



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DANIELE PANTOJA MONTEIRO

**APLICAÇÃO DE SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS NA ESTIMATIVA DA
PROFUNDIDADE DO EMBASAMENTO CRISTALINO NOS MUNICÍPIOS DE SÃO
JOÃO DE PIRABAS E SALINÓPOLIS, REGIÃO COSTEIRA DO NORDESTE DO
PARÁ**

BELÉM /PARÁ

2017

DANIELE PANTOJA MONTEIRO

**APLICAÇÃO DE SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS NA ESTIMATIVA DA
PROFUNDIDADE DO EMBASAMENTO CRISTALINO NOS MUNICÍPIOS DE SÃO
JOÃO DE PIRABAS E SALINÓPOLIS, REGIÃO COSTEIRA DO NORDESTE DO
PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará-UFPA em cumprimento às exigências para obtenção do título de Bacharel em Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Richard Bertete Aguirre.

BELÉM /PARÁ

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Monteiro, Daniele Pantoja, 1993 -

Aplicação de sondagens elétricas verticais na estimativa da profundidade do embasamento cristalino nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis, região Costeira do Nordeste do Pará / Daniele Pantoja Monteiro. – 2017.

56 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Hugo Richard Bertete Aguirre

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geofísica, Belém, 2017.

1. Prospecção elétrica. 2. Prospecção - Métodos geofísicos. 3. Geofísica. 4. Mapeamento geológico. I. Título.

CDD 22. ed.: 622.15

DANIELE PANTOJA MONTEIRO

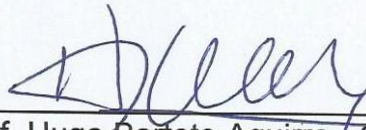
APLICAÇÃO DE SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS NA ESTIMATIVA DA
PROFUNDIDADE DO EMBASAMENTO CRISTALINO NOS MUNICÍPIOS DE SÃO
JOÃO DE PIRABAS E SALINÓPOLIS, REGIÃO COSTEIRA DO NORDESTE DO
PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geofísica do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará, como requisito parcial à
obtenção de grau de Bacharel em
Geofísica.

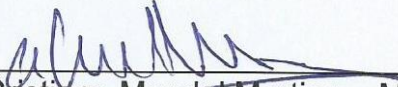
Data da defesa: 22 de março de 2017.

Conceito: EXC

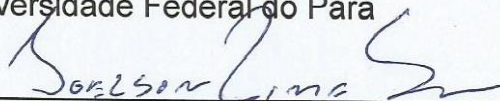
Banca Examinadora:



Prof. Hugo Bertete Aguirre - Orientador
Doutor em Engenharia de Sistemas
Universidade Federal do Pará



Prof. Cristiano Mendel Martins - Membro
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará



Prof. Joelson Lima Soares - Membro
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

À minha grande inspiração, Maria Francisca.
Minha querida mãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado força para superar as dificuldades.

Agradeço aos meus familiares, Maria Francisca Pantoja e Jhony Pantoja, por todo seu amor, apoio e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento do projeto de estudo paleoambiental e paleogeográfico da Formação Pirabas (Paleógeno-Neógeno) com base em dados estratigráficos, paleontológicos e geofísicos, nordeste do estado do Pará, Brasil, que possibilitou a elaboração deste trabalho.

A faculdade de Geofísica por todo conhecimento adquirido durante a graduação.

Ao Prof. Dr. Hugo Bertete Aguirre, pela orientação, dedicação, ensinamentos na construção deste trabalho.

A estudante de mestrado Meireanny de Albuquerque, ao Téc. Afonso Quaresma, pela paciência e ajuda na aquisição de dados e em especial ao Prof. Dr. Joelson Lima Soares pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores que aceitaram o convite para compor a banca examinadora, Prof. Dr. Cristiano Mendel Martins e o Prof. Dr. Joelson Lima Soares.

Ao motorista Nascimento, pela paciência e ajuda na realização dos testes dos equipamentos.

A Petrobrás pela bolsa de iniciação científica em inversão tridimensional em dados Magnetotelúricos e em especial ao Prof. Dr. Marcos Welby, pela paciência, amizade, ensinamentos, dedicação e oportunidade em trabalhar nesse projeto, que foi de grande importância para minha vida acadêmica.

A minhas amigas, Karolina Correa, Tarciana Farias e Jéssica Pinheiro, pelos anos de amizade, companheirismo e momentos de descontração.

Ao Danilo da Silva, pelo companheirismo e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta a aplicação do método da eletrorresistividade, através de sondagens elétricas verticais (SEVs) nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis, região costeira do nordeste do Pará. Nestas regiões acham-se depósitos Miocênicos, designados de Formações Pirabas e Barreiras, sendo o termo Formação Pirabas empregado para a sucessão carbonática contendo intercalações secundárias de folhelhos negros a esverdeados e arenitos amarelados; e Formação Barreiras é utilizada para o conjunto sedimentar superposto, caracterizado genericamente por depósitos siliciclásticos de cores variegadas. Neste trabalho são acrescentadas informações geofísicas complementares para o projeto de estudo paleoambiental e paleogeográfico da Formação Pirabas (Paleógeno-Neógeno) e têm como objetivo estimar o contato geológico do embasamento cristalino com a Formação Pirabas. O arranjo de eletrodos escolhido foi o Wenner, devido este tipo de arranjo ser relativamente sensível a variações verticais de resistividade (estruturas horizontais) e alta razão sinal/ruído, o que foi de grande importância para delimitar os contrastes de resistividade aparente das unidades sedimentares Barreiras e Pirabas e do embasamento cristalino. Com as sondagens elétricas verticais determinaram-se os valores de resistividade em subsuperfície para diferentes profundidades, correlacionando as sempre que possível com informações geológicas de poços perfurados, disponíveis na plataforma online de sistema de informação de águas subterrâneas (SIAGAS). Os dados das SEVs foram invertidos através do programa IPI2win (Geoscan-M Ltda) projetado para realizar inversões 1D automáticas que fornecem informações importantes sobre a geologia local, como resistividade, profundidade, espessura da camada e altimetria. Em geral, os resultados obtidos com as sondagens elétricas mostraram que é possível através das correlações de dados geofísicos e geológicos de poços, estimar o contato entre as Formações Barreiras e Pirabas e o contato do embasamento cristalino com a base da Formação Pirabas. Além, de o método ter sido eficiente na identificação de aquíferos subterrâneos a mesma profundidade dos contatos entre as Formações. As profundidades dos contatos entre as Formações Pirabas e Barreiras foi de 15 metros em São João de Pirabas e 5 metros em Salinópolis. Enquanto, que o topo do embasamento cristalino localiza-se em torno de 38 metros de profundidade em Salinópolis.

Palavras-chave: Eletrorresistividade. Sondagem Elétrica vertical (SEV). Depósitos Miocênicos.

ABSTRACT

This work applies the electrical resistivity method, through vertical electrical soundings (VES) in the counties of São João de Pirabas and Salinópolis, both located in the northeastern costal region of the state of Pará. In this region, there are Miocene deposits, designated Pirabas and Barreiras Formations, the term Pirabas Formation being used for the carbonate sequence containing secondary interleaves of black to green shales and yellowish sandstones; and Barreiras Formation is used for the superimposed sedimentary unit, characterized generically by siliciclastic deposits of variegated colors. In this work complementary geophysical information was added, for the project of paleoenvironmental and paleogeographic studies of the Pirabas Formation (Paleogenic-Neogene) and the main goal was to estimate the geological contact between the crystalline basement and the Pirabas Formation. The Wenner electrode arrays was chosen, due to the relative sensitivity of this type of array to vertical variations in apparent resistivity (horizontal structures) and the high signal-to-noise level ratio, which was of great importance to delimit the contrasts of apparent resistivity of the Barreiras, Pirabas sedimentary units and crystalline basement. Using vertical electrical sounding data was determined the subsurface resistivity values for different depths and correlating them whenever possible with geological information from drilled wells, available on the online platform of the Groundwater Information System (SIAGAS). The VES data was inverted using the IPI2win program (Geoscan-M Ltda) designed to perform automatic 1D inversion that provides important information about local geology, such as resistivity, depth, layer thickness and altimetry. In general, the results obtained with the electrical soundings showed that it is possible through the correlations of geophysical and geological of wells data, estimate the contact for the Barreiras and Pirabas Formations and the contact of the crystalline basement with the base of the Pirabas Formation. In addition, the method showed to be efficient in the identification of subterranean aquifers the same depth of the contacts between the Formations. The depths of the contacts between the Formations were 15 meters in São João de Pirabas and 5 meters in Salinópolis. While, the top of the crystalline basement is located around 38 meters deep in Salinópolis.

Keywords: Electrical resistivity. Vertical electrical soundings (VES). Miocene deposits.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa geológico das áreas de estudo. Região nordeste do Pará nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis.	15
Figura 2 - Localização das áreas de aquisição de dados. Região nordeste do Pará nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis	16
Figura 3 - Mapa de localização dos depósitos Miocênicos da região norte do Brasil.....	17
Figura 4 - Formação Pirabas. Contato entre folhelho e calcário com conteúdo fossilífero na praia do Atalaia, município de Salinópolis.	18
Figura 5 - Formação Barreiras exposta na praia do Atalaia, município de Salinópolis.	19
Figura 6 - Localização dos poços na região nordeste do Pará.	21
Figura 7 - Disposição dos eletrodos na superfície do terreno para aplicação do método da eletrorresistividade.	25
Figura 8 - Ilustração das técnicas de investigação.....	28
Figura 9 - Configuração dos arranjos Wenner e Schlumberger. A e B eletrodos de corrente e M e N eletrodos de potencial.	29
Figura 10 - Arranjos Wenner Alfa, Beta e Gama	30
Figura 11 - Funções de sensibilidade para arranjos de quatro elétrodos: (a) Wenner; (b) Schlumberger. As setas maiores e negritas mostram os pontos de injeção e retirada de corrente; setas menores mostram os pontos de medição do potencial.	31
Figura 12 - Equipamento Resistivímetro Geoteste RD-1000.....	34
Figura 13 - Modelo de ilustração do campo elétrico na presença de uma camada condutiva.	35
Figura 14 - Localização da área de estudo próximo da Vila de Santa Luzia, município de São João de Pirabas.....	37

Figura 15 - Localização da área de estudo nas proximidades da Praia do Atalaia, município de Salinópolis	37
Figura 16 - Curva de resistividade aparente de São João de Pirabas.	39
Figura 17 - Correlação entre o perfil construtivo do poço da Vila de Santa Luzia e o modelo geoeletrico.....	40
Figura 18 - Curva de resistividade aparente de Salinópolis.	42
Figura 19 - Correlação entre o perfil construtivo do poço da praia do Atalaia e o modelo geoeletrico.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações da litologia do poço de São João de Pirabas.	22
Tabela 2 - Informações da litologia do poço da Vila de Santa Luzia.....	22
Tabela 3 - Informações da litologia do poço da Praia do Atalaia.....	23
Tabela 4 - Informações da profundidade do embasamento nos poços do município de Salinópolis.....	23
Tabela 5 - Resistividade e condutividade de alguns minerais e rochas.....	32
Tabela 6- Resistividade direta da Água.....	33
Tabela 7 - Resultado do modelo da SEV 1. N: número de camadas, ρ : espessura da camada h profundidade d e altimetria (Alt).	39
Tabela 8- Resultado do modelo da SEV2. N: número de camadas, ρ : espessura da camada h profundidade d e altimetria (Alt).	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	15
3.1	Localização e acesso.	15
4	CONTEXTO GEOLÓGICO	17
4.1	Arcabouço estrutural	17
4.2	Formação Pirabas	18
4.3	Formação Barreiras	19
4.4	Sedimentos Pós-Barreiras	20
5	PROFUNDIDADE INFORMADA DO EMBASAMENTO	21
6	MÉTODOS GEOFÍSICOS	24
6.1	Métodos Geométricos	24
6.2	Método da Eletrorresistividade (ER)	25
6.2.1	Capacidades e limitações do método ER	27
6.2.2	Técnicas de investigação	28
6.2.3	Sensibilidade dos arranjos	31
7	RESISTIVIDADE DOS MINERAIS E ROCHAS	32
8	LEVANTAMENTO GEOFÍSICO	34
8.1	Descrições dos equipamentos	34
8.2	Operações de campo	36

8.2.1	São João de Pirabas	36
8.2.2	Salinópolis	37
9	APRESENTAÇÕES DE RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO	38
9.1	SEV São João de Pirabas	39
9.2	SEV Salinópolis	42
10	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICES	50
	APÊNDICES A - DADOS COLETADOS	51
	ANEXOS - DADOS DOS POÇOS (SIAGAS)	52

1 INTRODUÇÃO

Na região costeira do nordeste do Pará, nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis, ocorrem unidades carbonáticas e siliciclásticas neógenas representativas das Formações Pirabas (Mioceno inferior), Barreiras (Mioceno médio a Plioceno) e sedimentos quaternários da unidade Pós-Barreiras que compõem a Plataforma Bragantina (ROSSETTI; GÓES; SOUZA, 2001). A deposição destas unidades foi particularmente controlada pela formação e reativação de falhas normais e transcorrentes (COSTA, 1996), como também por mudanças eustáticas e climáticas que geraram flutuações do nível relativo do mar (ROSSETTI, 2001).

Os principais estudos nestas unidades restringem-se ao conteúdo paleontológico e análise faciológica (ROSSETTI, 2006; GÓES et al., 1990), além do grande número de poços tubulares existentes na região, que disponibilizam informações puramente litológicas. Porém, estes estudos têm-se mostrado insuficientes para o conhecimento da disposição em subsuperfície das Formações Pirabas e Barreiras e do embasamento cristalino. Uma solução para tal problema que pode ser muito mais efetiva, tanto do ponto de vista econômico como de resolução, é o uso de metodologia geofísica para estimar tanto as disposições das Formações como o topo do embasamento.

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 contrastes de materiais que se encontram no ambiente geológico. As técnicas geofísicas mais usadas no domínio ambiental incluem a gravimetria, magnética, electromagnética, georadar, eletroresistividade e polarização induzida (IP) (MARTINHO, 2002). Estudos realizados recentemente utilizando gravimetria (VIEIRA, 2015) e georadar (SILVA, 2015) contribuíram para o conhecimento da Formação Pirabas. O trabalho de VIEIRA (2015) propôs a estimativa do relevo 3 D do embasamento via inversão gravimétrica da porção nordeste do Pará, município de Salinópolis e inferiu que a Formação Pirabas tem um comportamento suave com estimativas em torno de 100 metros para a profundidade do embasamento. Enquanto, que o trabalho de SILVA (2015), utilizando georadar na praia do Atalaia (Salinas) e Aricuru (Maracanã), estimou que em Aricuru a Formação Pirabas localiza-se aproximadamente a 3,5 metros de profundidade e na praia do Atalaia apenas a Formação Barreiras foi detectada, devido o método utilizado neste trabalho apresentar limitações quanto à profundidade de investigação e alto nível de ruído provocado pela presença salina. Em vista

disto, busca-se uma metodologia geofísica que seja capaz de alcançar profundidades maiores do que os trabalhos realizados anteriormente e assim estimar o contato da Formação Pirabas com o embasamento cristalino.

O presente trabalho foi desenvolvido nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis utilizando o método da eletrorresistividade que se baseia no estudo da diferença de potencial, criado pela injeção de corrente elétrica no terreno. Conhecendo-se a corrente injetada e a diferença de potencial pode-se calcular a resistividade aparente, que está relacionada à geologia do ambiente investigado e por isso o método é adequado na caracterização em profundidade dos limites geológicos, desde que as litologias presentes exibam forte contraste em termos de resistividade elétrica. O funcionamento do método trata-se na emissão de corrente elétrica na subsuperfície através de um par de eletrodos (A e B – eletrodos de corrente) e é medida a diferença de potencial resultante entre outro par de eletrodos (M e N – eletrodos de potencial), para posterior cálculo da resistividade aparente do meio geológico investigado. Com o método foram realizadas medidas de resistividade aparente coletadas em sondagens elétricas verticais (SEVs), em perfis horizontais de 630 metros em São João de Pirabas e 540 metros em Salinópolis, com os eletrodos dispostos de acordo com o arranjo Wenner, devido esta configuração ser relativamente sensível a variações verticais de resistividade (estruturas horizontais), segundo LOKE (1999).

2 OBJETIVOS

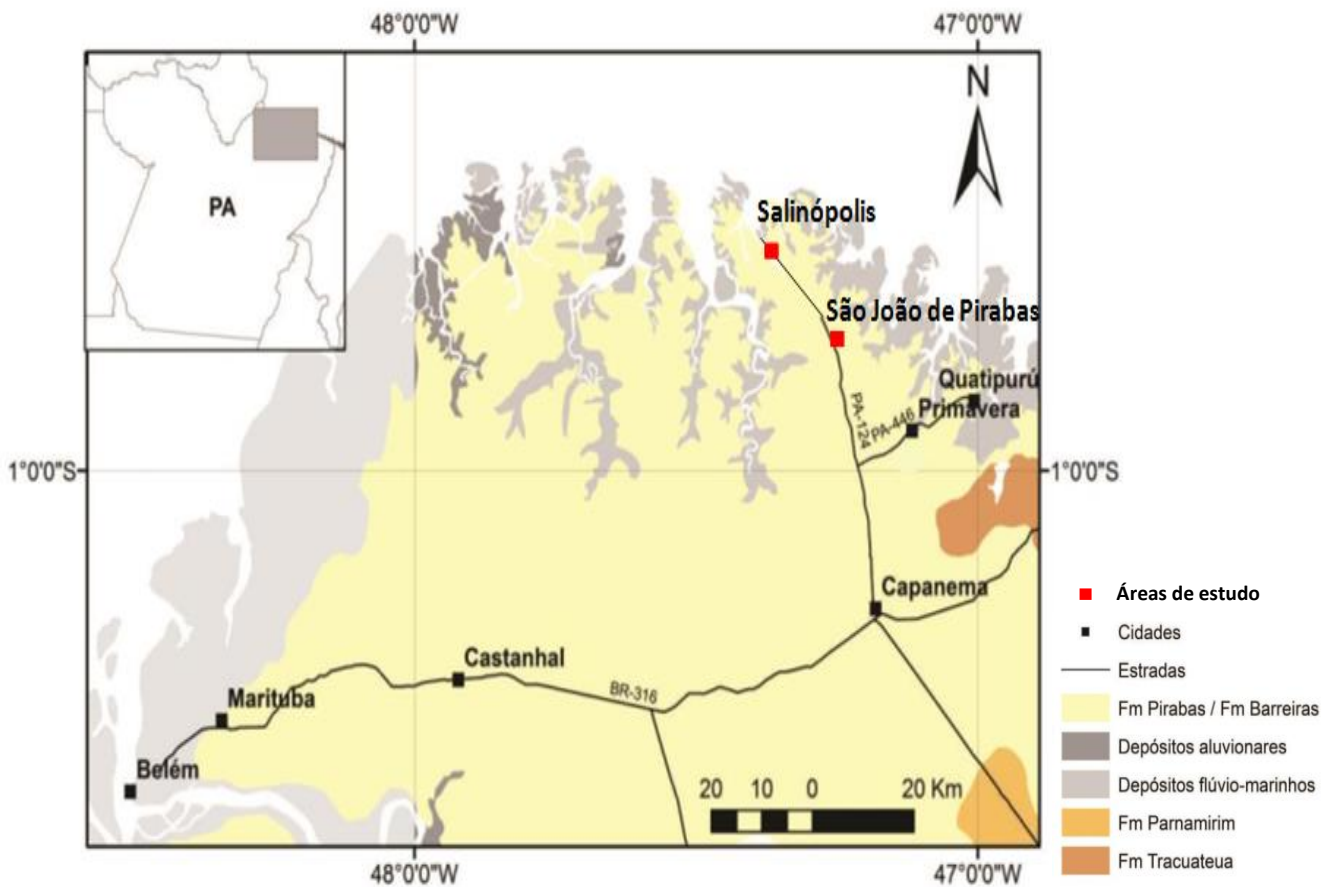
O propósito deste trabalho de conclusão de curso foi estimar o contato da Formação Pirabas com o topo do embasamento cristalino e os limites das Formações Barreiras e Pirabas, utilizando sondagens elétricas verticais, correlacionando os dados geofísicos coletados com informações geológicas de poços tubulares disponíveis na plataforma online de sistema de informação de águas subterrâneas (SIAGAS) nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 Localização

As áreas de estudo localizam-se geograficamente na região nordeste do Pará, aos arredores da PA-124, nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis, onde ocorre um extenso registro Miocênico favorecido excepcionalmente pela preservação de abundantes estruturas sedimentares, representados pelas Formações litoestratigráficas Pirabas e Barreiras (ROSSETTI, 2000, 2001, 2006; ROSSETTI; SANTOS JR., 2004), conforme mostra a Figura 1. O município de São João de Pirabas está situado à latitude $0^{\circ}46'47''$ sul e longitude $47^{\circ}10'52''$ Oeste, afastado cerca de 190 km de Belém. O município Salinópolis localiza-se a latitude $00^{\circ}36'49''$ sul e longitude $47^{\circ}21'22''$ oeste, distante cerca de 220 km da capital do estado, Belém.

Figura 1- Mapa geológico das áreas de estudo. Região nordeste do Pará nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis.



Fonte: Modificado de (CPRM, 2008).

O clima, no nordeste paraense em geral, caracteriza-se por ser tropical quente e úmido com um período chuvoso mais acentuado entre dezembro e maio e menos chuvoso no restante do ano (MARTORANO et al., 1993). A aquisição de dados, através de sondagens elétricas verticais ocorreu no mês de fevereiro, inicialmente em São João de Pirabas, na Vila de Santa Luzia e posteriormente em Salinópolis, próximo a praia do Atalaia e o acesso aos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis, a partir da capital Belém, foi feito por terra através BR-316 e rodovias PA-124 para chegar em Salinópolis e BR-316, PA-124 e PA-324 para chegar a São João de Pirabas (Figura 2).

Figura 2- Localização das áreas de aquisição de dados. Região nordeste do Pará nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis



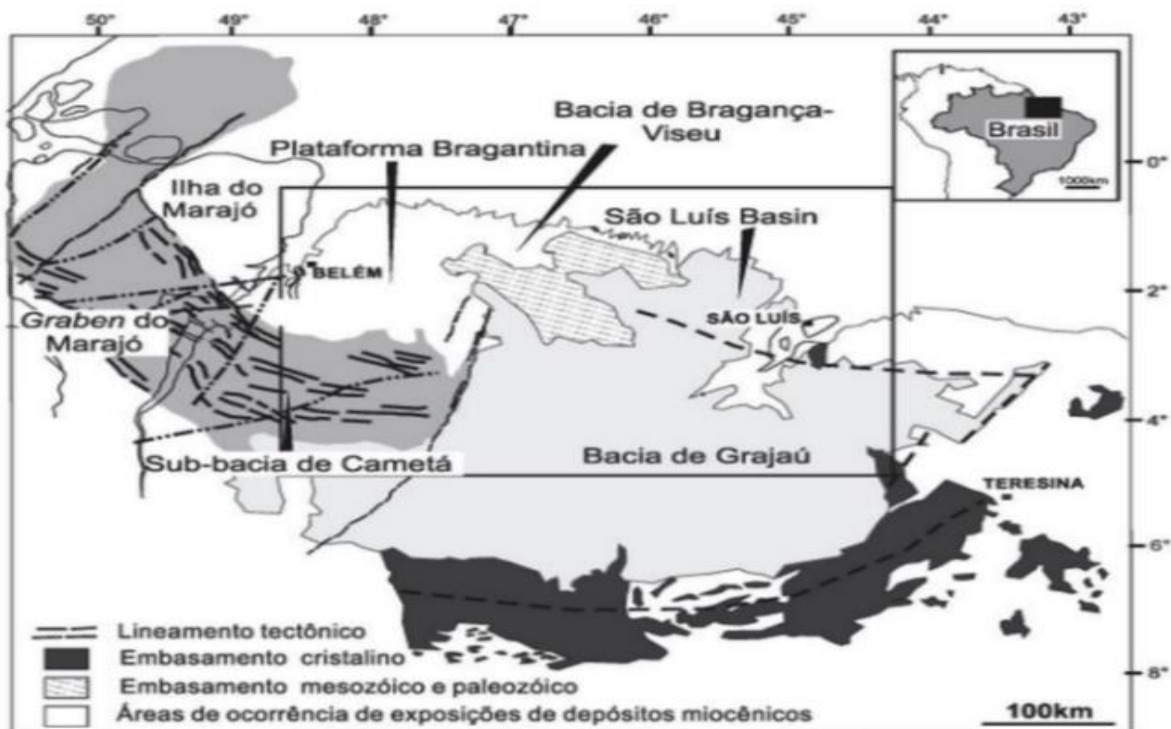
Fonte: Localização (2017).

4 CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1 Arcabouço estrutural

As áreas de estudo selecionadas encontram-se na Plataforma Bragantina, localizada no nordeste do estado do Pará, região norte do Brasil, que corresponde a uma área sobre o embasamento que permaneceu tectonicamente estável entre bacias sedimentares, durante episódios de tectônica distensional seguida da quebra de Gondwana do Atlântico equatorial durante o Jurássico e Cretáceo inferior (SZATMARI et al., 1987). A Plataforma registrou nos últimos 25 milhões de anos vários eventos deposicionais sucessivos, registrando mudanças entre depósitos marinhos e ambientes transicionais costeiros que são representados pelas Formações Pirabas e Barreiras, até o predomínio, desde o Mioceno médio, de depósitos continentais (VIEIRA; TOLEDO; ALMEIDA, 2007). A Plataforma está entre as bacias sedimentares que compõem o sistema de Graben do Marajó. É delimitada a oeste pela Plataforma do Pará, a leste pela Bacia Bragança-Viseu, a norte pela Bacia do Pará-Maranhão e ao sul pelas Bacias do Amazonas e Grajaú (TATUMI et al., 2008), mostrada na Figura 3.

Figura 3 - Mapa de localização dos depósitos Miocênicos da região norte do Brasil.



Fonte: Rossetti (2006).

A Plataforma Bragantina é composta, da base para o topo, pelos depósitos carbonáticos da Formação Pirabas do Oligoceno-Mioceno inferior e na parte superior, pelos depósitos litorâneos e continentais da Formação Barreiras do Mioceno Médio (GÓES 1981; ROSSETTI, 2001). Sobreposto a esses sedimentos ocorre uma cobertura laterítica do Mioceno Superior (ROSSETTI, 2001) e por último ocorre sedimentos areno-argilosos a argilo-arenosos quaternários denominados sedimentos Pós-Barreiras (ROSSETTI et al., 1989) que repousam sobre a crosta laterítica.

4.2 Formação Pirabas

A Formação Pirabas aflora principalmente no litoral nordeste do estado do Pará (Figura 4) e é constituída em sua maior parte por rochas carbonáticas (ROSSETTI; GÓES, 2006). Ela ocorre em regiões de reativação de falhamento do Cretáceo Inferior ligado à geração da fossa do Marajó (LEITE; NASCIMENTO FILHO E SILVA JUNIOR, 1992).

Figura 4 - Formação Pirabas. Contato entre folhelho e calcário com conteúdo fossilífero na praia do Atalaia, município de Salinópolis.



Fonte: Do autor

Depositada durante o Mioceno inferior, a Formação Pirabas é caracterizada por sedimentação carbonática contendo margas, biocalcarenito estratificados ou não estratificados, biocalcirudito, biocaciluditos, folhelhos negros e cinza esverdeados, além de abundante conteúdo fossilífero como conchas, foraminíferos e restos de vegetais com concreções de pirita (PETRI, 1954, 1957; FERREIRA, 1966; GÓES et al., 1990; ROSSETTI; GÓES, 2004). O ambiente a qual foi depositada era predominantemente marinho raso, com

águas calmas a ligeiramente agitadas por tempestades, com livre conexão com o oceano (GÓES et al., 1990; ROSSETTI ; GÓES, 2004).

4.3 Formação Barreiras

A Formação Barreiras encontra-se no litoral brasileiro que se estende desde o estado do Rio de Janeiro até o estado do Amapá, em algumas regiões encontra-se interdigitada com a Formação Pirabas. É formada unicamente de sedimento siliciclásticos, constituídos por uma variedades de rochas onde se destacam arenitos maciços, pelitos e conglomerados (Rossetti et al., 1989) e apresentam pouco conteúdo fossilífero (Figura 5).

Figura 5 - Formação Barreiras exposta na praia do Atalaia, município de Salinópolis.



Fonte: Do autor

Segundo ARAI (2006), sua deposição pode ser dividida em duas etapas, a porção inferior foi depositada durante o Eomioceno (23 Ma) a Mesomioceno (13 Ma), no evento de subida global do nível do mar. No Tortoniano, houve queda eustática resultando em um evento erosivo conhecido como Discordância Tortoniana (SHIMABUKURO; ARAI, 2000), este evento separa o Barreiras Inferior do Superior, a parte superior foi depositada durante o Plioceno.

4.4 Sedimentos Pós-Barreiras

A unidade Pós-Barreiras são sedimentos quaternários exclusivamente siliciclásticos, depositados sobre a Formação Barreiras. Segundo ROSSETTI, GÓES, SOUZA (2001), ROSSETTI et al. (2001) e ROSSETTI (2004), a sedimentação ocorreu em duas etapas, recebendo a denominação Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II, sendo separadas por discordância erosiva. O Pós-Barreiras I, são areias finas a médias friáveis, maciças, com seleção moderada e registro de bioturbações, pelitos bioturbados também são encontrados. As areias do Pós-Barreiras II são de muito finas a finas bem selecionadas, comumente maciças (ROSSETTI et al., 1989; TATUMI et al., 2008).

O ambiente deposicional referente aos sedimentos Pós-Barreiras é ainda impreciso, mesmo sabendo-se que, em parte, são depósitos formados por processos eólicos. Segundo ROSSETTI (2006), o principal motivo é o fato de esses estratos terem sido considerados, por muito tempo, como resultado de manto intempérico sobre rochas cretáceas e terciárias. Entretanto, nas últimas décadas, com a identificação da superfície discordante em sua base, esta visão tem mudado.

de Pirabas, e da praia do Atalaia, município de Salinópolis, ambos com 60 m de profundidade, com o objetivo de utiliza-los em correlações com os dados geofísicos coletados. Todos os dados de poços disponíveis nas áreas de interesse foram analisados e selecionados objetivando escolher aqueles que oferecem informação a respeito da profundidade do embasamento.

Em São João de Pirabas somente um poço intercepta formações cristalinas. O Poço possui 132 m de profundidade e a 130 m encontra-se o topo do Granito, este foi utilizado apenas como referência da profundidade do embasamento, devido localizar-se na área urbana do município, onde fatores externos como: estrutura metálica e postes de eletricidade influenciariam na qualidade dos dados de eletrorresistividade. As informações litológicas deste poço e do poço escolhido (Vila de Santa Luzia) estão descritos nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Informações da litologia do poço de São João de Pirabas.

São João de Pirabas		
Profundidade (m)	Litologia	Geologia
0 - 8 m	Solo Laterítico	-
8 - 12 m	Areia argilosa	Formação Barreiras
12 - 29 m	Arenito Calcífero	Formação Pirabas
29 - 60 m	Marga	
60 - 82 m	Calcário	
82 - 100 m	Folhelho	
100 - 124 m	Arenito Calcífero	
124 - 130 m	Argilito	Embasamento
130 - 132 m	Granito	

Fonte: Modificado do (SIAGAS, 2017).

Tabela 2 - Informações da litologia do poço da Vila de Santa Luzia

Vila de Santa Luzia		
Profundidade (m)	Litologia	Formações
0 - 3 m	Solo	-
3 - 15 m	Areia argilosa	Formação Barreiras
15 - 18 m	Argila Calcífera	Formação Pirabas
18 - 36 m	Calcário	
36 - 42 m	Argila	
42 - 54 m	Areia grossa	
54 - 60 m	Folhelho	

Fonte: Modificado do (SIAGAS, 2017).

Em Salinópolis o número de poços que atingem rochas cristalinas é bem maior do que em São João de Pirabas. Então, selecionou-se o poço da praia do Atalaia, com profundidade de 60 metros e atinge a formação cristalina a 57 metros. As informações litológicas desse poço estão descritos na tabela 3. É importante ressaltar que analisando os poços de Salinópolis, observa-se que a profundidade do embasamento é variada de acordo com a localidade dos poços, em alguns lugares a profundidade está em torno de 140 metros (Tabela 4).

Tabela 3 - Informações da litologia do poço da Praia do Atalaia.

Praia do Atalaia		
Profundidade (m)	Litologia	Geologia
0 - 0.5 m	Solo Arenoso	-
0.5 - 6 m	Areia argilosa	Formação Barreiras
6 - 18 m	Argila Calcífera	Formação Pirabas
18 - 30 m	Calcário	
30 - 38 m	Areia argilosa	
38 - 57 m	Rochas intemperizadas e decompostas	Embasamento
57 - 60 m	Rocha cristalina não identificada	

Fonte: Modificado do (SIAGAS, 2017).

Tabela 4 - Informações da profundidade do embasamento nos poços do município de Salinópolis.

Nº	Profundidade do embasamento (m)	Localização
1	125	Município de Salinópolis
2	138	Jardim do Atalaia
3	140	Guaxinim
4	130	Vila do Barreiro
5	146	Bairro do Açai

Fonte: Modificado do (SIAGAS, 2017).

6 MÉTODOS GEOFÍSICOS

A geofísica é um ramo da ciência focado no estudo de materiais geológicos, bem como estruturas e camadas, através da análise de parâmetros físicos intrínsecos como densidade, radioatividade, magnetização, entre outros. Baseado em instrumentos que permitem realizar medidas indiretas e ainda possibilitam investigações da ordem de centímetros a centenas de metros de profundidade (MILSOM; ERIKSEN, 2011).

Os métodos geofísicos podem ser divididos em quatro grandes grupos: métodos Geoelétricos, Sísmicos, Potenciais e Geotérmicos. Dentre os métodos serão destacados os Métodos Geoelétricos, estes métodos são denominados não invasivos, pois não afetam e não destroem o terreno ou camadas selantes e são bastante utilizados de forma eficiente em estudos ambientais, pois proporcionam a execução de perfis contínuos que possibilitam a identificação mais precisa de variações laterais relacionadas a mudanças litológicas em grandes áreas a um custo relativamente mais baixo.

Neste trabalho serão apresentadas informações referentes à teoria do método geofísico aplicado (Eletrorresistividade), pertencente ao grupo dos métodos geoelétricos, que foi escolhido devido seus baixos custos e resultados expressivos em pesquisas geológicas.

6.1 Métodos Geoelétricos

Na classificação dos métodos geofísicos de prospecção, os métodos geoelétricos constituem um grande grupo no qual se inserem os métodos elétricos e eletromagnéticos (WARD, 1990; ZHDANOV; KELLER, 1994). Caracterizam-se por medir em superfície ou em furos de sondagens a resposta do substrato geológico a excitações por campos elétricos ou eletromagnéticos de origem natural ou artificial.

Pertencentes ao grupo dos métodos geoelétricos, podemos destacar os métodos da eletrorresistividade, polarização induzida, potencial espontâneo, radar de penetração e eletromagnético. Esses métodos com exceção o de potencial espontâneo utilizam fontes artificiais, ou seja, o campo é criado por equipamentos apropriados. Não é o intuito deste trabalho a descrição de todos estes métodos, no entanto, dá-se uma breve indicação da aplicação de cada uma destes.

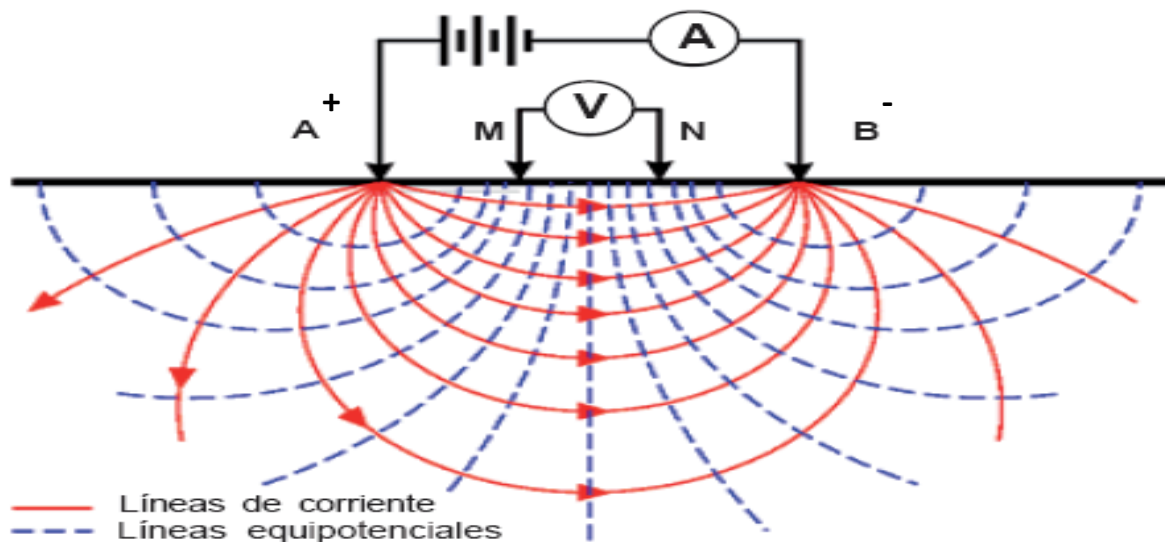
O método da eletroresistividade, o qual foi utilizado neste trabalho, é usado no estudo de descontinuidades horizontais e verticais nas propriedades elétricas do solo. O método de

polarização induzida faz uso da ação capacitiva da subsuperfície para localizar zonas compostas por minerais condutivos. O método de potencial espontâneo faz uso das correntes naturais fluindo do solo que são geradas por processos eletroquímicos, para localizar corpos rasos de condutividade anômala e o radar de penetração funciona através da emissão de ondas eletromagnéticas de forma contínua, detectando o contraste de propriedade física da subsuperfície.

6.2 Método da Eletrorresistividade

Pertencente ao grupo dos métodos geoeletricos, a eletrorresistividade (ER), é um método geofísico cujo princípio está baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais existentes no ambiente geológico. O método consiste na fixação de quatro eletrodos no solo, dois de corrente (A e B) e dois de potencial (M e N). Injeta-se corrente pelos eletrodos A e B, e então, realizam-se as medidas da diferença de potencial entre os eletrodos M e N (Figura 7). Com a diferença de potencial é possível calcular a resistividade aparente do meio geológico investigado, que depende de fatores como a presença de fluido, constituição mineralógica e estrutura do material.

Figura 7 - Disposição dos eletrodos na superfície do terreno para aplicação do método da eletrorresistividade.



Fonte: Modificado de (Nuñez et al., 2013).

O primeiro a introduzir correntes elétricas na terra, para que através da distribuição de potencial medida na superfície fosse possível estudar a subsuperfície, foi Conrad

Schlumberger no início do século XX. Sua ideia consistia em comparar a distribuição de potencial conseguida por uma corrente aplicada à terra real, com a distribuição que existiria se a terra fosse homogênea (JOHANSEN, 1977). Com base nestes estudos surgiu o método de eletrorresistividade que foi aplicado pela primeira vez em 1920 para a prospecção de ferro na Normandia.

De maneira simplista, a resistividade pode ser definida como sendo uma medida da dificuldade que a corrente elétrica encontra na sua passagem em um determinado material, e isto está ligado aos mecanismos pelos quais a corrente elétrica se propaga, ou seja, quanto mais baixa for a resistividade, mais facilmente o material permite a passagem da corrente elétrica. Conhecendo-se o valor da corrente injetada (I) e da diferença de potencial (ΔV) é possível calcular a resistividade elétrica para um meio homogêneo e isotrópico através da seguinte expressão:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (\Omega. m) \quad (1)$$

Em que: ρ é a resistividade elétrica em $\Omega.m$;

ΔV é a Diferença de potencial elétrico medida entre M e N em Volts;

I é a Corrente aplicada entre A e B em Amper;

K é o Fator geométrico para o arranjo dos eletrodos AMNB, que é dado por:

$$k = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (2)$$

Sendo AM, AN, BM e BN distâncias entre os eletrodos.

Em razão do subsolo apresentar uma distribuição de resistividade que pode variar verticalmente e lateralmente devido à heterogeneidade do meio geológico, os valores de resistividade obtidos não representam os valores das resistividades verdadeiras das camadas, embora estejam relacionados a eles. O que se obtém são valores denominados de resistividade aparente (LUIZ; SILVA, 1983), dada pela equação:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (\Omega. m) \quad (3)$$

A resistividade aparente não é propriamente um parâmetro físico do meio e sim um valor que representa o efeito integrado do semi-espaço sobre o qual a medida é efetuada, logo é uma resultante que sofre influência das diversas resistividades existentes no volume investigado. Trata-se de um conceito formal, não podendo ser considerada uma média das resistividades em subsuperfície (ORELLANA, 1972).

Durante a aquisição dos dados com o método da eletrorresistividade, deve-se definir o espaçamento entre os eletrodos o que interfere na profundidade de investigação, pois se os eletrodos de corrente (A e B) estiverem muito próximos, as correntes fluirão em subsuperfície a uma pequena profundidade e isto produzirá uma resposta, em termos de ΔV que será influenciada quase que exclusivamente pelo material superficial. Se o objetivo é obter a resposta de materiais mais profundos, deve-se aumentar a distância AB. Segundo ROY e APPARAO (1971), a profundidade de investigação depende não só da distância entre os eletrodos de corrente, mas também da distância entre os eletrodos de potencial.

Portanto, o uso do método da eletrorresistividade no campo, é baseado na capacidade do equipamento em introduzir corrente elétrica no subsolo a diferentes profundidades de investigação, e calcular as resistividades do meio geológico. Em solos e rochas os mecanismos pelos quais a corrente elétrica se propaga, são caracterizados pela sua condutividade σ , que pode ser expressa como o inverso da resistividade, dada por:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{Siemens/m}) \quad (4)$$

6. 2.1 Capacidades e limitações do método ER

Como qualquer método geofísico, o método da eletrorresistividade apresenta bons resultados para certas aplicações e limitações para casos específicos. Este é comumente utilizado devido sua boa eficiência na detecção e delimitação de plumas de contaminação e para estimar a profundidade, espessura e resistividade de camadas.

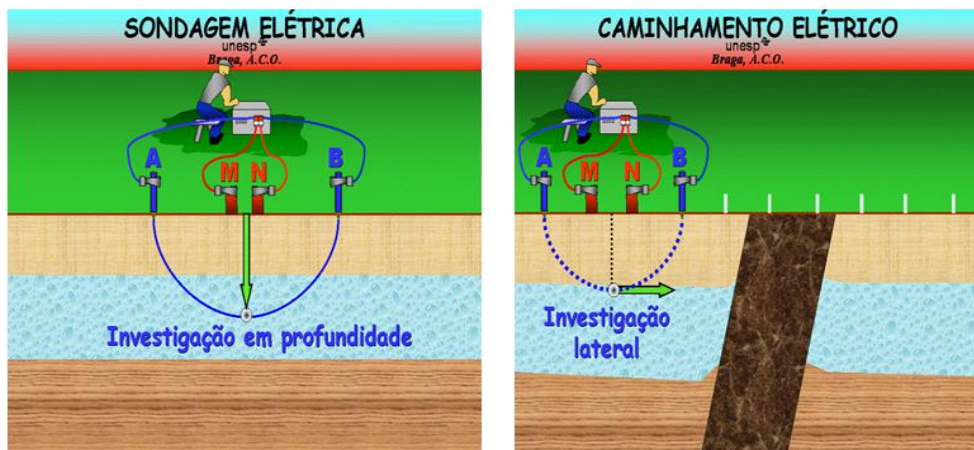
Para realizar aquisição de dados utilizando o método da eletrorresistividade, faz-se necessário a escolha de locais adequados, devido o método ser muito susceptível ao ruído provocado por cercas metálicas, tubos, heterogeneidade geológica e variações resistivas muito superficiais podem mascarar os efeitos das variações mais profundas.

A profundidade de penetração do método está limitada, entre outros fatores, pela potência da fonte do equipamento que determina a máxima corrente elétrica que pode ser introduzida no solo e para a interpretação dos dados obtidos exige o uso de programas específicos, como o IPI2Win, que foi utilizado neste trabalho.

6.2.2 Técnicas de investigação

Tanto na variação lateral quanto na variação vertical da resistividade em subsuperfície, o método da eletroresistividade pode ser utilizado. No primeiro caso este procedimento é chamado de sondagem elétrica vertical e no segundo de caminhamento elétrico. Na sondagem elétrica vertical (SEV), a investigação das variações da resistividade em profundidade é conseguida através do aumento da separação dos eletrodos de corrente A e B. Nesta técnica, os eletrodos de corrente são normalmente deslocados simetricamente em relação a um ponto central, abaixo do qual se considera a amostragem de resistividade aparente. Já no caminhamento elétrico (CE), as medidas de resistividade aparente são realizadas ao longo de perfis, deslocando-se lateralmente os quatro eletrodos (A, B, M, N) sem alterar seus espaçamentos. Devido à distância dos eletrodos permanecerem as mesmas durante o levantamento, é possível investigarmos a variação lateral de resistividade em subsuperfície a uma profundidade praticamente constante (Figura 8).

Figura 8 - Ilustração das técnicas de investigação.

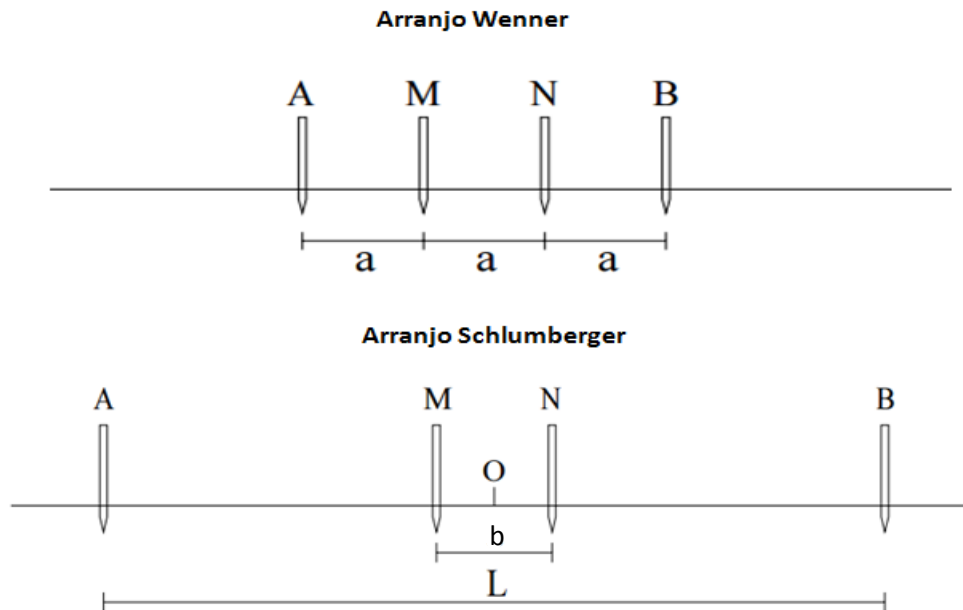


Fonte: Modificado de Braga (1999).

Em um levantamento utilizando o método da eletroresistividade, além da escolha da técnica de investigação, deve-se também escolher o arranjo dos eletrodos (AB e MN). A escolha de qual arranjo utilizar dependerá de uma série de fatores, como por exemplo: o alvo

que será mapeado, que está relacionado com a sensibilidade de cada arranjo, a razão sinal/ruído e a profundidade de investigação almejada. Existem dois principais arranjos para o desenvolvimento da SEV: Wenner e Schlumberger (Figura 9).

Figura 9 - Configuração dos arranjos Wenner e Schlumberger. A e B eletrodos de corrente e M e N eletrodos de potencial.



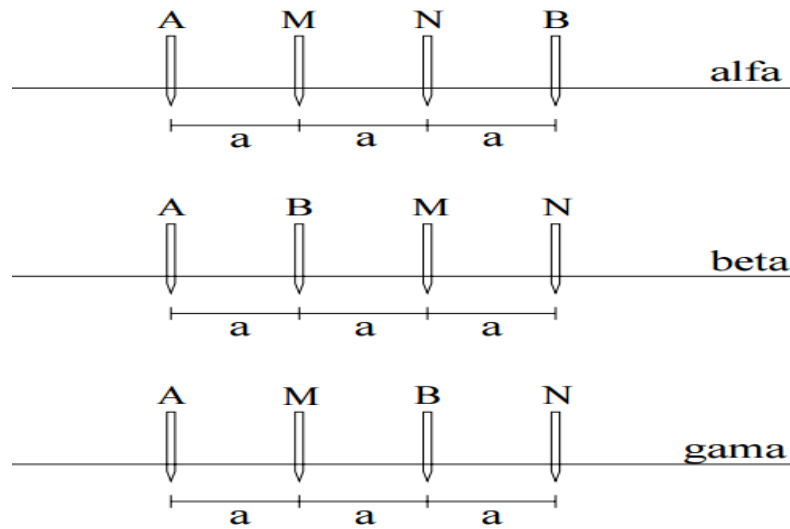
Fonte: Modificado de Gandolfo (2007).

A configuração Wenner é a mais simples, este utiliza quatro eletrodos (A e B - eletrodos de corrente e M e N - eletrodos de potencial) dispostos em linha e igualmente espaçados, sendo denominado o espaçamento de a , que é gradualmente aumentado ao redor de um ponto fixo central. A profundidade de investigação aumenta com o incremento da abertura dos eletrodos e este arranjo possui vantagem de elevada razão sinal/ruído. O fator geométrico K para este arranjo é dado por: $K = 2\pi a$ e resistividade aparente para este arranjo é dada pela equação:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (\Omega.m) \quad (5)$$

Dependendo da disposição dos eletrodos de corrente e de potencial este arranjo recebe três distintas denominações (CARPENTER & HABBERJAM, 1956): alfa, beta e gama (Figura 10). As constantes K para esses arranjos são definidas como: $K_{alfa} = 2\pi a$, $K_{beta} = 6\pi a$ e $K_{gama} = 3\pi a$.

Figura 10 - Arranjos Wenner Alfa, Beta e Gama



Fonte: Modificado de Gandolfo (2007).

Neste trabalho o arranjo utilizado foi o Wenner alfa, que de acordo com (LOKE, 1999), esta configuração é relativamente sensível a variações verticais de resistividade (estruturas horizontais), contudo é menos sensível a variações horizontais (estruturas verticais). Comparando com as outras configurações, o dispositivo Wenner faz investigação até profundidades médias e é o que apresenta a força de sinal mais elevado. Este fato é importante quando o ruído de fundo é elevado

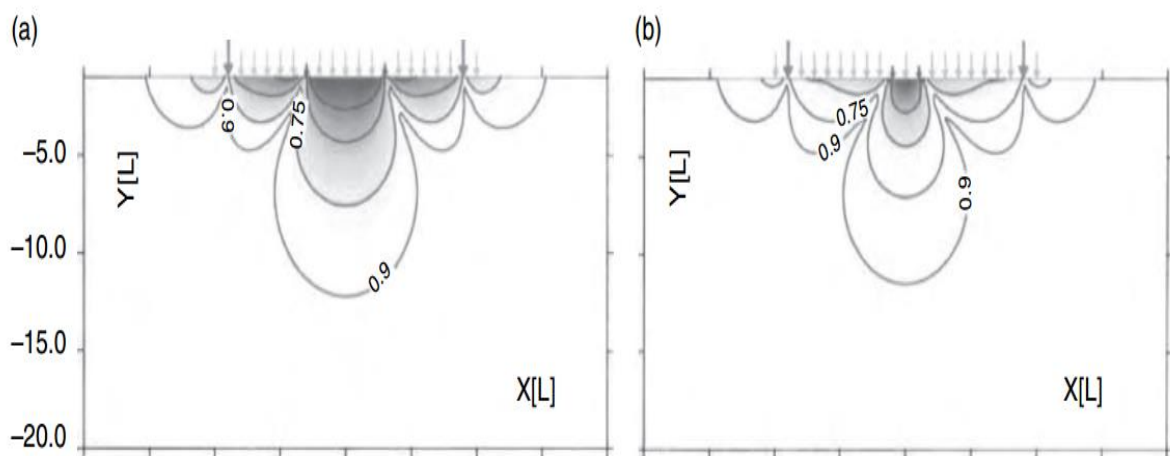
Nos levantamentos com a configuração Wenner, todos os quatro eletrodos precisam ser movidos entre sucessivas leituras. Esse trabalho é parcialmente superado pelo uso da configuração Schlumberger, em que os eletrodos de potencial têm espaçamento b , que é uma pequena proporção dos eletrodos de corrente com espaçamento L (Figura 9). No caminhamento com a configuração Schlumberger, vários movimentos laterais dos eletrodos de potencial podem ser acomodados sem a necessidade de mover os eletrodos de corrente. Nos levantamentos SEVs, os eletrodos de potencial permanecem fixos e os eletrodos de corrente são expandidos simetricamente ao redor do centro do arranjo. Para valores muito grandes de L , pode ser necessário aumentar também b para que seja mantido um potencial mensurável. Para a configuração Schlumberger a resistividade aparente é dada por:

$$\rho_a = \frac{\pi}{b} \left[\left(\frac{L}{2} \right)^2 - \left(\frac{b}{2} \right)^2 \right] \frac{\Delta V}{I} \quad (6)$$

6.2.3 Sensibilidade dos arranjos

A sensibilidade é uma função que expressa quanto uma variação da resistividade elétrica do meio influenciará o potencial medido pelo arranjo. Os padrões de resistividade para os diversos arranjos são calculados para um modelo de terra homogênea, representada na figura 11 para os arranjos Wenner e Schlumberger.

Figura 11 - Funções de sensibilidade para arranjos de quatro elétrodos: (a) Wenner; (b) Schlumberger. As setas maiores e negritas mostram os pontos de injeção e retirada de corrente; setas menores mostram os pontos de medição do potencial.



Fonte: Modificado de Furman et al. (2003).

Em resumo Furman et al. (2003) examinou a sensibilidade dos arranjos de quatro eletrodos na presença de um pequeno cilindro enterrado. As figuras apresentam níveis de sensibilidade 60, 75 e 90%. A interpretação do nível de 90%, por exemplo, é que 10% da medida sensibilidade do arranjo estão fora do contorno de 90%. Em outras palavras, essas parcelas dão uma boa resolução. Observa-se que para os dois arranjos as maiores sensibilidades são encontradas nas proximidades dos eletrodos. O arranjo Wenner é sensível ao solo, principalmente no centro do arranjo, mas tem sensibilidade moderada em todo o arranjo, o que confirma a sua eficácia na investigação de estruturas dispostas horizontalmente. Enquanto, que no arranjo Schlumberger é mais sensível às regiões abaixo dos eletrodos potenciais e menos sensíveis em outros lugares.

7 RESISTIVIDADE DOS MINERAIS E ROCHAS

No levantamento utilizando o método da eletrorresistividade, através de sondagens elétricas verticais, adquire-se uma curva da distribuição de resistividade aparente na subsuperfície, que após o processamento gera-se um modelo geoeletrico. Para uma boa correlação entre o modelo e informações geológicas disponíveis são necessários conhecimentos acerca dos valores típicos de resistividade dos diferentes materiais no subsolo que podem ser consultados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resistividade e condutividade de alguns minerais e rochas.

Rocha ou Solo	Resistividade (Ohm.m)
Argila	1-100
Areia úmida	1-10000
Areia	200-3000
Arenitos	1-1.000.000
Rochas metamórficas	50- 1.000.000
Rocha ígnea	100- 1.000.000
Calcário	50- 10.000.000
Folhelho	10-10000

Fonte: Modificado do Telford et al. (1990).

A resistividade dos minerais e das rochas é muito variável, podendo ter várias ordens de magnitude. Uma rocha é um material heterogêneo constituído geralmente por uma fase sólida (matriz) e uma fase líquida ou gasosa que lhe preenche os poros. O comportamento elétrico da rocha vai assim depender de fatores como a resistividade intrínseca da matriz, porosidade, textura e distribuição dos poros, resistividade do líquido intersticial e processos que ocorrem nas superfícies de contato entre a matriz e as fases fluidas.

As rochas sedimentares caracterizam-se por baixa resistividade, quando comparadas com outras variedades. Contudo, algumas rochas sedimentares possuem resistividades muito elevadas. Estão neste caso as areias de duna quando secas e as que possuem muito baixa porosidade como a gipsita. As argilas desempenham um papel muito particular no comportamento elétrico deste tipo de rochas; na presença de água as argilas apresentam baixos valores de resistividade, pelo efeito combinado da água e da polarização superficial das partículas de argilas.

As rochas ígneas apresentam valores elevados de resistividade elétrica, em particular, devido à sua porosidade muito baixa e as rochas metamórficas apresentam valores de resistividade que se situam entre os valores apresentados pelas rochas sedimentares e as ígneas, devido a resistividade aumentar com o grau de metamorfismo. Por exemplo, a resistividade elétrica de rochas cristalinas (embasamento) pouco porosas é normalmente alta. No entanto, se essa rocha estiver fraturada, a água que circula através das fraturas contendo sais minerais dissolvidos diminuirá bastante a resistividade da rocha.

A água pura possui alta resistividade, devido ao seu caráter de moléculas dipolares e reduzida dissociação. 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. Entretanto, não é possível, a partir dos valores de resistividade obtidos com o método da eletroresistividade, estimar a salinidade da água, pois na verdade se estima a resistividade da mistura da rocha com água. A tabela abaixo apresenta valores de resistividade da água.

Tabela 6- Resistividade direta da Água.

Água	Resistividade (Ohm.m)
Ultrapura	200
Destilada	20
Potável	10
Mar	0,3

Fonte: Adaptado de Vieira (1998).

8 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

8.1 Descrições dos equipamentos

O equipamento utilizado para a aquisição dos dados no campo foi o Resistímetro Geotest Rd-1000, pertencente ao departamento de geofísica da Universidade Federal do Pará, de fabricação brasileira (Figura 12). Este é um equipamento geofísico que possibilita medidas individuais dos valores de diferença de potencial (ΔV) e de corrente (I), por meio da emissão de corrente elétrica no subsolo, através dos dois eletrodos de corrente (A e B) e pela medição de diferença de potencial entre os eletrodos de potencial (M e N). A resistividade aparente é calculada através da multiplicação do fator geométrico do arranjo (K) pela razão $\Delta V/I$, utilizando-se a expressão 3.

O equipamento é composto por duas unidades, uma transmissora Geotest Rd 1000 TX e outra receptora Geotest Rd 1000 RX. A unidade transmissora é alimentada por duas baterias de 12 volts em série e permite o ajuste da voltagem de saída entre 5 a 800 volts, e a unidade receptora é alimentada por oito pilhas alcalinas de 1,5 volts.

Figura 12 - Equipamento Resistímetro Geotest RD-1000.



Fonte: Do autor.

O princípio de funcionamento do Resistímetro segue a seguinte sequência:

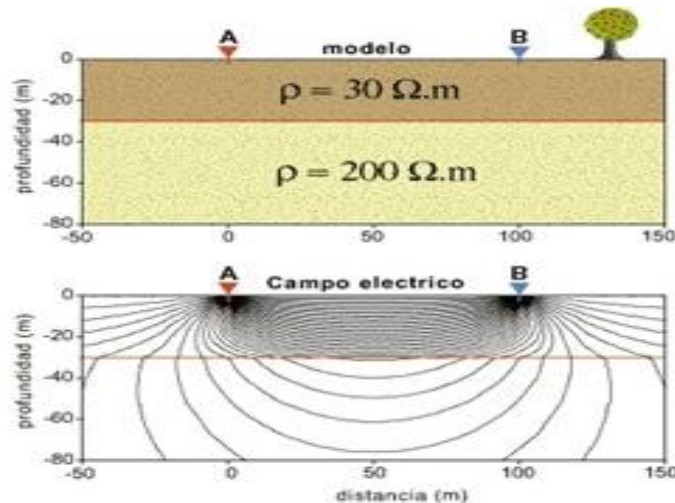
1. Quando acionado o instrumento aplica uma corrente no solo, através dos eletrodos A-B, enviando um pulso de tensão de polaridade negativa que, de acordo com a posição

da chave de tensões, pode chegar até 800 V. Em seguida envia outro pulso de tensão, também de até 800 V, mas agora de polaridade positiva.

2. Nos eletrodos M-N, o resistímetro discrimina as tensões telúricas assim como as tensões de contato 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 .

Durante a aquisição de dados o equipamento pode sofrer limitações em algumas situações como, por exemplo, quando este encontra camadas rasas altamente condutivas, pois estas dificultam a passagem da corrente elétrica que tende a ficar retida, assim limitando sua intensidade para a realização do levantamento em profundidade (Figura 13). Outra limitação pode ocorrer devido os eletrodos não estarem enterrados adequadamente, consequentemente diminuindo o contato solo/eletrodo afetando as leituras de resistividades, caso comum em áreas compactadas, por isso torna-se necessário a escolha de locais adequados para a introdução dos eletrodos.

Figura 13 - Modelo de ilustração do campo elétrico na presença de uma camada condutiva.



Fonte: Modelo (2017).

Como recomendações deve-se usar cabos de conexões finos, exceto quando são necessárias correntes muito fortes. É importante usar um isolamento de alta qualidade para evitar a fuga de energia, por serem umas das primeiras fontes de erro nas medições de resistividade e para áreas secas faz-se necessário a utilização de uma solução composta por água e sal em torno dos eletrodos, para melhorar o contato dos eletrodos com o solo.

8.2 Operação de campo

Para a realização da aquisição de dados foi necessário à escolha de locais adequados com topografia pouco acidentada, camada de solo facilmente penetrável pelos eletrodos, manutenção de uma linha reta e ausência de fatores externos que perturbem a qualidade das medições como estruturas metálicas e postes de eletricidade.

O levantamento foi realizado no dia 17 de fevereiro de 2017, onde foi realizada uma sondagem elétrica vertical (SEV) em cada município. Inicialmente foi realizado na Vila de Santa Luzia, município de São João de Pirabas e posteriormente próximo a Praia do Atalaia, município de Salinópolis. Estes locais foram previamente selecionados com o intuito de utilizar informações sobre a litologia e profundidade das unidades geológicas disponíveis nos poços existentes nas áreas de estudo, para posterior interpretação dos dados.

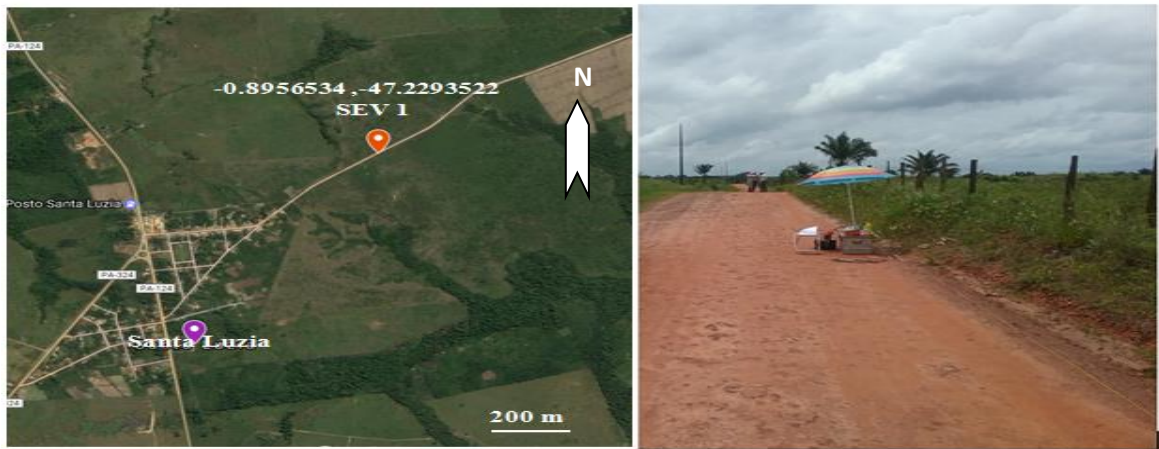
As sondagens foram obtidas com o resistivímetro Geotest RD-1000, com os eletrodos dispostos de acordo com o arranjo Wenner. Além desses equipamentos utilizamos quatro eletrodos de aço de 60 cm, que foram enterrados parcialmente no solo, quatro bobinas que continham os cabos de ligação e estacas para a marcação do perfil.

Os eletrodos foram espaçados em intervalos previamente definidos e em seguida foram esticados os cabos ao longo do perfil e feita a ligação entre os cabos, os eletrodos e o resistivímetro. Posteriormente, verificaram-se todas as ligações e instalações corretas para iniciar injeção de corrente ao solo. Cada levantamento será detalhado nos tópicos 8.2.1 São João de Pirabas e 8.2.2 Salinópolis.

8.2.1 São João de Pirabas

No município São João de Pirabas a sondagem elétrica vertical localizava-se na Vila de Santa Luzia, em uma estrada de terra de coordenadas $0^{\circ}53'44.4''S$ e $47^{\circ}13'45.7''W$, mostrada na Figura 14. Foram demarcados 18 pontos de medidas, onde foram coletados valores da variação do potencial e corrente, com o equipamento Geotest Rd-1000 (Apêndices A). O perfil tinha extensão de 630 metros e com abertura máxima entre eletrodos igual a 210 metros. As medidas foram espaçadas de 10 em 10 metros até a 16ª medida e a 17ª a 18ª foram espaçadas de 20 metros.

Figura 14 - Localização da área de estudo próximo da Vila de Santa Luzia, município de São João de Pirabas.



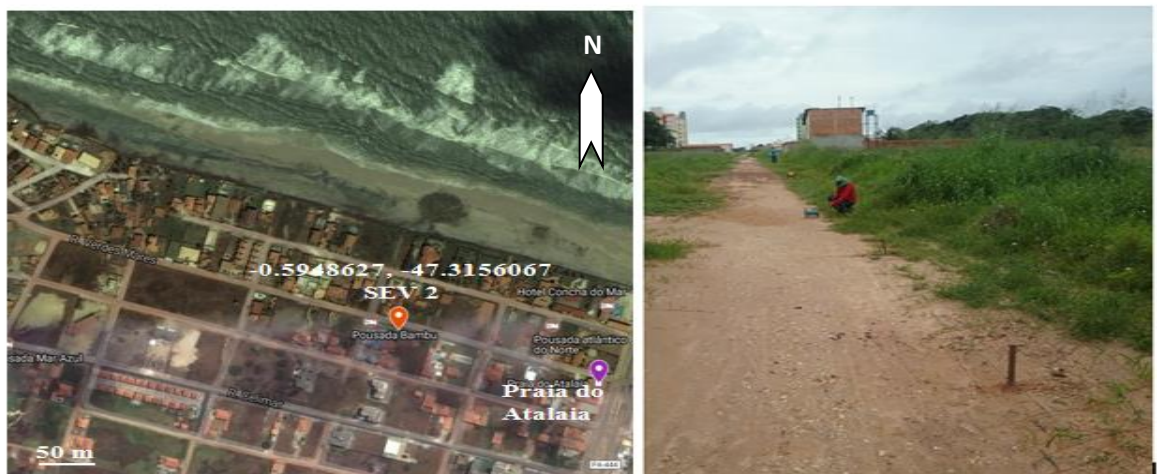
Fonte: Localização (2017).

Fonte: Do autor.

8.2.2 Salinópolis

No município de Salinópolis, a sondagem elétrica vertical localizava-se próximo a Praia do Atalaia na rua Verde Mares, em uma estrada de terra com coordenadas $0^{\circ}35'41.5''S$ e $47^{\circ}18'56.2''W$, mostrada na Figura 15. Foram demarcados 14 pontos de medidas, onde foi coletados valores da variação do potencial e corrente, com o equipamento Geotest Rd-1000 (Apêndices A). O perfil tinha extensão de 540 metros com abertura máxima entre eletrodos igual a 180 metros. As medidas foram espaçadas de 10 em 10 metros até a 10ª medida e a 12ª a 14ª foram espaçadas de 20 metros.

Figura 15 - Localização da área de estudo nas proximidades da Praia do Atalaia, município de Salinópolis



Fonte: Localização (2017).

Fonte: Do autor

9 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO

As sondagens elétricas verticais foram representadas na maneira convencional, em escala bilogarítmica, com a resistividade aparente (ρ_a) no eixo vertical e a separação de eletrodos ($AB/3$) no eixo horizontal. As curvas obtidas nesse tipo de representação mostram a variação de resistividade com a profundidade.

Os dados das SEVs foram invertidos através do programa IPI2win (Geoscan-M Ltda) projetado para realizar inversões 1D automáticas. Este pode analisar dados de polarização induzida com algumas configurações de eletrodos como Wenner-Schlumberger, Wenner Alpha, Wenner Beta, etc. Ele fornece informações importantes sobre a geologia local, como resistividade aparente, profundidade, espessura da camada e altimetria.

Para iniciar o processamento foram inseridos os dados coletados no campo e com eles obtiveram-se duas curvas de resistividade aparente, a curva de aquisição ajustada (Preta) e outra do modelo inverso feita pelo programa (Vermelha), que representa a provável distribuição de resistividade em subsuperfície. Para o ajuste das curvas de resistividade calculada pelo programa e a de aquisição, pode-se introduzir um número de camadas manualmente suficientes até que se atinja uma faixa aceitável de erro médio quadrático (*root mean square* - RMS), que é a diferença entre a curva de aquisição e a do modelo inverso, dado em porcentagem.

O ajuste das curvas pode ser feito automático ou manual. A partir do conhecimento a priori da geologia do local através dos poços estudados, foi escolhido o ajuste manual das curvas, pois o automático pelo programa busca apenas o ajuste matemático sem levar em consideração a geologia da área, por isso é necessário estudos geológicos preliminares para a escolha correta do modelo, que represente a possível geologia do local investigado. O ajuste lateral da curva influencia na espessura da camada e o ajuste vertical na resistividade.

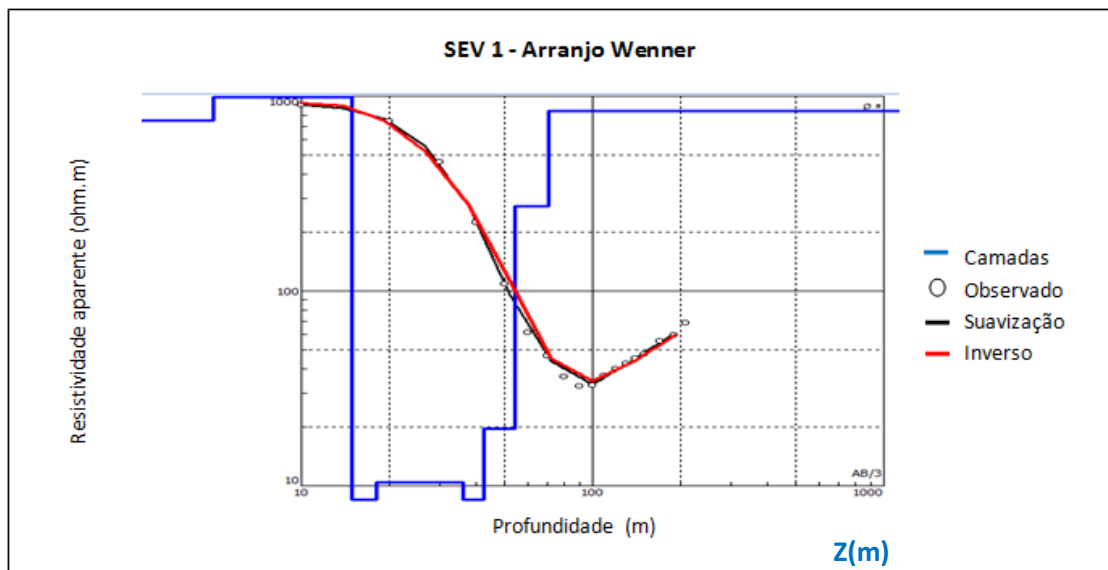
Após o ajuste adequado, iniciou-se a fase de interpretação dos dados adquiridos que se constitui como sendo um dos mais importantes estágios do trabalho geofísico. Por interpretação dos dados entende-se que é a tarefa de estabelecer um modelo geofísico que deva cumprir duas condições fundamentais: que satisfaça o conjunto de dados obtidos, de acordo com um critério pré-estabelecido, e seja susceptível de ter interpretação geológica que esteja de acordo com a informação já conhecida.

Para a interpretação foram utilizados poços que se localizavam próximos ao local da aquisição de dados, o poço da Vila de Santa Luzia e o da Praia do Atalaia (Anexo), para realizar as correlações entre o perfil litológico do poço e o modelo geoeétrico obtido pelo programa IPI2Win. A seguir serão mostradas as respectivas figuras obtidas.

9.1 SEV1 - São João de Pirabas

Na figura 16 abaixo, o modelo apresenta 7 camadas inseridas manualmente e um substrato com resistividades: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4 > \rho_5 < \rho_6 < \rho_7 < \rho_8$. O ajuste possui um erro de 6,11%. A tabela 7 mostra os parâmetros de resistividade (ρ), espessura da camada (h), profundidade (d) e altimetria (Alt) – diferença de nível do modelo geoeétrico. O valor negativo de Alt deve-se ao fato de que o programa admite Z negativo para baixo (profundidade).

Figura 16 - Curva de resistividade aparente de São João de Pirabas.



Fonte: Do autor.

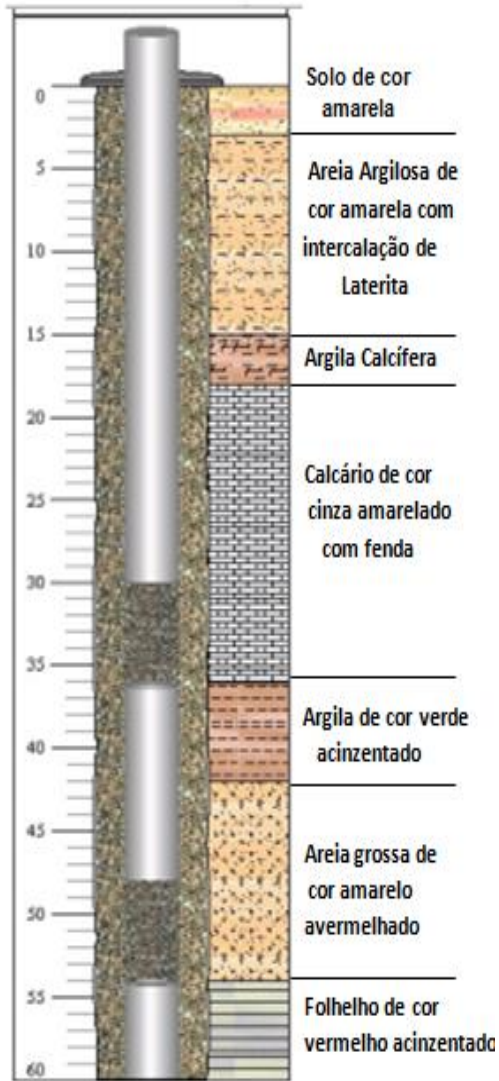
Tabela 7 - Resultado do modelo da SEV 1. N: número de camadas, ρ : espessura da camada h profundidade d e altimetria (Alt).

N	ρ	h	d	Alt
1	754	5	5	-5
2	1553	9.91	14.9	-14.91
3	3.24	3.2	18.1	-18.1
4	10.4	17.8	35.9	-35.94
5	7.66	6.39	42.3	-42.33
6	19.6	11.8	54.1	-54.12
7	273	16.5	70.6	-70.61
8	840			

Fonte: Do autor.

Figura 17 - Correlação entre o perfil construtivo do poço de Santa Luzia e modelo geoeletrico.

Perfil construtivo do Poço



Fonte: Modificado do (SIAGAS, 2017).

Modelo Geoeletrico

5 m	754 Ohm.m	
14.9 m	1553 Ohm.m	Formação Pirabas
18.1 m	3.24 Ohm.m	
35.9 m	10.4 Ohm.m	
42.3 m	7.66 Ohm.m	Formação Pirabas
54.1 m	19.6 Ohm.m	
70 m	273 Ohm.m	
	840 Ohm.m	

Fonte: Do autor.

Com os resultados obtidos do modelo geoeletrico estabeleceu-se a correlação entre o perfil construtivo do poço da Vila de Santa Luzia e o modelo geoeletrico (Figura 17) para realizar a interpretação das camadas do modelo. O perfil do poço apresenta sete camadas, enquanto que o modelo geoeletrico sete camadas e um substrato.

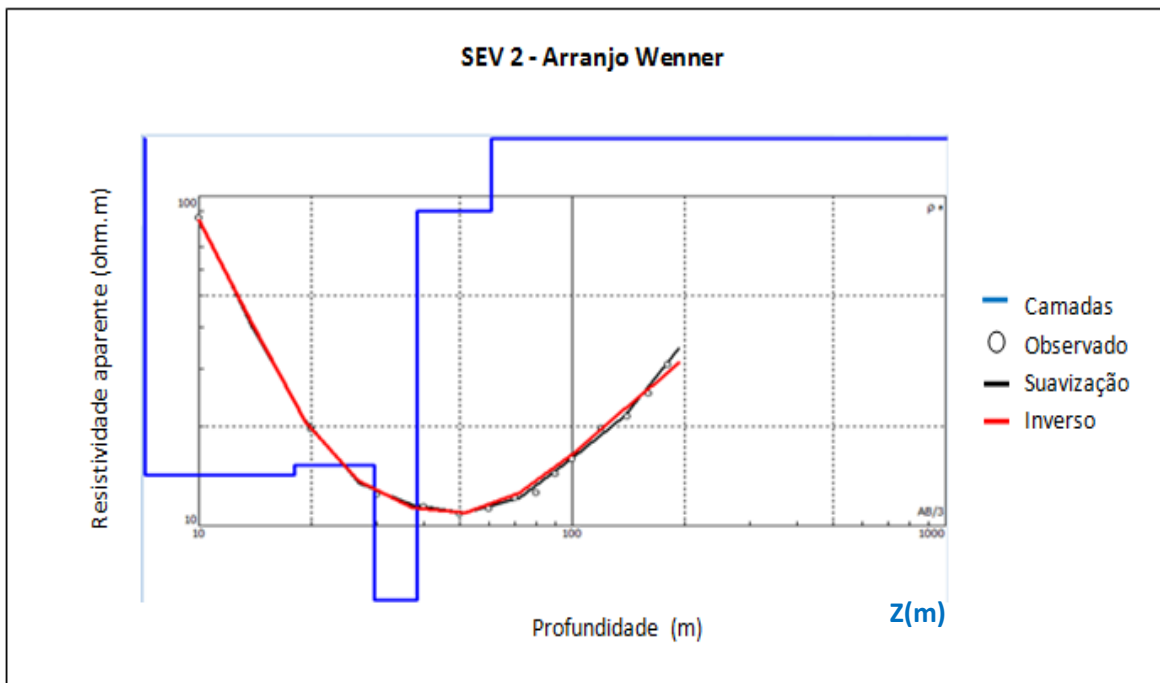
O modelo geoeletrico apresenta uma camada superficial de 5 metros de espessura e resistividade de 754 Ohm.m, corresponde ao solo com matéria orgânica e cascalho, sem presença de fluidos nos poros, devido a alta resistividade. A segunda camada de 9.91 metros de espessura e resistividade de 1553 Ohm.m, refere-se a areia argilosa com intercalações de lateritas também sem presença de fluidos em seus poros, correspondente à Formação Barreiras. Pois de acordo com ROSSETTI (2006) a Formação Barreiras é caracterizada genericamente por depósitos siliciclásticos de cores variegadas, consistem em arenitos quartzosos, depósitos heterolíticos, argilitos e, menos comumente, conglomerados e devido sua localização sofre forte intemperismo, evidenciado pela presença de crosta laterítica.

O termo Formação Pirabas é empregado para a sucessão carbonática contendo intercalações secundárias de folhelhos negros a esverdeados e arenitos amarelados (PETRI, 1954, 1957; FERREIRA, 1966). Logo, a partir da terceira camada temos a Formação Pirabas e a localização do aquífero de 15 a 60 metros de profundidade, evidenciado devido aos baixos valores de resistividade elétrica. Logo todo esse pacote de 45 metros de espessura encontra-se saturado pela presença de fluidos. A terceira camada possui 3.2 metros de espessura e apresenta baixa resistividade, devido sua composição de argila calcífera conter água, assim apresentando baixos valores de resistividade, pelo efeito combinado da água e da polarização superficial das partículas de argila. A quarta camada de 17.8 metros de espessura e resistividade de 10.4 Ohm.m, deve-se ao calcário fraturado que contém fluidos em seus poros, pois segundo ARAÚJO (1998) o calcário nessa região geralmente é duro e fraturado, o que representa um bom potencial para o confinamento de água subterrânea. A quinta camada de 6.39 metros de espessura e resistividade de 7,66 Ohm.m, corresponde à argila calcífera. A sexta camada de 11.8 metros de espessura e resistividade de 19.6 Ohm.m, corresponde a areia grossa. A sétima camada de 16.5 metros de espessura, deve-se a camada de folhelho, que possui alta resistividade de 273 Ohm.m, característica dessa composição e o substrato que está a partir de 60 metros de profundidade apresentou alta resistividade de 840 Ohm.m, possivelmente por não conter fluidos, devido a localização. O substrato provavelmente corresponde a Formação Pirabas, pois o poço mais próximo localizado na cidade indica a presença do embasamento cristalino a 130 metros de profundidade.

9.2 SEV Salinópolis

Na figura 18, o modelo apresenta 5 camadas inseridas manualmente e um substrato com resistividades: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 < \rho_5 < \rho_6$. O ajuste possui um erro de 4,12%. A tabela 8 da curva mostra os parâmetros de resistividade (ρ), espessura da camada (h), profundidade (d) e altimetria (Alt) – diferença de nível, do modelo geoeletrico. O valor negativo de Alt deve-se ao fato de que o programa admite Z negativo para baixo (profundidade).

Figura 18- Curva de resistividade aparente de Salinópolis.



Fonte: Do autor.

Tabela 8- Resultado do modelo da SEV2. N: número de camadas, ρ : espessura da camada h profundidade d e altimetria (Alt).

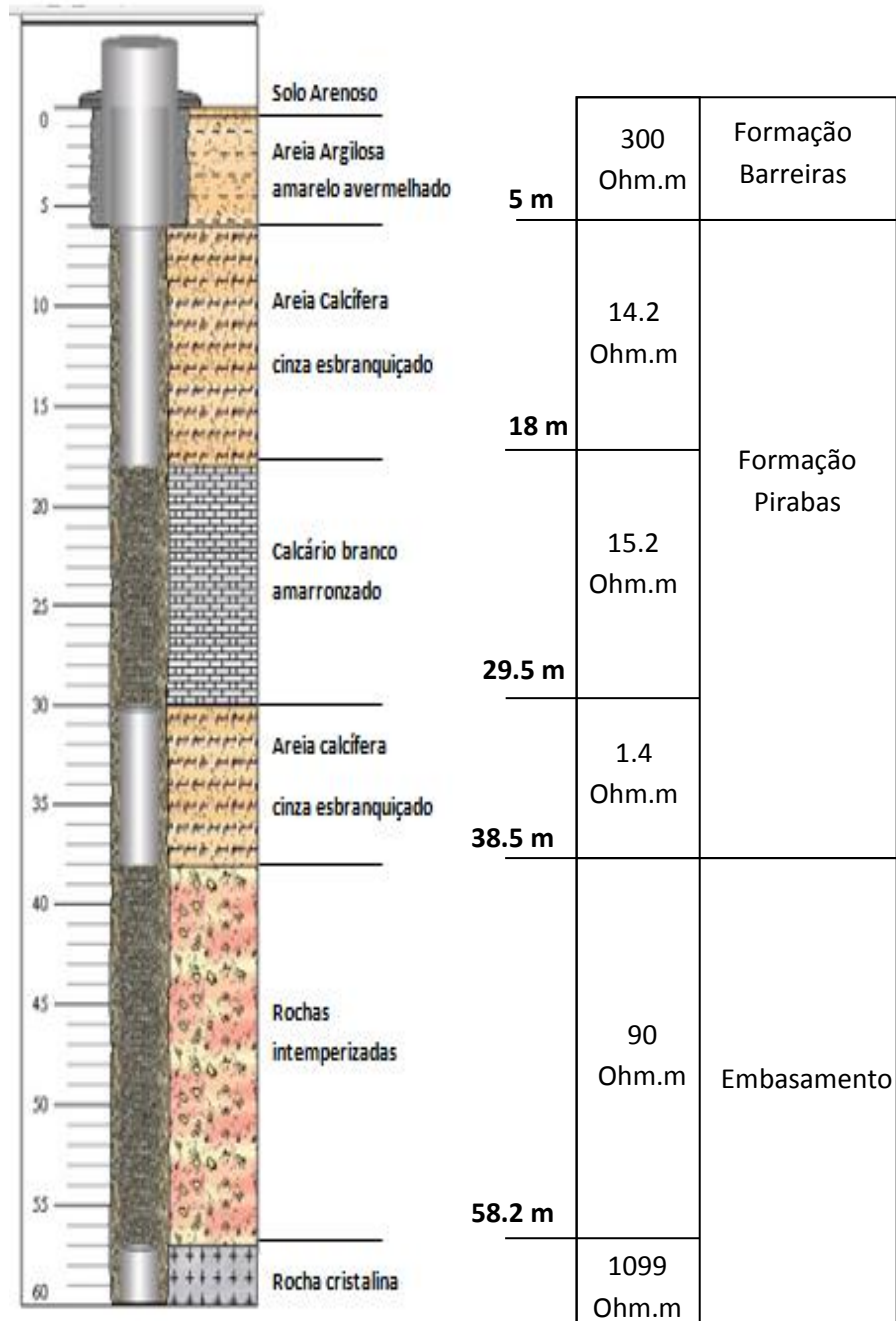
RMS=4.12%				
N	ρ	h	d	Alt
1	300	5	5	-5
2	14.2	13	18	-17.98
3	15.2	11.5	29.5	-29.47
4	1.4	9	38.5	-38.47
5	90	19.7	58.2	-58.22
6	1099			

Fonte: Do autor.

Figura 19 - Correlação entre o perfil construtivo do poço da praia do Atalaia e modelo geoeletrico.

Perfil construtivo do Poço

Perfil Geoeletrico



Fonte: Modificado do (SIAGAS, 2017).

Fonte: Do autor.

Com os resultados obtidos do modelo geoeletrico estabeleceu-se a correlaçaõ entre o perfil construtivo do poço da praia do Atalaia e o modelo geoeletrico (Figura 19) para realizar a interpretaçaõ. O perfil do poço apresenta sete camadas, enquanto que o modelo geoeletrico 6 camadas e um substrato, isso se deve ao espaçamento inicial utilizado de 10 metros entre os eletrodos, impossibilitando delimitar camadas delgadas, como por exemplo, a primeira camada de 0,5 metros de profundidade mostrada no perfil construtivo do poço.

O modelo geoeletrico apresenta uma camada rasa de 5 metros de espessura e alta resistividade de 300 Ohm.m que corresponde a areia argilosa sem presença de fluidos da Formaçaõ Barreiras. Da segunda camada até a quarta camada corresponde a Formaçaõ Pirabas e a localizaçaõ do aquífero de 5 a 57 metros de profundidade, evidenciado devido aos baixos valores de resistividade elétrica. Logo, todo esse pacote de 52 metros de espessura encontra-se saturado pela presença de fluidos. A segunda camada de 13 metros de espessura é constituída de areia calcífera e resistividade de 14.2 Ohm.m. A terceira camada de 11.5 metros de espessura, corresponde ao calcário fraturado que contêm água nos poros, logo apresenta baixos valores de resistividade de 15.2 Ohm.m. A quarta camada de 9 metros de espessura e resistividade de 1.4 Ohm.m, corresponde a areia calcífera com alta porosidade e circulaçaõ de fluidos. A quinta camada de 19.5 metros de espessura, corresponde a rochas intemperizadas com resistividade de 90 Ohm.m, provenientes do embasamento cristalino e o substrato que corresponde ao embasamento, com alta resistividade de 1099 Ohm.m, possivelmente devido não apresentar fluidos, já que o aquífero nesta área possui 57 metros de profundidade.

10 CONCLUSÃO

A aplicação da eletrorresistividade no estudo das unidades costeiras em São João de Pirabas e Salinópolis utilizando sondagens elétricas verticais (SEVs) mostrou que é possível através das correlações de dados geofísicos e geológicos de poços, identificar os contatos entre as Formações Barreiras e Pirabas e do embasamento cristalino com a base da Formação Pirabas, devido o método da eletroresistividade ser adequado na caracterização em profundidade de limites geológicos, desde que as litologias exibam forte contraste de resistividade elétrica. Além da eficácia do método na localização dos aquíferos subterrâneos nas áreas de estudo, evidenciando que o método é uma opção mais acessível, econômica e rápida na ampliação de estudos geológicos e hidrogeológicos da região.

Nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis os resultados, mostraram-se eficientes para estimar os contatos das Formações Barreiras e Pirabas a aproximadamente 15 metros de profundidade em São João de Pirabas e a 5 metros de profundidade em Salinópolis, devido suas distintas composições mineralógicas apresentarem contraste de resistividade e a localização dos aquíferos subterrâneos de 45 metros de espessura em São João de Pirabas e 52 metros de espessura em Salinópolis, identificado devido os baixos valores de resistividade elétrica a essa profundidade. Em Salinópolis, além de estimar o contato entre as Formações, foi possível identificar a base da Formação Pirabas, localizada sobreposta ao embasamento cristalino a aproximadamente 38 metros de profundidade. A partir de vários poços estudados, observa-se que o topo do embasamento está em torno de 125 metros em Salinópolis e a 130 m em São João de Pirabas, porém, essa profundidade varia de acordo com a localidade, pois o poço utilizado na correlação de dados em Salinópolis mostrou a presença de uma provável formação cristalina não identificada a 57 metros de profundidade.

Contudo, para trabalhos futuros recomenda-se a realização de sondagens elétricas verticais com abertura entre os eletrodos de corrente (A e B) em torno de 1 km, para obter profundidades de penetração maiores, que alcancem o contato entre a base da formação Pirabas e o embasamento cristalino em São João de Pirabas e também a realização de um maior número de sondagens elétricas em Salinópolis, para determinar as possíveis variações da profundidade do embasamento. Porém, faz-se necessário a utilização de equipamentos com maiores capacidades de injeção de corrente elétricas, pois a profundidade de penetração do método está limitada, entre outros fatores, pela potência da fonte do equipamento que determina a máxima corrente elétrica que pode ser introduzida no solo.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P. P. **Aspectos gerais da hidrogeologia das regiões costeiras cidade de Salinópolis**. 1998. 11f. Monografia (Especialização em Geociências Aplicadas ao Meio Ambiente) - UFPA, CG, Belém, 1998.
- ARAI, M. **A grande elevação eustática do mioceno: a verdadeira origem do grupo Barreiras**. Cidade Universitária Rio de Janeiro-RJ: Petrobras/CENPES/PDEXP/BPA, Ilha do Fundão, 2006.
- BRAGA, A. C. O. **Métodos de prospecção em hidrogeologia**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 1999. (Apostila interna do Curso de Geologia).
- COSTA, J. B. S. A neotectônica na Amazônia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, v.5, **Boletim de resumos expandidos e guia de excursões**. Belém: SBGeo-Núcleo Norte, 1996. p. 35-38.
- CARPENTER, E. W.; HABBERJAM, G. M. A tri-potencial method of resistivity prospecting. **Geophysics**, v.21, n.2, p. 455-469, 1956.
- FERREIRA, C. S. Características lito-paleontológicas na Formação Pirabas, estado do Pará. In: CONFERÊNCIA GEOLÓGICA DAS GUIANAS, v.6, 1966, Belém. **Anais...** Belém: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1966. p. 101-111.
- FURMAN, A.; FERRE, T. P.A.; WARRICK, A. W. A sensitivity analysis of electrical resistivity tomography array types using analytical element modeling. **Vadose Zone Journal**, v. 2, n.3, p.416-423, 2003.
- GÓES, A. M. **Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecurú, no Nordeste do Pará e Noroeste do Maranhão**. 1981. 55 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Pós-Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 1981..
- GÓES, A. M.; ROSSETI, D. F.; NOGUEIRA, A. C. R.; TOLEDO, P. M. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no Nordeste do estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**. Série Ciências da Terra, Belém, 1990, n.2, p. 3-15, 1990.
- GANDOLFO, O. C. B. **Um estudo do imageamento geolétrico na investigação rasa**. 2007. xix, 215f. Tese (Doutorado) - Pós Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2007.
- JOHANSEN, H. K. A man/computer interpretation system for resistivity sounding over a horizontally stratified earth. **Geophysical Prospecting**, v.25, n.4, p 667-691. 1977.
- LEITE, A. A. S.; NASCIMENTO FILHO, R. L. G.; SILVA JÚNIOR, R. O. **Mapeamento geológico do município de Maracanã, Nordeste do estado do Pará**. Belém: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 1992. (Estágio de Campo III).

LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. da C. **Curso de geofísica de prospecção**. Belém: UFPA. Centro de Geociências, 1983. p. 249. (Apostila).

LOKE, M. H. **Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: a practical guide to**. Penang, Malaysia: M.H.Loke, 1999. v.2, p.57.

LOCALIZAÇÃO da área de estudo nas proximidades da praia do Atalaia, município de Salinópolis. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2017.

LOCALIZAÇÃO da área de estudo próxima a Vila de Santa Luzia, município de São João de Pirabas. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2017

MILSOM, J.; ERIKSEN, A. **Field geophysics**. 4. ed. Oxford: Wiley, 2011.

MARTINHO, E. **Estudo integrado de problemas ambientais por métodos geofísicos**. Tese (Doutorado). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, p. 289, 2002.

MARTORANO, L. G.; PERREIRA, L. C.; CÉZAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B. **Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (Kóppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather)**. SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, Belém, 1993. p. 53.

MODELO de ilustração do campo elétrico na presença de uma camada condutiva. Disponível em: <<http://www.geoenvi.com.br/geofisica.php?i=3>>. Acesso em: 14 de março de 2017.

NUÑEZ, E. A.; RUIZ, M.; CHUK, D.; ROSSINI, B. Determinación de perfiles de humedad en suelos homogéneos a través de un método geoelectrico. **Ciencia del Suelo**, v. 31, n. 2, p. 271-277, 2013.

ORELLANA, E. **Prospeccion geoelectrica en corriente continua**. Madrid, Ed Paraninfo, p. 1972. 523.

PETRI, S. Foraminíferos fósseis da bacia de Marajó. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**, Universidade de São Paulo (Geologia), v.134,1954, p. 1-172.

PETRI, S. Foraminíferos miocênicos da formação Pirabas. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**, Universidade de São Paulo (Geologia), v. 216, 1957. p.1-79.

ROY, A.; APPARAO, A. Depth of investigation in direct current methods. **Geophysics**, v.36, n.5, p 943-959.1971.

ROSSETTI, D. F. Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wave-dominated estuary (Miocene), São Luís Basin, northern Brazil. **Sedimentary Geology**, 133, n. 3, p. 295-324, 2000.

ROSSETTI, D.F. Late Cenozoic sedimentary evolution in Northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. 2001. **Journal of South American Earth Sciences**, v.14, n.1, p. 77-89, 2001.

ROSSETTI, D. F.; Góes; Ana M; SOUZA, Lena S. B. Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 19, 2001.

ROSSETTI, D. F.; GÓES A. M. O neógeno da Amazônia Oriental Belém. Belém: **Museu Paraense Emílio Goeldi**, 2004. p. 13- 52.

ROSSETTI, D. F., TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região bragantina, Nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra, v.1, p. 25-74, 1989.

ROSSETTI, D. F. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. **Revista do Instituto de Geociências-USP**, São Paulo, v.6, n. 2, p. 7-18, 2006.

ROSSETTI, D. F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. **Sed. Geol.**, v.169, n. 3, p. 151-174, 2004.

ROSSETTI D. F.; SANTOS JR. A. E. A. Facies architecture in a tectonically influenced estuarine incised valley fill of Miocene age, Northern Brazil. **Journal of South America Earth Sciences**, v. 17, p. 267-284, 2004.

REGIÃO Nordeste do Pará aos arredores da PA 124 nos municípios de São João de Pirabas e Salinópolis. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2017.

PLATAFORMA online de Sistema de informações de água subterrânea (SIAGAS), disponível em<<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout>>. Acessado em 1 de fevereiro de 2017.

SÁ, J. H. S. Contribuições à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região bragantina. **Boletim do Instituto de Geologia**, v. 3, p. 21-36, 1969.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Geologia e recursos minerais do estado do Pará**: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Belém, 2017.

SILVA, F. S. **análise rasa de subsuperfície com radar de penetração no solo (GPR) em depósitos neógenos na praia do Atalaia (Salinas) e Aricuru (Maracanã), Nordeste do estado do Pará**. 2015. 42f. Trabalho de conclusão de curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 2015.

SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J.B.L.; ZANOTTO, O.; WOLFF, S. Evolução tectônica da margem equatorial brasileira, 1987. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, p. 180-188. 1987.

SHIMABUKURO, S.; ARAI, M. The Tortonian unconformity: its relation to the stratigraphic framework of the Barreiras Group (Brazilian coastal Cenozoic deposits). In: 31TH INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS - Rio de Janeiro, Brazil (August 6-17, 2000) (Poster Section). 2000.

TELFORD, W.M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R.E. **Applied Geophysics**. Second Edition. Cambridge University, 1990.

TATUMI, S. H.; LUIS P. DA S; PIRES, E. L.; ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. ; MUNITA, C. S. Datação de sedimentos Pós-Barreiras no Norte do Brasil: Implicações paleogeográficas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, p. 514-524, 2008.

VIEIRA, I. C. G.; TOLEDO, P. M.; ALMEIDA, A. Análise das modificações da paisagem da região Bragantina, no Pará, integrando diferentes escalas de tempo. **Ciência e Cultura**, v. 59, n.3, p. 27-30. 2007.

VIEIRA, P. D. C. **Estimativa do relevo 3d do embasamento via inversão gravimétrica da porção nordeste do Pará, município de Salinópolis e entorno, com separação regional-residual utilizando modelo gemma para profundidade da moho**. 2015. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 2015.

VIEIRA, M. A. **Eletrorresistividade aplicada à prospecção de água subterrânea**. CPRM, 1998. p.64.

WARD, S. H. Resistivity and induced polarization methods. In: _____. (ed.). **Geotechnical and environmental geophysics**. Tulsa: Society of exploration Geophysicists (SEG), 1990. v.1, p.147-189.

ZHDANOV, M. S.; KELLER, G. V. **The geoelectrical methods in geophysical exploration**. Amsterdam: Elsevier Science publishing Co, 1994. p.873.

APÊNDICES

APÊNDICE A - DADOS COLETADOS EM SÃO JOÃO DE PIRABAS

a (m)	ΔV (mV)	I (mA)	K	ρ_a (Ohm.m)
10	261	18.2	94.248	1352
20	124	20.9	125.66	745.56
30	33	13.5	157.08	383.97
40	26	29	188.5	169
50	15	43.3	314.16	108.83
60	8.6	53.1	376.99	61.057
70	4.7	56.9	439.82	36.33
80	4.6	71.8	502.65	32.204
90	5.4	92.2	565.49	33.12
100	3.8	72.7	628.32	32.842
110	4.6	86.9	691.15	36.586
120	5.9	112.2	753.98	39.648
130	1.9	36.5	816.81	42.519
140	4.9	100.1	879.65	43.06
150	4	79.3	942.48	47.54
170	4.3	83.2	1068	55.204
190	5.2	104.4	1194	59.462
210	5.2	134.8	1319	50.899

Fonte: Do autor

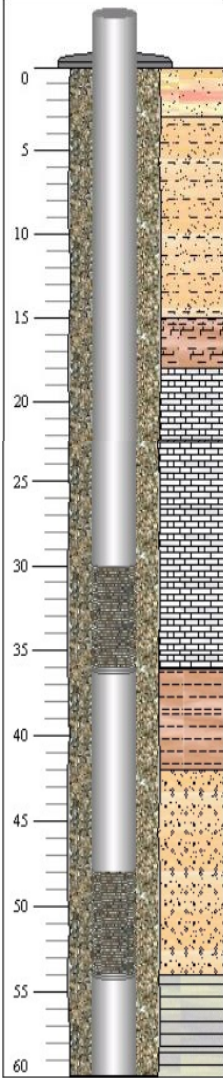
DADOS COLETADOS EM SALINÓPOLIS

a(m)	ΔV (mV)	I(mA)	K	ρ_a (Ohm.m)
10	18.6	13.6	62.832	85.932
20	8.2	52.4	125.66	19.665
30	4	60.8	188.5	12.401
40	7	154.2	251.33	11.409
50	9.3	268	314.16	10.902
60	8.5	285	376.99	11.244
70	16	578	439.82	12.175
80	15	600	502.65	12.566
90	14	550	565.49	14.394
100	18	709	628.32	15.952
120	6	229	753.98	19.755
140	5.5	225	879.65	21.502
160	2.5	99.8	1005	25.183
180	2	73.4	1131	30.817

Fonte: Do autor

ANEXOS

Poço: 1500003001	UF : PA	Município : Sao joao de pirabas	Localidade : Santa Luzia - PA 124
------------------	---------	---------------------------------	-----------------------------------

Perfil Construtivo		Gerais			
	Dados Gerais:				
	Nome :	EF-117			
	Data da Instalação :				
	Proprietário :	Prefeitura Municipal de São João de Pirabas			
	Natureza do Ponto :	Poço tubular			
	Uso da água :	Abastecimento doméstico			
	Cota do Terreno :				
	Localização:				
	Localidade :	Santa Luzia - PA 124			
	UTM (Norte/Sul) :	9900415			
	UTM (Leste/Oeste) :	250865			
	Latitude (GMMSS) :	005401			
	Longitude (GMMSS) :	471419			
	Bacia Hidrográfica:	Atlântico Sul-N/NE			
	Subbacia Hidrográfica:	Rios Meruu, Acara, Guama e outros			
	Situação:				
	Data :	13/12/2004			
	Situação :	Não instalado			
Construtivos					
Perfuração:					
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método	
01/10/2004	0.00	60.00	IGNORADO	Rotativo	
Diâmetro:					
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros		
0.00	60.00	12	304.8000		
Revestimento:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	
0.00	30.00	Plástico geomecânico	6	152.4000	
36.00	48.00	Plástico geomecânico	6	152.4000	
54.00	60.00	Plástico geomecânico	6	152.4000	
Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura
30.00	36.00	Plástico geomecânico	6	152.4000	0.75
48.00	54.00	Plástico geomecânico	6	152.4000	0.75
Espaço Anular:					
De (m):	Até (m):	Material			
0.00	60.00	Cascalho			
Boca do Tubo:					
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)		
13/12/2004	0.55	4	101.6000		
Entrada d'água:					
Profundidade:					
Profundidade Útil:					
Data:	Profundidade:				
	60.00				

Geológicos

Feição Geomorfológica:	
Descrição:	

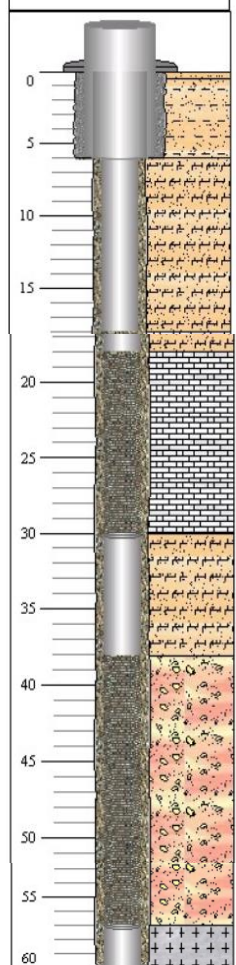
Formação Geológica:		
Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:
0.00	60.00	Formacao pirabas

Dados Litológicos:			
De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	3	Solo	Solo de cor amarela.
3	15	Areia argilosa	Areia argilosa de cor amarelo amarronzado com intercalação de lateritas.
15	18	Argila calcÁ-fera	Argila calcÍfera de cor amarelo alaranjado.
18	36	CalcÁrio	CalcÁrio de cor cinza amarelado com fenda.
36	42	Argila	Argila de cor verde acinzentado.
42	54	Areia grossa	Areia grossa de cor amarelo avermelhado.
54	60	Folhelho	Folhelho de cor vermelho acinzentado.

Hidrogeológicos

Aquífero no Ponto:		
Aquífero: Poroso	Topo (m):	15.00
	Base (m):	60.00
	Captação:	Única
	Condição:	Confinado
	Penetração:	Parcial

Poço: 150006607	UF : PA	Município : Salinópolis	Localidade : PRAIA DO ATALAIA
-----------------	---------	-------------------------	-------------------------------

Perfil Construtivo		Gerais			
		Dados Gerais:			
		Nome :	POAÇO OPLIMA		
		Data da Instalação :			
		Proprietário :	DISTRIBUIDORA OPLIMA		
		Natureza do Ponto :	Poço tubular		
		Uso da água :	Outros (lazer,etc.)		
		Cota do Terreno :			
		Localização:			
		Localidade :	PRAIA DO ATALAIA		
		UTM (Norte/Sul) :	9933289		
		UTM (Leste/Oeste) :	243022		
		Latitude (GMMSS) :	003611		
		Longitude (GMMSS) :	471832		
		Bacia Hidrográfica:	Atlântico Sul-N/NE		
		Subbacia Hidrográfica:	Rios Gurupi, Turiaçu e outros		
Situação:					
Data :	12/09/2013				
Situação :	Bombeando				
Construtivos					
Perfuração:					
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método	
21/06/2013	0.00	60.00	CASA DAS BOMBAS PERFURAÇÕES LTDA.		
Diâmetro:					
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros		
0.00	6.00	10	254.0000		
6.00	60.00	6	152.4000		
Revestimento:					
0.00	6.00	Plástico geomecânico	6	152.4000	
6.00	18.00	Plástico geomecânico	4	101.6000	
30.00	38.00	Plástico geomecânico	4	101.6000	
57.00	60.00	Plástico geomecânico	4	101.6000	

Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura
18.00	30.00	Plástico geomecânico	4	101.6000	0.75
38.00	57.00	Plástico geomecânico	4	101.6000	0.75

Espaço Anular:		
De (m):	Até (m):	Material
0.00	6.00	Cimentação
6.00	60.00	Cascalho

Boca do Tubo:			
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
12/09/2013	0.45	6	152.4000

Entrada d'água:	
Profundidade:	

Profundidade Útil:	
Data:	Profundidade:
	60.00

Geológicos			
Feição Geomorfológica:			
Descrição:			
Formação Geológica:			
Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:	
0.00	45.00	Formacao pirabas	
Dados Litológicos:			
De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	0.5	Solo arenoso	Solo arenoso branco avermelhado.
0.5	6	Areia argilosa	Areia argilosa amarelo avermelhado.
6	18	Areia calcÁ-fera	Areia calcifera cinza esbranquiçado.
18	30	CalcÁ-rio	Calcário branco amarronzado.
30	38	Areia calcÁ-fera	Areia calcifera cinza esbranquiçado.
38	57	Rochas Intemperizadas e Decompostas	Rochas Intemperizadas e Decompostas branco amarronzado.
57	60	Rocha Cristalina nÃO identificada	Rocha Cristalina não identificada cinza.
Hidrogeológicos			
Aquifero no Ponto:			
Aquifero: Poroso	Topo (m):	0.00	
	Base (m):	57.00	
	Captação:	Única	
	Condição:	Livre	
	Penetração:	Total	