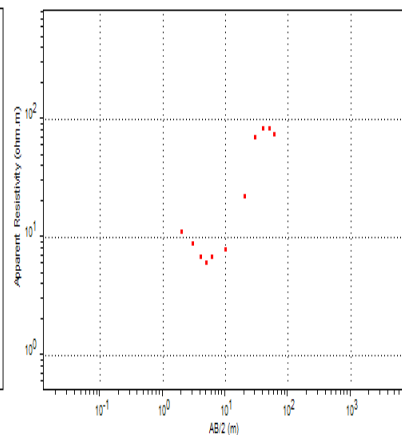
BJ - 40m



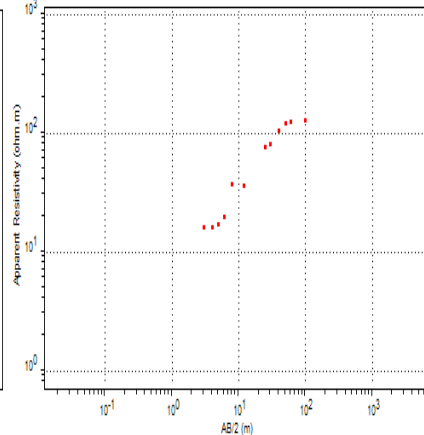
BJ - 50 m



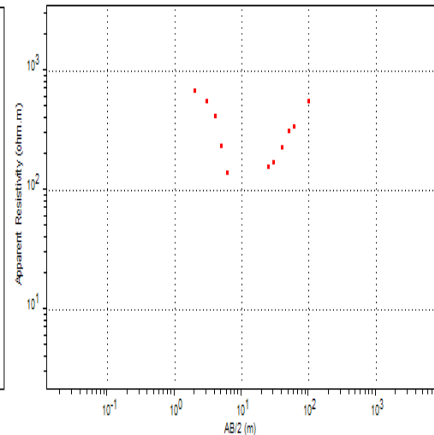
BJ - 60m



BJ - 70m

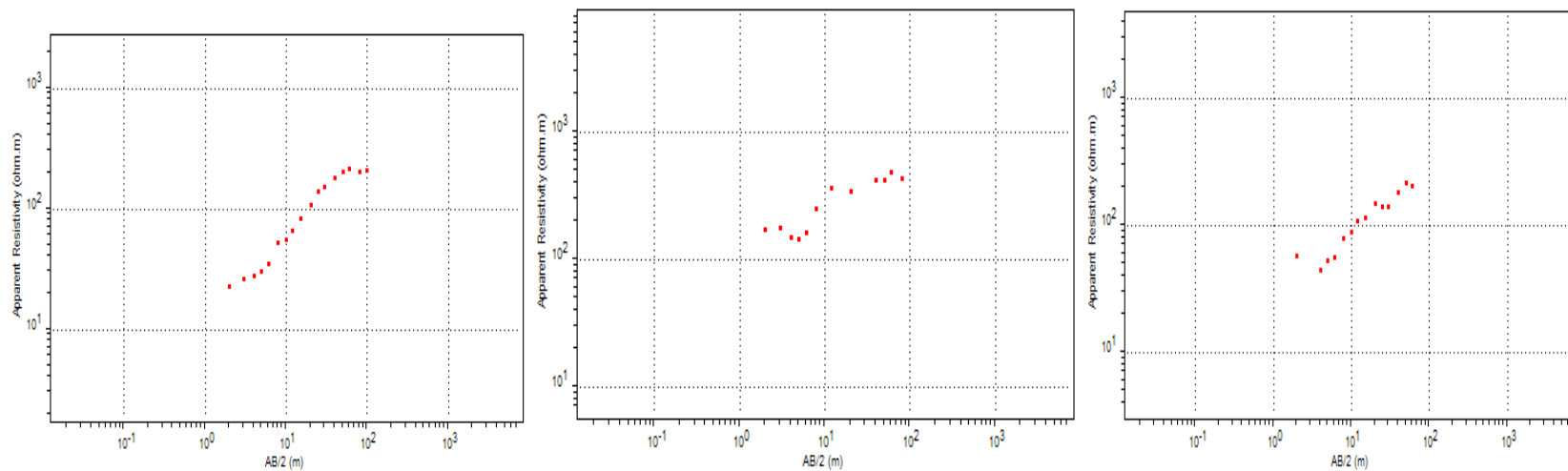


BJ - 80m



BJ - 100 m

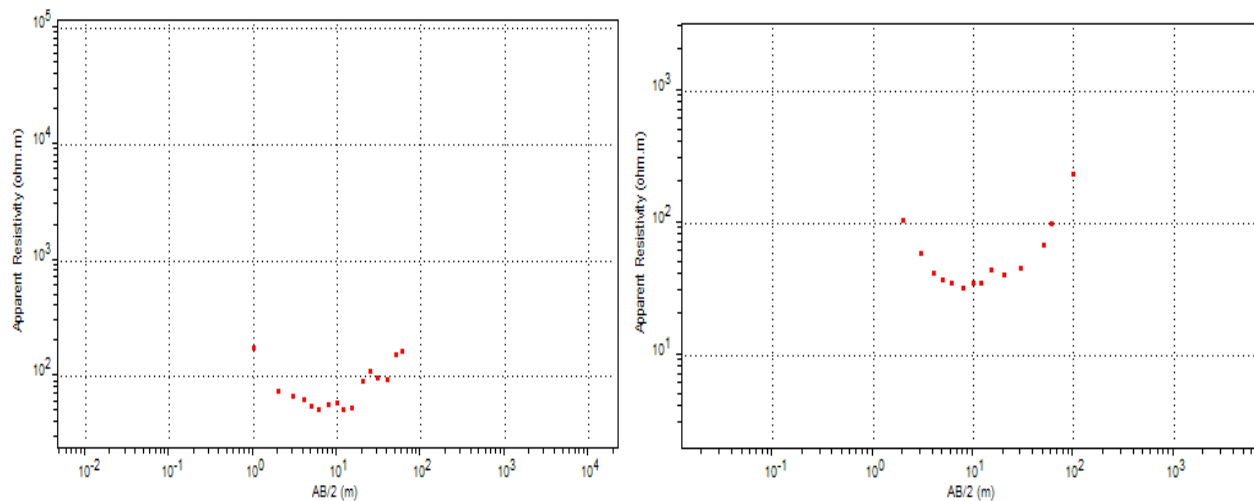
Lagoa das Areias de Monte Alegre de Sergipe



LA – 0m

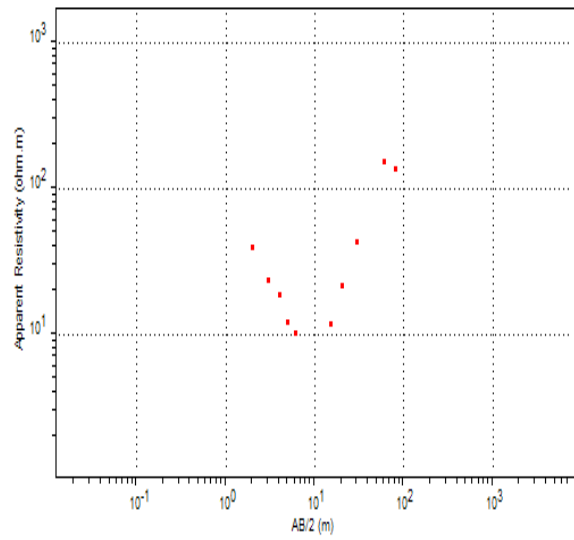
LA – 65m

LA – 135m

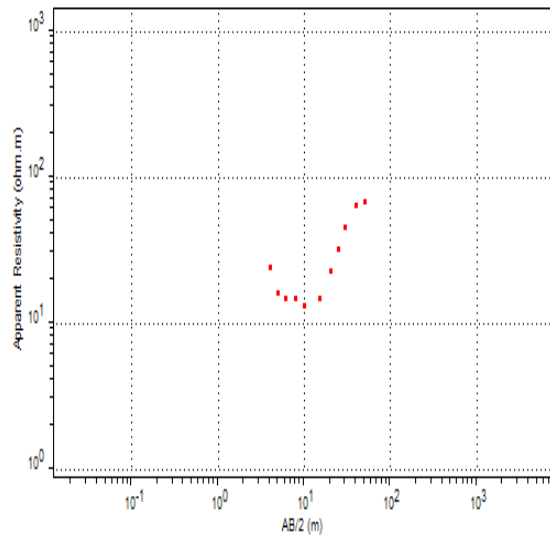


LA – 185m

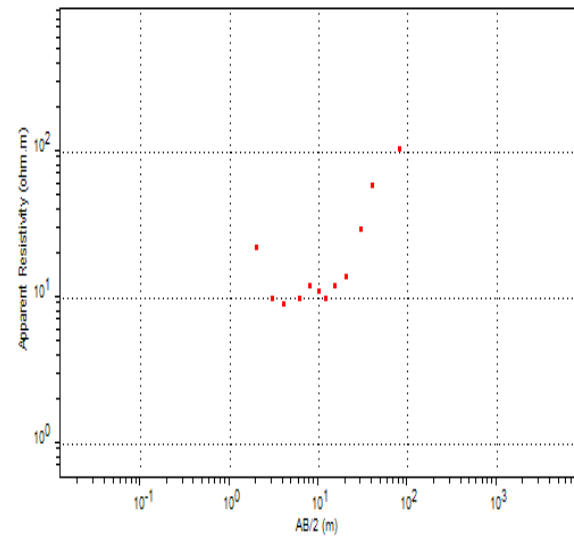
LA – 260m



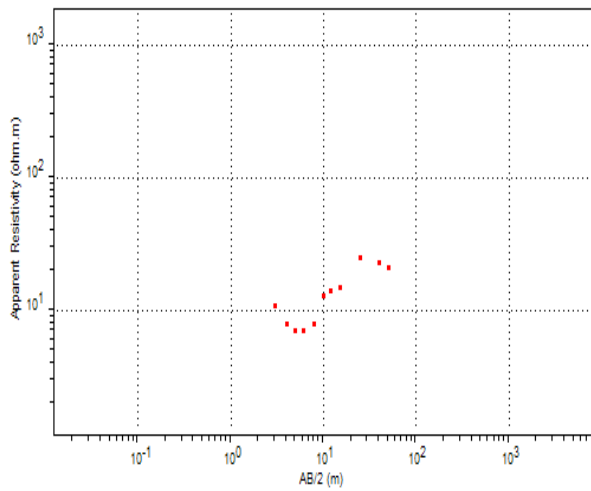
LA - 290m



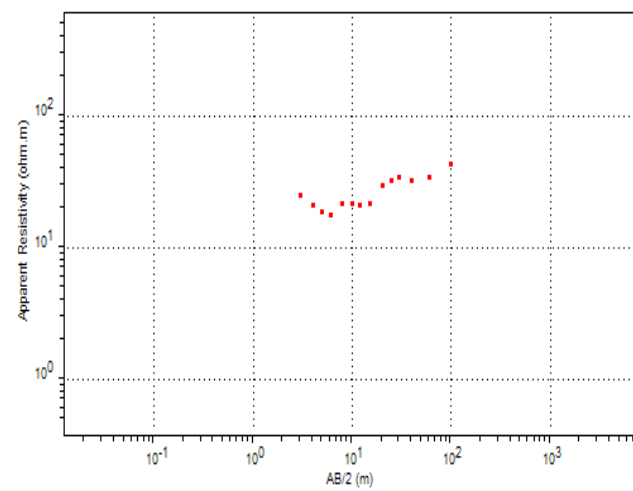
LA - 330m



LA - 360m

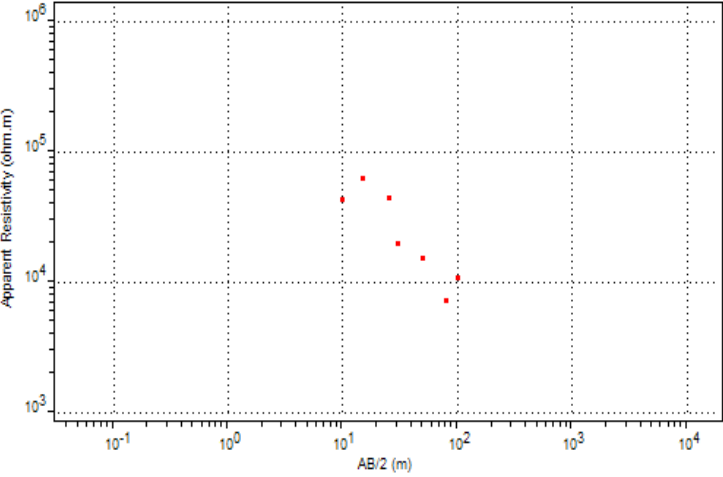


LA - 400m

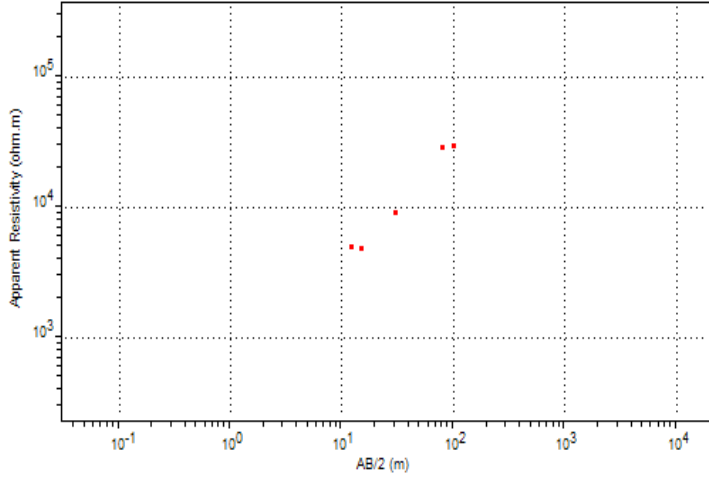


LA - 460 m

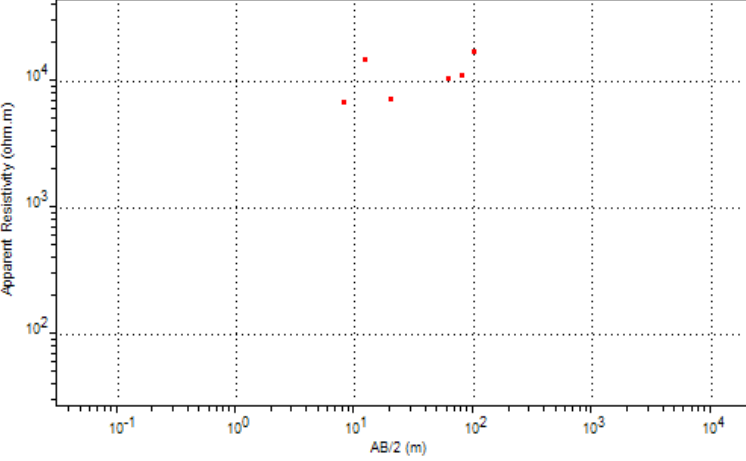
Lagoa das Areias de Poço Redondo



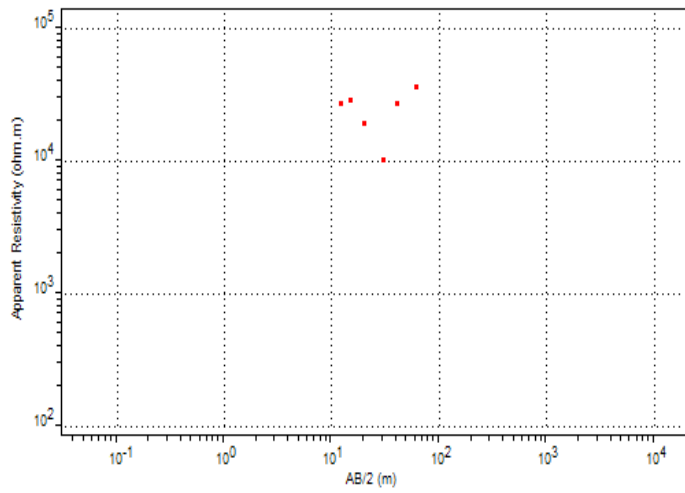
LAPR - 0m



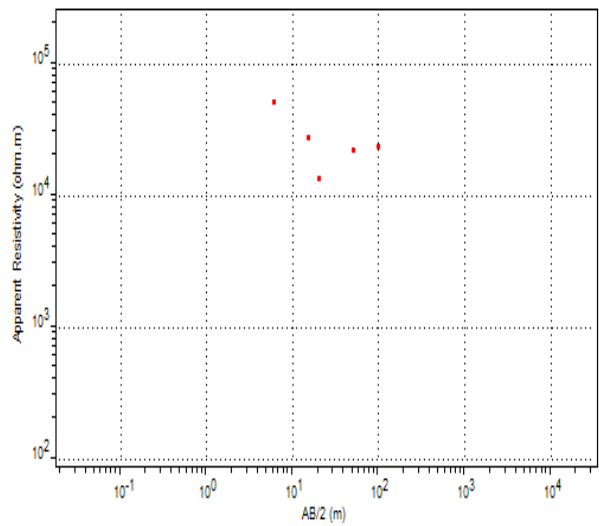
LAPR - 20m



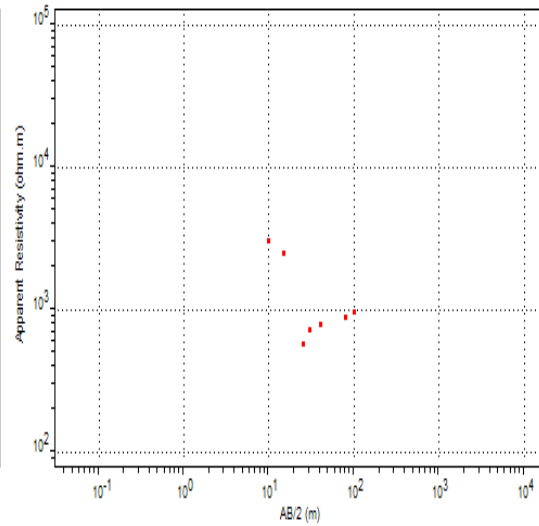
LAPR - 30m



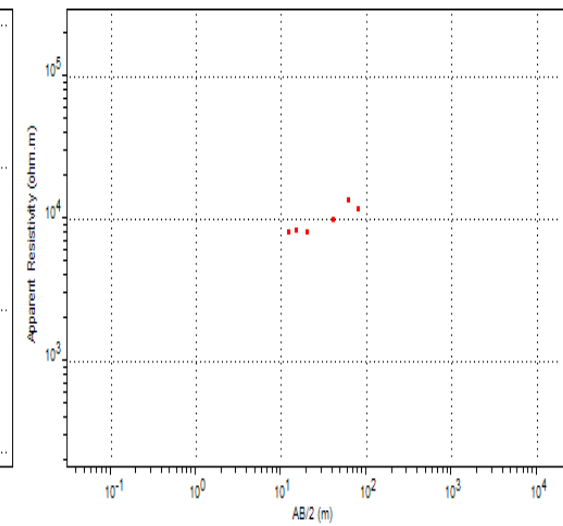
LAPR - 40 m



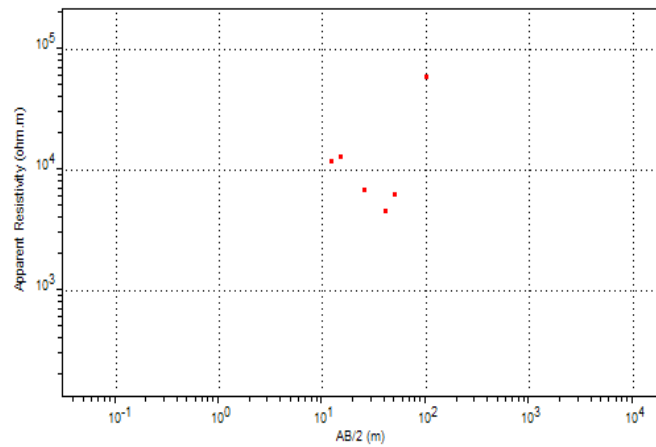
LAPR - 50m



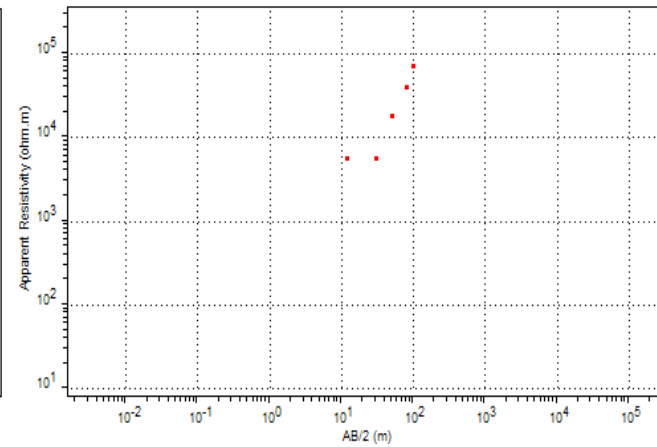
LAPR - 60m



LAPR - 80m

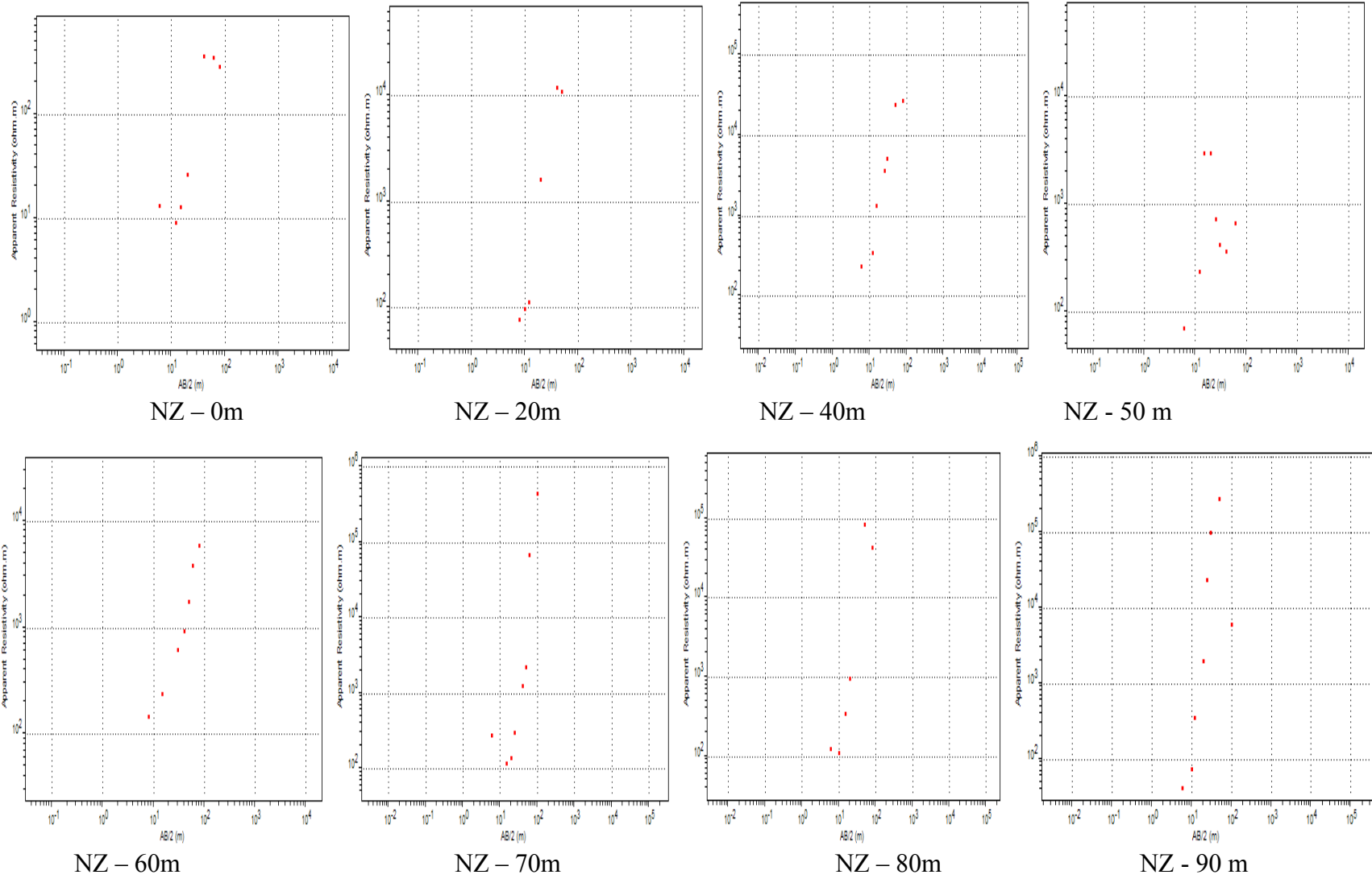


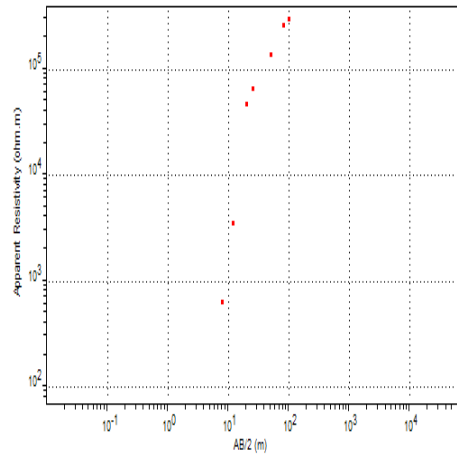
LAPR - 100m



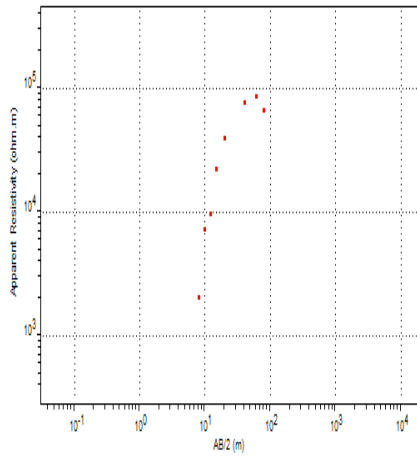
LAPR - 120m

Nazaré

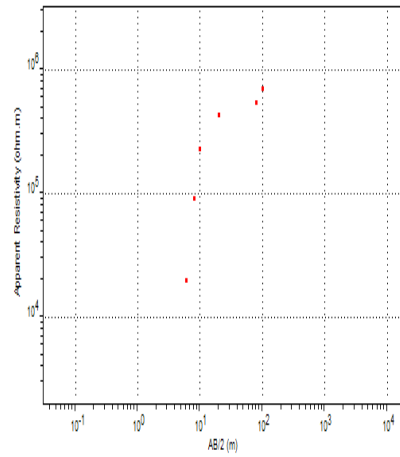




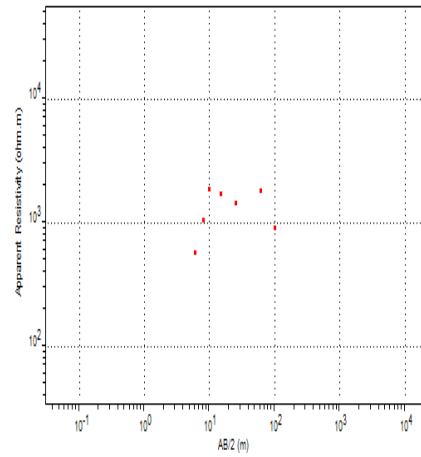
NZ - 110m



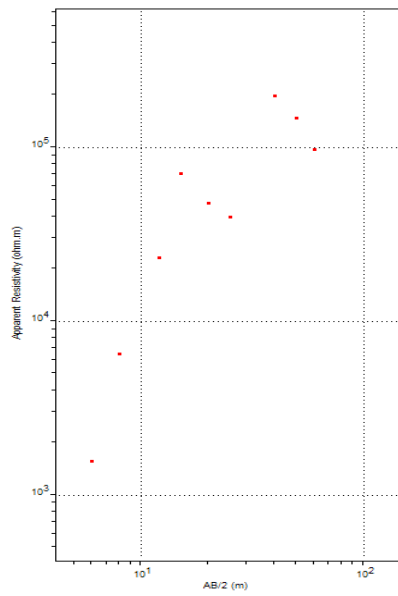
NZ - 130m



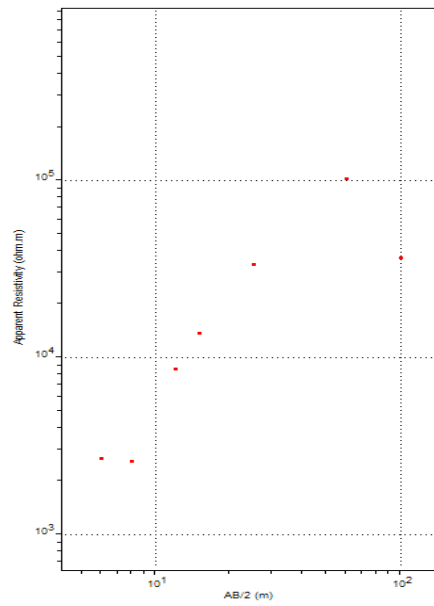
NZ - 150m



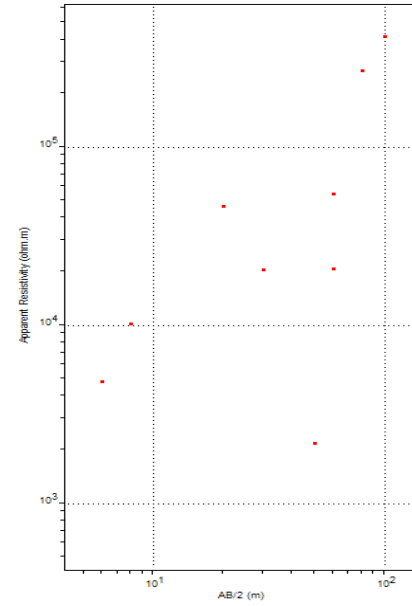
NZ - 170 m



NZ - 190m



NZ - 210m



NZ - 230 m

APENDICE II – CURVAS DO EM34.

As curvas de resistividade aparente obtidas com o EM34 estão apresentadas para cada perfil em uma figura.

Os perfis estão agrupados por município.

Os dados foram obtidos com receptor e transmissor espaçados de 10m (frequência de 6,4KHz), 20 m (1,6 KHz) e 40 m (0,4 KHz).

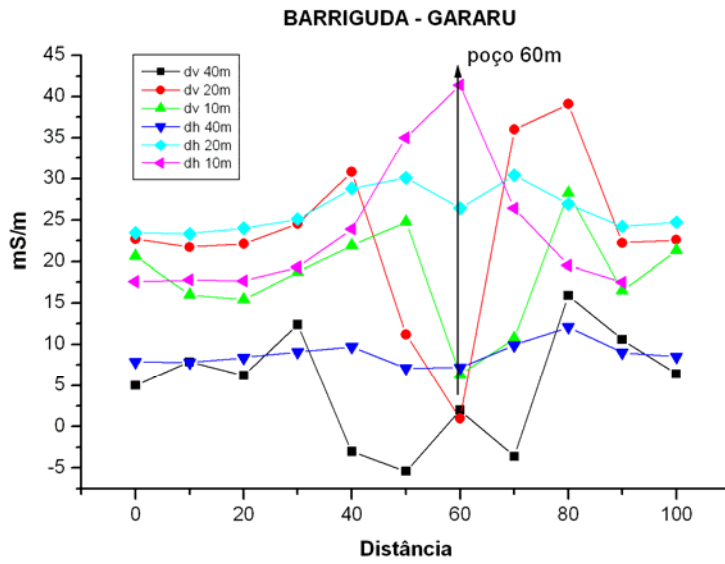
Nas figuras DH representa medidas com configuração de dipolo horizontal (bobinas na vertical) e DV com configuração de dipolo vertical (bobinas na horizontal).

Nas figuras estão sendo indicados os pontos de anomalia de resistividade, que podem estar associadas a água subterrânea.

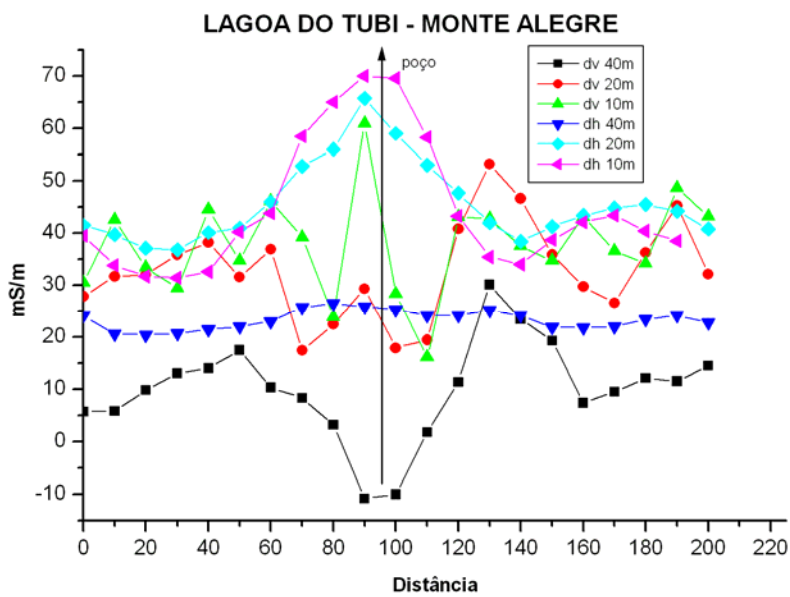
Em alguns perfis são indicados mais de um ponto. Assim, foram indicados 13 pontos para a perfuração de poços.

MUNICIPIO DE GARARU

BARRIGUDA

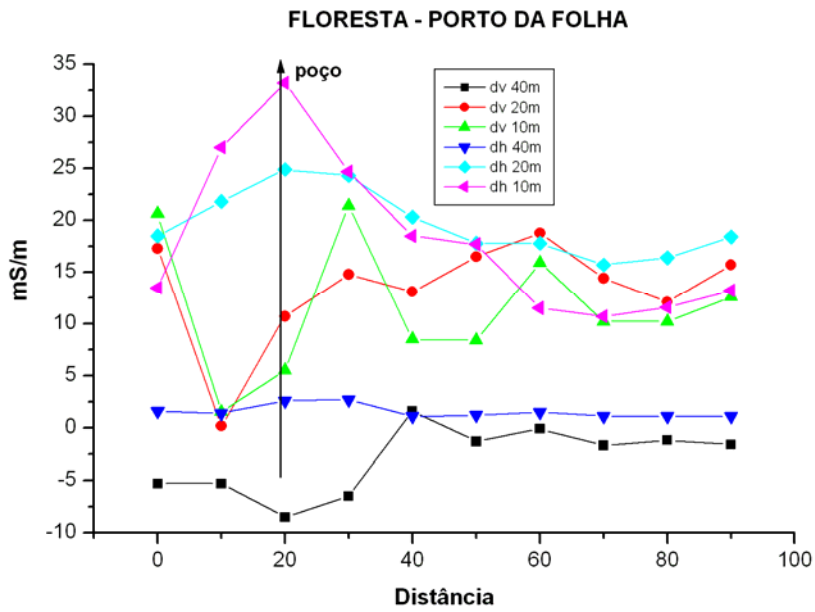


LAGOA DO TUBI

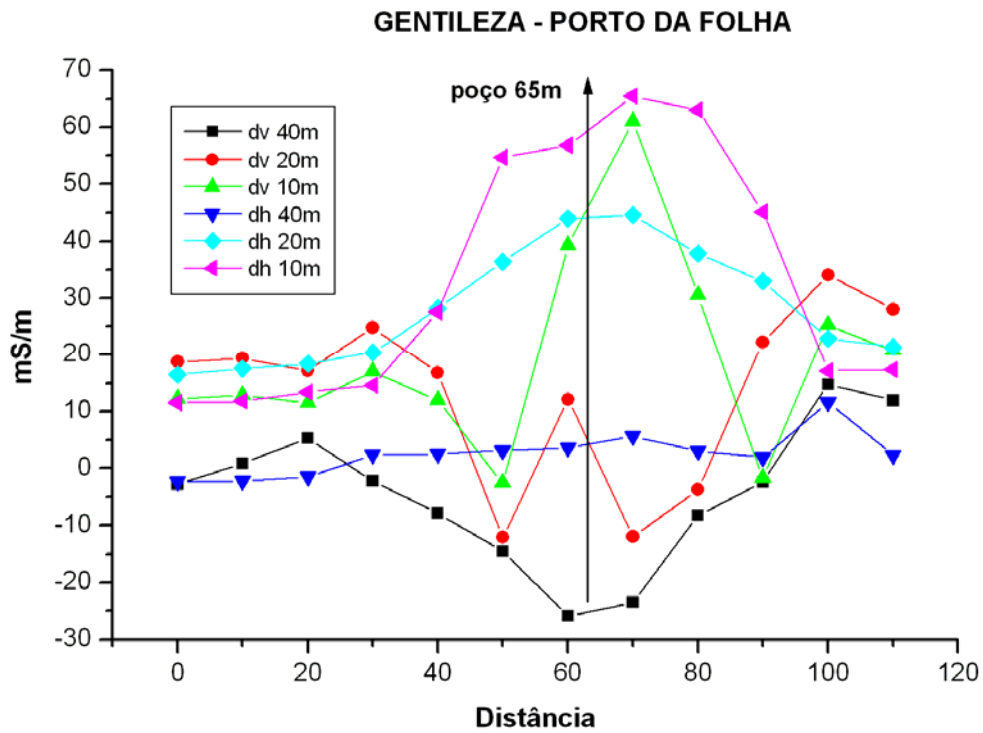


MUNICIPIO DE PORTO DA FOLHA

FLORESTA

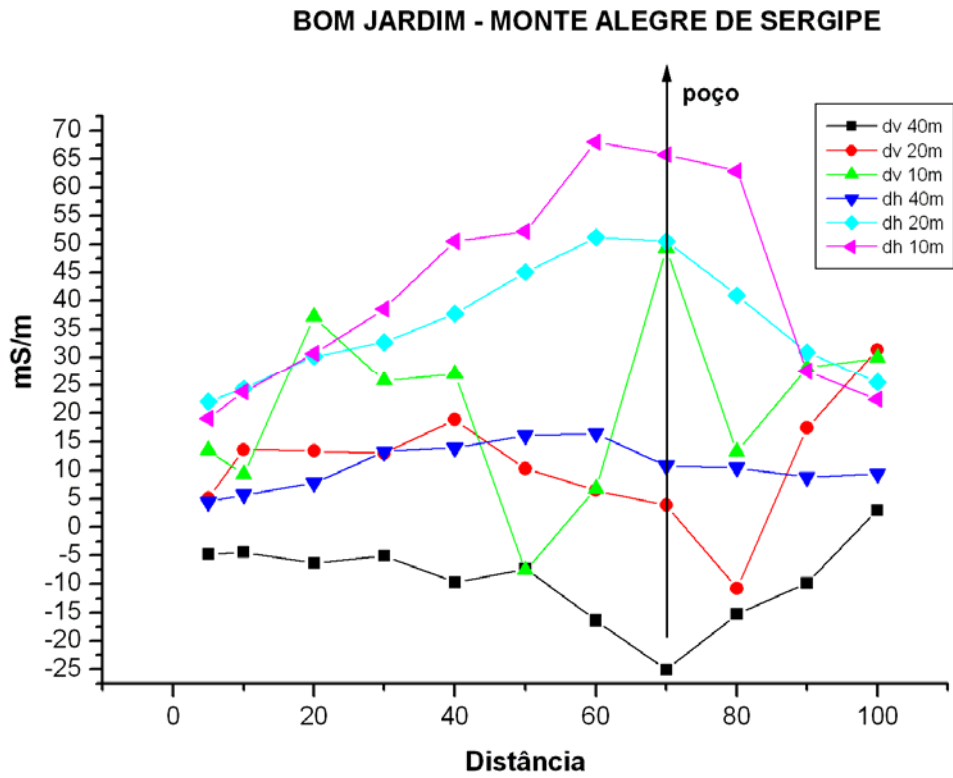


GENTILEZA

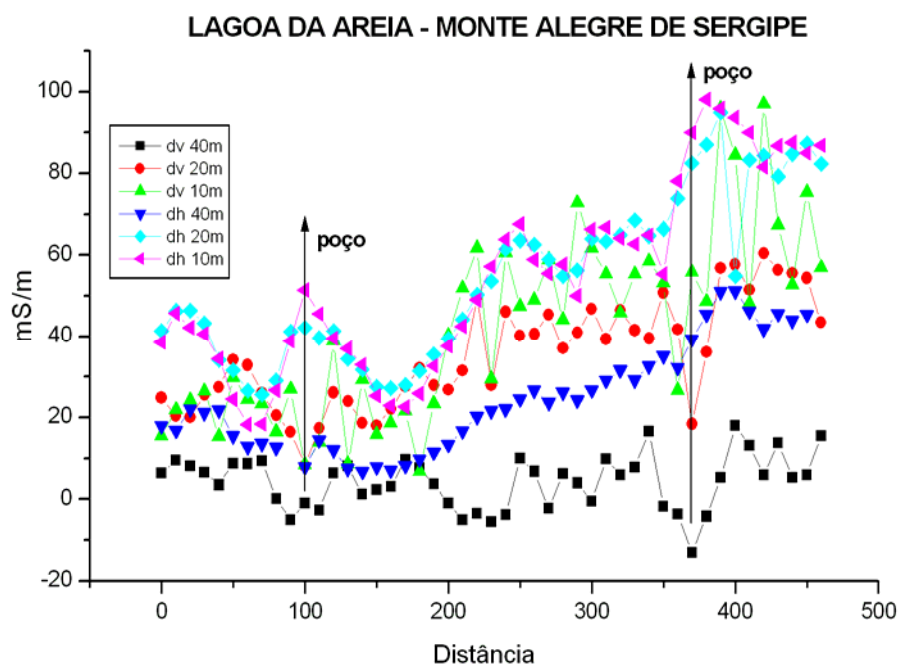


MUNICIPIO DE MONTE ALEGRE DE SERGIPE

BOM JARDIM

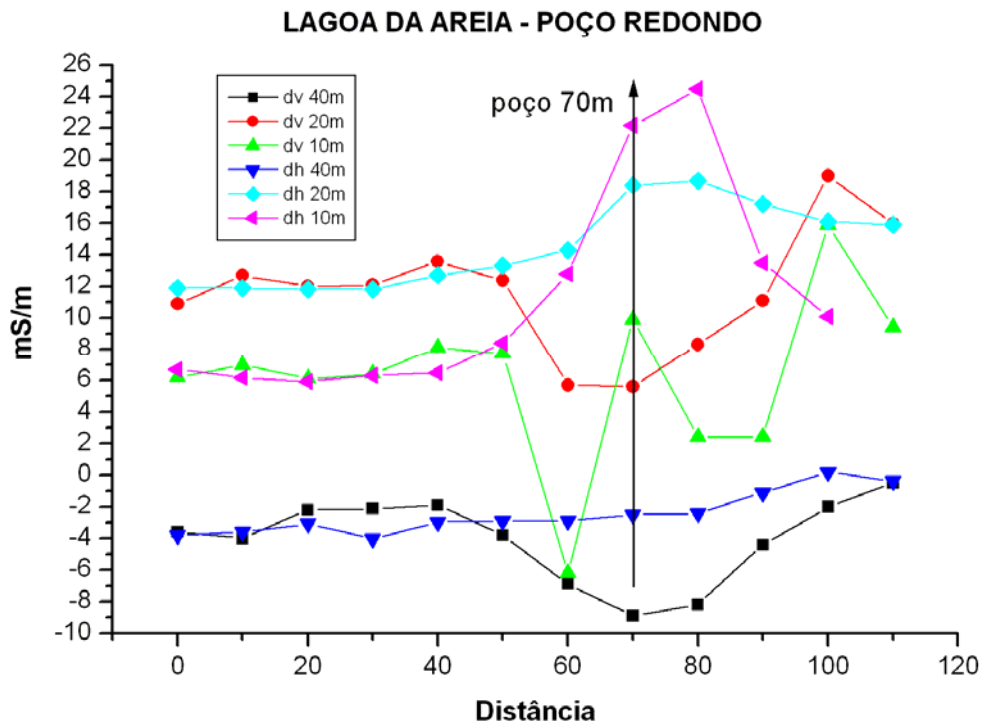


LAGOA DAS AREIAS

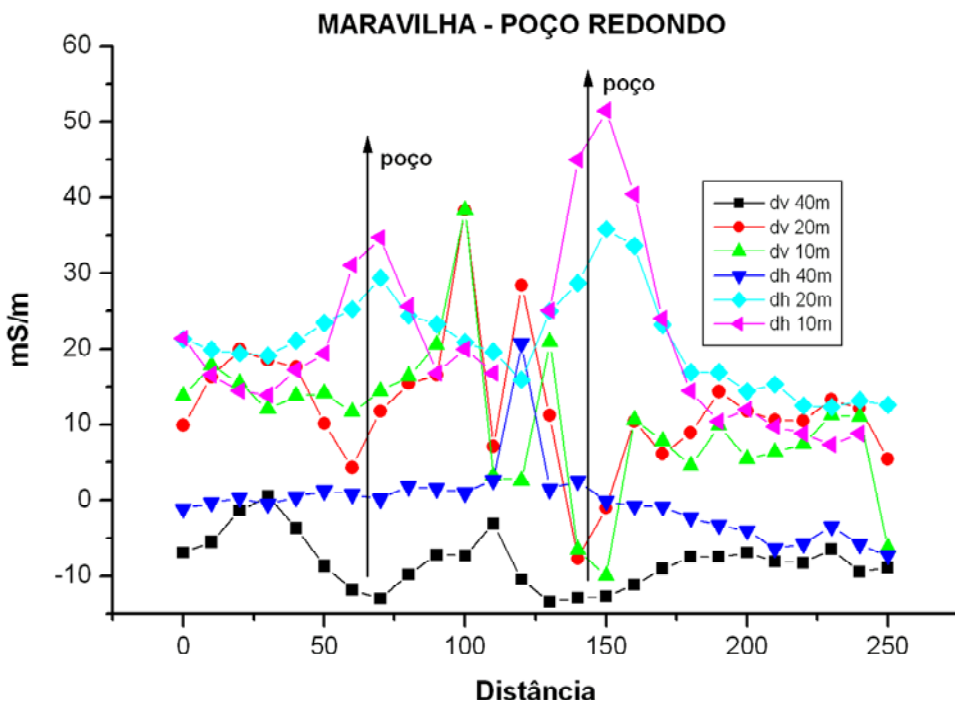


MUNICÍPIO DE POÇO REDONDO

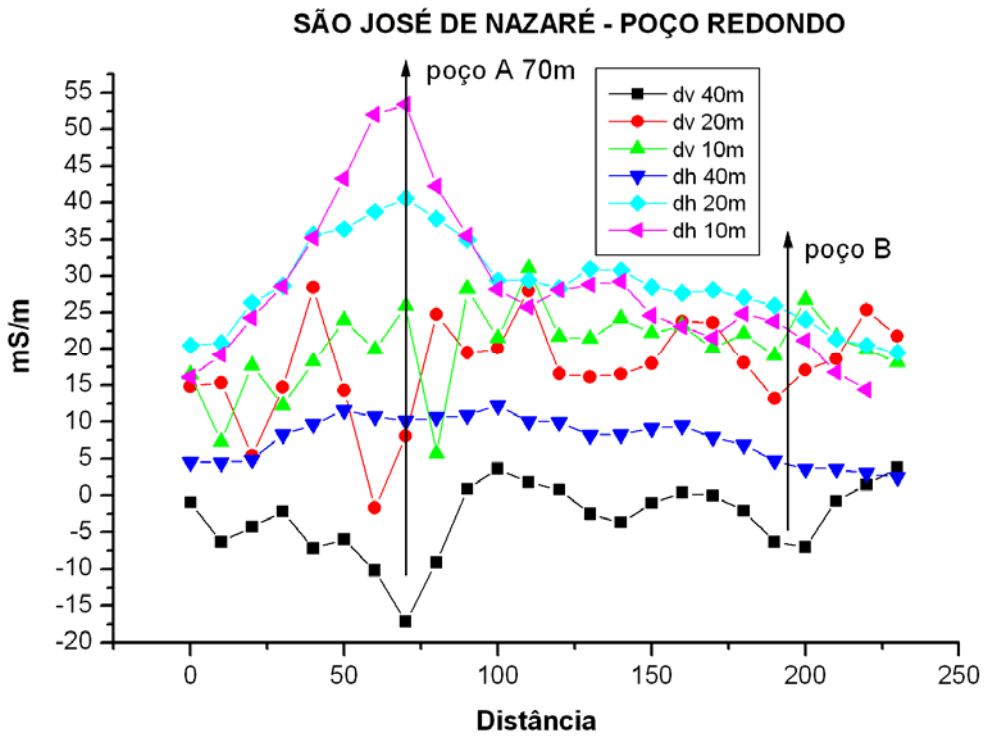
LAGOA DAS AREIAS



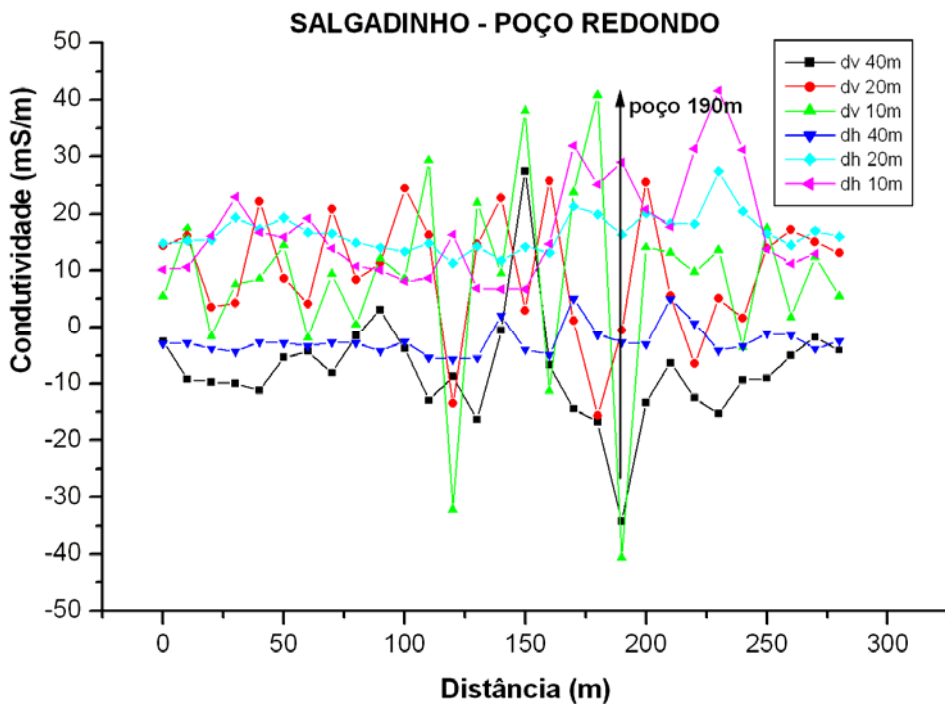
MARAVILHA



NAZARE



SALGADIHO



APENDICE III – MODELO DE ELETRORRESISTIVIDADE 1D E 2D.

As figuras apresentam os resultados das inversões unidimensional, obtida com o programa WingLink, e das inversões bidimensionais obtidas com o programa DC2D.

Para a inversão unidimensional está sendo apresentada a seção composta do perfil.

As inversões uni e bidimensionais estão agrupadas por município.

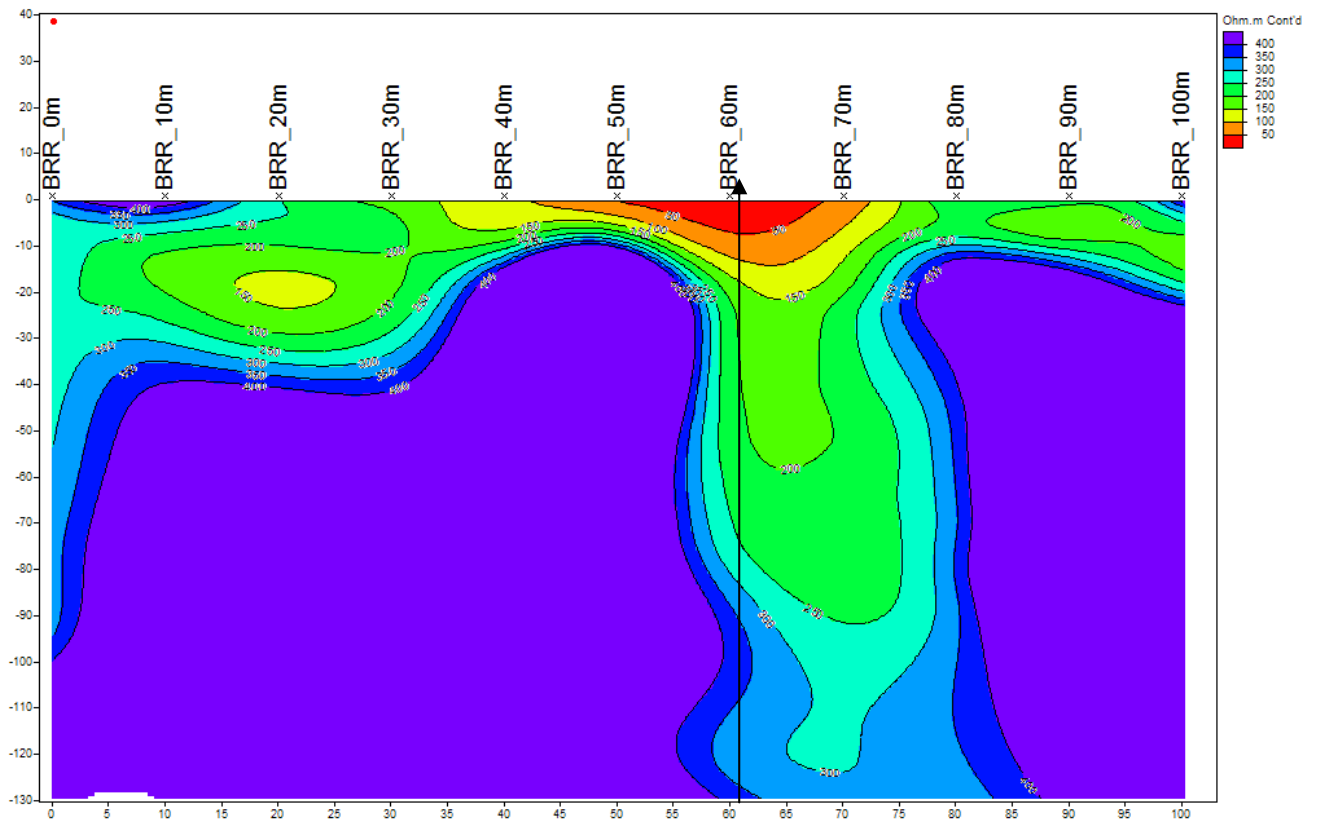
Infelizmente não foi possível utilizar a mesma escala de cores. Além disso, algumas legendas, na figura, são escritas pelo programa.

Nas figuras são localizados os mesmos pontos indicados pelas curvas do EM34.

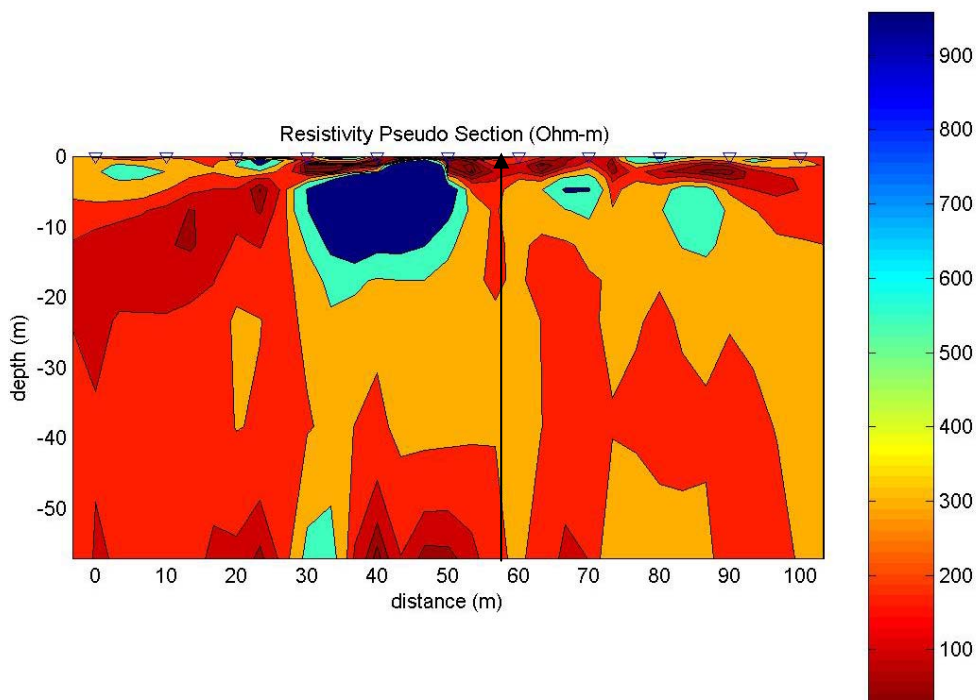
MUNICIPIO DE GARARU

BARRIGUDA

Modelo 1D – Seção Composta

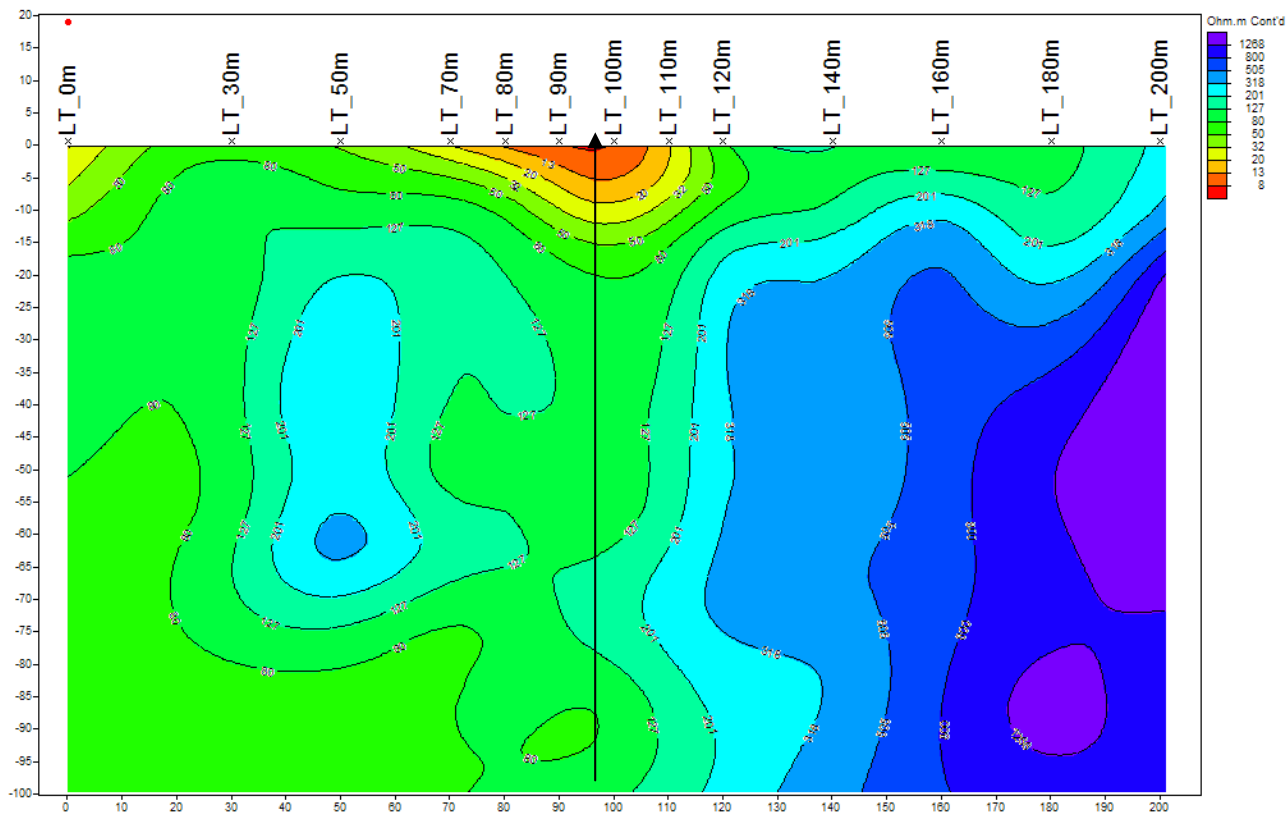


Modelo 2D – Seção de Resistividade

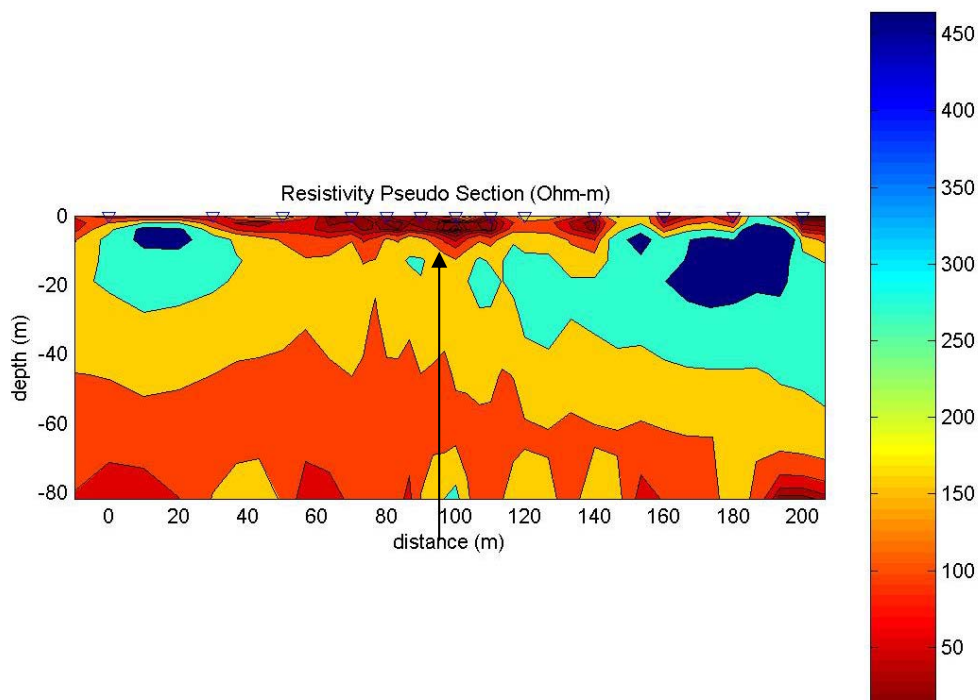


LAGOA DO TUBI

Modelo 1D – Seção Composta.



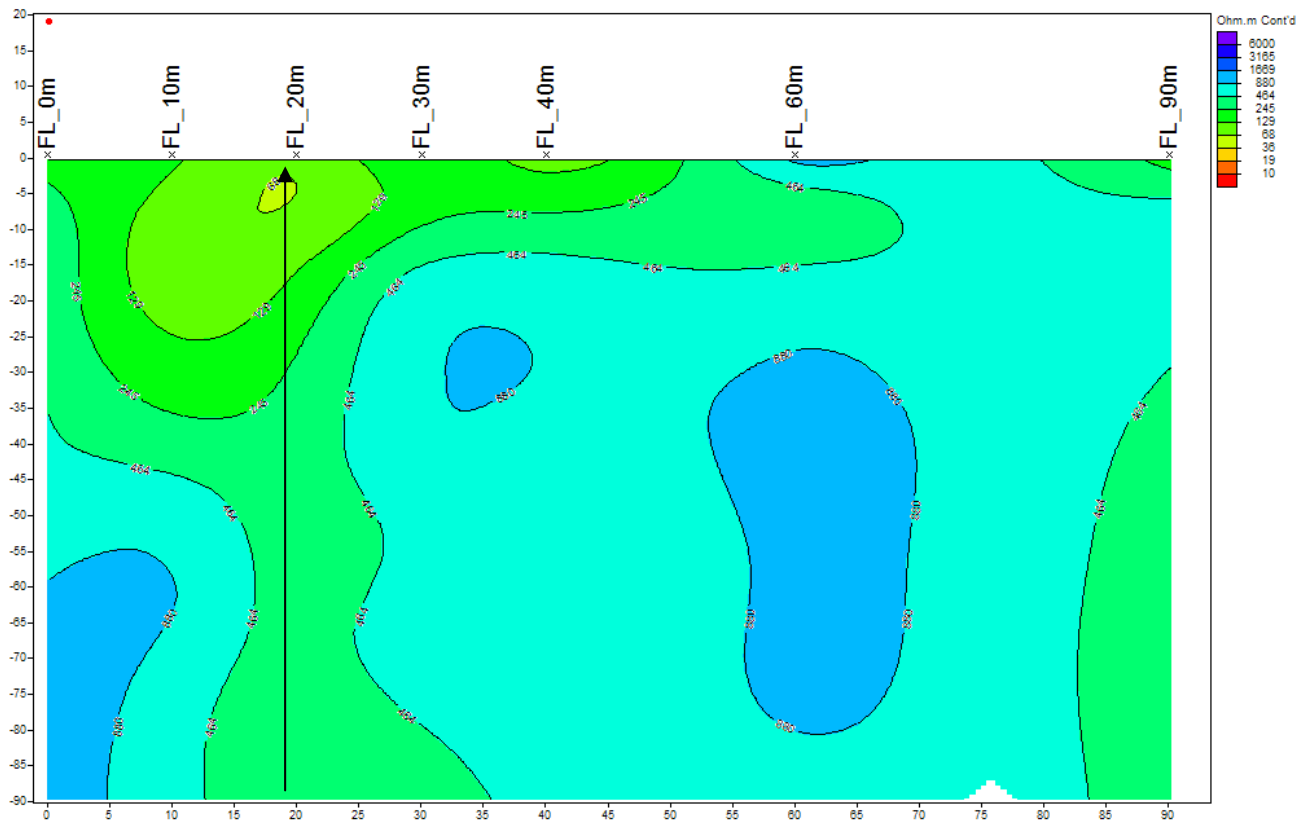
Modelo 2D – Seção de Resistividade



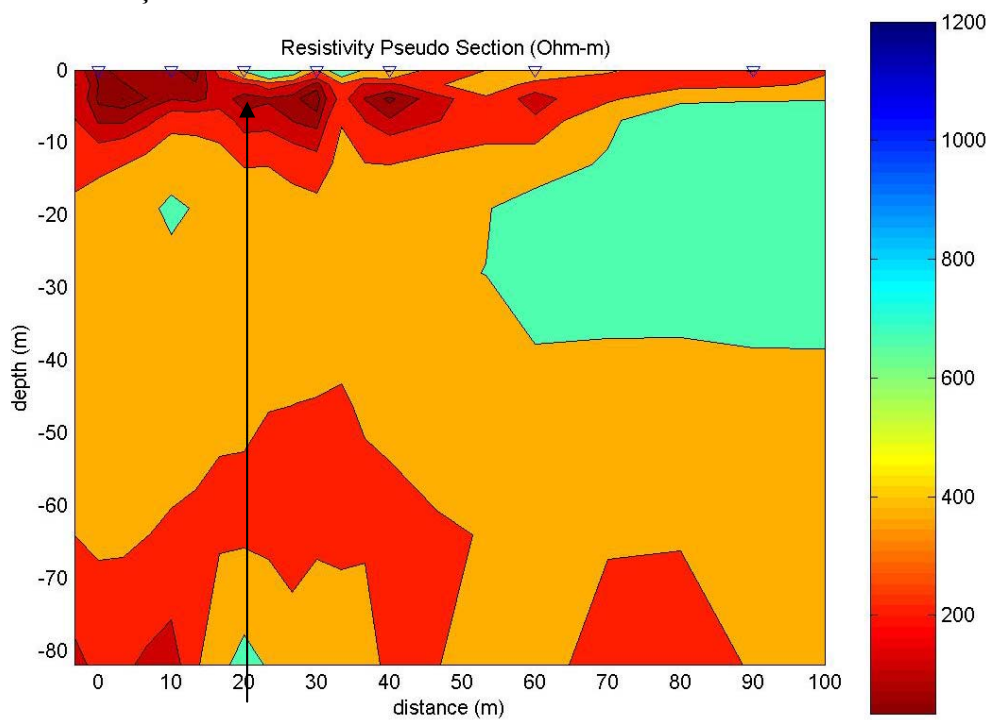
MUNICÍPIO DE PORTO DA FOLHA

FLORESTA

Modelo 1D – Seção Composta

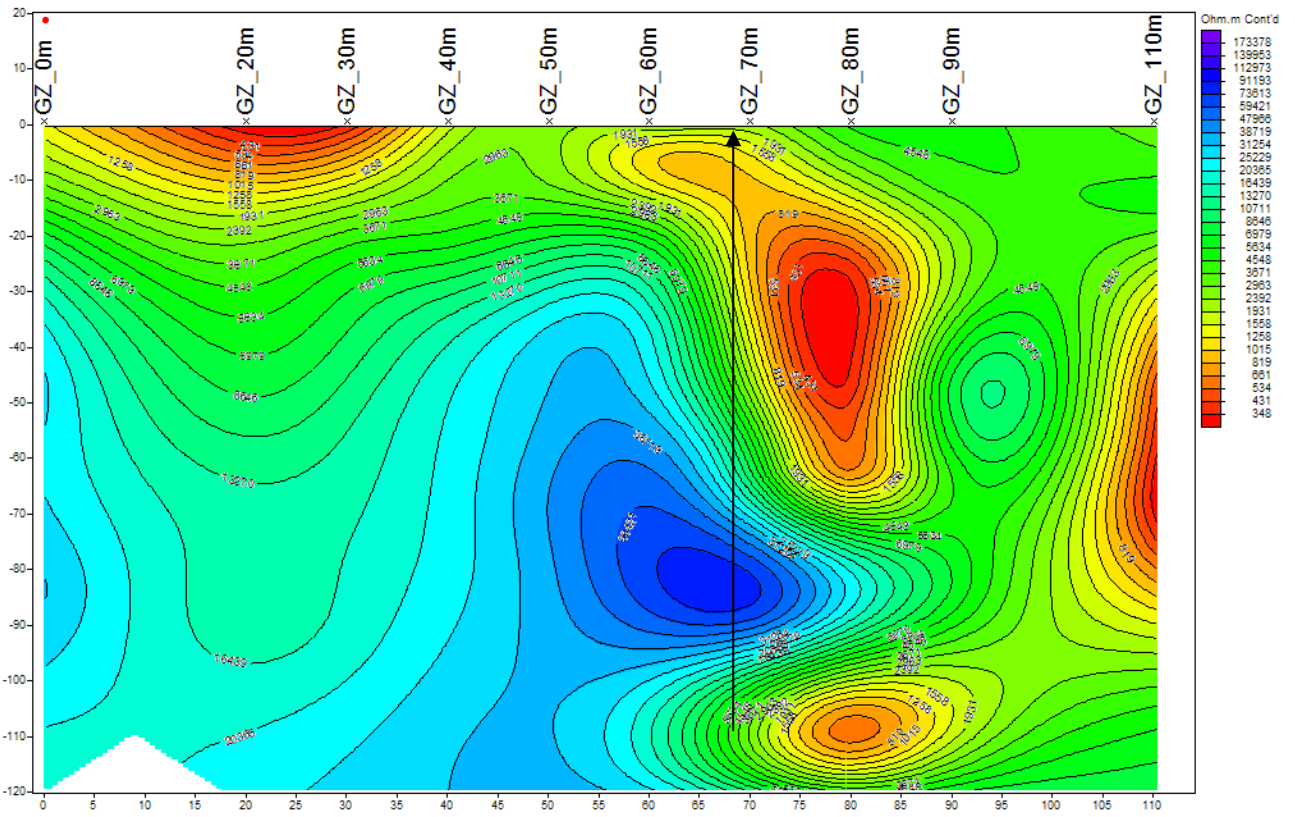


Modelo 2D – Seção de Resistividade

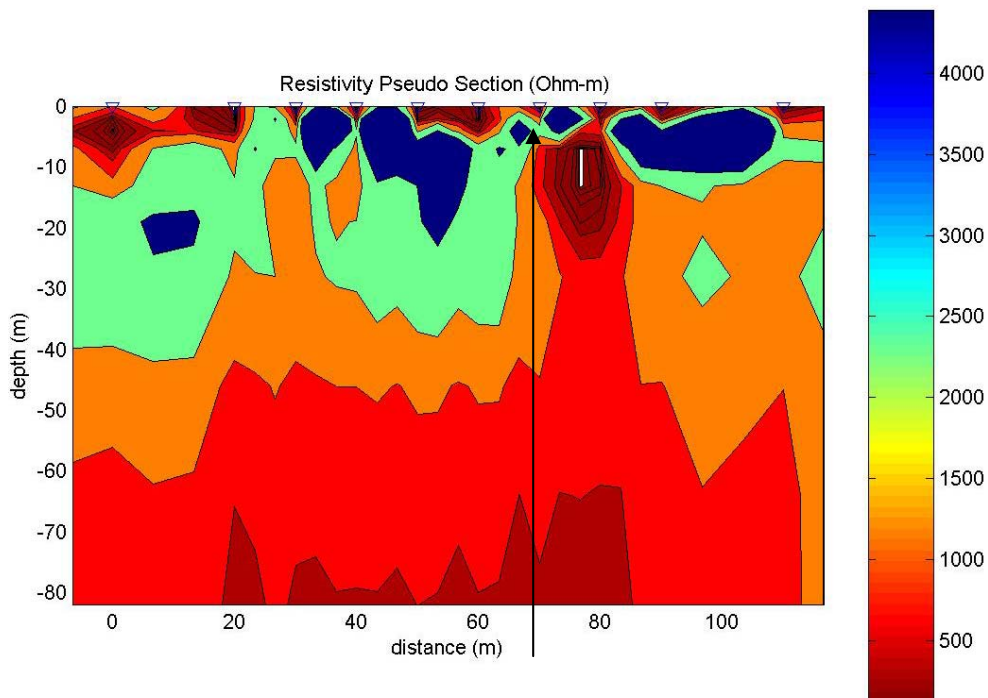


GENTILEZA

Modelo 1D – Seção Composta



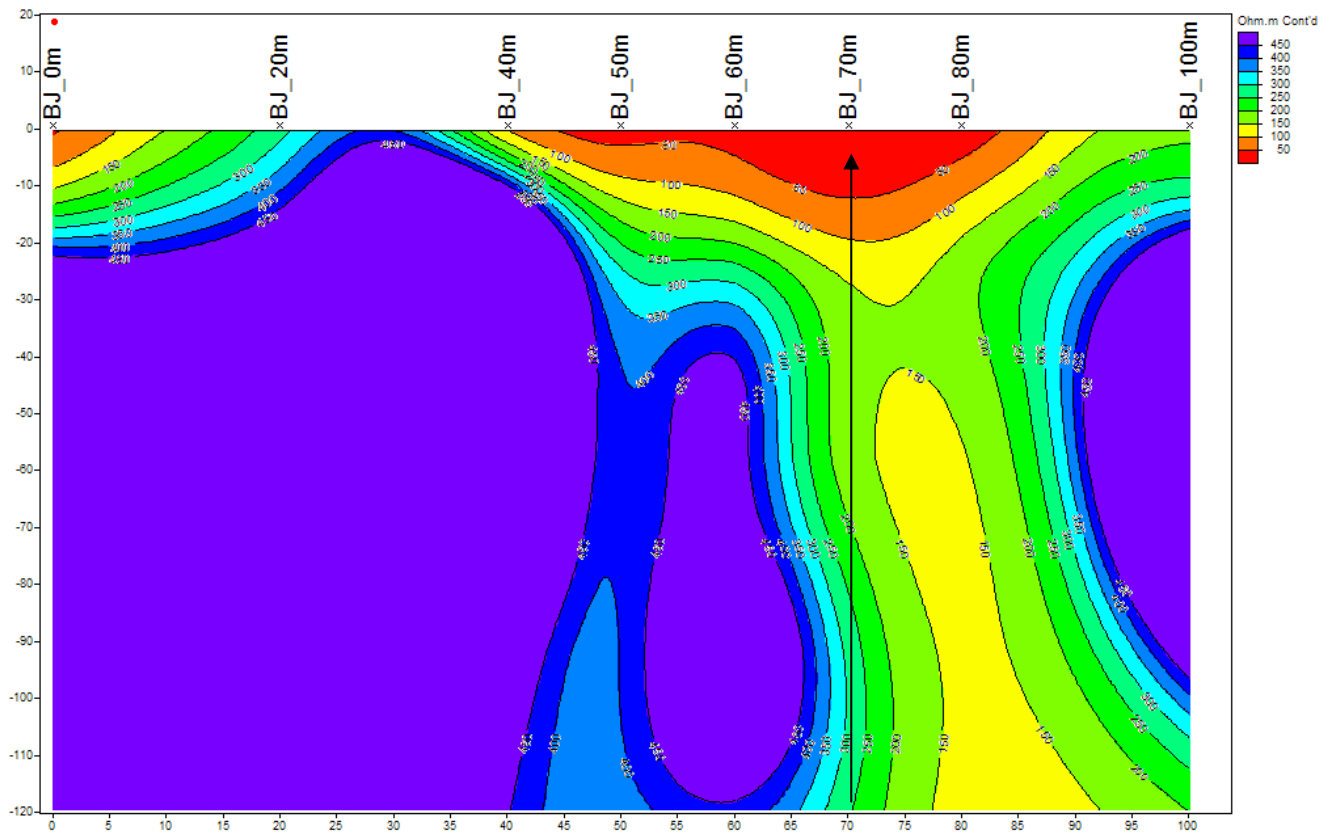
Modelo 2D – Seção de Resistividade



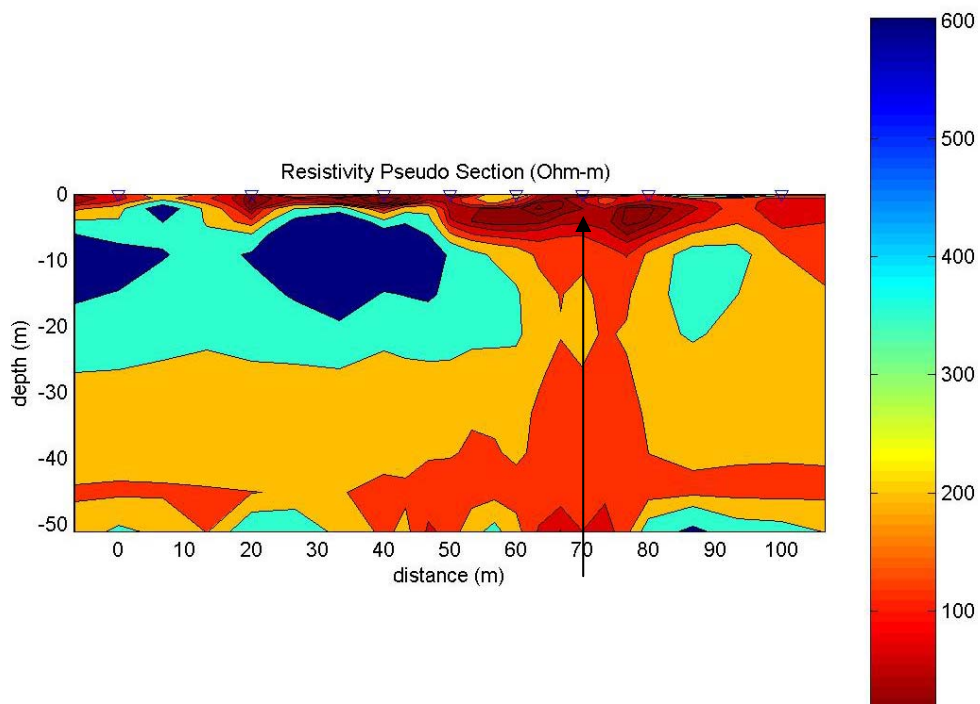
MUNICÍPIO DE MONTE ALEGRE DE SERGIPE

BOM JARDIM

Modelo 1d – Seção Composta

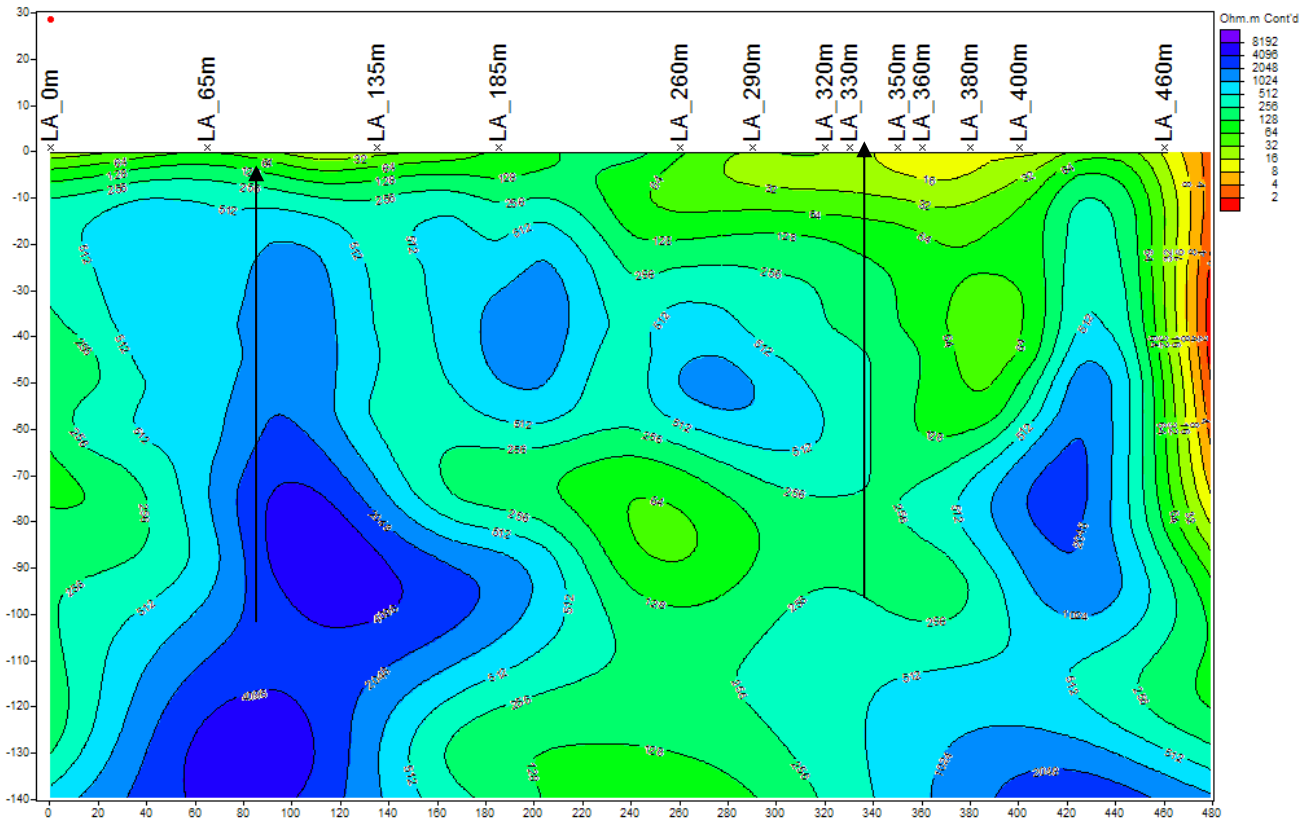


Modelo 2D – Seção de Resistividade

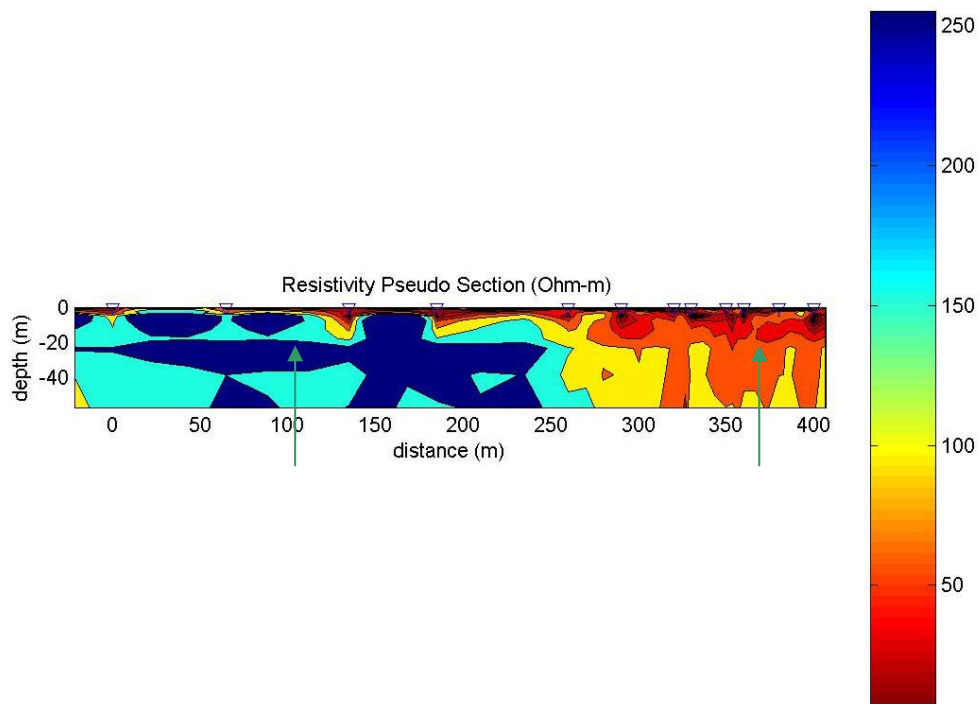


LAGOA DAS AREIAS

Modelo 1d – Seção Composta



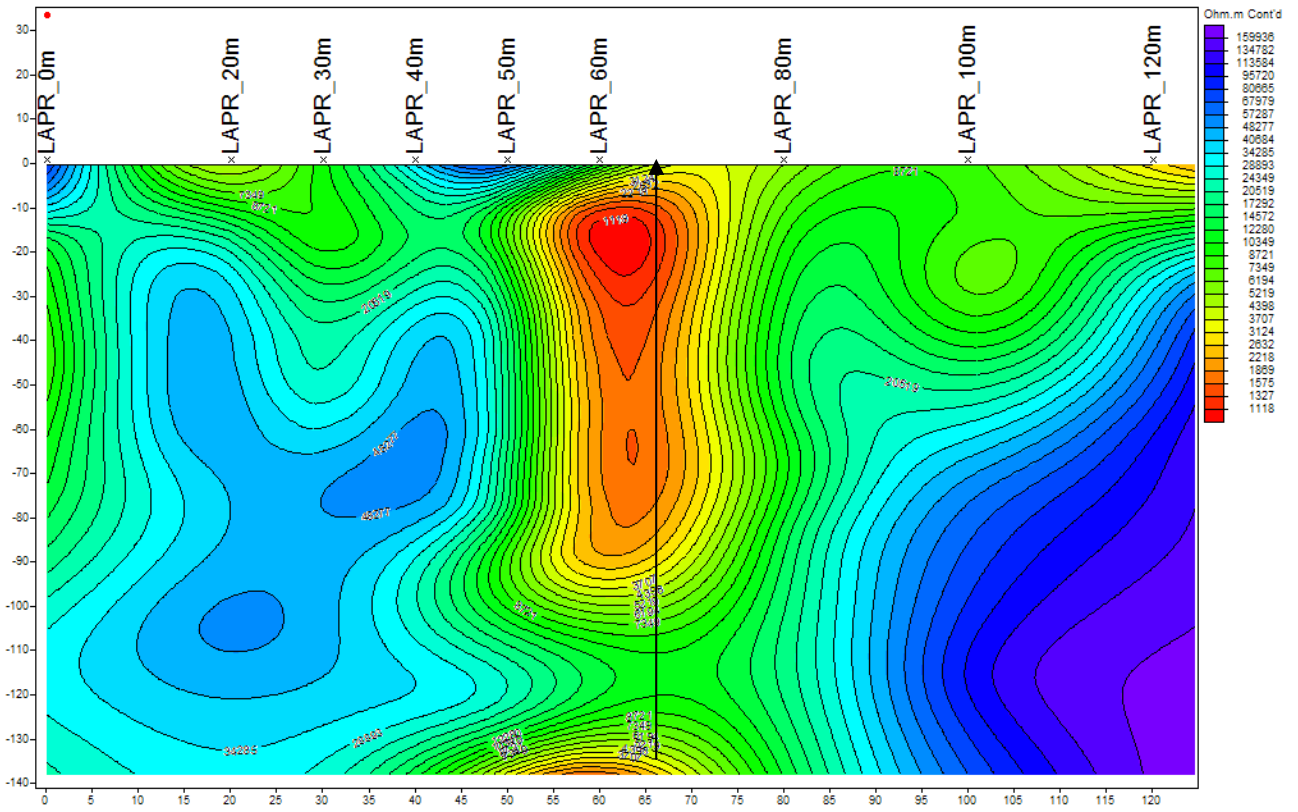
Modelo 2D – Seção de Resistividade



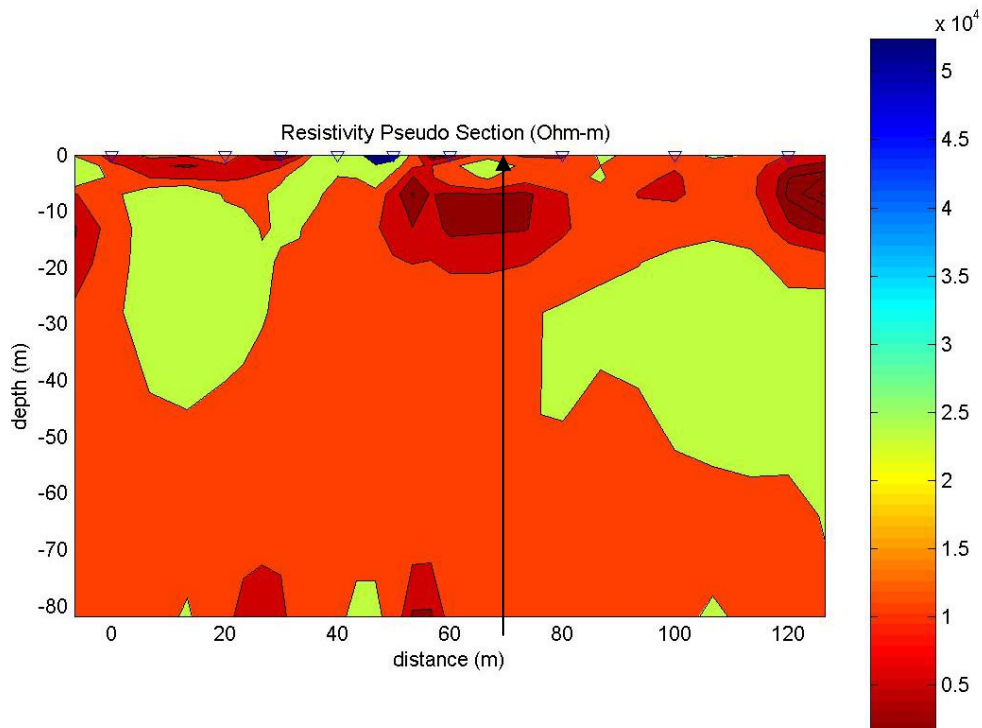
MUNICÍPIO DE POÇO REDONDO

LAGOA DAS AREIAS

Modelo 1D – Seção Composta

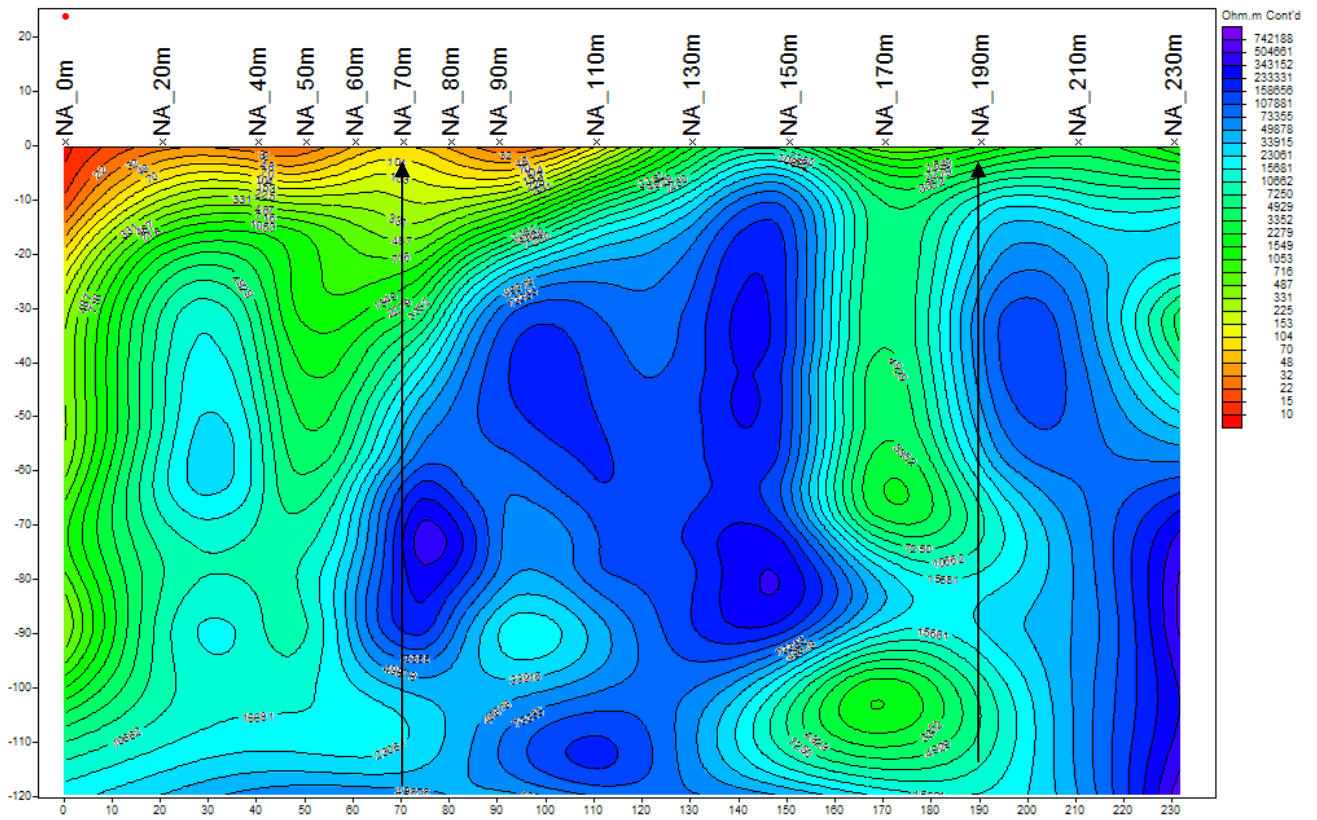


Modelo 2d – Seção de Resistividade.

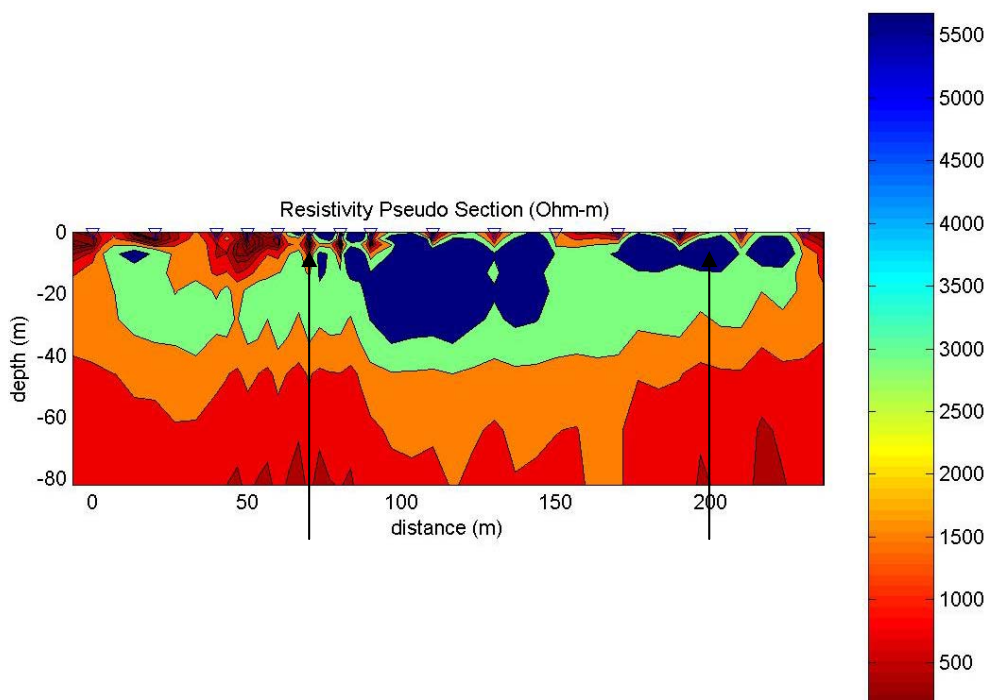


NAZARE

Modelo 1D – Seção Composta.



Modelo 2D – Seção de Resistividade



APENDICE IV – MODELO DE EM34 EM 2D.

As figuras apresentam os resultados das inversões bidimensionais obtidas com o programa CICEM 35 (via internet).

AS inversões estão agrupadas por município.

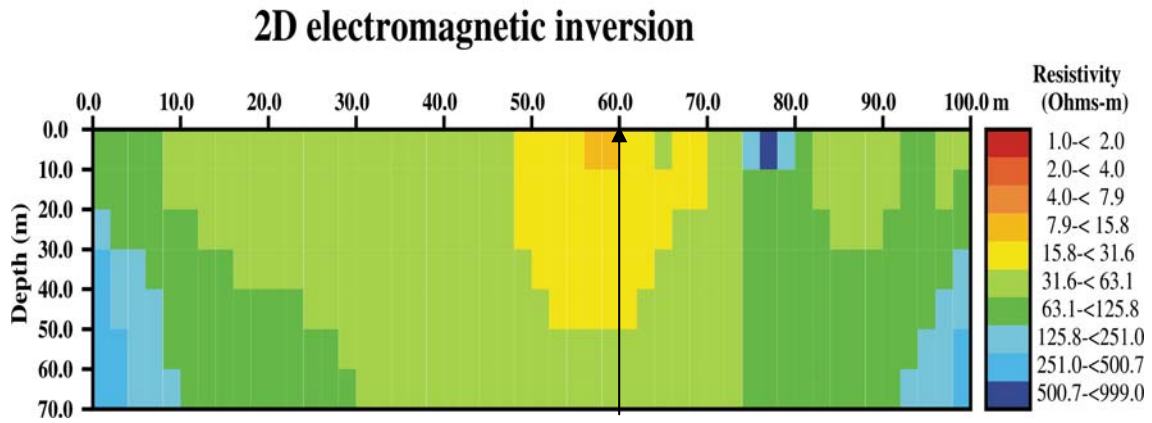
Observe nos modelos variações abruptas de resistividade devido a sua representação em blocos.

Nas figuras são localizados os mesmos pontos indicados pelas curvas do EM34.

MUNICIPIO DE GARARU

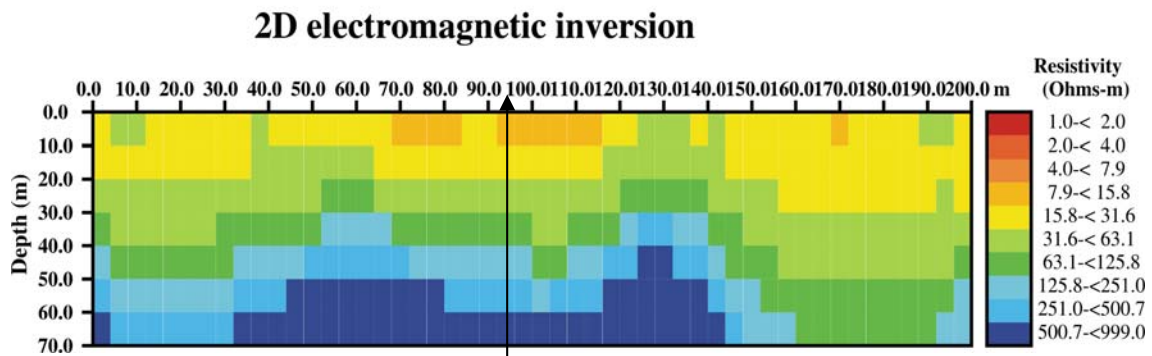
BARRIGUDA – Modelo 2D.

BARRIGUDA



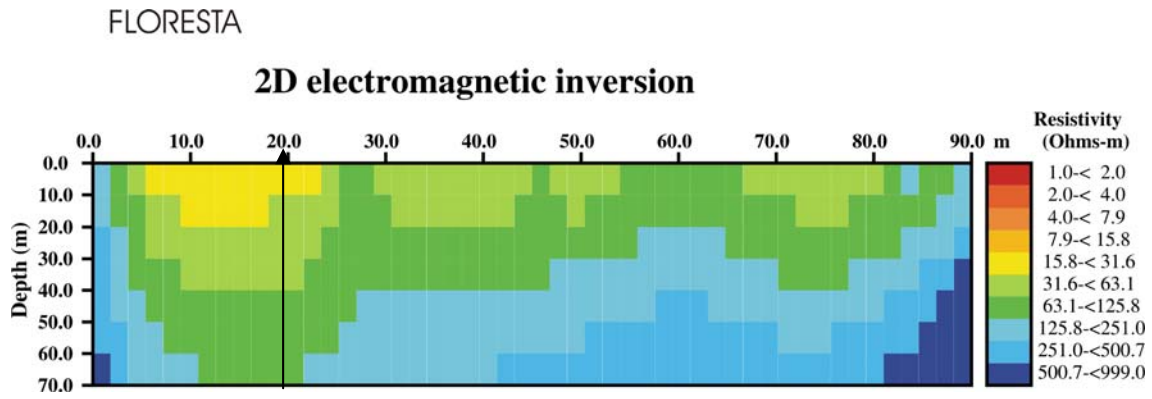
LAGOA DO TUBI – Modelo 2D.

LAGOA DO TUBI

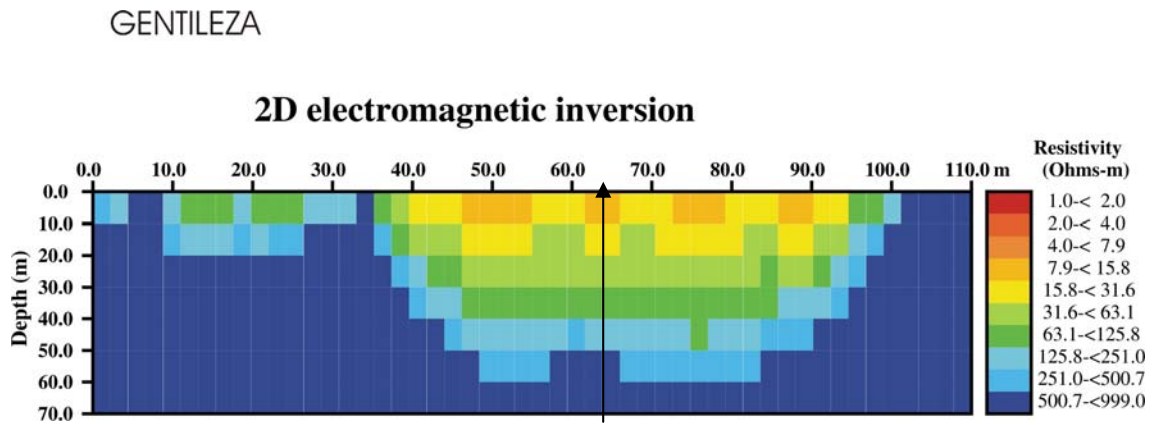


MUNICIPIO DE PORTO DA FOLHA

FLORESTA – Modelo 2D.

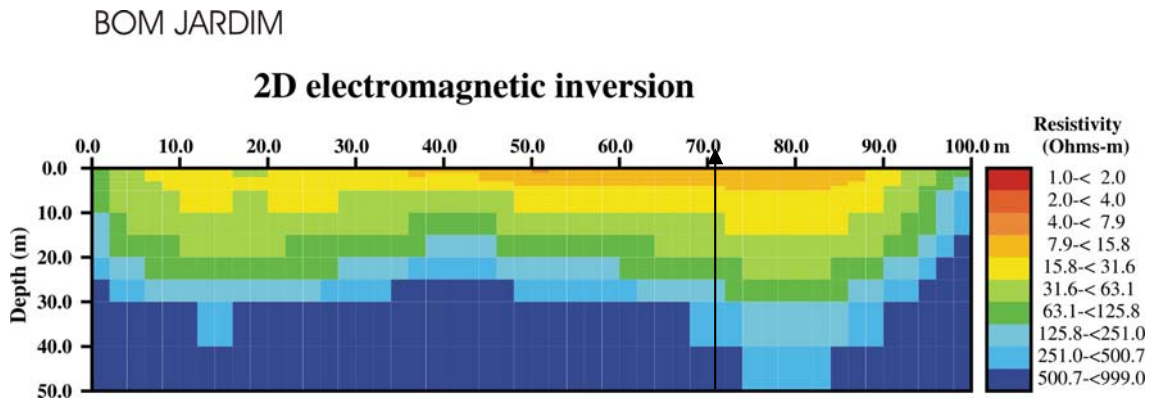


GENTILEZA – Modelo 2D.

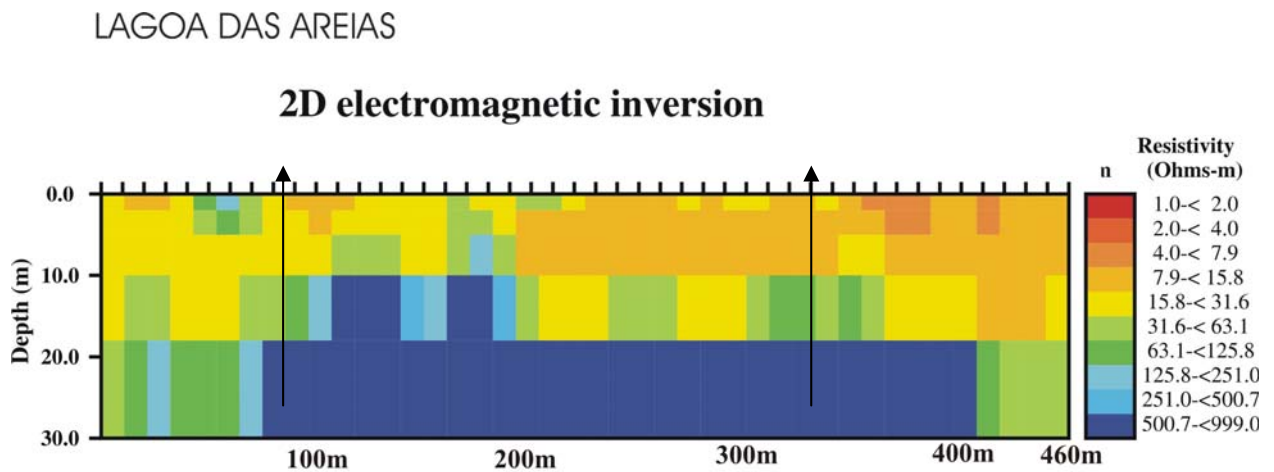


MUNICIPIO DE MONTE ALEGRE DE SERGIPE

BOM JARDIM – Modelo 2D.



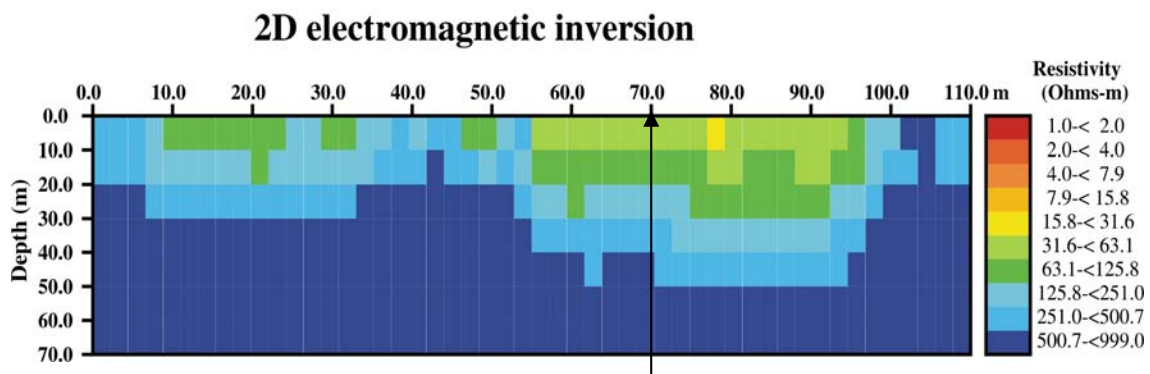
LAGOA DAS AREIAS – Modelo 2D.



MUNICÍPIO DE POÇO REDONDO

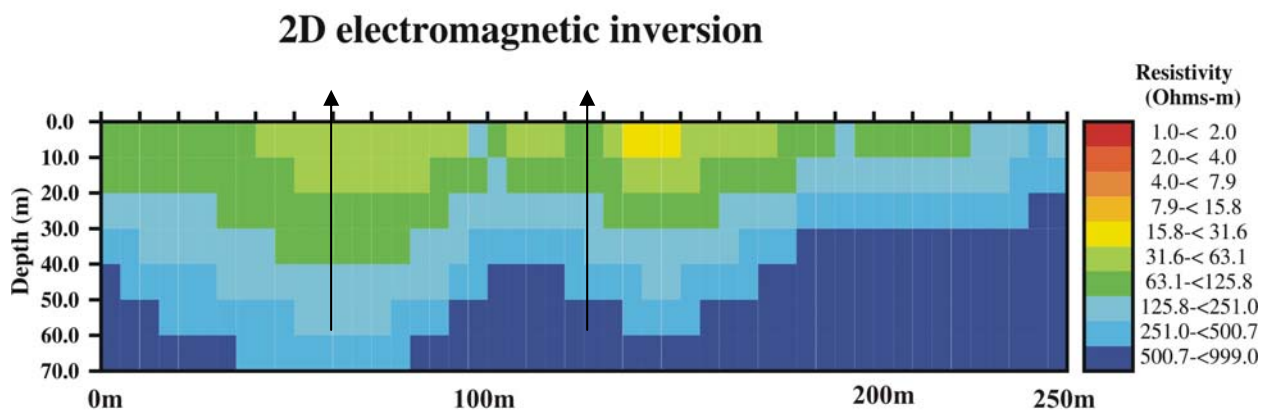
LAGOA DAS AREIAS – Modelo 2D.

LAGOA DAS AREIAS - POÇO REDONDO

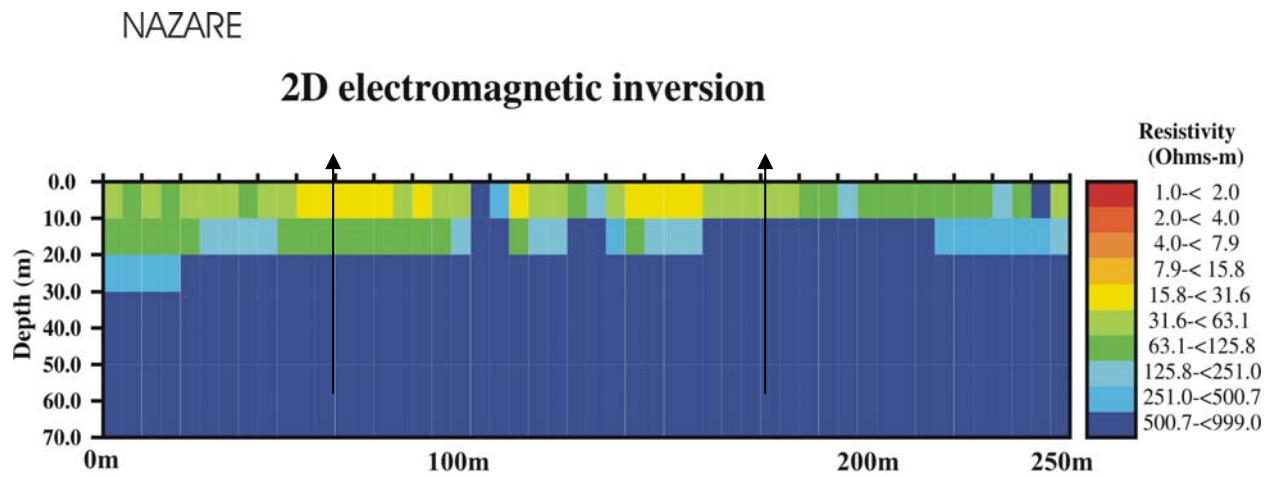


MARAVILHA - Modelo 2d.

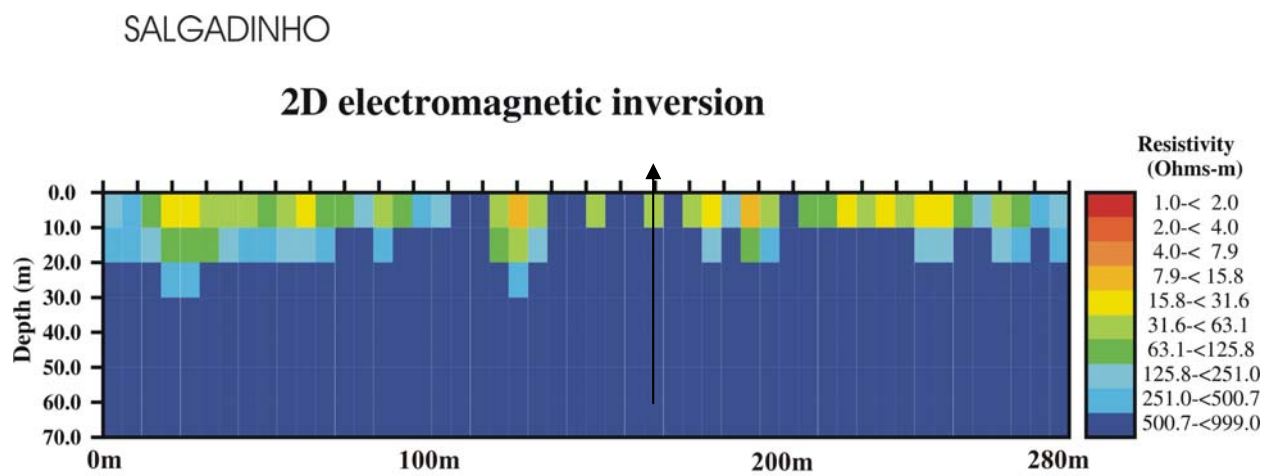
MARAVILHA



NAZARE – Modelo 2D.



SALGADIHO – Modelo 2D.



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)