



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG

**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO – CENTRO DE
TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
MESTRADO EM EXPLORAÇÃO PETROLÍFERA E MINERAL –
PPGEPM**

SONALLY LUCI TAVARES AMADO GUEDES

**PROSPECÇÃO DE ÁGUA EM AQUÍFEROS FRATURADOS ATRAVÉS
DO IMAGEAMENTO ELÉTRICO – ESTUDO DE CASO NO SERIDÓ
DA PARAÍBA E DO RIO GRANDE DO NORTE**

Campina Grande – PB

2022

SONALLY LUCI TAVARES AMADO GUEDES

**PROSPECÇÃO DE ÁGUA EM AQUÍFEROS FRATURADOS ATRAVÉS
DO IMAGEAMENTO ELÉTRICO – ESTUDO DE CASO NO SERIDÓ
DA PARAÍBA E DO RIO GRANDE DO NORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Exploração Petrolífera e Mineral.

Áreas de concentração: Hidrogeologia e Geofísica.

Orientadores: Dra. Paula Stein

Dr. José Agnelo Soares

Campina Grande – PB

2022

G924p

Guedes, Sonally Luci Tavares Amado.

Prospecção de água em aquíferos fraturados através do imageamento elétrico – estudo de caso no Seridó da Paraíba e do Rio Grande do Norte / Sonally Luci Tavares Amado Guedes. – Campina Grande, 2023.

130 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Exploração Petrolífera e Mineral) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Prof. Dr. Paula Stein, Dr. José Agnelo Soares".

Referências.

1. Hidrogeologia. 2. Imageamento elétrico. 3. Aquíferos fraturados. I. Stein, Paula. II. Soares, José Agnelo. III. Título.

CDU 556.3(043)

SONALLY LUCI TAVARES AMADO GUEDES

**PROSPECÇÃO DE ÁGUA EM AQUÍFEROS FRATURADOS ATRAVÉS DO
IMAGEAMENTO ELÉTRICO – ESTUDO DE CASO NO SERIDÓ DA
PARAÍBA E DO RIO GRANDE DO NORTE**

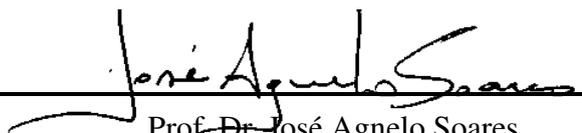
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral da Universidade Federal de Campina Grande, pertencente à linha de pesquisa de água subterrânea, e áreas de concentração em hidrogeologia e geofísica. Como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Exploração Petrolífera e Mineral.

Aprovada em: 26/01/2023



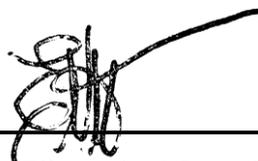
Prof^ª. Dra. Paula Stein

Orientadora - Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia - UFCG



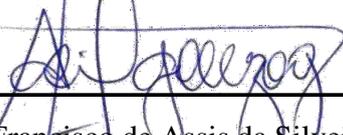
Prof. Dr. José Agnelo Soares

Coorientador - Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia - UFCG



Prof^ª. Dra. Elissandra Moura Lima

Examinador interno - Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia – UFCG



Prof. Dr. Francisco de Assis da Silveira Gonzaga

Examinador externo - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Campina Grande- IFPB



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EXP. PETROLIFERA E MINERACAO
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM EXPLORAÇÃO PETROLÍFERA E MINERAL, REALIZADA EM 26 DE JANEIRO DE 2023

CANDIDATA: Sonally Luci Tavares Amado Guedes.

COMISSÃO EXAMINADORA: Profa. Dra. Paula Stein, UFCG, Orientadora e Presidente da Comissão; Prof. Dr. José Agnelo Soares, UFCG, 2º orientador; Prof. Dr. Francisco de Assis da Silveira Gonzaga, IFPB; Profa. Dra. Elissandra Nascimento de Moura Lima, UFCG.

TÍTULO DA TESE: PROSPECÇÃO DE ÁGUA EM AQUÍFEROS FRATURADOS ATRAVÉS DO IMAGEAMENTO ELÉTRICO – ESTUDO DE CASO NO SERIDÓ DA PARAÍBA E DO RIOGRANDE.

HORA DE INÍCIO: **15h00** – LOCAL: **Sala Virtual** meet.google.com/tsa-gzxc-hbs.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 45 minutos, a candidata foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização, no tema de sua dissertação, obtendo conceito APROVADA. Face à aprovação, declara a presidente da Comissão, achar-se a examinada, legalmente habilitada a receber o Grau de Mestre em Exploração Petrolífera Mineral, cabendo a Universidade Federal de Campina Grande, como de direito, providenciar a expedição do Diploma, a que a mesma faz jus. Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é assinada por mim, ELISSANDRA NASCIMENTO DE MOURA LIMA, e os membros da Comissão Examinadora.

Campina Grande, 17 de fevereiro de 2023.

Profa. Dra. ELISSANDRA NASCIMENTO DE MOURA LIMA, UFCG
Coordenadora e examinadora interna

Profa. Dra. PAULA STEIN, UFCG
Orientadora e Presidente da Comissão

Prof. Dra JOSÉ AGNELO SOARES, UFCG
Examinador interno

Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS DA SILVEIRA GONZAGA, IFPB
Examinador externo

SONALLY LUCI TAVARES AMADO GUEDES
Candidata



Documento assinado eletronicamente por **ELISSANDRA NASCIMENTO DE MOURA LIMA, COORDENADOR(A)**, em 23/02/2023, às 18:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sonally Luci Tavares Amado Guedes, Usuário Externo**, em 24/02/2023, às 11:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE AGNELO SOARES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/02/2023, às 18:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **PAULA STEIN, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/02/2023, às 18:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco de Assis da Silveira Gonzaga, Usuário Externo**, em 08/05/2023, às 09:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3124000** e o código CRC **21DB2554**.

Aos meus pais Dilson Amado (*in memoriam*) e Sônia Amado meus maiores exemplos de vida e pilares da minha formação. Ao meu esposo Joabe Guedes, que sempre esteve comigo em todos os momentos sendo meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me capacitar a desenvolver este trabalho, Ele é a minha suficiência de vida e força.

Agradeço a minha família, por todo amor e apoio em cada etapa da minha vida, sem vocês eu não conseguiria seguir em frente.

Agradeço aos meus amigos e companheiros de trabalho na Seção de Poços do 1º Grupamento de Engenharia, em especial ao TC Myers, ST M. Penedo, 3º Sgt Calixto e SC Demétrio, minha infinita gratidão por todo apoio, ensino e encorajamento em cada fase na execução desta pesquisa e também do meu aperfeiçoamento profissional.

Agradeço ao meu amigo Cap C Augusto por me apoiar e auxiliar a realizar esta pesquisa, mesmo em meio a inúmeros desafios, obrigada.

Agradeço a todos os meus comandantes e chefes que me apoiaram e concederam os dados necessários para o cumprimento deste trabalho.

Agradeço aos meus orientadores a Prof^a. Paula Stein e Prof, Agnelo Soares, pela generosidade e por estarem comigo em cada fase, refinando com maestria esta pesquisa, sempre me aperfeiçoando a ir além, elevando meu caráter técnico e profissional.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

“Porque dele, e por ele, e para ele são todas as coisas. A ele seja a glória para sempre! Amém.”

(Romanos 11:36)

RESUMO

A perfuração de poços no semiárido Nordeste vem sendo uma alternativa utilizada pelos setores público e privado para mitigar as ações da seca. No entanto, nestes locais esta atividade se torna um grande desafio, uma vez que o semiárido nordestino está inserido hidrogeologicamente em um ambiente predominantemente composto por rochas cristalinas. Essas rochas, dão origem aos aquíferos fraturados, os quais armazenam água nas fendas das rochas e a obtenção de poços produtivos está restrita à locação de pontos preferenciais. O Estado da Paraíba apresenta 80% de seu território composto por rochas cristalinas, e semelhante a isto o Rio Grande do Norte possui 60% de unidades litoestratigráficas de origem cristalina. Com vista a realizar locações de poços mais produtivos no embasamento cristalino, a geofísica tem sido aplicada como uma ferramenta auxiliar e decisória nos estudos destas áreas. O presente trabalho apresenta o estudo de quatorze poços perfurados no aquífero fraturado sendo, nove no Estado da Paraíba em quatro municípios e cinco no Estado do Rio Grande do Norte em quatro municípios. Através do uso da técnica geoeletrica de imageamento elétrico multi-eletrodo, foram realizadas as locações dos quatorze poços e posteriormente as perfurações e análise físico-química das águas encontradas. Os dados adquiridos foram processados e interpretados de acordo com as informações geológicas e hidrogeológicas de cada região, sendo observado que o comportamento das estruturas apresentava um padrão de direção semelhante, bem como as suas formações geológicas. A pequena espessura do manto de alteração na maioria dos poços não tem influência na produtividade destes, mas sim quando eles se encontram próximos as drenagens locais, resultando em poços com maiores vazões. No tocante a qualidade das águas dos poços analisados, a maioria está fora dos padrões estabelecidos para o consumo humano, sendo consideradas águas salobras ou salgadas, devendo as águas passar por tratamento para adequação dos índices recomendados. Por fim, além da comprovação da eficácia da aplicação do método da eletrorresistividade na prospecção de água subterrânea em aquíferos cristalinos nos Estados estudados, foi identificado, mediante os estudos dos perfis geoeletricos de cada área investigada, um parâmetro de resistividade para ocorrência de água subterrânea nos aquíferos cristalinos em ambos os Estados estudados. Este resultado é um dado de grande importância nos estudos geofísicos para região semiárida, possibilitando a compreensão do comportamento das fraturas em subsuperfície e auxiliando na interpretação das pesquisas geofísicas de água subterrânea nestas regiões.

Palavras-Chave: Hidrogeologia, Imageamento elétrico, Aquíferos fraturados.

ABSTRACT

In order to mitigate the effects of drought and provide a more reliable water supply, both public and private-sector entities have attempted to utilize water wells across the semiarid regions of northeast Brazil. However, it is difficult to find groundwater because the regional geology is predominantly composed of crystalline rocks with little or no hydraulic conductivity and no accessible productive aquifer layers of sand, gravel, or soil. Instead, groundwater is present and accessible only in fractured zones where cracks, fractures, and discontinuities have propagated throughout the rock formations. Productive water wells are limited to only those wells that intercept water-filled fractures. The States of Paraíba (PB) and Rio Grande do Norte (RN) are largely composed of these nonporous rock layers: approximately 80% of PB and 60% of RN contain a stratigraphy mostly composed of crystalline units. Geophysical methods have demonstrated their decisive and dependable role in the goal of developing productive water wells in areas with crystalline bedrock. Through the use of electrical resistance imaging through multi-electrode arrays, surveys were conducted at 14 potential water well sites. At each location, a survey line was established consisting of over 80 electrodes and data was acquired through an automatic 2-D survey system collecting thousands of data points at varying depths across this survey line. The acquired data points were filtered to eliminate noise, processed through inversion using a software program, and resulted in a 2-dimensional profile of resistance values in a vertical section of the earth extending across the length of the survey line. This 2-D profile was interpreted based on the geologic observations at each location, taking into account the orientation and behavior of the geological structures and formations at each location. Following this collection, processing, and interpretation of the data, a single well was drilled at each site at the location indicated by the resistivity data and a chemical analysis was performed of the water at each well. The relatively thin surface layer of weathered rock in the majority of these locations does not have any bearing of the productivity of the wells, but does affect flowrates when they are located near surface drainage zones. In regards to the groundwater quality, the water samples from most of the wells were outside the established limits of water suitable for human consumption, being classified as saline or salty water. This requires the usage of treatment or desalination in order to attain potable water standards. Finally, in both Paraíba and Rio Grande do Norte, in addition to demonstrating the effectiveness of electrical resistance imaging for groundwater exploration in crystalline aquifers, we analyzed the resistivity profiles of each survey location and determined parameters of resistivity values that indicate the presence of groundwater. These results are of great importance to the body of

knowledge of the semiarid region, enable a deeper understanding of the behavior of subsurface fractures, and assist in the geophysical research of groundwater in similar regions across the world.

Keywords: Hydrology, electrical resistance imaging, fractured aquifers

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Mapa de localização dos municípios estudados no Estado da Paraíba. Fonte: Própria da autora, 2022.	24
Figura 2- Mapa de localização dos municípios estudados no Estado do Rio Grande do Norte. Fonte: Própria da autora, 2022.	25
Figura 3- Mapa geológico simplificado do Estado da Paraíba. Fonte: JULIÃO, 2021.....	26
Figura 4- Mapa do arcabouço geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Fonte: BIZZI, et. al., 2003.	27
Figura 5- Representação esquemática do ciclo hidrológico. Fonte: modificado de BEAR & VERRUIJT, 1987, apud Feitosa, 2008.	29
Figura 6- Classificação dos aquíferos em função da pressão e capacidade de transmissão de água. Fonte: ALEIXO, 2017.	29
Figura 7- Classificação dos aquíferos em função da característica ou propriedade das rochas. Fonte: INBS, 2011.....	31
Figura 8- Tipos de poços para captação de água subterrânea. Fonte: FIESP, 2005.....	32
Figura 9- Esquema de poço em rocha cristalina. Fonte: FIESP, 2005.....	33
Figura 10- Esquema de poço em rocha sedimentar. Fonte: FIESP, 2005.	33
Figura 11- Esquema de poço misto. Fonte: FIESP, 2005.....	34
Figura 12- Terrenos cristalinos e bacias sedimentares do nordeste brasileiro. Fonte: FEITOSA, 2008.	36
Figura 13- Sistemas de aquíferos do Estado da Paraíba. Fonte: AESA, 2016.	39
Figura 14- Mapa dos aquíferos do Rio Grande do Norte. Fonte: ANA, 2016.	40
Figura 15- Modelo conceitual para definir a resistividade elétrica. Fonte: CARDOSO, 2016.	44
Figura 16- Fonte pontual de corrente situada na superfície de um semi-espao isotrópico e homogêneo. Fonte: modificado de TELFORD et. al., 1990.....	44
Figura 17- Modelo de ensaios de campo com as técnicas de sondagem elétrica vertical e caminhamento elétrico. Fonte: BRAGA, 2016.	45
Figura 18- Faixa de valores de resistividade elétrica de materiais conhecidos. Fonte: ORELLANA, 1972.....	46
Figura 19- Relação entre a resistividade elétrica e a porcentagem volumétrica de água nos poros de quatro diferentes terrenos argilosos. Fonte: A. SAMOUELIAN et. al., 2005.....	47
Figura 20- Disposição do arranjo dipolo-dipolo. Fonte: GALLAS, 2003.....	49

Figura 21- Disposição dos eletrodos para arranjo gradiente. Fonte: BRAGA, 2016.	50
Figura 22- Mapa geológico de São Mamede – PB. Fonte: CPRM, 2005.	51
Figura 23- Mapa geológico de Cubati – PB. Fonte: CPRM, 2005.	52
Figura 24- Mapa geológico de Pedra Lavrada – PB. Fonte: CPRM, 2005.	54
Figura 25- Mapa geológico de Várzea – PB. Fonte: CPRM, 2005.	55
Figura 26- Mapa geológico de Ipueira – RN. Fonte: CPRM, 2005.	56
Figura 27- Mapa geológico de Jucurutu – RN. Fonte: CPRM, 2005.	57
Figura 28- Mapa geológico de Jucurutu – RN. Fonte: CPRM, 2005.	57
Figura 29- Mapa geológico de Cruzeta – RN. Fonte: CPRM, 2005.	58
Figura 30- Mapa geológico de Cruzeta – RN. Fonte: CPRM, 2005.	58
Figura 31- Mapa geológico de Currais Novos – RN. Fonte: CPRM, 2005.	59
Figura 32- Mapa geológico regional simplificado dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Fonte: Própria da autora.	60
Figura 33- Composição do Resistivímetro SuperSting™ R8. Fonte: Própria da autora.	63
Figura 34- Outro modelo de fonte de energia do SuperSting™ R8. Fonte: Própria da autora.	63
Figura 35- Profundidade de investigação. Fonte: Própria da autora.	64
Figura 36- Solução de água com sal para correção da resistência elétrica de contato. Fonte: Própria da autora.	65
Figura 37- Croqui da linha geoeétrica na comunidade Belo Monte. Fonte: Própria da autora.	67
Figura 38- Vista frontal de um afloramento caracterizado pela presença marcante da foliação da biotita-quartzo xisto. Fonte: Própria da autora.	67
Figura 39- Croqui da linha geoeétrica na comunidade Mundo Novo. Fonte: Própria da autora.	68
Figura 40- Área de vale onde realizei o estudo geofísico na comunidade de Mundo Novo. Fonte: Própria da autora.	69
Figura 41- Croqui da linha geoeétrica na comunidade Nossa Senhora da Aparecida II. Fonte: Própria da autora.	70
Figura 42- Poço seco perfurado na comunidade de Nossa Senhora Aparecida II (Coordenadas: 703508.24 E/ 9235325.54 S *SIRGAS 200 – UTM 24 S). Fonte: Própria da autora.	71
Figura 43- Croqui da linha geoeétrica na comunidade Belo Monte I. Fonte: Própria da autora.	72

Figura 44- Linha geolétrica montada na comunidade de Belo Monte I. Fonte: Própria da autora.	72
Figura 45- Croqui da linha geolétrica na comunidade São Domingos I. Fonte: Própria da autora.	73
Figura 46- Área do estudo geofísico na comunidade de São Domingos I. Fonte: Própria da autora.	74
Figura 47- Croqui da linha geolétrica na comunidade Belo Monte II. Fonte: Própria da autora.	75
Figura 48- Linha geolétrica realizada na comunidade de Belo Monte II. Fonte: Própria da autora.	75
Figura 49- Croqui da linha geolétrica na comunidade Novo Horizonte. Fonte: Própria da autora.	76
Figura 50- Área de estudo geofísico na comunidade Novo Horizonte. Fonte: Própria da autora.	77
Figura 51- Croqui da linha geolétrica na comunidade São Vicente I. Fonte: Própria da autora.	78
Figura 52- Afloramento mostrando a intercalação de rocha calcissilicática e biotita gnaíse. Fonte: Própria da autora.	79
Figura 53- Croqui da linha geolétrica na comunidade São Vicente II. Fonte: Própria da autora.	80
Figura 54- Estaca indicando o ponto para perfuração no eletrodo 15. Fonte: Própria da autora.	80
Figura 55- Croqui da linha geolétrica na comunidade Pedra Navio. Fonte: Própria da autora.	81
Figura 56- Afloramento de gnaíse intemperizado fraturado, na comunidade Pedra Navio. Fonte: Própria da autora.	82
Figura 57- Croqui da linha geolétrica na comunidade Boi Selado. Fonte: Própria da autora.	83
Figura 58- Estrada pública onde realizei o estudo geofísico na comunidade de Boi Selado. Fonte: Própria da autora.	83
Figura 59- Croqui da linha geolétrica na comunidade Pau Lagoa 1. Fonte: Própria da autora.	84
Figura 60- Croqui da linha geolétrica na comunidade Pau Lagoa 2. Fonte: Própria da autora.	85

Figura 61- Croqui da linha geolétrica na comunidade Maniçoba. Fonte: Própria da autora. .86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Poços cadastrados no Siagas.	61
Tabela 2- Dados da linha geométrica na comunidade Belo Monte. Fonte: Própria da autora. 67	67
Tabela 3- Dados da linha geométrica na comunidade Mundo Novo. Fonte: Própria da autora.	68
Tabela 4- Dados da linha geométrica na comunidade Nossa Senhora da Aparecida II. Fonte: Própria da autora.....	70
Tabela 5- Dados da linha geométrica na comunidade Belo Monte I. Fonte: Própria da autora.	72
Tabela 6- Dados da linha geométrica na comunidade São Domingos I. Fonte: Própria da autora.	73
Tabela 7- Dados da linha geométrica na comunidade Belo Monte II. Fonte: Própria da autora.	75
Tabela 8- Dados da linha geométrica na comunidade Novo Horizonte. Fonte: Própria da autora.	77
Tabela 9- Dados da linha geométrica na comunidade São Vicente I. Fonte: Própria da autora.	78
Tabela 10- Dados da linha geométrica na comunidade São Vicente II. Fonte: Própria da autora.	80
Tabela 11- Dados da linha geométrica na comunidade Pedra Navio. Fonte: Própria da autora.	81
Tabela 12- Dados da linha geométrica na comunidade Boi Selado. Fonte: Própria da autora. 83	83
Tabela 13- Dados da linha geométrica na comunidade Pau Lagoa 1. Fonte: Própria da autora.	84
Tabela 14- Dados da linha geométrica na comunidade Pau Lagoa 2. Fonte: Própria da autora.	85
Tabela 15- Dados da linha geométrica na comunidade Maniçoba. Fonte: Própria da autora. .86	86
Tabela 16-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 62 (Mundo Novo), 70 (Belo Monte). Fonte: Própria da autora.	95
Tabela 17-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 21 e 44 em Nossa Senhora Aparecida II. Fonte: Própria da autora.	96

Tabela 18-Dados de perfuração das comunidades de Mundo Novo, Belo Monte e Nossa Senhora Aparecida II. Fonte: Própria da autora.	96
Tabela 19-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 37 (Belo Monte I) e 17 (São Domingos I). Fonte: Própria da autora.	100
Tabela 20-Dados de perfuração das comunidades de Belo Monte I e São Domingos I. Fonte: Própria da autora.	101
Tabela 21-Perfil de resistividade elétrica do eletrodo 32 (Belo Monte I). Fonte: Própria da autora.	103
Tabela 22-Dados de perfuração das comunidades de Belo Monte II. Fonte: Própria da autora.	103
Tabela 23- Perfil de resistividade elétrica do eletrodo 47 (Novo Horizonte). Fonte: Própria da autora.	104
Tabela 24-Dados de perfuração das comunidades de Belo Monte I e São Domingos I. Fonte: Própria da autora.	106
Tabela 25-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 38 (São Vicente I) e 15 (São Vicente II). Fonte: Própria da autora.	109
Tabela 26-Dados de perfuração das comunidades de São Vicente I e São Vicente II. Fonte: Própria da autora.	110
Tabela 27-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 19 (Pedra Navio) e 64 (Boi Selado). Fonte: Própria da autora.	111
Tabela 28-Dados de perfuração das comunidades de Pedra Navio e Boi Selado. Fonte: Própria da autora.	114
Tabela 29-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 53 (Pau Lagoa 1) e 36 (Pau Lagoa 2). Fonte: Própria da autora.	117
Tabela 30-Dados de perfuração da comunidade de Pau Lagoa. Fonte: Própria da autora.	118
Tabela 31-Perfil de resistividade elétrica do eletrodo 66 em Maniçoba. Fonte: Própria da autora.	120
Tabela 32-Dados de perfuração da comunidade de Maniçoba. Fonte: Própria da autora.	121
Tabela 33-Classificação da qualidade da água segundo os intervalos de condutividade elétrica. Fonte: MENDES & OLIVEIRA, 2004.	122
Tabela 34-Classificação das águas conforme os intervalos de SDT. Fonte: CONAMA, 2005.	122

Tabela 35- Dados da análise de água realizada nos poços perfurados. Fonte: Própria da autora.
..... 123

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Seções de resistividade invertida na comunidade Mundo Novo. Fonte: Própria da autora.	91
Gráfico 2 - Seções de resistividade invertida na comunidade Belo Monte. Fonte: Própria da autora.	92
Gráfico 3 - Seções de resistividade invertida na comunidade Nossa Senhora Aparecida II. Fonte: Própria da autora.	93
Gráfico 4 - Seções de resistividade invertida na comunidade Belo Monte I. Fonte: Própria da autora.	98
Gráfico 5 - Seções de resistividade invertida na comunidade São Domingos I. Fonte: Própria da autora.	99
Gráfico 6 - Seções de resistividade invertida na comunidade Belo Monte II. Fonte: Própria da autora.	102
Gráfico 7 - Seções de resistividade invertida na comunidade Novo Horizonte. Fonte: Própria da autora.	105
Gráfico 8 - Seções de resistividade invertida na comunidade São Vicente I. Fonte: Própria da autora.	107
Gráfico 9 - Seções de resistividade invertida na comunidade São Vicente II. Fonte: Própria da autora.	108
Gráfico 10 - Seções de resistividade invertida na comunidade Pedra Navio. Fonte: Própria da autora.	112
Gráfico 11 - Seções de resistividade invertida na comunidade Boi Selado. Fonte: Própria da autora.	113
Gráfico 12 - Seções de resistividade invertida na comunidade Pau Lagoa 1. Fonte: Própria da autora.	115
Gráfico 13 - Seções de resistividade invertida na comunidade Pau Lagoa 2. Fonte: Própria da autora.	116
Gráfico 14 - Seções de resistividade invertida na comunidade Maniçoba. Fonte: Própria da autora.	119

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	<i>Objetivos</i>	23
1.1.1	Objetivos específicos.....	24
2	Revisão bibliográfica.....	25
2.1	<i>Aspectos geológicos.....</i>	25
2.1.1	Paraíba.....	26
2.1.2	Rio Grande do Norte	27
2.2	<i>Aspectos hidrogeológicos</i>	28
2.2.1	Classificação dos Aquíferos	29
2.2.2	Sistemas de Aquíferos	30
2.2.3	Classificação dos Poços	32
2.2.4	Aspectos hidrogeológicos de rochas cristalinas no Nordeste.....	34
2.2.5	Contexto hidrogeológico da Paraíba	36
2.2.6	Contexto hidrogeológico do Rio Grande do Norte	40
2.3	<i>Aplicação da geofísica para água subterrânea.....</i>	42
2.3.1	Método da Eletrorresistividade	43
2.3.2	Sistema Multi-eletrodos	47
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	50
3.1	<i>Municípios da Paraíba</i>	50
3.2	<i>Municípios do Rio Grande do Norte.....</i>	55
3.3	<i>Hidrogeologia local.....</i>	60
4	METODOLOGIA DE AQUISIÇÃO.....	61
4.1	<i>Aquisição dos dados geofísicos na Paraíba</i>	66
4.1.1	São Mamede.....	66
4.1.2	Cubati	71
4.1.3	Pedra Lavrada.....	74
4.1.4	Várzea.....	76
4.2	<i>Aquisição dos dados no Rio Grande do Norte</i>	77
4.2.1	Ipueira.....	78
4.2.2	Jucurutu	81
4.2.3	Cruzeta	84
4.2.4	Currais Novos.....	85

5	RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO DOS PERFIS GEOELÉTRICOS E DA PERFURAÇÃO DOS POÇOS	86
5.1	<i>Estudos de caso da Paraíba.....</i>	89
5.1.1	São Mamede.....	90
5.1.2	Cubati	97
5.1.3	Pedra Lavrada.....	101
5.1.3	Várzea.....	104
5.2	<i>Estudos de caso do Rio Grande do Norte.....</i>	106
5.2.1	Ipueira.....	106
5.2.2	Jucurutu	110
5.2.3	Cruzeta	114
5.2.4	Currais Novos.....	118
6	QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	121
7	CONCLUSÕES	124
8	REFERÊNCIAS	127

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é marcado em sua história pela gestão de secas, que entre os anos de 1991 a 2012 atingiu mais de 41 milhões de pessoas, sendo o semiárido do Nordeste a região mais afetada (BANCO MUNDIAL, 2015).

A disponibilidade de recursos hídricos no Nordeste é escassa, e segundo os dados informados pelo Monitor das Secas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), a deficiência hídrica é ocasionada em virtude das irregularidades de chuvas, da alta evaporação frente ao clima quente e seco, baixo desenvolvimento econômico e, em muitos locais, solos desfavoráveis. Todo este contexto justifica a grande dependência em relação à água subterrânea da população que vive nestas áreas, mesmo esta sendo uma alternativa complexa em virtude da hidrogeologia das rochas cristalinas predominantes no semiárido nordestino, ainda sim, a água subterrânea torna-se um recurso estratégico para o desenvolvimento.

Os Estados da Paraíba e o Rio Grande do Norte apresentam uma geologia predominantemente cristalina. Na Paraíba aproximadamente 80% de sua área é oriunda sobre rochas Pré-cambrianas, sendo complementado por bacias sedimentares fanerozoicas, rochas vulcânicas cretáceas, coberturas plataformais paleógenas/neógenas e formações superficiais quaternárias (CPRM, 2002). O Estado do Rio Grande do Norte apresenta contexto semelhante, uma vez que 60% do seu território, o que equivale a 31.809 km², são agrupados em duas grandes unidades litoestratigráficas: o Grupo Caicó e o Grupo Seridó (JARDIM DE SÁ, 1980).

Estes Estados têm buscado na perfuração de poços tubulares uma alternativa para mitigar a problemática da escassez hídrica em alguns de seus municípios. No entanto, a perfuração de poços em rochas cristalinas é um grande desafio, pois estas são caracterizadas como sendo um mau armazenador de água, tanto em qualidade – apresentam vazões de exploração que variam de 2 a 16 m³/hora – quanto em quantidade, uma vez que a água captada possui um teor elevado de salinidade. As rochas do embasamento cristalino dão origem ao aquífero fraturado ou fissural, tipicamente anisotrópico, onde as águas estão armazenadas nas zonas de fraqueza das rochas – fendas e fraturas (VASCONCELOS, 2006).

Destarte, para que se possa evitar a perfuração de poços secos ou de baixas vazões, a pesquisa geofísica, juntamente com o estudo geológico e hidrogeológico deste sistema

de aquífero, vem sendo intensificada buscando locais geologicamente mais favoráveis para o acúmulo de água. Dentre os métodos geofísicos mais conhecidos e aplicados à hidrogeologia pode-se citar os: métodos potenciais, magnéticos e de gravidade, os quais são usados para delinear aquíferos em escala regional e grandes bacias sedimentares; métodos sísmicos, voltados para mapeamento de aquíferos localizados no topo rochoso e em rochas fraturadas; e métodos eletromagnéticos e elétricos, que apresentam uma aplicação mais abrangente a diversas situações geológicas, analisando características relevantes como permeabilidade e porosidade das rochas, que podem revelar alguma correlação quando comparados aos valores de condutividade elétrica obtida através destes métodos.

Dentre os métodos geofísicos, o método geoeletrico é o principal método aplicado na prospecção de água subterrânea em aquíferos fraturados, em virtude do seu contexto geológico complexo. Neste sentido, quanto mais estudos sobre esta temática, maior será a compreensão e o detalhamento de conhecimento proporcionado aos meios técnico e acadêmico que investigam sobre os aquíferos fraturados e realizam perfurações de poços tubulares nestes locais. As técnicas utilizadas nos métodos geoeletricos para locação de poços tubulares são a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e o Caminhamento Elétrico (CE), sendo esta última a técnica utilizada na presente pesquisa.

Frente ao exposto, o presente trabalho trará uma abordagem avançada da técnica de caminhamento elétrico, conhecida como Imageamento Elétrico Multi-eletrodo (IEM), que em linhas gerais realiza a aquisição automatizada e com um maior nível de detalhes do subsolo, através dos valores de resistividade elétrica aparente do mesmo, permitindo que estas informações sejam organizadas em uma imagem 2D da distribuição espacial de resistividade em subsuperfície. A técnica multi-eletrodo, aliada aos estudos geológicos e hidrogeológicos, foi aplicada a casos reais em alguns municípios do Estado da Paraíba e do Rio Grande do Norte, cujos locais aconselháveis para perfuração de poços tubulares são geralmente os relacionados com pontos de fraqueza do substrato rochoso, como: anticlinal, sinclinal, dique, e principalmente diversos tipos de falhas, fraturas ou zonas de cisalhamento. As locações dos poços realizadas através desta técnica são comprovadas por meio da perfuração destes, onde é possível analisar a utilização desse método no contexto geológico do embasamento cristalino, expondo suas particularidades, vantagens e desvantagens.

Os casos aqui abordados são alguns dos estudos que realizei pelo Exército Brasileiro entre os anos de 2020 a 2022 que foram cedidos para elaboração desta pesquisa, os quais apresentam uma profundidade de investigação rasa (até 100 metros), tendo em vista algumas condicionantes consideradas, bem como a profundidade dos poços existentes nestes Estados, que são em média 50 metros.

Esta dissertação está estruturada conforme descreve a seguir. O Capítulo 1 corresponde a Introdução, onde são abordados a contextualização do problema e os objetivos do trabalho. O Capítulo 2 refere-se à Revisão Bibliográfica, a qual descreve os aspectos geológicos e hidrogeológicos da Paraíba e do Rio Grande do Norte, abordando a classificação dos aquíferos e seus sistemas, classificação dos poços, hidrogeologia das rochas cristalinas no Nordeste, aplicação da geofísica para prospecção de água subterrânea, fundamentos do método geofísico da eletrorresistividade e descreve sobre o imageamento elétrico Multi-eletrodos 2D. O Capítulo 3 apresenta a caracterização das áreas estudadas. O Capítulo 4 mostra a metodologia utilizada na pesquisa. O Capítulo 5 descreve sobre os resultados e discussões. O Capítulo 6 aborda sobre a qualidade da água subterrânea encontrada nos poços. E o Capítulo 7 conclui a presente pesquisa e faz algumas recomendações. Por fim, o Capítulo 8 apresenta as referências bibliográficas utilizadas no trabalho.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo aplicar a técnica geofísica de eletrorresistividade em terrenos cristalinos em alguns municípios dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, que sofrem com a escassez hídrica, e realizar a locação e perfuração de poços nestas áreas, analisando, comparado e demonstrando que a sua aplicação é de grande importância para mitigar os insucessos de perfurações em locais inadequados, bem como a preservação do meio ambiente nos locais estudados (Figuras 1 e 2).

1.1.1 Objetivos específicos

- Analisar o padrão de direção das estruturas geológicas e das drenagens e a influência destes no acúmulo de água nas fendas das rochas em subsuperfície;
- Verificar a existência de algum padrão de resistividade elétrica nos locais estudados e correlacionar com o resultado da perfuração dos poços;
- Verificar as espessuras do manto de alteração e se estes têm alguma influência na produtividade dos poços perfurados em virtude da proximidade ou não das drenagens locais;
- Avaliar se as diferentes formações geológicas cristalinas exercem influência na produtividade do poço e na salinidade da água;
- E por fim, apresentar as vantagens e desvantagens da aplicação do método da eletrorresistividade e sua eficácia no estudo do aquífero cristalino.

Figura 1-Mapa de localização dos municípios estudados no Estado da Paraíba. Fonte: Própria da autora, 2022.

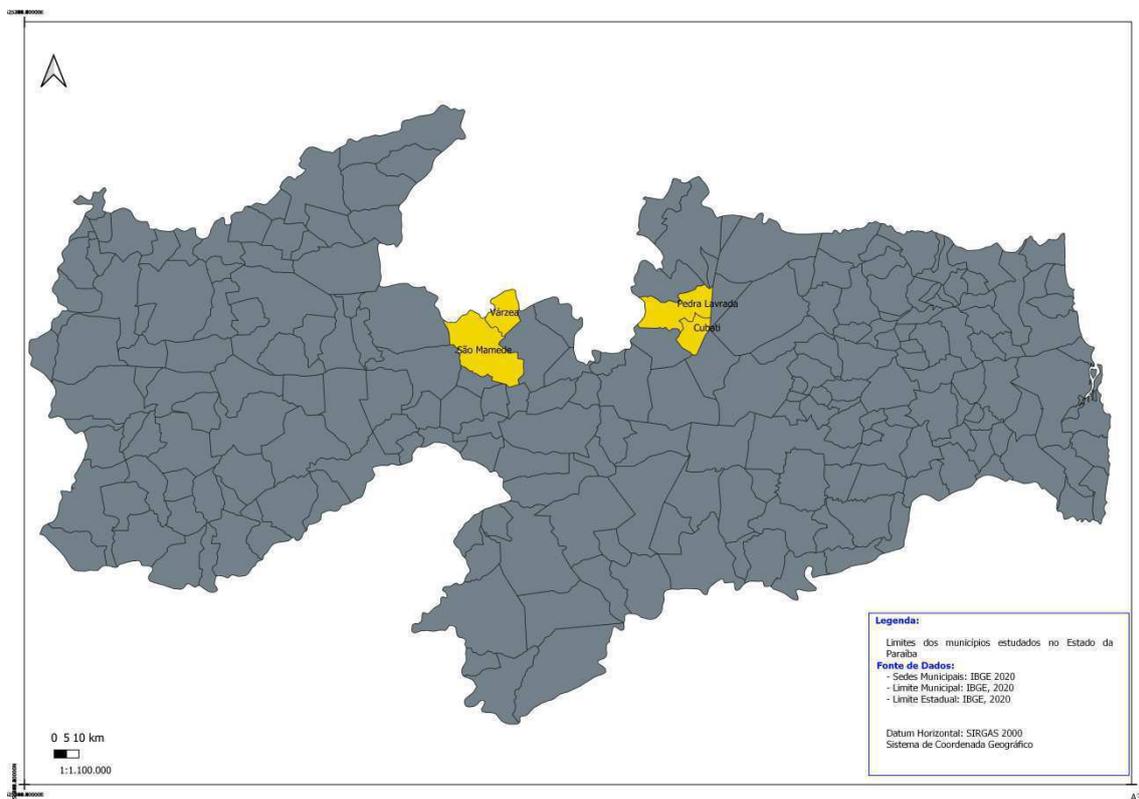
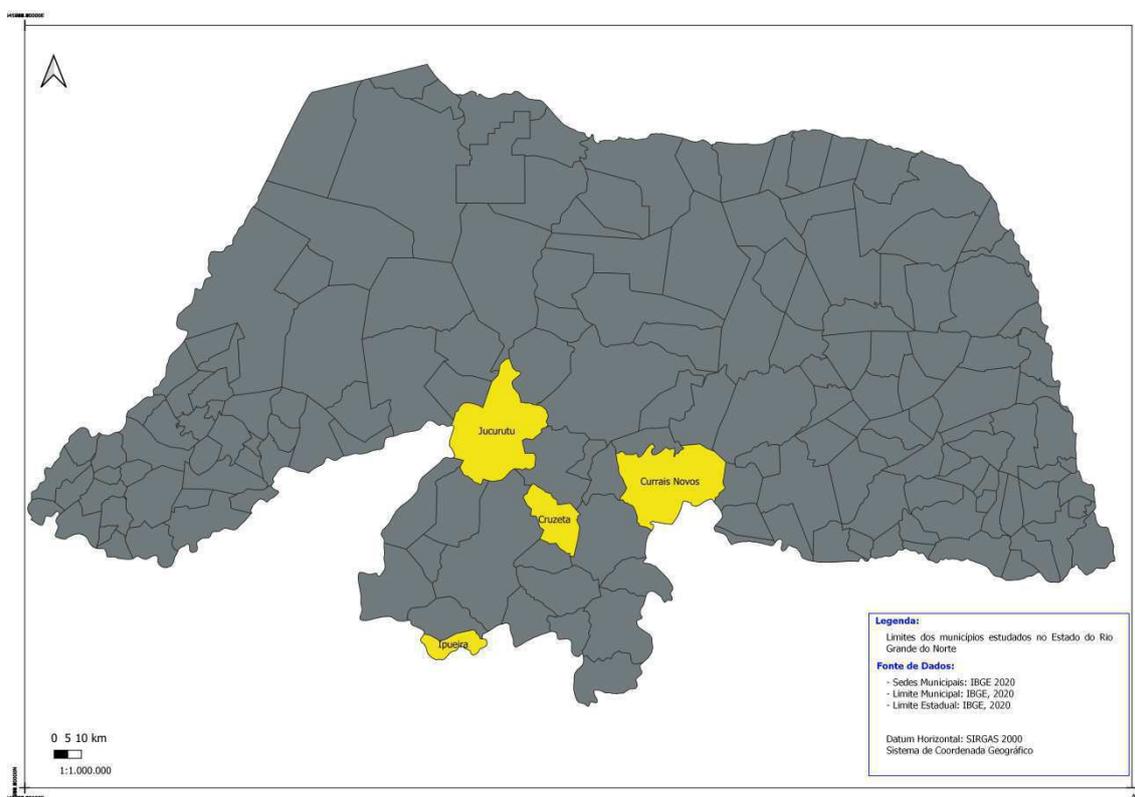


Figura 2- Mapa de localização dos municípios estudados no Estado do Rio Grande do Norte. Fonte: Própria da autora, 2022.



2 Revisão bibliográfica

2.1 Aspectos geológicos

A ocorrência de água subterrânea em uma região é muito variada, e está relacionada diretamente a influência de fatores climáticos que por sua vez variam no espaço e no tempo e de aspectos geológicos complexos. Tais fatores condicionam as formas de recarga, estocagem, circulação e descarga e influenciam substancialmente a qualidade das águas subterrâneas, além de determinarem as características e equipamentos e materiais a serem usados nas obras de captação – poço escavado ou tubular.

A estrutura dos corpos rochosos do Nordeste corresponde à grande extensão de rochas pertencentes ao substrato geológico de idade Pré-cambriana (com idade entre 4,6 bilhões e 570 milhões de anos) que predomina a região do semiárido, apresentando-se envolta de um pequeno manto de intemperismo. Nestes locais as potencialidades

hidrogeológicas ficam restritas às zonas fraturadas e aos mantos aluviais associados (GIAMPÁ & GONÇALES, 2009).

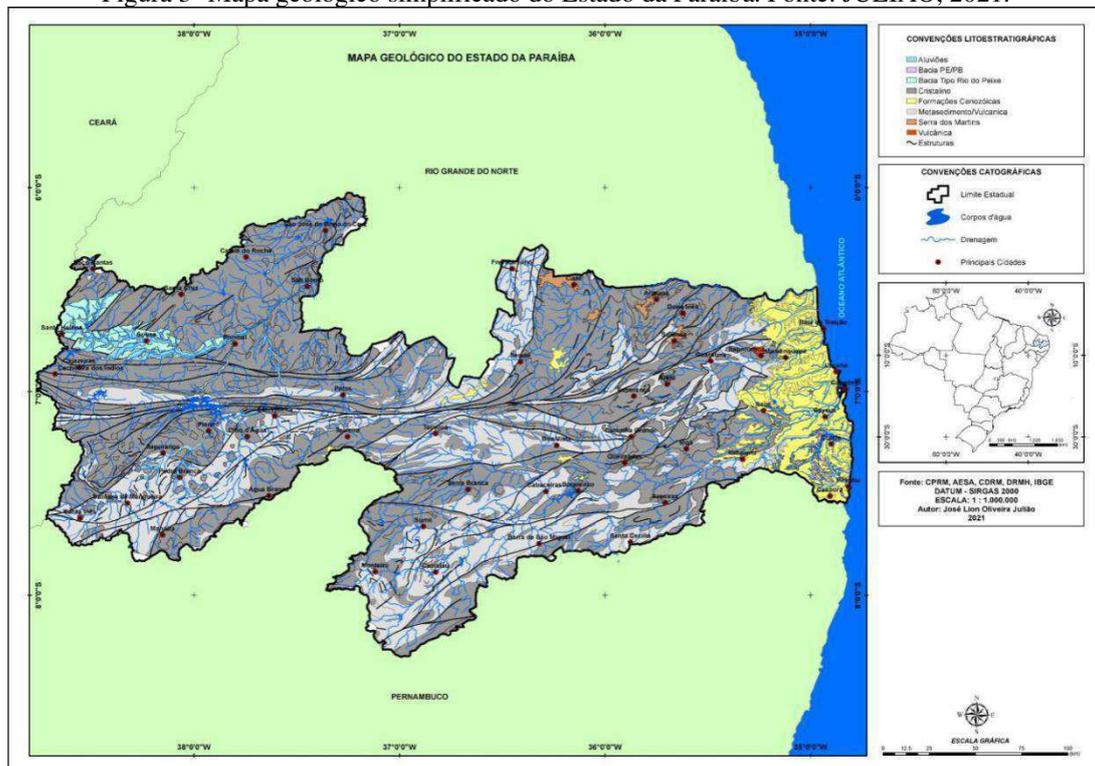
2.1.1 Paraíba

O Estado da Paraíba, segundo ALMEIDA & HASUI (1984), encontra-se compartimentado geotectonicamente em duas províncias distintas, mas que apresentam muitas relações de dependência em sua evolução estrutural, sendo elas: Província Borborema e Província Costeira.

A maior parte do território do Estado é formado por rochas precambrianas, as quais cobrem cerca de 80% do território, estando este substrato rochoso inserido na Província Borborema, de idade meso a neoproterozoica e apresenta Zonas de Cisalhamento que separam os principais Domínios tectônico-estratigráficos existentes, sendo estes: a unidade inferior, considerada do Pré-Cambriano Indiviso, e a unidade superior, do Pré-Cambriano Superior.

O Pré-Cambriano Indiviso é constituído pelos complexos Migmatítico-Granitóide e Gnássico-Migmatítico, além de rochas granitóides e gabróides. O Pré-Cambriano Superior é representado pelos Grupos Seridó e Cachoeirinha, bem como por rochas plutônicas, granulares e filonianas (CPRM, 2002) (Figura 3).

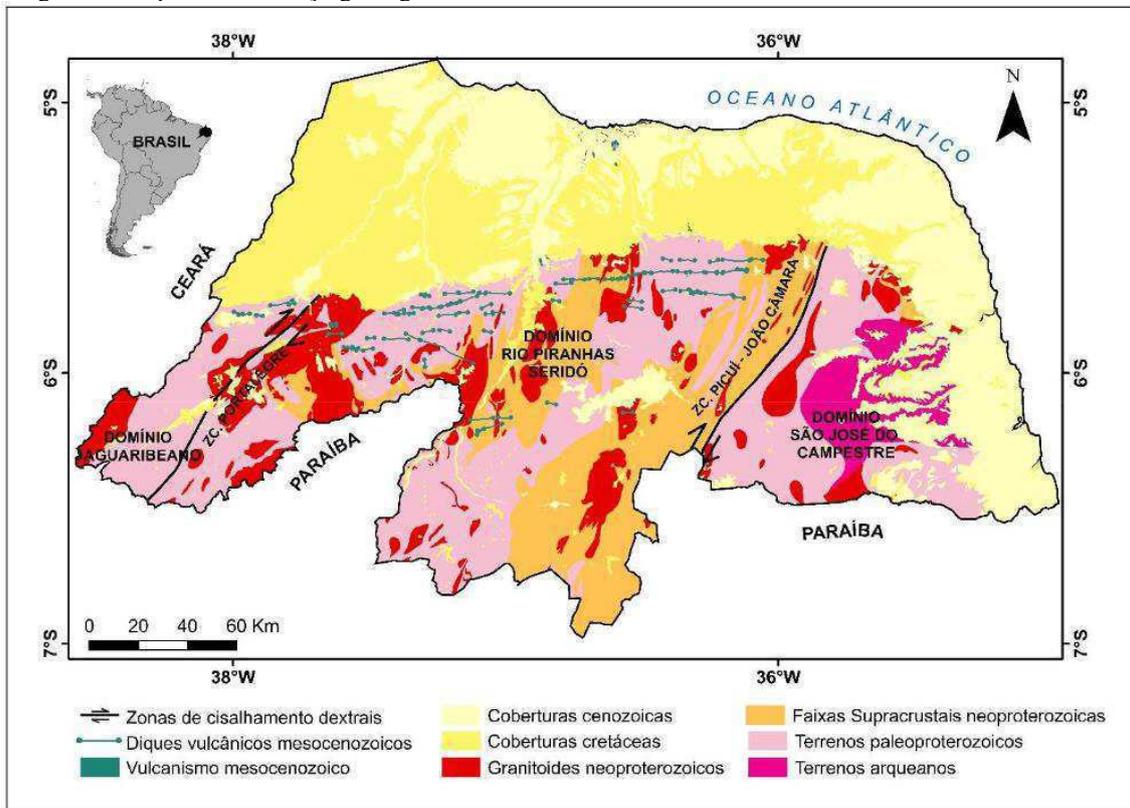
Figura 3- Mapa geológico simplificado do Estado da Paraíba. Fonte: JULIÃO, 2021.



2.1.2 Rio Grande do Norte

O Estado do Rio Grande do Norte apresenta uma geologia que tem por base três grandes grupos de rochas: o primeiro mais antigo, representado por rochas Pré-cambrianas, com idades cerca de 3,45 bilhões de anos até 542 milhões de anos; o segundo constitui-se de unidades do Cretáceo com idades entre 145 a 65 milhões de anos, representado pelas rochas sedimentares da Bacia Potiguar e vulcânicas associadas; e o terceiro de idade mais jovem, cerca de 65 milhões de anos até o recente, possuindo coberturas sedimentares cenozoicas (Figura 4) (BIZZI *et al.*, 2003).

Figura 4- Mapa do arcabouço geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Fonte: BIZZI, et. al., 2003.



Na porção mais antiga as rochas Pré-cambrianas estão inseridas na Província Borborema, as quais são recobertas por sedimentos fanerozoicos da Província Costeira e Margem Continental, conforme definido por ALMEIDA & HASUI (1984).

A constituição geológica da Província Borborema é dotada por sequências metassedimentares e metavulcânicas de idades meso e neoproterozoicas, com blocos de embasamento de idade paleoproterozoica, com alguns remanescentes do Arqueano,

configurando um cinturão orogênico meso-neoproterozoico. Segundo Bizzi et al., 2003, a evolução desta Província culminou com uma colagem tectônica brasileira/panafricana de ca. 600 Ma.

O substrato pré-cambriano do Estado do Rio Grande do Norte está inserido na Subprovíncia Setentrional, e possui a seguinte divisão: Domínio Jaguaribeano (DJ), Domínio Rio PiranhasSeridó (DPS) e Domínio São José do Campestre (JARDIM DE SÁ, 1980).

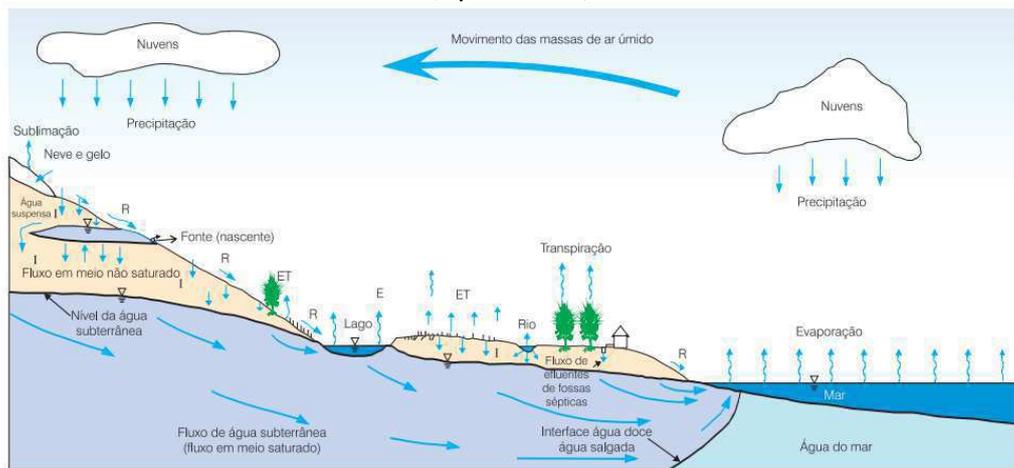
2.2 Aspectos hidrogeológicos

A água subterrânea existente na Terra, na sua grande maioria, tem origem no ciclo hidrológico, ou seja, em um sistema fechado cuja natureza conduz a circulação da água do oceano para a atmosfera e posteriormente para os continentes, lugar onde retorna de maneira superficial e subterrânea para o oceano (Figura 5).

O conceito do ciclo hidrológico está relacionado ao movimento, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre, e à troca de água em seus diferentes estados físicos, que ocorre na Hidrosfera, entre os oceanos, as geleiras, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. A energia proveniente do sol é responsável pelo movimento permanente do ciclo, fornecendo energia suficiente para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação). O vapor de água é conduzido pelo ar e pode condensar no ar, gerando nuvens, onde a gravidade faz com que a água que está condensada nelas caia (precipitação), e que uma vez na superfície, esta água circule através de linhas de rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou pode ainda infiltrar-se nos solos e nas rochas, através de seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo). Nem toda água precipitada alcança a superfície terrestre, podendo uma parte durante a queda, ser interceptada pela vegetação e volta a evaporar-se (CARVALHO e SILVA, 2006).

Ao longo das fases do ciclo hidrológico, a água pode sofrer alterações em sua qualidade, a saber, a água do mar é transformada em água doce através do processo de evaporação, e a água doce que infiltra no terreno, dissolvendo os sais encontrados no solo, regolito ou na própria rocha, segue para os rios, levando consigo estes sais para os oceanos, como também um grande número de outras substâncias dissolvidas e em suspensão.

Figura 5- Representação esquemática do ciclo hidrológico. Fonte: modificado de BEAR & VERRUIJT, 1987, apud Feitosa, 2008.

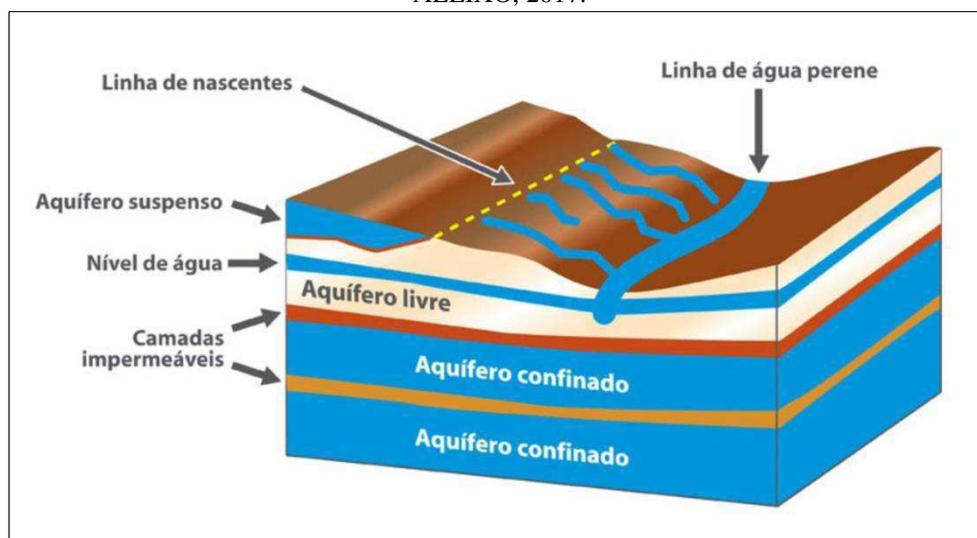


2.2.1 Classificação dos Aquíferos

O termo aquífero designa uma camada ou um corpo rochoso que possui elevados valores de porosidade específica e de permeabilidade. Nestas áreas os espaços vazios formados pelos poros, fraturas e fissuras das rochas, são suficientemente grandes para armazenar volumes importantes de água.

A classificação dos aquíferos está baseada na pressão das águas nas superfícies limítrofes, bem como, em função de sua capacidade de transmitir a água nestas camadas (camada mais confinante superior- topo, e da camada confinante inferior – base) (Figura 6). No tocante a pressão, os aquíferos são classificados em: confinados e livres.

Figura 6- Classificação dos aquíferos em função da pressão e capacidade de transmissão de água. Fonte: ALEIXO, 2017.



Os aquíferos confinados são aqueles em que a pressão da água no topo é maior do que a pressão atmosférica. Em virtude de suas camadas limítrofes o mesmo pode ser definido em: confinados não drenantes e confinados drenantes.

Os aquíferos confinados não drenantes apresentam impermeabilidade nas camadas limítrofes superior e inferior. No poço que penetra este tipo de aquífero, o nível da água fica acima da base da camada confinante superior. Já os aquíferos confinados drenantes, apresentam pelo menos uma das camadas limítrofes é semipermeável, possibilitando a entrada ou a saída de fluxos pelo topo e/ou pela base (FEITOSA, 2008).

Os aquíferos livres, também chamados de freáticos ou não confinados, apresentam em seu limite superior à superfície de saturação ou freática, em que todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. Este tipo de aquífero é responsável pela recarga dos aquíferos confinados, no qual por meio dos excessos de água da chuva conseguem penetrar por infiltração (FEITOSA, 2008).

Existe ainda um caso especial de aquífero livre, sendo este conhecido como aquífero suspenso, é formado por uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada e situada entre a superfície freática regional e o nível do terreno.

2.2.2 Sistemas de Aquíferos

Os sistemas de aquíferos são formações geológicas que são capazes de armazenar e transmitir quantidades significativas de água nos interstícios das rochas. Estes reservatórios naturais subterrâneos podem apresentar-se de variados tamanhos desde poucos km² a milhares de km², ou ainda, podem apresentar espessuras de poucos metros a centenas de metros de profundidade. Segundo a Resolução 396/08 do CONAMA, os aquíferos são definidos como um corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e, transmitir água através de seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carregamento de materiais rochosos. A recarga destas formações está associada aos processos de precipitação e infiltração. No entanto, o estudo dos aquíferos está voltado para a infiltração, processo este que caracteriza melhor a entrada de água nas fontes subterrâneas.

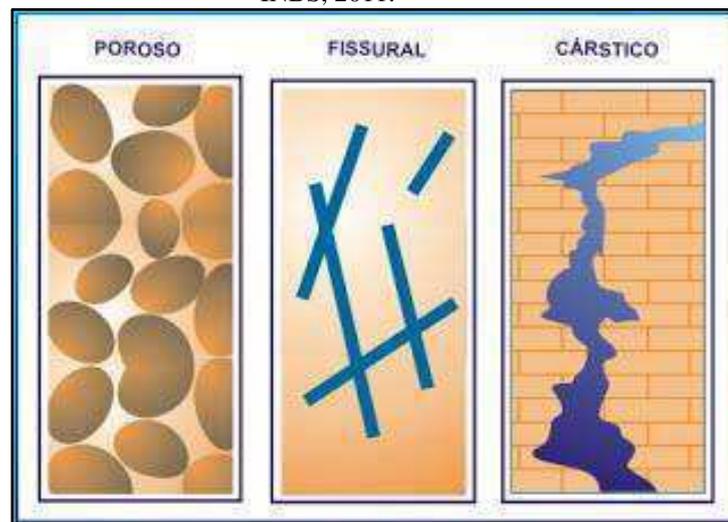
O processo de infiltração apresenta diferentes estágios, desde seu contato inicial com o solo, até a sua chegada e conseqüente armazenamento nos interstícios das rochas. Existe o estágio de descida, em que a água escoar de forma descendente, por gravidade, até atingir camadas impermeáveis; há também o estágio de circulação, que se inicia

quando o solo fica saturado e a água escoar por declividade, gerando a formação dos lençóis subterrâneos (GONZAGA, 2011).

No entanto, os estágios de descida, circulação e armazenamento da água modificam-se em virtude da existência de aquíferos com estruturas geológicas distintas.

Existem diferentes tipos de aquíferos, entre os quais podemos destacar segundo a sua porosidade: os aquíferos porosos, fraturados ou fissurais e os cársticos (Figura 7).

Figura 7- Classificação dos aquíferos em função da característica ou propriedade das rochas. Fonte: INBS, 2011.



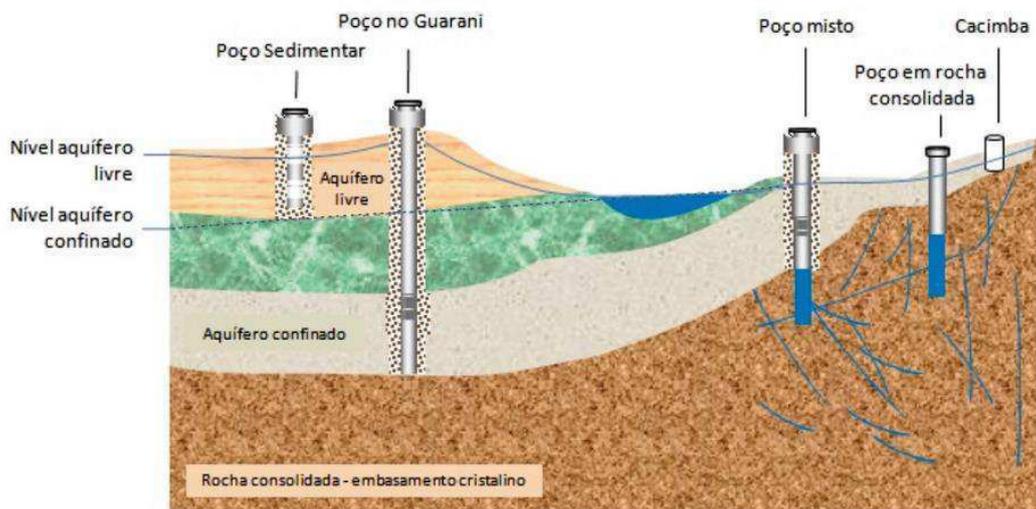
- Os aquíferos porosos ocorrem nas camadas das rochas sedimentares e sedimentos inconsolidados, os quais constituem os mais importantes aquíferos em virtude da sua alta capacidade de armazenamento de água representada por grandes vazões e por sua ocorrência em extensas áreas. Um exemplo é o aquífero Guarani.
- Os aquíferos fraturados, fissurais ou comumente conhecidos como cristalino estão presentes nas rochas de origem ígnea ou metamórfica. A capacidade destas rochas em acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas existentes nas mesmas. Este tipo de aquífero é caracterizado por apresentar baixa vazão e a perfuração de poços tubulares produtivos nessas áreas dependerá tão somente de o mesmo interceptar fraturas capazes de conduzir e armazenar água. São exemplos deste aquífero as rochas basálticas.
- Os aquíferos cársticos são aqueles formados em rochas carbonáticas e constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado, onde as fraturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem promover aberturas de grandes dimensões em subsuperfície, que são

denominadas de cavernas, formando verdadeiros rios subterrâneos. Esse tipo de aquífero ocorre em regiões com grutas calcárias.

2.2.3 Classificação dos Poços

Os poços são classificados, basicamente, pelo diâmetro e pela profundidade de perfuração, e a existência de diferentes tipos de aquíferos nas camadas limítrofes, sendo eles livres, confinados ou em rochas cristalinas, alteram as características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas dos poços (Figura 8).

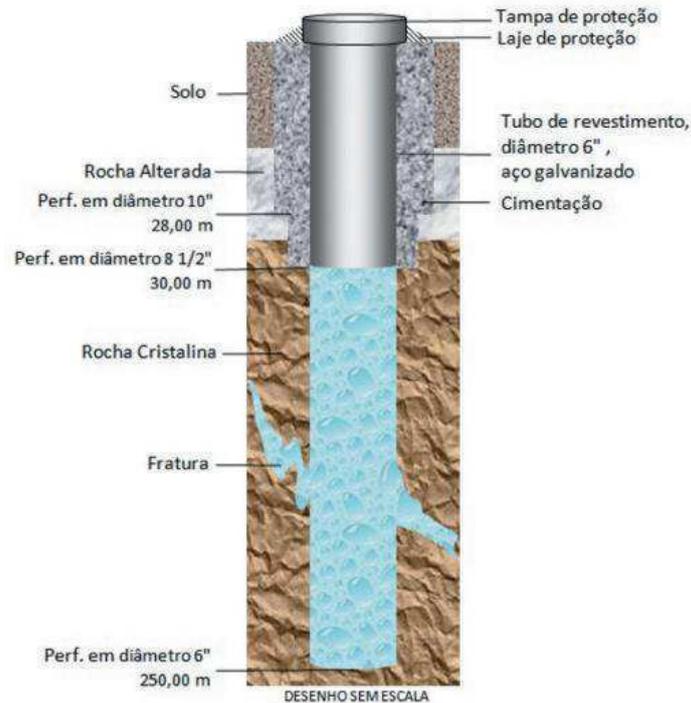
Figura 8- Tipos de poços para captação de água subterrânea. Fonte: FIESP, 2005.



Os poços rasos, também conhecidos como cacimba ou poço amazonas, são construídos de forma artesanal (manualmente). Apresentam grandes diâmetros de 1 metro ou mais, e revestidos com tijolos ou anéis de concreto. Estas construções captam água do lençol freático e possuem geralmente profundidades de até 20 metros.

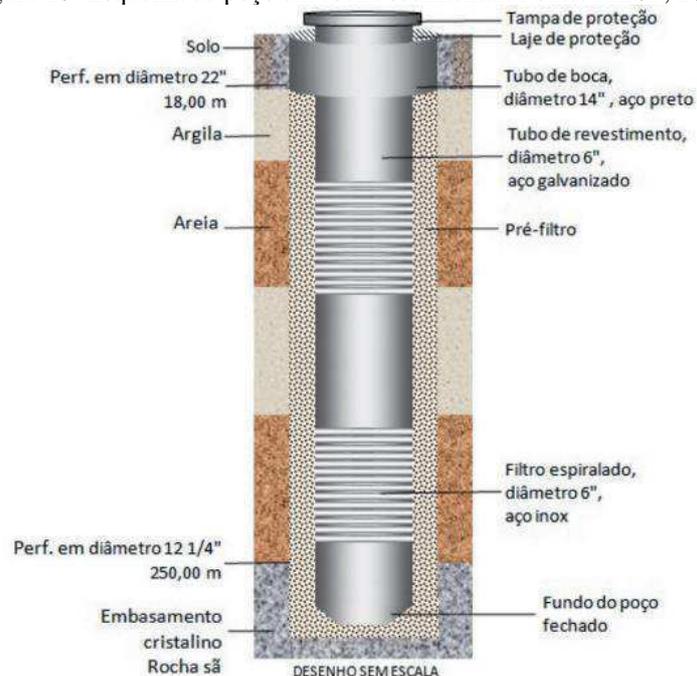
Os poços tubulares podem ser construídos em ambientes de rocha cristalina, sedimentar, ou mista. No caso de perfurações em rochas cristalinas, sua execução é mais simples, realizada através de uma perfuratriz (equipamento de perfuração) mediante perfuração vertical com diâmetros que variam de 6” a 12” e profundidade em geral de até 200 metros. Estes poços são parcialmente revestidos, e a captação da água se dá diretamente na rocha através de fraturas ou fissuras (Figura 9).

Figura 9- Esquema de poço em rocha cristalina. Fonte: FIESP, 2005.



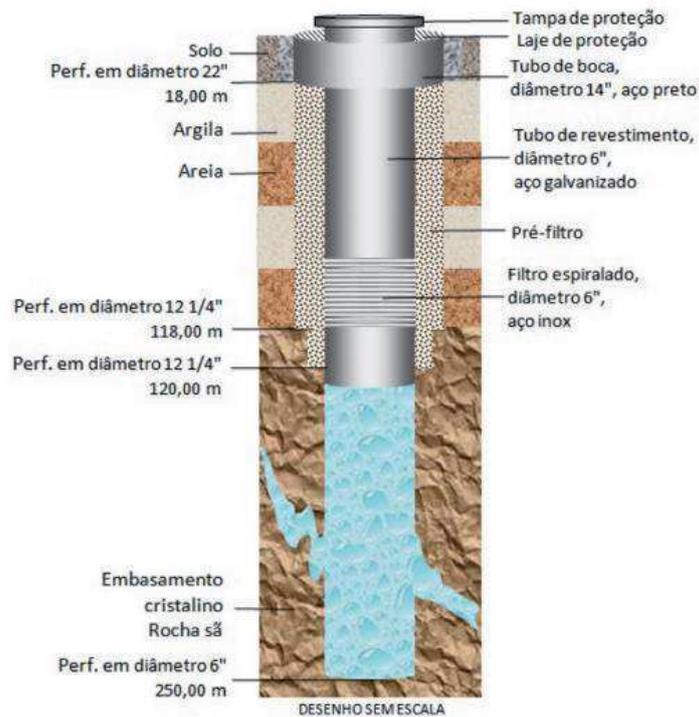
Os poços perfurados em rochas sedimentares são mais complexos e demandam mais tempo na execução da obra. São revestidos e a captação da água é feita através de filtros colocados nos intervalos permeáveis (Figura 10).

Figura 10- Esquema de poço em rocha sedimentar. Fonte: FIESP, 2005.



Os poços mistos são perfurados em ambientes inconsolidados e consolidados e demandam maior expertise do operador da perfuratriz uma vez que os sistemas usados para execução em cristalino e sedimento são diferentes. A captação da água ocorre nos dois tipos de formações (Figura 11).

Figura 11- Esquema de poço misto. Fonte: FIESP, 2005.



2.2.4 Aspectos hidrogeológicos de rochas cristalinas no Nordeste

A superfície dos continentes em sua grande maioria é formada por rochas de permeabilidade muito baixa, mas que podem adquirir, de acordo com o grau de intemperismo e fraturamento, permeabilidade secundária. Segundo a classificação hidrogeológica apresentada por Singhal & Gupta (1999), as rochas fraturadas englobam o grupo das rochas cristalinas, vulcânicas e carbonáticas, as quais distinguem-se das rochas clásticas por sua porosidade e permeabilidade primária desprezíveis.

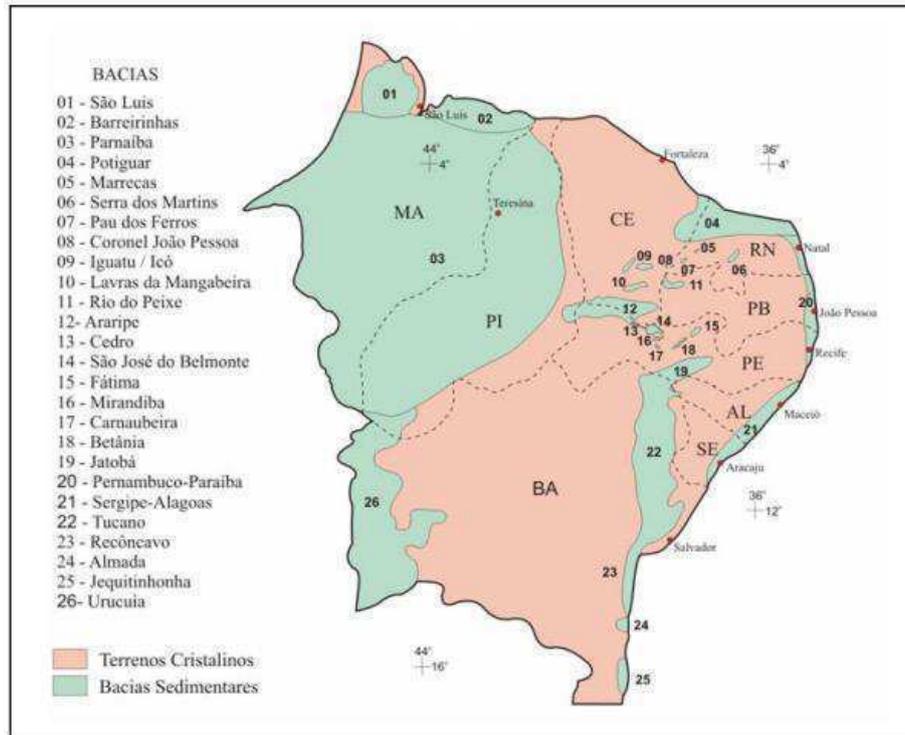
Quadro 1- Classificação hidrogeológica das rochas. Fonte: SINGHAL & GUPTA, 1999.

GRUPOS DE ROCHAS	TIPOS DE ROCHA E EXEMPLOS	PRINCIPAIS MEIOS DE OCORRÊNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
Cristalinas	Rochas ígneas não vulcânicas (granitos, dioritos, gabros etc) e rochas metamórficas (gnaisses, xistos, filitos etc)	Manto de intemperismo e descontinuidades (juntas, falhas, planos de foliação etc).
Vulcânicas	Rochas vulcânicas (basaltos, andesitos, riolitos etc)	Manto de intemperismo, descontinuidades (juntas, falhas, vesículas) e descontinuidades entre camadas.
Carbonáticas	Rochas carbonáticas (calcários e dolomitos)	Descontinuidades (juntas e falhas) e cavidades de dissolução.
Clásticas	Rochas sedimentares consolidadas (siltitos, arenitos, conglomerados etc.) e sedimentos inconsolidados (cascalho, areia, argila etc.)	Espaços intergranulares e descontinuidades (juntas e falhas).

A região Nordeste do Brasil apresenta uma área de aproximadamente 1.561.000 km², onde, cerca de 874.350 km² é caracterizado por uma escassez dos recursos hídricos de superfície, resultantes dos baixos índices de precipitações pluviométricas, com média anual inferior a 800 mm, concentradas em uma única e curta estação úmida, revelando irregularidades interanuais, responsáveis pelos eventos de secas. A taxa de evapotranspiração potencial é muito elevada, oscilando com maior frequência em torno de 90%. Assim, a captação de água no Nordeste é fator determinante para seu desenvolvimento (BEZERRA *et al.*, 2010).

Estima-se segundo Rebouças (2001), que existam cerca de 30.000 poços em operação no Nordeste, estando em torno de 70% destes, inseridos no semiárido nordestino, o qual tem seu subsolo constituído, por rochas ígneas e metamórficas do período Pré-Cambriano, genericamente chamadas de cristalinas (Figura 12). Nessa região a pouca cobertura vegetal e a pequena espessura do solo, transforma este ambiente em um ecossistema frágil, cujas características físico-ambientais reduzem substancialmente o seu potencial produtivo. Mesmo sendo uma alternativa delicada pela reduzida disposição hidrogeológica, a prospecção de água em rochas cristalinas é a grande necessidade dos habitantes e dos rebanhos da região. Com o advento de novas pesquisas, o estudo nessas áreas tem contribuído para redução de perfurações de poços improdutivos.

Figura 12- Terrenos cristalinos e bacias sedimentares do nordeste brasileiro. Fonte: FEITOSA, 2008.



Outro fator importante que caracteriza a prospecção em ambientes cristalinos é a qualidade da água, que apresentam altos teores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) acima de 1.000 mg/L, os quais superam os limites de potabilidade estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde – OMS (REBOUÇAS, 2001).

2.2.5 Contexto hidrogeológico da Paraíba

O Estado da Paraíba pode ser dividido hidrogeologicamente seis sistemas aquíferos, sendo estes: Cristalino, Rio do Peixe, Paraíba-Pernambuco, Serra dos Martins, Aluvial e Elúvio-coluvial (Figura 13).

O Sistema Cristalino é constituído litologicamente por rochas do embasamento de idades Arqueana e/ou Paleoproterozoica, representadas por migmatitos, ortognaisses e granitóides variados; rochas de coberturas supracrustais, de idades Paleo, Meso e Neoproterozoica, sendo representadas pelos metasedimentos, com predominância de xistos, contendo ainda quartzitos, meta-arcósios, filitos, calcários cristalinos (mármore) e outras rochas calco-silicáticas; e por fim, granitóides diversos, os quais estão geneticamente associados às rochas supracrustais, através do processo de migmatização. Este é o sistema mais abundante de todo o Estado, ocupando cerca de 87%, que corresponde a uma área de cerca de 49.000 km², estando inserida na região semiárida do

Estado, com seus recursos hídricos divididos entre as bacias do rio Piranhas, Paraíba, Jacu, Curimataú, Mamanguape, Miriri, Camaratuba e Gramame. A presença do sistema cristalino é mais significativa nas bacias dos rios Piranhas, Paraíba, Jacu, Curimataú e Mamanguape, ocupando uma menor área nas demais bacias. O cristalino está presente na constituição hidrogeológica das demais regiões do Estado, litoral, agreste e Sertão, passando pelo Cariri, Curimataú e Brejo.

O Sistema Rio do Peixe está localizado no extremo noroeste do Estado e apresenta uma área de 1.340 km², sendo classificado como um multi-aquífero, englobando quatro níveis hidráulicamente interconectados: Antenor Navarro, Souza Superior, Rio Piranhas e o aquífero aluvial.

O Sistema aquífero Serra dos Martins é formado por arenitos finos, médios e grosseiros, com intercalações de argilitos em camadas de espessuras e profundidades variáveis, tendo uma área total não mais que 200 km², o que representa apenas 0,35% da área total do estado e 0,4% da sua área semiárida. Este sistema é geomorfologicamente descontínuo e de espessura diferentes, ocorrendo nos municípios de Areia, Solânea, Araruna, Cuité/Nova Floresta e no distrito de Bombocadinho. Os recursos hídricos deste sistema são drenados para as bacias hidrográficas dos rios Jacu e Curimataú.

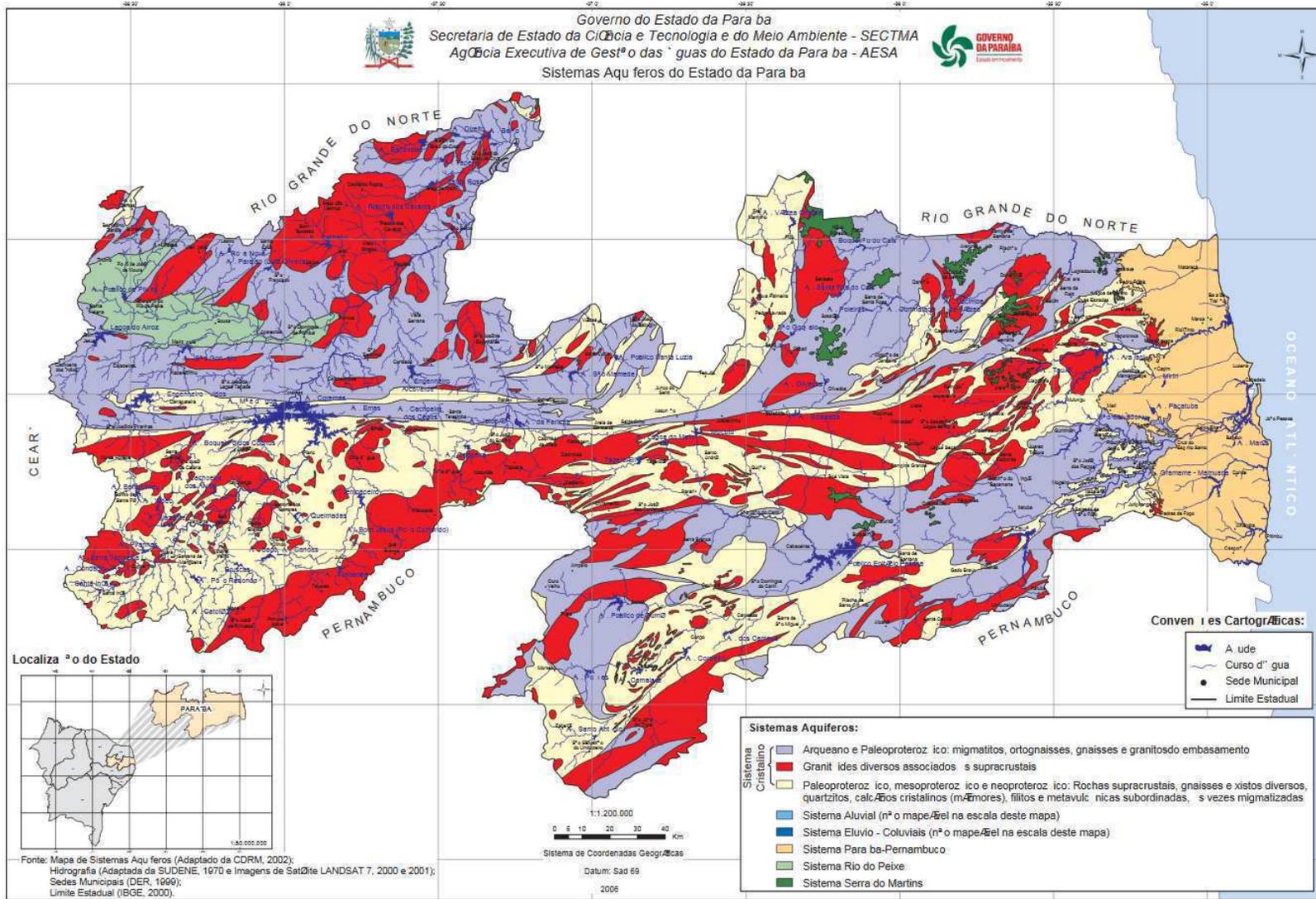
O Sistema do aquífero Paraíba-Pernambuco está presente na região litorânea do Estado e ocupa cerca de 3.400 km², é composta por formações que compõem a bacia sedimentar, sendo reunidos em dois sub-sistemas distintos: o sub-sistema livre, inserido predominantemente no Grupo Barreiras e eventualmente, nos sedimentos não consolidados do Quaternário que se lhe sobrepõem; o sub-sistema confinado está contido nos arenitos quartzosos e/ou calcíferos da formação Beberibe/Itamaracá. Os recursos hídricos desse sistema se repartem entre as bacias hidrográficas que drenam a região litorânea dos rios Abiaí, Gramame, Paraíba, Miriri, Mamanguape, Camaratuba e Guaju.

O Sistema aquífero Aluvial está inserido nos depósitos de natureza fluvial, os quais estão presentes nas margens dos rios e riachos das bacias hidrográficas que drenam todo o Estado. Apresentam uma área de cerca de 4.100 km², descontinuamente distribuída sobre o embasamento cristalino, sendo seu comportamento hidráulico em termos de recarga, circulação e descarga ditado por esta ligação. São compostos de sedimentos detríticos, de granulometria variada de alta porosidade e fracamente permeáveis.

O Sistema Eluvial-Coluvial ocorre nas encostas de relevo mais acidentado, principalmente na bacia do Rio Piranhas, sendo constituído por rocha cristalina, de

granulometria grosseira a variada, resultante da intemperização mecânica de rochas ígneas e metamórficas formadoras das elevações (AESAs, 2016) (Figura 13).

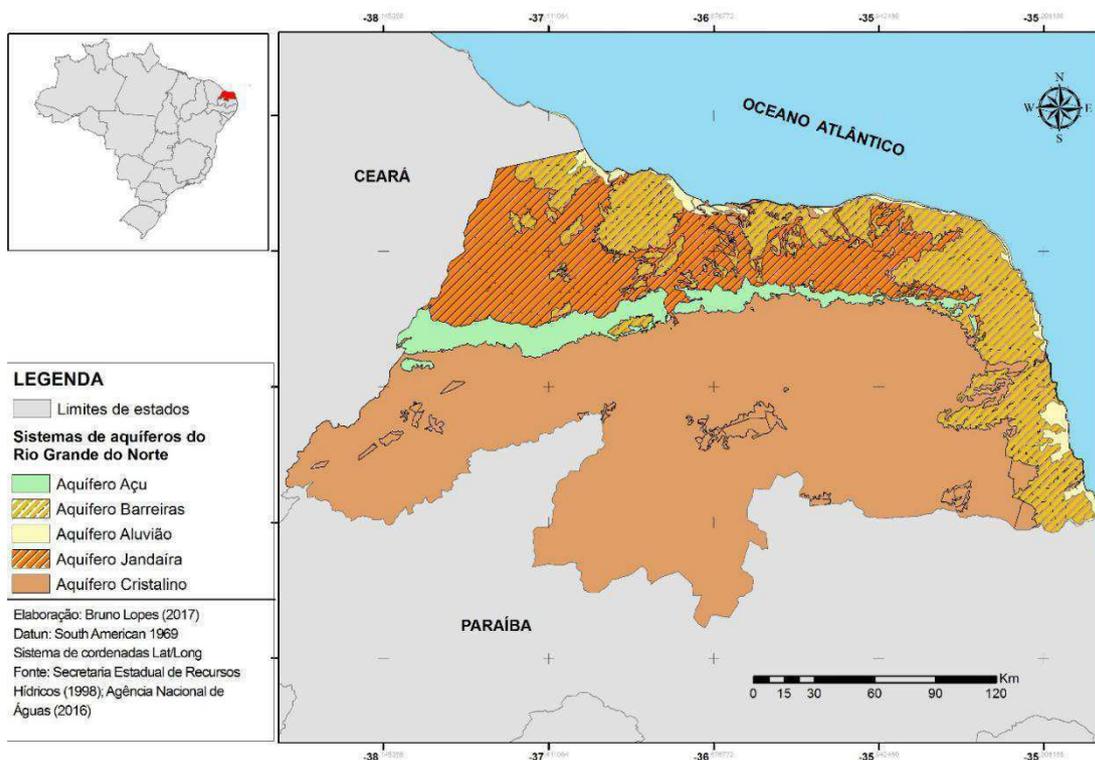
Figura 13- Sistemas de aquíferos do Estado da Paraíba. Fonte: AESA, 2016.



2.2.6 Contexto hidrogeológico do Rio Grande do Norte

No Estado do Rio Grande do Norte, existem cinco sistemas de aquíferos, os quais apresentam características diferentes, e estas influenciam na disponibilidade hídrica dos mesmos.

Figura 14- Mapa dos aquíferos do Rio Grande do Norte. Fonte: ANA, 2016.



Como mostra a figura 14, o Rio Grande do Norte apresenta os aquíferos Açú, Barreiras, Aluvião, Jandaíra e Cristalino, sendo este último detentor da maior parte do território do estado.

O Aquífero Açú é formado por uma matriz essencialmente arenosa na base, graduando para sedimentos mais pelíticos em direção ao topo. Na porção arenosa é constituído por arenitos predominantemente grosseiros a conglomeráticos na base, convertendo-se a arenitos médios na porção intermediária e arenitos mais finos no topo, e no sentido vertical apresenta uma argilosidade crescente.

Esta formação constitui o mais importante sistema aquífero da Bacia Potiguar, proporcionando uma descarga total da ordem de $45,9 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$, podendo esta, manter esse mesmo nível ao longo de 20 anos de contínua exploração, produzindo vazões da ordem de $400 \text{m}^3/\text{hora}$ (VASCONCELOS, 2006).

O Aquífero Barreiras do ponto de vista litológico, é altamente heterogêneo, abrigando desde arenitos pouco argilosos a conglomeráticos, até argilas (LUCENA; ROSA FILHO; BITTENCOURT, 2004). Segundo Costa (2000), a vazão de exploração deste aquífero pode variar de 5 a 100m³/hora. Contudo, alguns estudos revelam que a disponibilidade hídrica desta reserva está comprometida em função do elevado ritmo de exploração, bem como da irregularidade pluviométrica, podendo apresentar sinais de esgotamento por volta do ano de 2025.

Na figura 14 é possível observar que o Aquífero Aluvião é uma fonte de água subterrânea de pequena extensão, que apresenta duas origens: aluviões que ocorrem sobre as rochas cristalinas e aluviões que se desenvolvem sobre depósitos sedimentares. Os primeiros são de pequenas espessuras, variando entre 3 e 6 m, com vazões aproximadas de 2 a 5 m³/h⁻¹, cujas águas normalmente são salobras. Nas regiões sedimentares, os aluviões ocorrem com larguras entre 50 e 400 metros e espessuras de 7 metros ao longo do leito dos principais rios, suas vazões variam de 10 a 100 m³/h⁻¹ e a salinidade está normalmente entre 200 a 1.000 mg L⁻¹ de resíduos secos. A recarga dos aluviões está relacionada diretamente às precipitações e ao fluxo superficial dos rios nos períodos de cheia. O principal exutório desses reservatórios é a evapotranspiração (MORAIS, *et. al.*, 2005).

O Aquífero Jandaíra abrange uma área de aproximadamente 15.598 km², incluindo, as zonas recobertas pelo Grupo Barreiras, aluviões e dunas, que totalizam cerca de 5.980 km². Em sua litologia apresenta calcários, siltitos, argilitos, folhelhos e dolomitos. Os estudos regionais indicam que a Formação Jandaíra pode chegar a aproximadamente 600 m na porção mais funda da Bacia Potiguar. As vazões registradas variam entre 10 a 50 m³/h⁻¹ (MISTRETA, 1984).

O embasamento geológico do Aquífero Cristalino (fissural) ocorre ao sul da bacia Potiguar, ocupando uma área de 51.809 km², que compreende a cerca de 60% da extensão do Estado do Rio Grande do Norte. Este aquífero apresenta poços de baixa profundidade, aproximadamente 50 m e baixa vazão, em média 3m³/h. Apesar de ser um mau produtor de água, o aquífero fissural é muitas vezes a única solução disponível para abastecer as comunidades que sofrem com a escassez hídrica no Estado (MORAIS, *et. al.*, 2005). A perfuração de poços nesta região é um grande desafio, tendo em vista tratar-se de um aquífero tipicamente anisotrópico, no qual a água está armazenada nas zonas de fraqueza da rocha (fendas e fraturas). As águas deste aquífero apresentam um alto teor de sais,

sendo necessário um maior tratamento da mesma para adequá-la aos padrões químicos estabelecidos para o consumo humano.

2.3 Aplicação da geofísica para água subterrânea

A geofísica aplicada utiliza as propriedades e parâmetros físicos dos materiais terrestres, a fim de localizar objetos geológicos de interesse em subsuperfície, como por exemplo, minérios, petróleo e água. Através das características físicas dos materiais, como densidade, velocidade de propagação de onda, condutividade elétrica, é possível empregar a geofísica. Tais características variam em função da mineralogia, grau de alteração, grau de umidade, fraturamento, porosidade, salinidade e outros fatores, assim, é possível localizar materiais de interesse pelo conhecimento da resposta de um parâmetro físico para este material.

O campo principal da utilização da geofísica é na exploração de hidrocarbonetos, com investigações em grandes profundidades. No tocante as aplicações em água subterrânea às profundidades de investigação se limitam a profundidade geralmente de 250 m, de acordo com a profundidade do aquífero, definição do topo rochoso, localização do lençol freático, e lineamentos estruturais (falhas, fraturas, dobras, etc.) em rochas cristalinas.

A utilização da geofísica para prospecção de água subterrânea e avaliação de água tem crescido, em função dos resultados de pesquisas já realizadas que comprovam a sua eficácia. Mesmo sendo um campo de atuação ainda pouco explorado, frente a outras aplicações, alguns fatores podem ser a justificativa para este fato, a saber: o seu uso isolado, não sendo considerados fatores de grande importância, como geologia regional, hidrogeologia regional, perfis litológico, imagens de satélite para visualizar a direção dos lineamentos, drenagens locais, entre outros dados que juntos com a geofísica aumentam a probabilidade de uma locação de poço mais assertiva; o custo para se aplicar a pesquisa geofísica é outro fator, estando este em torno de R\$ 3.000,00, dependendo da profundidade de investigação e localização a ser estudada; restrições para aplicação do método geoeletrico, como disponibilidade de área em linha reta para extensão dos cabos, interferência de rede elétrica de alta tensão, cercas elétricas, presença de animais, entre outros fatores que dificultam a aquisição dos dados alterando nas medidas de diferença de potencial elétrico do meio.

Os principais métodos geofísicos aplicados na prospecção de água subterrânea são os de radar de penetração no solo (GPR), potenciais gravimétricos e magnéticos, sísmicos e elétricos. Dentre estes, o mais usado é o método elétrico, por ser uma pesquisa a nível local, de extensão linear de dezenas a centenas de metros, este consegue identificar aquíferos de forma mais precisa, a uma profundidade de até 250 m, o que atende perfeitamente a locação de poços tubulares, principalmente no embasamento cristalino, que apresentam profundidade média no semiárido Nordeste de cerca de 80 m.

2.3.1 Método da Eletrorresistividade

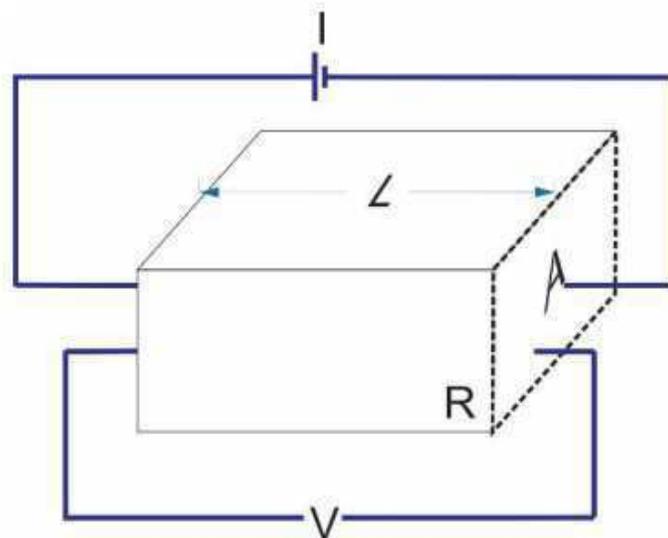
Entre os métodos elétricos, a eletrorresistividade é adotada por satisfazer a condição básica para identificação de um aquífero, que é a presença de contraste entre as grandezas, delimitando as zonas de fraturas saturadas em água, vertical e horizontalmente (GIAMPÁ & GONÇALES, 2009).

O fundamento deste método está em investigar a geologia em subsuperfície por meio de dados de resistividade elétrica (ρ), conceitualmente definida como a resistência em *ohms* ao longo do comprimento, L, entre as faces, de área A, do cubo do material, de resistência R (Figura 15).

Equação 1- Conceito matemático de resistividade elétrica.

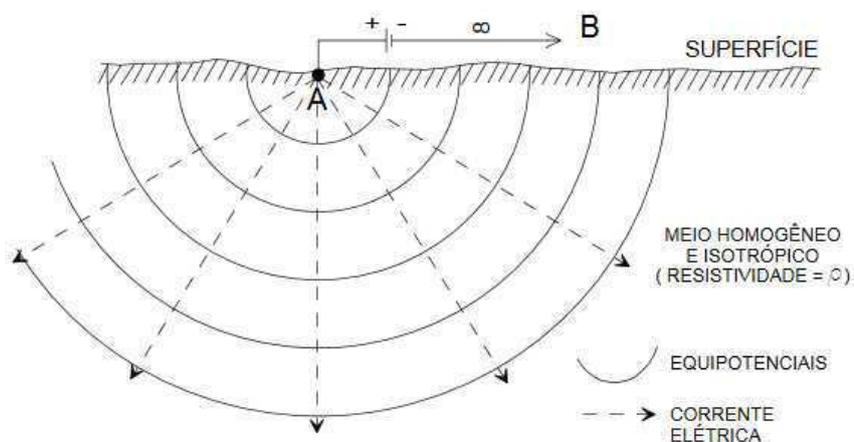
$$\rho = \frac{RA}{L}$$

Figura 15- Modelo conceitual para definir a resistividade elétrica. Fonte: CARDOSO, 2016.



Devido às heterogeneidades e anisotropias presentes no terreno, a distribuição das linhas de corrente, ou melhor, do campo elétrico, varia bastante. Com a fonte posicionada na superfície do terreno tem-se a corrente fluindo no semi-espaco inferior (Figura 16). Neste caso os dados coletados deverão ser interpretados eliminando as possíveis distorções do campo elétrico provocadas pela existência dessas heterogeneidades ou anisotropias, que podem ser a estratificação e suas inclinações, a xistosidade, ocorrência de falhas ou zona de cisalhamento, etc.

Figura 16- Fonte pontual de corrente situada na superfície de um semi-espaco isotrópico e homogêneo. Fonte: modificado de TELFORD et. al., 1990.



O estudo da eletrorresistividade pode ser realizado em qualquer meio, seja ele homogéneo ou não, determinando-se as resistividades eléctricas aparentes dos terrenos prospectados a partir da:

Equação 2- Equação para o cálculo de resistividade eléctrica.

$$\rho = \frac{K\Delta V}{I}$$

em que:

ρ - é a resistividade eléctrica do meio expressa em ohm.metro.

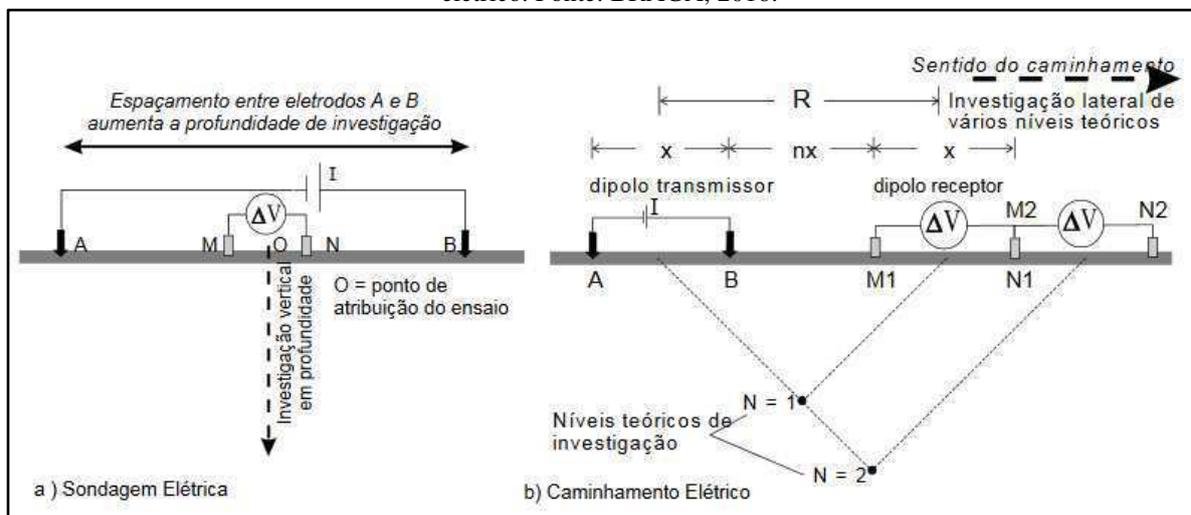
ΔV - é a diferença de potencial medida entre M e N e expressa em milivoltes.

I - é a intensidade da corrente eléctrica que circula no terreno sendo expressa em miliamperes.

k - (expresso em metros) depende apenas das configurações geométricas.

O levantamento de eletrorresistividade consiste em injetar uma corrente eléctrica introduzida no terreno através de dois eletrodos (denominados de A e B), visando medir o potencial gerado em outros dois eletrodos (denominados de M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, possibilitando assim calcular a resistividade aparente em subsuperfície por meio da equação 2. Sua aplicação pode ser realizada sob a forma de sondagem eléctrica vertical (SEV) para procurar camadas permeáveis (aquíferos granulares) ou sob a forma de Caminhamento Eléctrico (CE) para identificar zonas menos resistivas que podem estar associadas a fraturas preenchidas com água (Figura 16) (BRAGA, 2016).

Figura 17- Modelo de ensaios de campo com as técnicas de sondagem eléctrica vertical e caminhamento eléctrico. Fonte: BRAGA, 2016.



A medição do potencial elétrico resultante é repetida para eletrodos em diversas configurações ou arranjos. Para fazer a interpretação de resultados, é necessário realizar a inversão dos dados de eletrorresistividade, tendo sempre presente que a resistividade aparente é proporcional à resistividade elétrica real do volume de terreno compreendido entre os eletrodos de potencial, *M* e *N*. Os ajustes dos dados medidos em campo dão significado físico ao modelo de eletrorresistividade (DOBRIN, 1976).

As rochas e minerais apresentam grande variação das resistividades elétricas, conforme se pode constatar na Figura 18. Este fato é uma indicação do grande poder de resolução dos métodos baseados na resistividade elétrica, embora ocorra muita superposição de valores entre os diversos tipos de materiais presentes em subsuperfície.

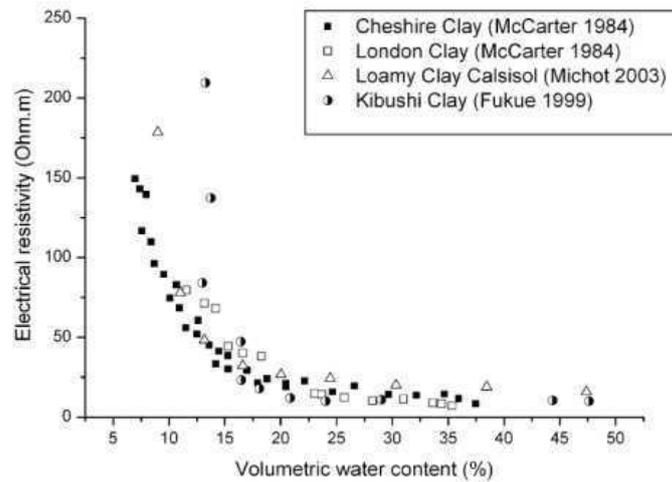
Figura 18- Faixa de valores de resistividade elétrica de materiais conhecidos. Fonte: ORELLANA, 1972.

Material	Resistividade (ohm.m)
ar	∞
águas doces superficiais	$10 - 10^3$
águas marinhas	0,2
argilas	$10 - 10^2$
areias	$10^2 - 10^4$
areia saturada com água mineral	$10^{-1} - 10$
aluvião	$10 - 10^3$
conglomerados	$10 - 10^4$
arenitos	$10 - 10^8$
margas arenosas	$10 - 10^2$
calcários	$10^2 - 10^4$
basaltos	$10^2 - 10^5$
granitos	$10^2 - 10^3$
xistos	$10 - 10^3$
gnaiesses	$10^2 - 10^4$

A depender da homogeneidade, do nível de alteração e, para rochas cristalinas, do grau de fraturamento, as rochas apresentam um amplo campo de variabilidade dos valores de resistividade elétrica. Por exemplo, no caso de terrenos mal consolidados, como depósitos aluviais recentes, a resistividade depende da granulometria, dos fluidos neles contidos e do conteúdo em sal. Quando se trata da relação entre a porcentagem

volumétrica de água contida nos poros dos diferentes tipos de solo e a resistividade elétrica, quanto maior a porcentagem de água mais facilmente a corrente elétrica transita no meio diminuindo a resistividade elétrica daquele terreno (Figura 19).

Figura 19- Relação entre a resistividade elétrica e a porcentagem volumétrica de água nos poros de quatro diferentes terrenos argilosos. Fonte: A. SAMOUELIAN et. al., 2005.



No caso de rochas cristalinas, não há alto grau de porosidade, portanto elas geralmente apresentam valores de resistividade maiores, exceto na presença de falhas ou fraturas onde há passagem de fluídos e argilominerais.

2.3.2 Sistema Multi-eletrodos

O método da eletrorresistividade possibilita que seja reconstruída a estratigrafia do subsolo utilizando para isto os parâmetros físicos da resistividade elétrica aparente das formações rochosas, sendo seu resultado expresso por meio de um gráfico denominado como seção geoeletrica.

A aquisição dos dados é realizada através de um aparelho geofísico chamado de resistivímetro, o qual pode possuir recursos de configuração automática com dezenas de eletrodos de maneira simultânea. Neste caso o conjunto de eletrodos é conectado, por meio de cabos multicanaís, a uma caixa comutadora (*switch box*) que por acionamento de um jogo de relés, aciona seletivamente, pares AB e MN pré-programados pelo usuário. O resistivímetro é ligado a uma fonte de alimentação de 12 V (que pode ser uma bateria automotiva, por exemplo), que injeta uma corrente elétrica nos locais em que os eletrodos A e B estão conectados e mede a diferença de potencial entre os eletrodos M e N. A função do *switch box* é selecionar os eletrodos A, B, M e N que serão utilizados para uma

medida em particular, direcionando a corrente e a leitura de potencial para os eletrodos corretos. A conexão dos eletrodos cravados no solo e do Switch Box é feita por meio de cabos, os quais são ligados ao resistivímetro.

Resistivímetros multicanais (normalmente 8 ou 10 canais) medem, para cada operação de injeção de corrente em A e B, um conjunto de diferenças de potencial. A grande vantagem em utilizar um resistivímetro com 8 ou 10 canais é a diminuição do tempo de aquisição de dados.

A grande maioria dos levantamentos de eletrorresistividade utilizam arranjos de superfície, ou seja, são configurações com todos os eletrodos instalados na superfície do terreno, podendo ser apenas um arranjo ou um combinação destes.

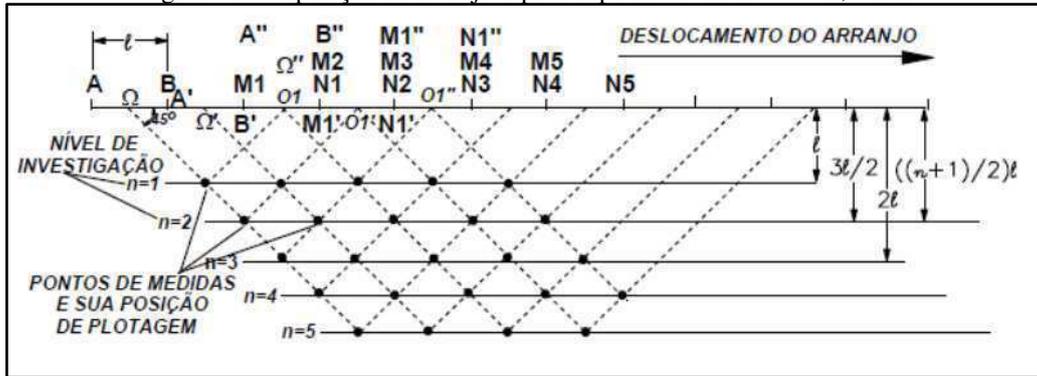
Neste trabalho realizei o estudo com base no programa EarthImager 2D, desenvolvido pela empresa *Advanced Geoscience Inc.* (AGI), o qual consiste em um programa de inversão 2D para dados de eletrorresistividade e IP (polarização induzida). Esse programa apresenta uma boa interface, dois algoritmos de inversão um robusto e outro suave, possibilidade de inclusão dados de topografia do terreno, combinação de arranjos, entre outras opções de configuração.

No tocante aos arranjos, o equipamento fornece nove tipos de arranjos, sendo eles: polo-polo, polo-dipolo, dipolo-dipolo, bipolo-bipolo, gradiente de borda, Wenner-Schlumberger, dipolo-gradiente, PowerSting e matrizes de gradiente fortes. O presente trabalho utilizou o arranjo dipolo-gradiente, que é a combinação de dois arranjos o dipolo-dipolo e o gradiente.

O arranjo dipolo-dipolo possui a característica de permitir o estudo da variação lateral do parâmetro físico investigado em diversos níveis de profundidade. Neste tipo de arranjo, o par de eletrodos A e B, que são os de envio de corrente, e os eletrodos M e N, que são os de recepção, encontram-se alinhados sobre um mesmo perfil, não estando fixos, onde o espaçamento $l = AB = MN$. O sentido do caminamento é o mesmo que se deseja fazer a investigação. O espaçamento entre os eletrodos A e B é igual aos eletrodos M e N. Conforme a Figura 20, que mostra a disposição inicial de eletrodos utilizando diversos pares de eletrodos para medir o potencial elétrico. Observa-se que aumentando o espaçamento entre AB e MN por um determinado fator “n.a”, sendo n os níveis de investigação em subsuperfície, as variações de eletrodos MN vão adquirindo níveis de profundidade diferentes, os quais crescem com $(n+1)l/2$., Neste caso a resistividade

elétrica aparente medida é representada em um ponto da subsuperfície que se localiza na interseção das retas que partem a 45° do centro dos dipolos, logo posicionados no ponto médio entre eles.

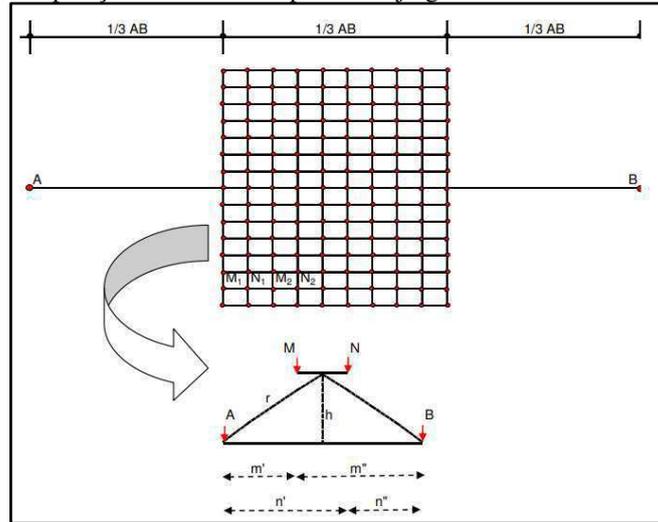
Figura 20- Disposição do arranjo dipolo-dipolo. Fonte: GALLAS, 2003.



No tocante a profundidade de investigação, o arranjo dipolo-dipolo apresenta uma sensibilidade ao adquirir dados, uma vez que quanto maior for a distância entre MN e AB, menor será a leitura do potencial elétrico medido em MN. Portanto, é recomendável que o levantamento seja realizado em até 6 níveis de profundidade, pois o erro dos valores obtidos pelo equipamento estarão na mesma ordem de grandeza do sinal (GANDOLFO, 2007).

O arranjo gradiente consiste de uma linha de transmissão de corrente AB fixa, com medidas efetuadas entre os eletrodos MN, que são deslocados sobre perfis paralelos à linha AB. A profundidade de investigação cresce com o aumento da distância entre os eletrodos de corrente (AB) e é sempre possível realizar vários gradientes simultaneamente, superpostos, com diferentes extensões de linha AB. O espaçamento entre os eletrodos AB e MN deve ser determinado em função dos objetivos do trabalho. As variações dos valores para cada ponto na superfície estão refletindo as variações de resistividade elétrica das rochas em uma determinada profundidade fixa, sendo esta profundidade proporcional a abertura dos eletrodos de corrente AB. Neste caso, é considerado um terço do valor de abertura de AB como o nível máximo que está sendo investigado (Figura 21) (GALLAS, 2003).

Figura 21- Disposição dos eletrodos para arranjo gradiente. Fonte: BRAGA, 2016.



A vantagem deste arranjo é a rapidez na aquisição dos dados, pois como os eletrodos AB permanecem fixos, apenas os eletrodos MN são deslocados ao longo das linhas a serem investigadas (BRAGA, 2007).

A combinação dos arranjos possibilita que as desvantagens de um arranjo sejam suavizadas pela junção com outro arranjo, ou que a união dos mesmos possa potencializar a qualidade dos dados a serem coletados. No caso do arranjo dipolo-gradiente este permite uma melhor performance no mapeamento das estruturas, e da razão sinal/ruído na investigação em profundidade.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Os municípios escolhidos para realização do estudo estão inseridos no semiárido Nordeste em dois Estados: Paraíba e Rio Grande do Norte.

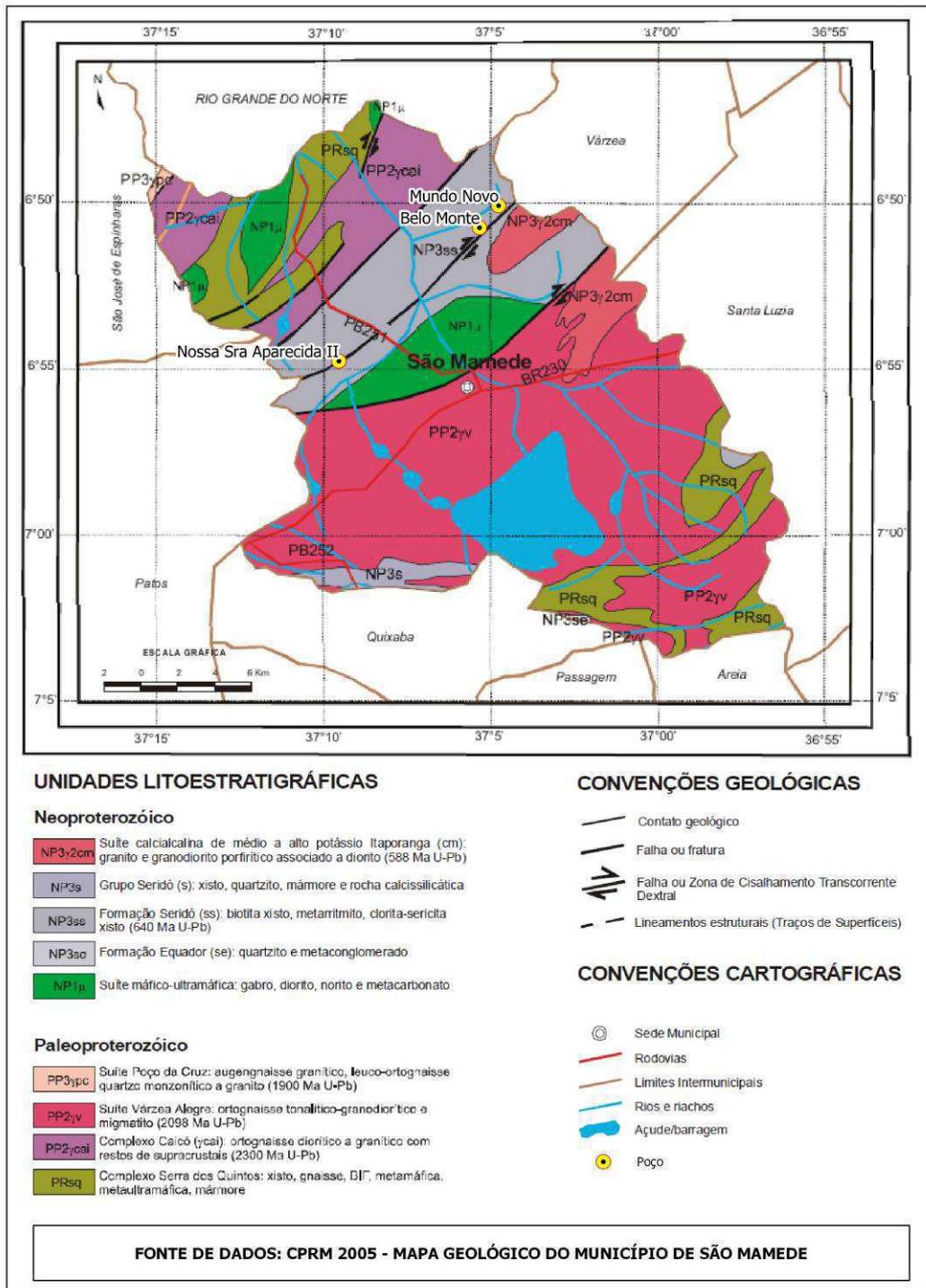
3.1 Municípios da Paraíba

No Estado da Paraíba realizei o estudo nos municípios de São Mamede, Cubati, Pedra Lavrada e Várzea.

O município de São Mamede está localizado na região central do Estado da Paraíba, Meso-Região Sertão Paraibano e Micro-Região Patos. Apresenta vegetação composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo Semiárido, de baixo índice pluviométrico. Os poços foram locados e perfurados em

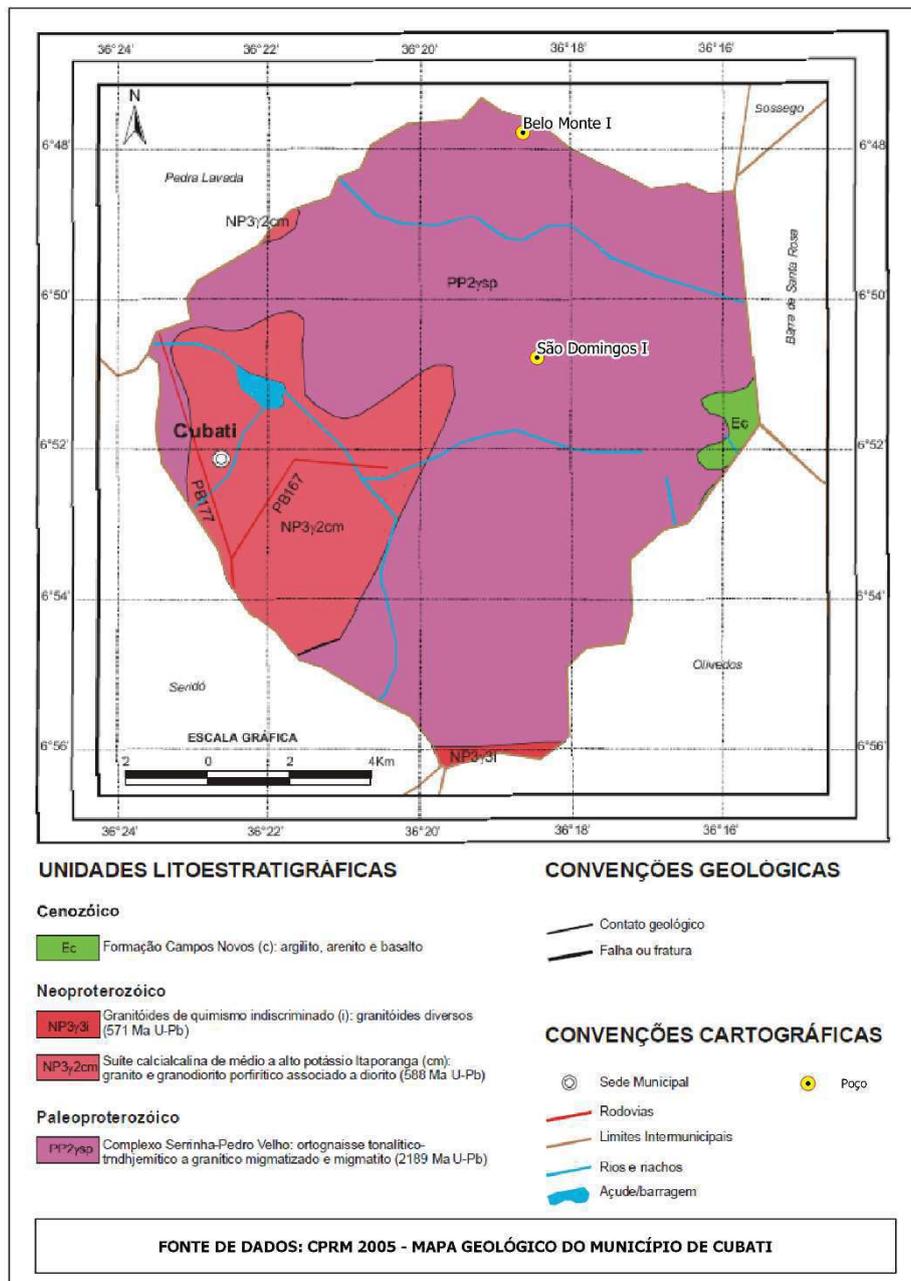
três comunidades, sendo estas: Mundo Novo, Belo Monte e Nossa Senhora da Aparecida II (Figura 22). As comunidades estão inseridas na Formação Seridó ($Np3_{ss}$), composta por biotita xisto, metarritmito e clorita-sericita xisto, como mostra o mapa elas estão próximas as fraturas ou falhas (CPRM, 2002).

Figura 22- Mapa geológico de São Mamede – PB. Fonte: CPRM, 2005.



O município de Cubati está localizado na Microrregião Cubati e na Mesorregião Borborema, está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema e apresenta vegetação típica das áreas do agreste como: Florestas Subcaducifólica e Caducifólica. O clima é do tipo tropical chuvoso, com verão seco. As comunidades em que foram realizadas as locações e as perfurações são: Belo Monte I e São Domingos I, ambas estão localizadas geologicamente no Complexo Serrinha-Pedro Velho ($PP2^{ysp}$), composta por ortogneisse tonalítico a granítico migmatizado e migmatito (Figura 23) (CPRM, 2005).

Figura 23- Mapa geológico de Cubati – PB. Fonte: CPRM, 2005.

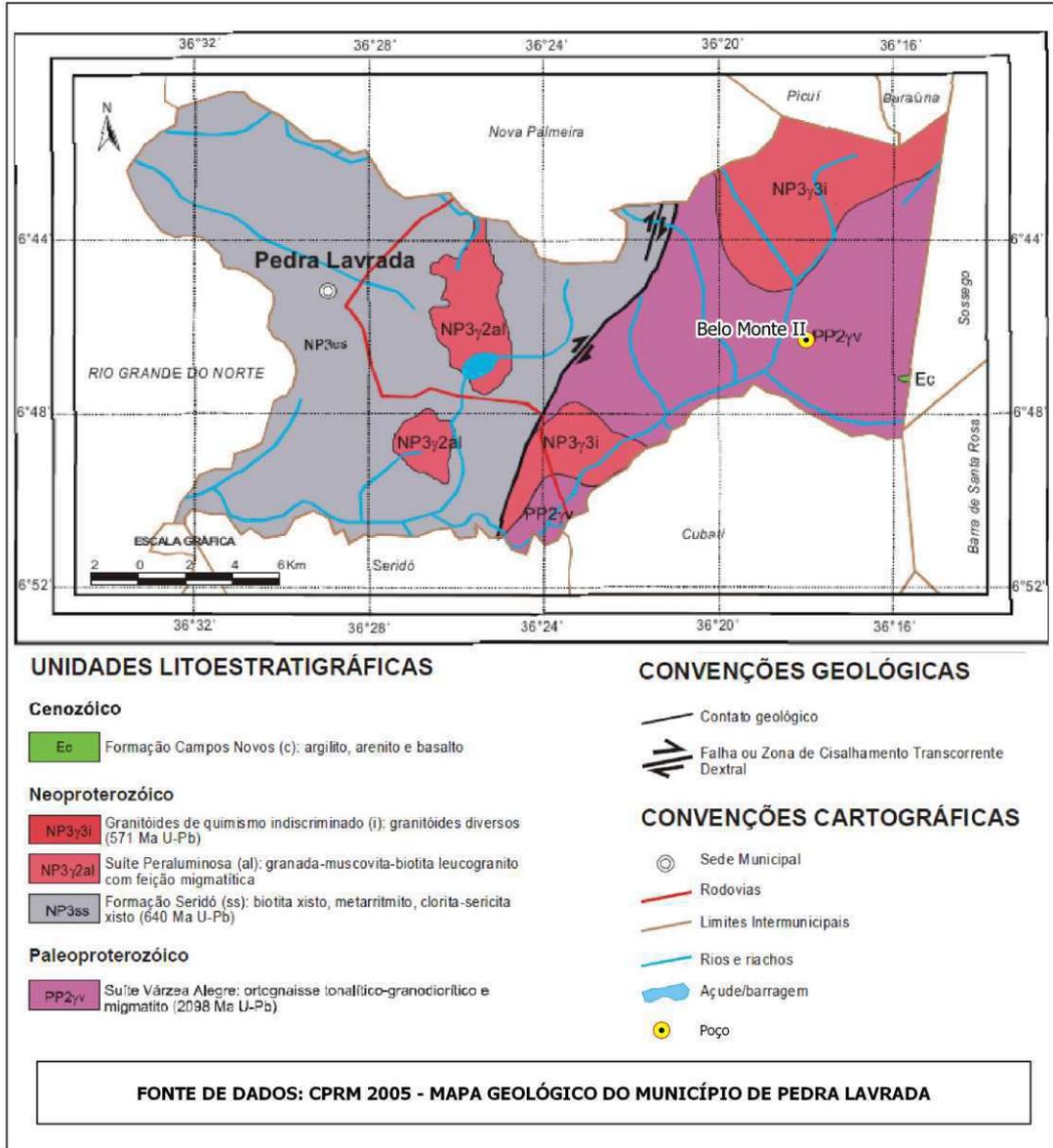


O município de Pedra Lavrada está localizado no centro-norte do Estado, Meso-Região Borborema e Micro-Região Seridó Oriental Paraibano. A região está contida no Polígono das Secas, apresenta clima semiárido quente com chuvas de verão.

O Polígono das Secas é uma área de estiagem prolongada, que abrange quase todos os Estados do Nordeste (exceto o Maranhão) e o Norte de Minas Gerais, totalizando 1.348 municípios em nove Estados.

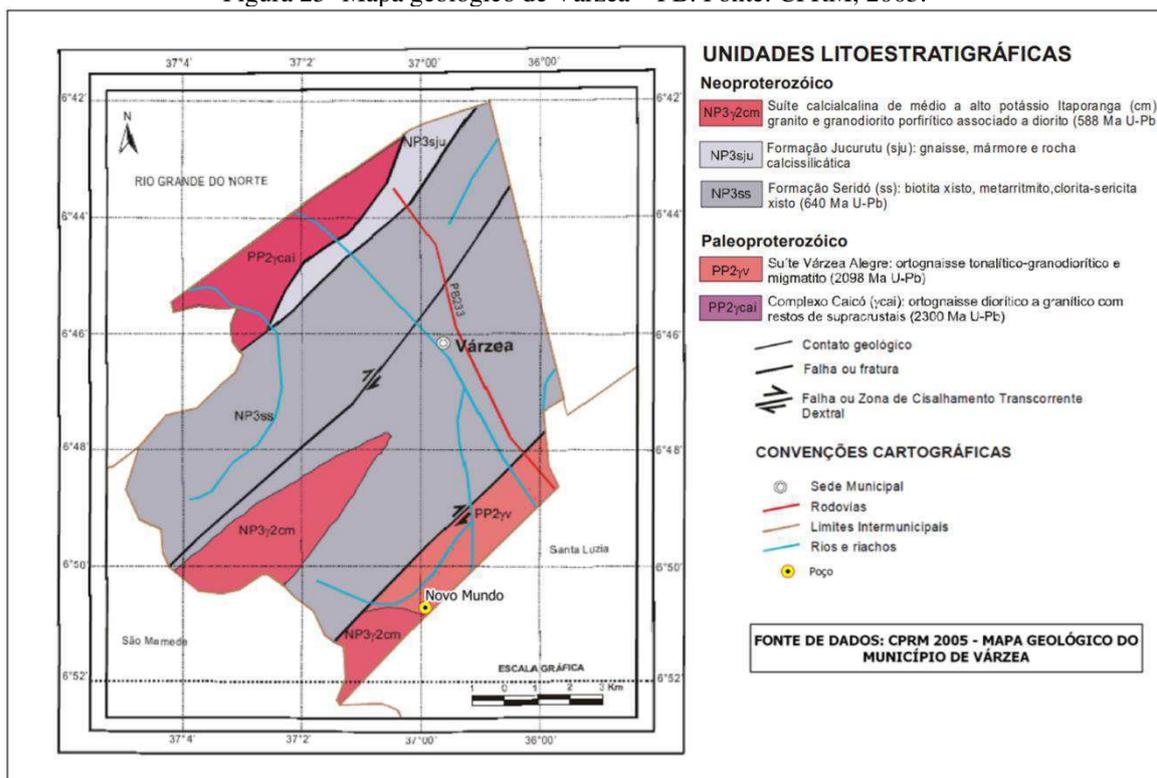
A vegetação de Pedra Lavrada é do tipo Caatinga-Seridó. A comunidade estudada Belo Monte II está inserida geologicamente na Suíte Várzea Alegre (*PP27v*), de idade paleoproterozoica, e contém ortogneisse tonalítico-granodiorítico e migmatito (Figura 24) (CPRM, 2005).

Figura 24- Mapa geológico de Pedra Lavrada – PB. Fonte: CPRM, 2005.



O município de Várzea localiza-se na região do Polígono das Secas, possui clima quente, seco e semiárido com chuvas de verão. A vegetação é do tipo Caatinga-Seridó. A comunidade Novo Mundo apresenta-se dentro do contexto geológico de idade paleoproterozoica, representada pela Suíte Várzea Alegre (*PP2_v*), contendo ortogneisse tonalítico-granodiorítico e migmatito (Figura 25) (CPRM, 2005).

Figura 25- Mapa geológico de Várzea – PB. Fonte: CPRM, 2005.

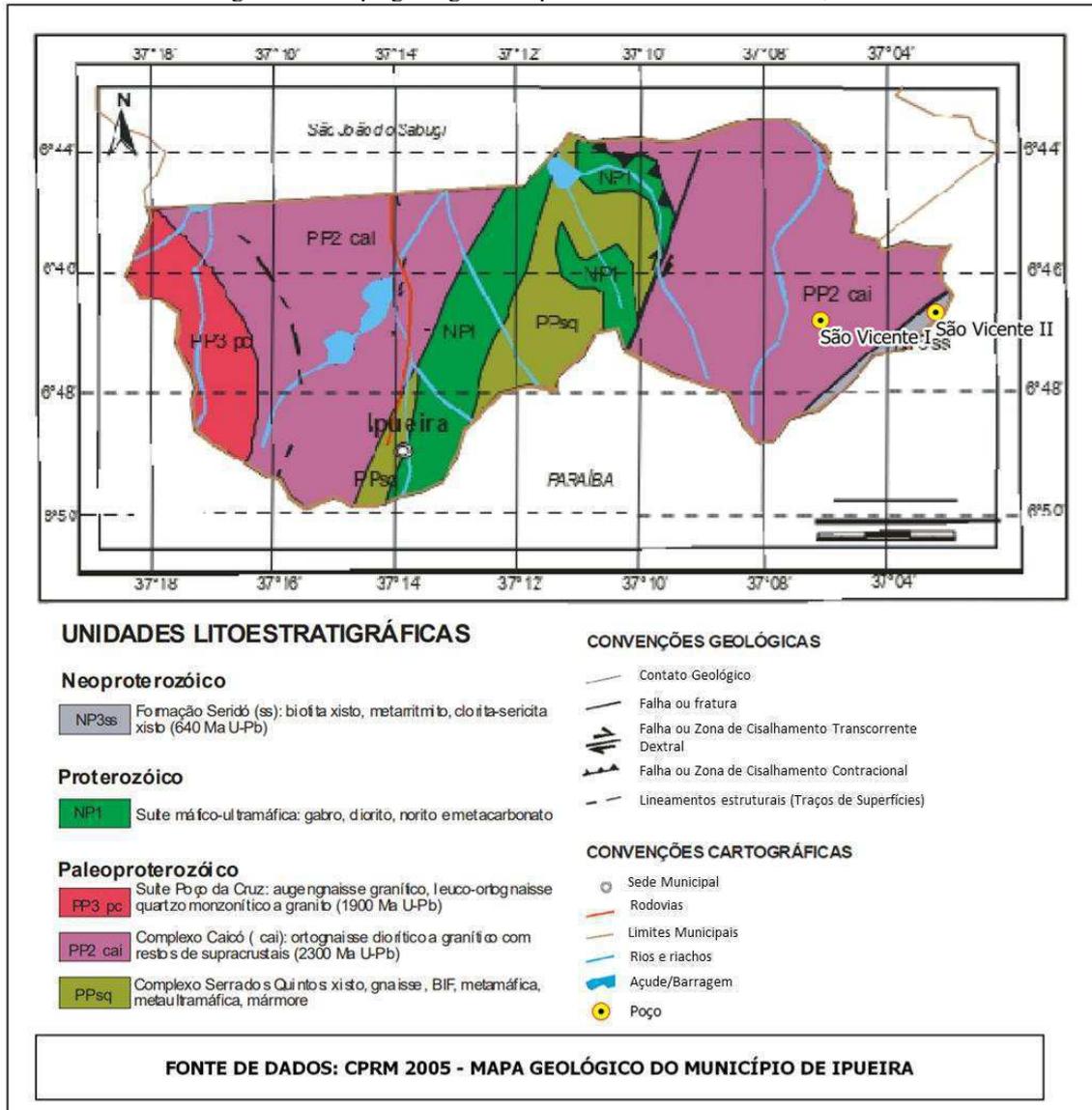


3.2 Municípios do Rio Grande do Norte

No Estado do Rio Grande do Norte realizei estudos nos seguintes municípios: Ipueira, Jucurutu, Cruzeta e Currais Novos.

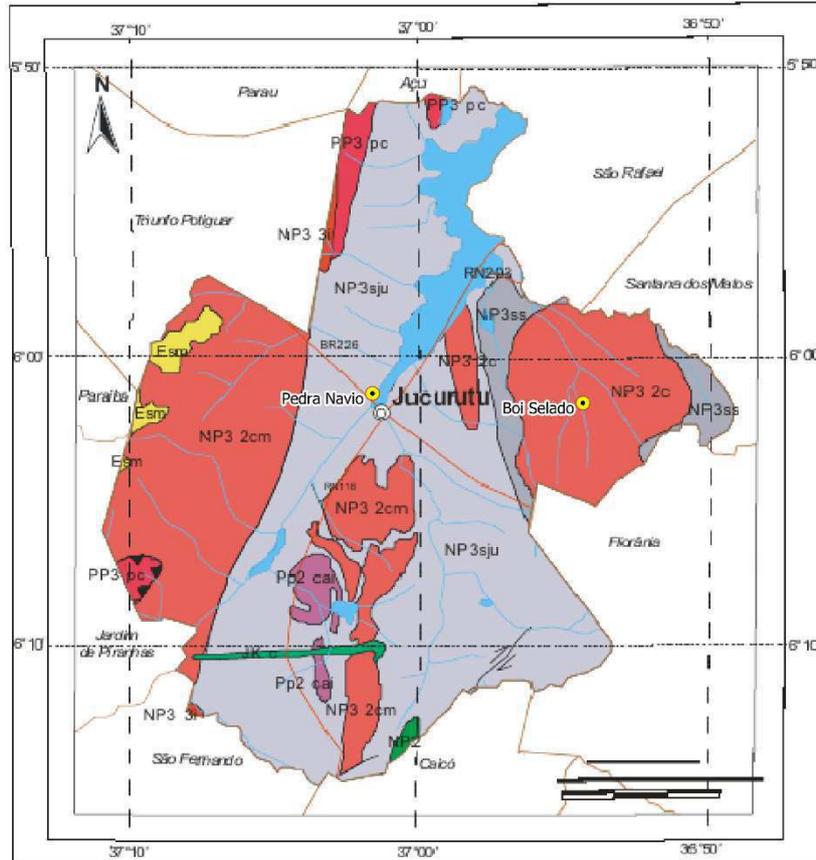
O município de Ipueira está situado na mesorregião Central Potiguar e na microrregião Seridó Ocidental. Apresenta clima muito quente e semiárido, com período chuvoso entre março e abril, e a vegetação local caracteriza-se por Caatinga Hiperxerófila. As comunidades estudadas neste município são: São Vicente I e São Vicente II, as quais estão inseridas nas seguintes formações geológicas; São Vicente I está no Complexo Caicó (*PP2 cai*), composto por ortogneisse diorítica granítico com restos supracrustais de idade Paleoproterozoico; São Vicente II está na Formação Seridó (*NP3_{ss}*), que contem biotita xisto, metarrilito, clorita-sericita xisto (Figura 26) (CPRM, 2005).

Figura 26- Mapa geológico de Ipueira – RN. Fonte: CPRM, 2005.



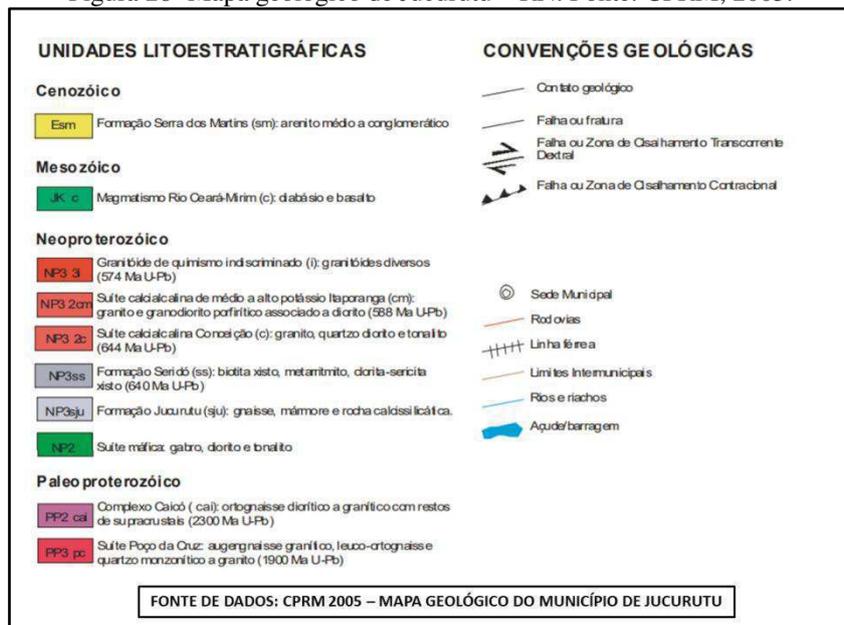
O município de Jucurutu localiza-se na mesorregião Oeste Potiguar e microrregião Vale do Açu. Apresenta clima muito quente e semiárido com vegetação predominante Caatinga Hiperxerófila. Neste município foram realizadas duas locações e perfurações de poços nas comunidades de Boi Selado e Pedra Navio. A comunidade Boi Selado está inserida geologicamente na Suíte calcialcalina Conceição (*NP3 2c*), a qual é representada por granitos, quartzo diorito e tonalito; Pedra Navio está no contexto da Formação Jucurutu (*NP3_{sju}*), composta por gnaíse, mármore e rocha calcissilicática (Figura 25 e 26) (CPRM, 2005).

Figura 27- Mapa geológico de Jucurutu – RN. Fonte: CPRM, 2005.



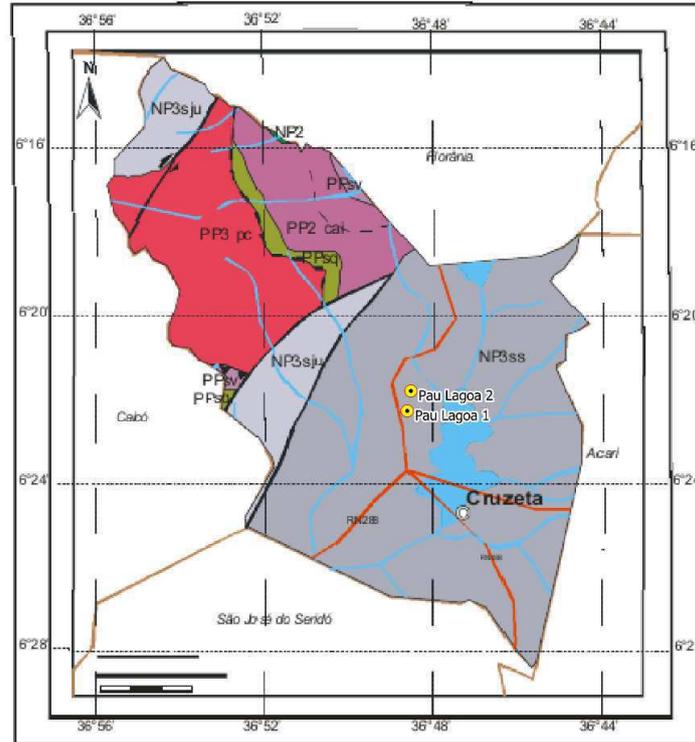
A seguir a legenda do mapa geológico do município de Jucurutu- RN (Figura 28).

Figura 28- Mapa geológico de Jucurutu – RN. Fonte: CPRM, 2005.



O município de Cruzeta está localizado na mesorregião Central Potiguar e na microrregião Seridó Oriental, possui clima muito quente e semiárido, com vegetação predominante de Caatinga Hiperxerófila. As comunidades de Pau Lagoa I e Pau Lagoa II, estão inseridas geologicamente na Formação Seridó (NP3_{ss}), formada por biotita xisto, metarrilito e clorita-sericita xisto (Figura 27 e 28) (CPRM, 2005).

Figura 29- Mapa geológico de Cruzeta – RN. Fonte: CPRM, 2005.



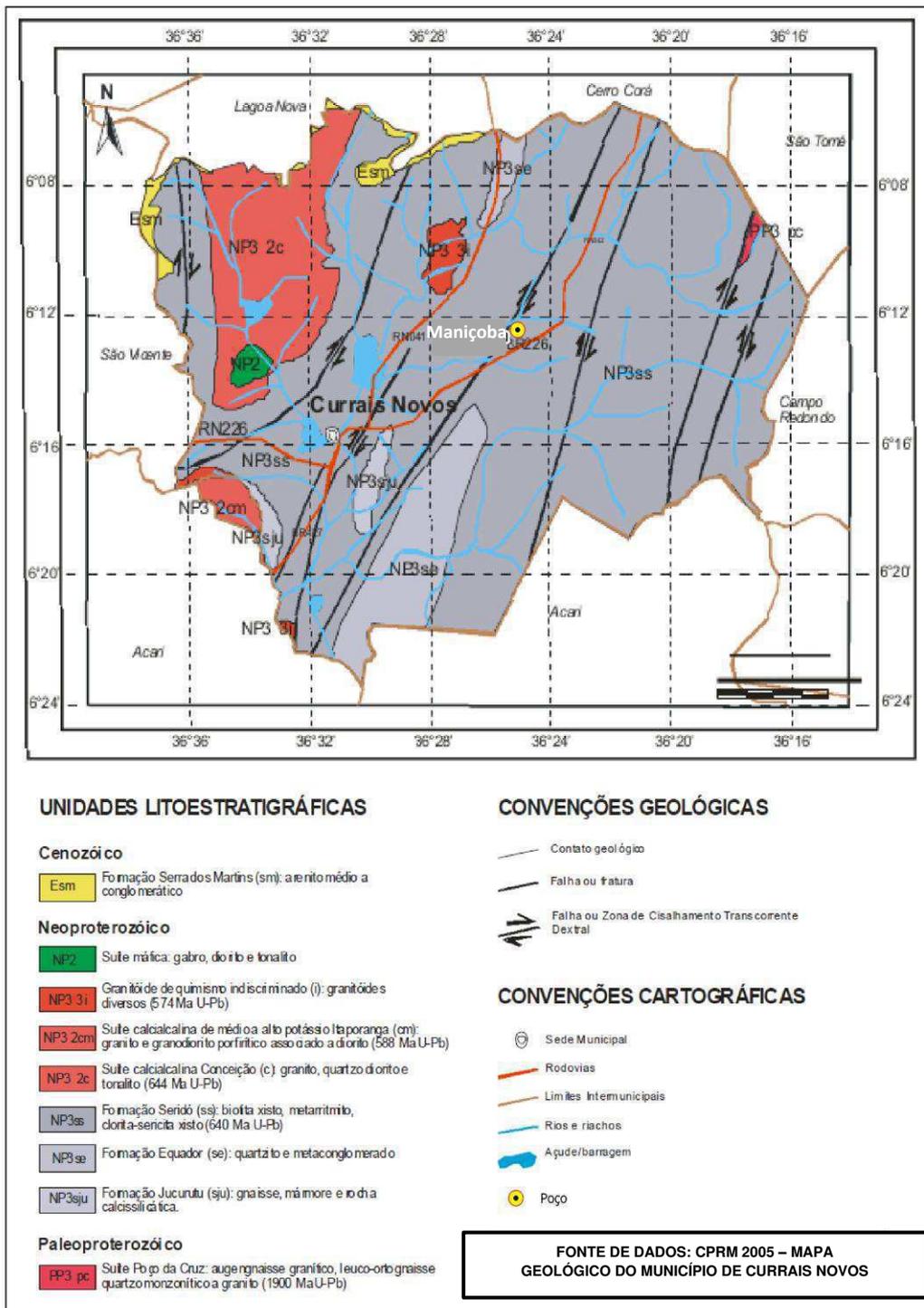
A seguir a legenda do mapa geológico do município de Cruzeta- RN (Figura 30).

Figura 30- Mapa geológico de Cruzeta – RN. Fonte: CPRM, 2005.



O município de Currais Novos está localizado na mesorregião Central Potiguar e na microrregião Seridó Oriental, com clima que varia de muito quente a semiárido, apresentando uma vegetação característica da área representada por Caatinga Hiperxerófila e Subdesértica do Seridó. A comunidade de Maniçoba foi estudada e está inserida na Formação Seridó (NP3_{ss}), formada por biotita xisto, metarritmito e clorita-sericita xisto (Figura 29) (CPRM, 2005).

Figura 31- Mapa geológico de Currais Novos – RN. Fonte: CPRM, 2005.

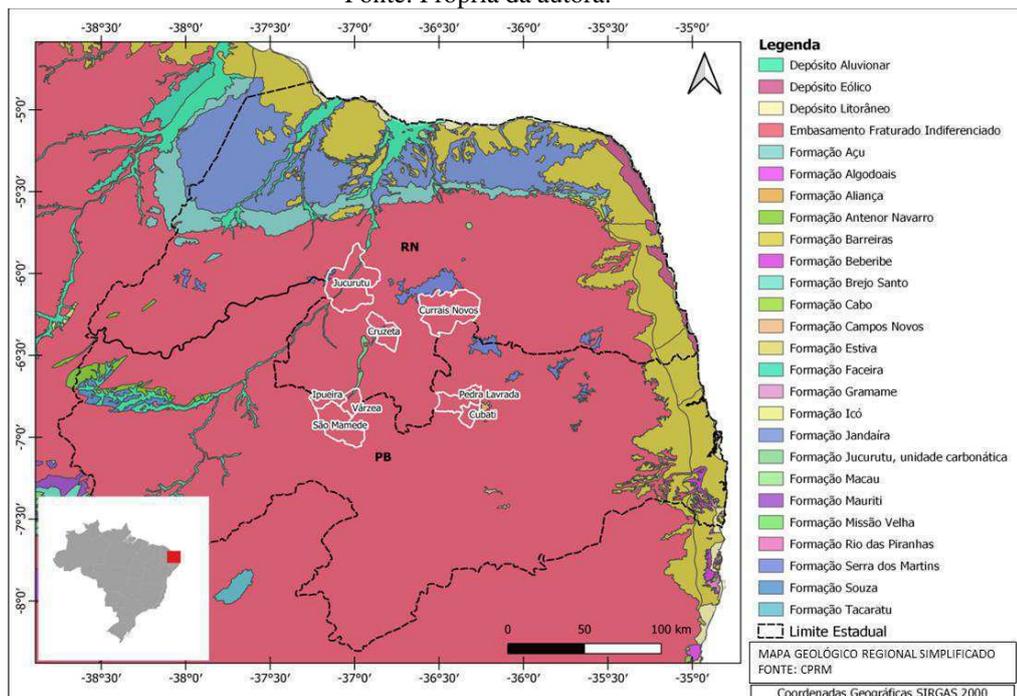


3.3 Hidrogeologia local

Os municípios estudados nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte fazem parte do Embasamento Fraturado Indiferenciado, conforme mostra a Figura 30. Neste mapa é possível observar os litotipos predominantes em cada Estado.

A hidrogeologia cristalina é dominante nos dois Estados e possui características bem definidas, como: a permeabilidade praticamente nula e extremamente dependente da trama de fraturas; o sistema cristalino compreende um meio fraturado, do tipo livre, heterogêneo, cujas possibilidades residem principalmente na interceptação de fraturas produtoras. Os fatores climáticos impõem restrições, principalmente pela natureza das chuvas – principal fonte de recarga, escassas e irregulares. A circulação em subsuperfície se dá com gradientes em geral baixos, em direção aos cursos d’água – os níveis de base regionais; os volumes de água subterrânea armazenados nesse meio fraturado variam amplamente em função da grande anisotropia que comumente apresenta - os melhores resultados são geralmente obtidos em zonas tectonicamente mais favoráveis, zonas mais intemperizadas e ao longo dos trechos de coincidência fratura/drenagem; as vazões são em geral reduzidas, variando em média entre 0,5 e 4 m³ /h; a profundidade média dos poços é de 80 metros com níveis estáticos que situam-se em torno dos 8 metros.

Figura 32- Mapa geológico regional simplificado dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.
Fonte: Própria da autora.



Segundo dados do Sistema de Informações de Águas Subterrânea (Siagas), existem cadastrados cerca de 830 poços nos municípios estudados, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1- Poços cadastrados no Siagas.

PARAÍBA			
MUNICÍPIO	QUANTIDADE	TIPO	PROFUNDIDADE MÉDIA
São Mamede	216	Tubular	40 m
Cubati	93	Tubular	48 m
Pedra Lavrada	169	Tubular	57 m
Várzea	125	Tubular	43 m
RIO GRANDE DO NORTE			
MUNICÍPIO	QUANTIDADE	TIPO	PROFUNDIDADE MÉDIA
Ipueira	32	Tubular	37 m
Jucurutu	28	Tubular	45 m
Cruzeta	31	Tubular	34 m
Currais Novos	136	Tubular	36 m

Os dados apresentados servem apenas para nortear, uma vez que as informações possuem lacunas que tornam os dados pouco confiáveis.

4 METODOLOGIA DE AQUISIÇÃO

A aquisição dos dados em campo é fator de grande importância, pois este determina o sucesso ou o fracasso dos resultados na locação dos poços.

Diante disso, o planejamento que antecede a ida ao campo é fundamental, sendo este na maioria das vezes decisivo para a escolha do melhor local do estudo geofísico com o resistímetro. O objetivo da aplicação do método da eletrorresistividade é identificar as fendas das rochas em subsuperfície que estejam preenchidas com água. No entanto, por tratar-se de aquíferos cristalinos, a localização destas fendas saturadas é um desafio, por isso a necessidade de um estudo detalhado em escritório. O planejamento em escritório permite mitigar as chances de erro, buscando os locais tecnicamente mais viáveis. Neste sentido são utilizadas ferramentas como: imagens de satélite, através de programas como Google Earth e Qgis, que permite de maneira macro observar a região a ser estudada, analisando as variações existentes na vegetação, as quais podem indicar a presença de drenagens, falhas/fraturas; perfis topográficos, indicando preferencialmente o estudo geoeletrico cruzando regiões de vale, já que nestes locais ocorre a presença de drenagens e lineamentos estruturais; estudo da geologia, que permite conhecer as

estruturas, lineamentos, zonas de cisalhamento da região; perfil das drenagens e hidrografia local, tendo em vista que a realização de linhas geofísicas paralelas a rios e perpendicular a drenagens é uma alternativa preferencial para estudo geoeletrico. Após esta análise, é selecionado o melhor local para realizar o estudo com o resistivímetro, sendo este baseado nas características técnicas e na disponibilidade de área local.

O Resistivímetro SuperStingTM R8, utilizado nos estudos de caso é um medidor de resistividade elétrica de última geração, que possui um sistema de Polarização Induzida (IP) e Potencial Espontâneo (SP), os quais são usados para obter dados de resistividade dos materiais em subsuperfície, podendo os resultados serem visualizados em 2D, conforme permissão do software de processamento. O equipamento apresenta os seguintes componentes: a) caixa de controle - responsável pelo envio, recebimento e descarga dos dados coletados em campo, além de importar arquivos de comando e configurar os parâmetros do levantamento; b) caixa de comutação (Switch box) – realiza a conexão entre a linha do levantamento (84 estacas, 12 cabos e 84 eletrodos) e a caixa de controle; c) fonte de energia – responsável por gerar energia para o funcionamento do equipamento, podendo ser uma bateria (modo MAIN – opera na faixa de 0 – 100 W) ou duas baterias (BOOST) de 12V, assim como fontes de alimentação própria da fábrica (110V conectadas a um gerador); d) cabos passivos multi-eletrodos – são os meios de comunicação entre a caixa de controle, por meio do Switch Box, com as estacas conectadas ao terreno e por onde funciona todo o circuito elétrico. Cada cabo possui 7 (sete) eletrodos, com espaçamento máximo de 12 m entre cada eletrodo, no total de 12 (doze) cabos em uma linha montada; e) estacas e eletrodo – a estaca é o meio de contato do equipamento com o solo a ser analisado, é através da conexão dele com os eletrodos que serão emitidos os estímulos elétricos durante o levantamento dos dados (Figuras 31 e 32).

Figura 33- Composição do Resistivímetro SuperSting™ R8. Fonte: Própria da autora.

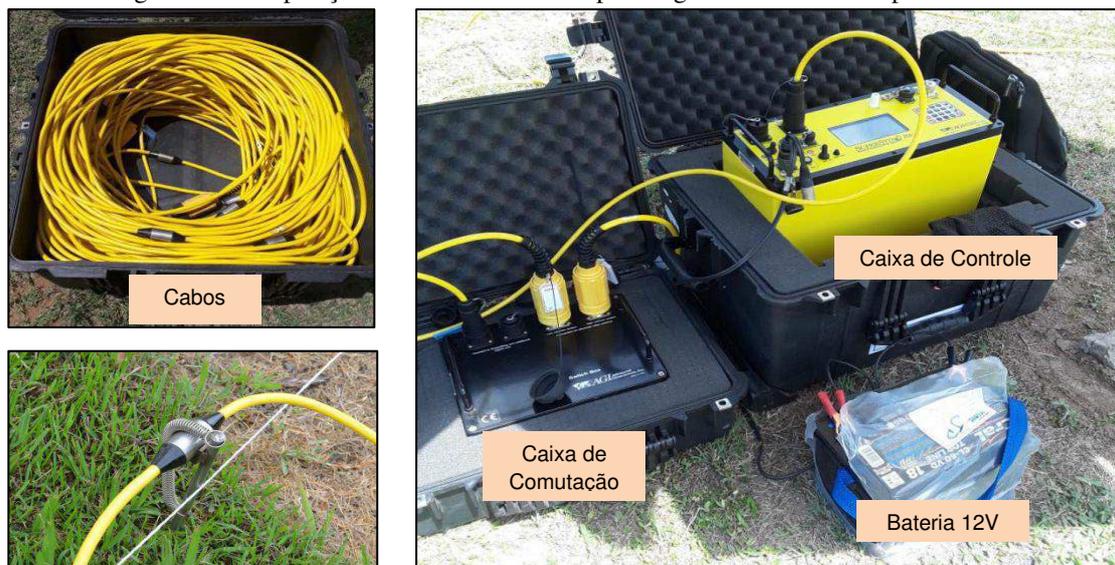


Figura 34- Outro modelo de fonte de energia do SuperSting™ R8. Fonte: Própria da autora.

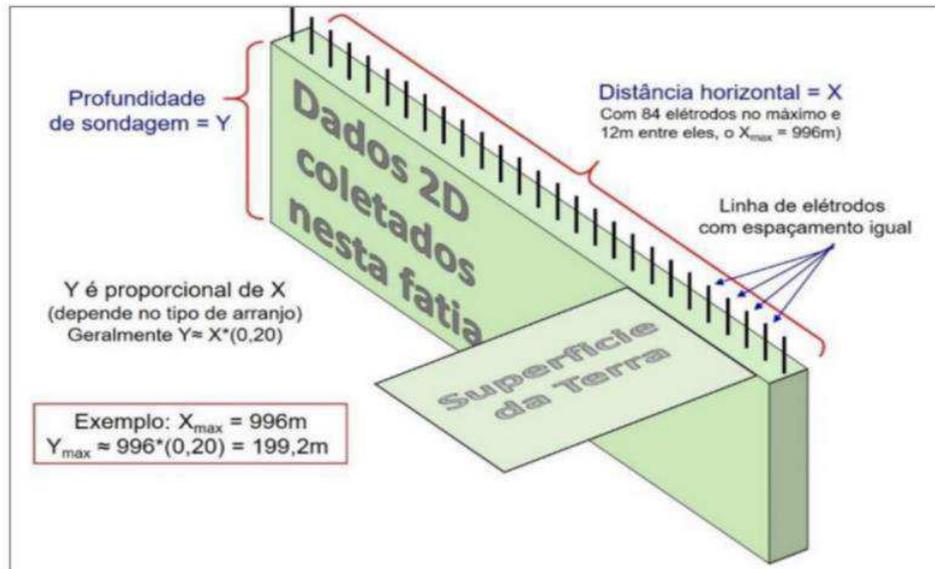


O resistivímetro é totalmente automatizado e apresenta alto nível de precisão com os menores níveis de ruídos, a extensão máxima da linha na superfície do terreno é de até 1 km, o que equivale a profundidade de investigações em subsolo variando de 200 a 250 metros, o que corresponde a 20% da extensão total da linha (Figura 33).

Para o uso do resistivímetro em campo é necessário que seja observada a possível existência de alguma interferência que limite a sua utilização. Primeiramente a área a ser estudada deve apresentar disponibilidade para dispor a linha de sondagem, que deve ser reta a uma extensão suficiente para atingir a média de profundidade dos poços locais. A

linha deve ser orientada para obter a máxima extensão no terreno, isso significa que quanto maior a extensão maior será a profundidade de investigação.

Figura 35- Profundidade de investigação. Fonte: Própria da autora.



Alguns fatores podem comprometer os trabalhos de campo ou onerar o tempo da operação, sendo estes:

- 1) Rua/travessa/avenida/ acesso, que não podem ser interditados: necessitam de um prévio planejamento e comunicação com o responsável técnico;
- 2) Redes de alta tensão/cercas/construções/infraestrutura metálica em geral: estas podem gerar ruídos nos dados ou fuga de corrente elétrica durante o levantamento;
- 3) Vegetação: é o fator limitante quando impede a montagem da linha, sendo necessária realizar a supressão vegetal ao longo do eixo. Ressalto que esta atividade deve ser amparada pela legislação do órgão ambiental responsável de cada estado;
- 4) Obstáculos: são barreiras que dificultam a implantação das estacas no terreno, como por exemplo: muros, cercas, calçadas, pavimentação, concreto armado, afloramento de rochas, etc. Em geral, os obstáculos são desviados (respeitando o fator de 10% do espaçamento), mas nos casos em que não seja possível, a estaca deve ser pulada, sendo recomendado não pular mais de um eletrodo consecutivo;
- 5) Animais: durante o levantamento dos dados há risco de choque, caso algum animal toque nas estacas de metal, bem como a presença destes pode comprometer a conexão dos eletrodos da linha.

6) Clima: em caso de chuva forte não é recomendado o levantamento dos dados, pois a emissão da corrente elétrica ao longo do eixo da linha pode atrair a presença de raios.

A etapa de campo executa o pré-planejamento e segue os seguintes passos: cravar as estacas em furos previamente realizados no solo, os quais são preenchidos com uma solução de água e sal, para reduzir a resistência elétrica de contato e facilitar a passagem da corrente elétrica; distribuir os cabos multipolares no terreno; conectar os 84 eletrodos, posicionados com o mesmo espaçamento; realizar os testes no equipamento e principalmente o de resistência de contato, para saber se existe alguma correção a ser feita, pois o ideal é que os valores de resistência elétrica de contato estejam abaixo de 2000 Ohm-m. Em alguns casos, devido às características geológicas dos materiais encontrados, este valor médio não é atingido sendo possível o prosseguimento do estudo com alguns valores pontuais de resistividade superior (Figura 34).

Figura 36- Solução de água com sal para correção da resistência elétrica de contato. Fonte: Própria da autora.



Após esta etapa, os dados foram processados no *software EarthImager 2D*, onde foram eliminadas medidas ruidosas e invertidos, pelo método dos mínimos quadrados, gerando um imageamento elétrico da subsuperfície investigada. Com isso, as imagens foram interpretadas e os resultados indicaram ou não, locais para perfuração do poço. Posteriormente, foi dado início a etapa de perfuração dos poços nos locais indicados, verificando a presença de água e a vazão da mesma.

Por fim, os dados do imageamento elétrico das 14 (quatorze) comunidades localizadas nos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, foram comparados com os dados da perfuração objetivando encontrar algum padrão, seja da resistividade elétrica,

profundidade das fendas das rochas, direção do eixo da linha nos locais estudados, para que se possa comprovar a eficiência do método da eletrorresistividade em aquífero cristalino, indicando ainda os erros e acertos nos estudos de casos levantados.

4.1 Aquisição dos dados geofísicos na Paraíba

Os dados adquiridos nos municípios de São Mamede, Cubati, Pedra Lavrada e Várzea, são apresentados a seguir.

4.1.1 São Mamede

No município de São Mamede as comunidades de Belo Monte, Mundo Novo e Nossa Senhora Aparecida II, foram estudadas entre os dias 12 a 14 de outubro de 2021.

A comunidade Belo Monte está inserida geologicamente na Formação Seridó (NP3_{ss}), tendo como constituintes litológicos a clorita xisto, xisto aluminoso, biotita-quartzo xisto e filito granada-biotita xisto, conforme mostra o afloramento encontrado na Figura 36. O lineamento das estruturas geológicas apresenta-se na direção nordeste-sudoeste (NE/SO), e para que fosse possível observar possíveis fraturas existentes em subsuperfície, a linha de pesquisa geoeletrica foi feita com 664 m de comprimento com 8 m de espaçamento entre os eletrodos, passa perpendicularmente à direção das estruturas e da drenagem local, numa região de vale, com variação topográfica, próximo a um reservatório existente na região (Figura 35). A linha foi traçada na direção noroeste-sudeste (NO/SE), de azimuth 125° e ao final da coleta e processamento dos dados foi possível local um ponto para perfuração no eletrodo 70 (Tabela 2).

Figura 37- Croqui da linha geoeletrica na comunidade Belo Monte. Fonte: Própria da autora.



Tabela 2- Dados da linha geoeletrica na comunidade Belo Monte. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	710729	9243211	8 m	664 m	NO/ SE
E-84	711289	9242848			
E-70 Poço	711189	9242914			

Figura 38- Vista frontal de um afloramento caracterizado pela presença marcante da foliação da biotita-quartzo xisto. Fonte: Própria da autora.



Na comunidade Mundo Novo a linha geoeletrica passa na direção noroeste-sudeste (NO/SE), assim como na comunidade de Belo Monte, cruzando a drenagem

principal e o lineamento estrutural, estando ainda paralela a um reservatório. A linha apresenta um comprimento de 381,8 m com espaçamento de 4,6 m e Azimute 130°. A comunidade está inserida na Formação Seridó (NP3_{ss}) e, encontra-se num vale, local este com maior probabilidade de serem mapeadas as fraturas em subsuperfície (Figura 37). É possível observar na imagem de satélite a variação da vegetação, indicando a presença e a direção da drenagem. As coordenadas da linha e a indicação do ponto para perfuração no eletrodo 62 estão na Tabela 3.

Figura 39- Croqui da linha geoeletrica na comunidade Mundo Novo. Fonte: Própria da autora.



Tabela 3- Dados da linha geoeletrica na comunidade Mundo Novo. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	712458	9243955	4,6 m	381,8 m	NO/ SE
E-84	712165	9244200			
E-62	712242	9244134			
Poço					

Figura 40- Área de vale onde realizei o estudo geofísico na comunidade de Mundo Novo. Fonte: Própria da autora.



Na área da comunidade de Nossa Senhora Aparecida II não é possível identificar a presença de nenhuma drenagem, a mais próxima está a aproximadamente 700 m, que segue na direção nordeste-sudoeste (NE/SO). Neste local foi possível constatar a ocorrência de poços secos (Figura 39). A comunidade está inserida na Formação Seridó (NP3_{ss}) e, suas estruturas geológicas seguem na direção leste/nordeste-oeste/sudoeste (ENE/OSO). Diante da indisponibilidade de área hidricamente mais favorável para o estudo geofísico, a linha geométrica definida passou cruzando as estruturas locais, na direção norte/noroeste-sul/sudeste, passando ainda na mesma direção de um poço existente na comunidade, cruzando o sentido da drenagem, visando mapear as possíveis fraturas existentes. A linha apresenta um comprimento de 381,8 m com espaçamento de 4,6 m e Azimute 150°. As coordenadas da linha e o ponto de indicação para perfuração no eletrodo 44 estão na Tabela 4.

Figura 41- Croqui da linha geoeétrica na comunidade Nossa Senhora da Aparecida II. Fonte: Própria da autora.



Tabela 4- Dados da linha geoeétrica na comunidade Nossa Senhora da Aparecida II. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	703519	9235348	4,6 m	381,8 m	NNO/ SSE
E-84	703323	9235689			
E-21	703477.58	9235430.96			
Poço					
E-44	703416	9235526			
Poço seco					

Figura 42- Poço seco perfurado na comunidade de Nossa Senhora Aparecida II (Coordenadas: 703508.24 E/ 9235325.54 S *SIRGAS 200 – UTM 24 S). Fonte: Própria da autora.



4.1.2 Cubati

No município de Cubati os estudos de caso que realizei nas comunidades de Belo Monte I e São Domingos I, entre os dias 03 e 05 de janeiro de 2022.

Na comunidade Belo Monte I a linha de pesquisa geolétrica foi feita nas proximidades da comunidade (Figura 42), estando esta inserida no Domínio dos complexos gnaiss-migmatíticos e granulitos, apresentando uma litologia composta por ortognaiss granodiorítico e migmatito. A comunidade está em uma área semelhante a uma planície de inundação e seus lineamentos estruturais seguem na direção norte/nordeste-sul/sudoeste (NNE/SSO). A linha estudada passou na direção oeste/noroeste-leste/sudeste (ONO/ESSE) perpendicular às estruturas geológicas locais, cruzando o campo de futebol da comunidade, apresentando 298,8 m de comprimento com 3,6 m de espaçamento entre os eletrodos, passando ainda próximo a dois reservatórios (Figura 41). Foi possível encontrar um ponto para realizar a perfuração na estaca 37. As coordenadas da linha encontram-se na Tabela 5.

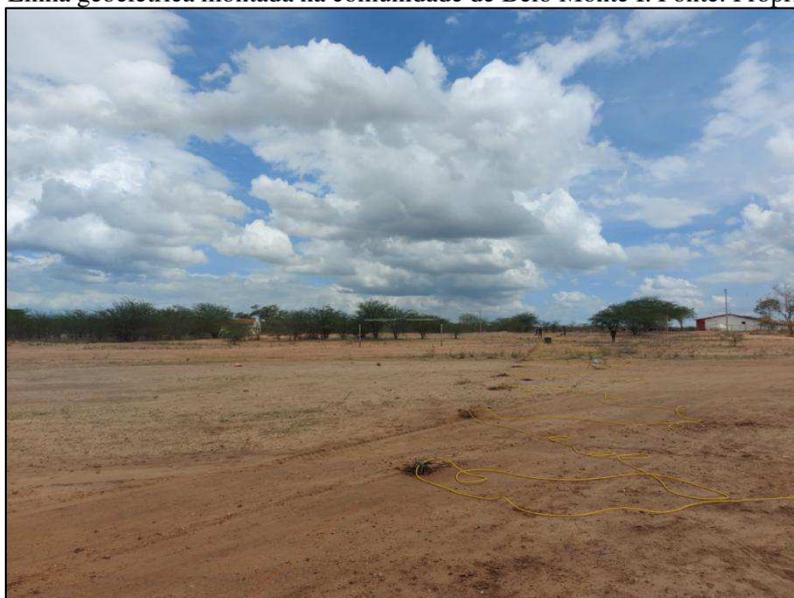
Figura 43- Croqui da linha geoeletrica na comunidade Belo Monte I. Fonte: Própria da autora.



Tabela 5- Dados da linha geoeletrica na comunidade Belo Monte I. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	797404	9247884	3,6 m	298,8 m	ONO/ ESE
E-84	797123	9248006			
E-37	797285	9247936			
Poço					

Figura 44- Linha geoeletrica montada na comunidade de Belo Monte I. Fonte: Própria da autora.



Na comunidade São Domingos I não existe a presença de drenagem, a mais próxima está a aproximadamente 2.300 m, na direção oeste-leste (O/L). Esta comunidade encontra-se geologicamente e estruturalmente nas mesmas condições da comunidade de Belo Monte I (Figura 43). Com isso, a linha de pesquisa geoeétrica foi traçada na mesma direção desta drenagem principal, passando pela área de plantação da comunidade. A escolha foi feita visando mapear possíveis ocorrências de percolações secundárias, que pudessem indicar a ocorrência de anomalias estruturais. A linha estudada tem 298,8 m de comprimento com 3,6 m de espaçamento. Ao serem processados os dados, foi possível realizar a locação de dois pontos sugestivos para perfuração do poço. As coordenadas da linha encontram-se na Tabela 6.

Figura 45- Croqui da linha geoeétrica na comunidade São Domingos I. Fonte: Própria da autora.



Tabela 6- Dados da linha geoeétrica na comunidade São Domingos I. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	797662	9242397	3,6 m	298,8 m	O/L
E-84	797331	9242383			
E-17	797600	9242395			
Poço Opção 1					
E-68	797393	9242384			
Poço Opção 2					

Figura 46- Área do estudo geofísico na comunidade de São Domingos I. Fonte: Própria da autora.



4.1.3 Pedra Lavrada

No município de Pedra Lavrada o estudo de caso que realizei na comunidade de Belo Monte II, no dia 04 de janeiro de 2022.

A comunidade de Belo Monte II está inserida na mesma formação da comunidade Belo Monte I, a qual apresenta o predomínio de gnaisses ortoderivados. A linha de pesquisa geométrica passa a cerca de 866m da drenagem existente. As estruturas geológicas encontram-se na direção norte/nordeste-sul/-sudoeste (NNE/SSO). A direção da linha geométrica seguiu perpendicular ao lineamento das estruturas geológicas, a mesma foi feita com 298,8 m de comprimento e 3,6 m de espaçamento entre os eletrodos (Figura 45). Ao realizar o processamento dos dados foi possível indicar um ponto para perfuração do poço no eletrodo 32, em frente à casa de um morador local. As coordenadas da linha encontram-se na Tabela 7.

Figura 47- Croqui da linha geoeétrica na comunidade Belo Monte II. Fonte: Própria da autora.



Tabela 7- Dados da linha geoeétrica na comunidade Belo Monte II. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	798593	9250644	3,6 m	298,8 m	ONO/ ESE
E-84	798298	9250718			
E-32 Poço	798484	9250671			

Figura 48- Linha geoeétrica realizada na comunidade de Belo Monte II. Fonte: Própria da autora.



4.1.4 Várzea

No município de Várzea o estudo de caso que realizei na comunidade de Novo Horizonte no dia 02 de novembro de 2021.

A comunidade de Novo Horizonte está localizada em uma área de vegetação seca, distante da rede de drenagem local (a cerca de 780 m) (Figura 47). Apresenta-se inserida na unidade geológica da Suíte Várzea Alegre (PP27v), sendo esta composta por granito e granodiorito. A opção para a realização do estudo geofísico foi de acordo com a disponibilidade da área, por trás da quadra da comunidade, que seguiu quase que paralelo ao lineamento das estruturas geológicas, o que não é recomendado. A investigação em subsuperfície foi feita, com uma linha na direção norte/-nordeste-sul/sudoeste (NNE/SSO), a mesma direção do lineamento das estruturas geológicas. A linha foi feita com 415 m de comprimento e 5 m de espaçamento entre os eletrodos. Após o processamento dos dados coletados, foi possível indicar dois pontos sugestivos para a perfuração do poço, nos eletrodos 67 e 47 (Tabela 8).

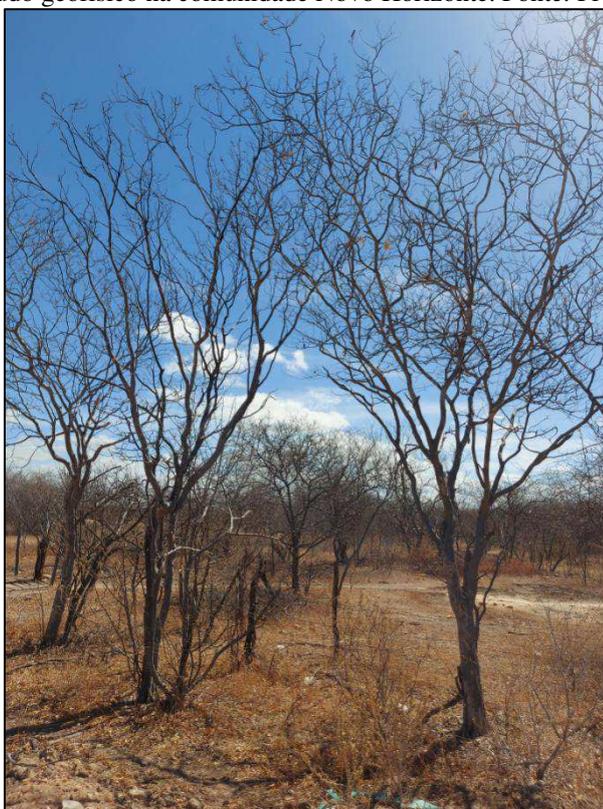
Figura 49- Croqui da linha geoeletrica na comunidade Novo Horizonte. Fonte: Própria da autora.



Tabela 8- Dados da linha geoeletrica na comunidade Novo Horizonte. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	721512	9242806	5 m	415 m	NNE/ SSO
E-84	721323	9242432			
E-67 Poço Opção 1	721363	9242508			
E-47 Poço Opção 2	721409	9242598			

Figura 50- Área de estudo geofísico na comunidade Novo Horizonte. Fonte: Própria da autora.



4.2 Aquisição dos dados no Rio Grande do Norte

Os dados adquiridos nos municípios de Ipueira, Jucurutu, Cruzeta e Currais Novos, são demonstrados a seguir.

4.2.1 Ipueira

A comunidade de São Vicente I está inserida na Formação Jucurutu (NP3sju), apresentando em sua litologia rocha calcissilicática, biotita gnaiss, biotita xisto, xisto, gnaiss, mármore e muscovita quartzito. Tais estruturas geológicas estão orientadas na direção norte/nordeste-sul/-sudoeste (NNE/SSO) (Figura 50). A direção da linha oeste-leste (O/L), seguiu passando perpendicularmente as estruturas geológicas locais, possuindo 498 m de comprimento e 6 m de espaçamento entre os eletrodos (Figura 49). Ao serem processados os dados coletados, foi possível indicar um ponto de interesse para a perfuração do poço no eletrodo 38 (Tabela 9).

Figura 51- Croqui da linha geoeletrica na comunidade São Vicente I. Fonte: Própria da autora.



Tabela 9- Dados da linha geoeletrica na comunidade São Vicente I. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000		Espaçamento	Comprimento	Orientação
	24S				
E-1	712940	9250511	6 m	498 m	O/L
E-84	712441	9250478			
E-38 Poço	712716	9250499			

Figura 52- Afloramento mostrando a intercalação de rocha calcissilicática e biotita gnaisse. Fonte: Própria da autora.



Em São Vicente II, a área da comunidade está inserida na Formação Caicó (PP2cai), composta litologicamente por anfibolito, rocha metaultramáfica, augen gnaisse, metamáfica, migmatito, paragnaisse e Ortognaisse, os quais apresentam a mesma direção norte/nordeste-sul/sudoeste (NNE/SSO) de lineamento estrutural. A linha foi escolhida na direção oeste-leste (O/L), perpendicular às estruturas locais e a drenagem existente, visando observar possíveis fraturas em subsuperfície. Após analisar os dados, foi indicado um ponto para perfuração no eletrodo 15, próximo ao reservatório local (Figura 51). Os dados da linha estão na Tabela 10.

Figura 53- Croqui da linha geoeétrica na comunidade São Vicente II. Fonte: Própria da autora.



Tabela 10- Dados da linha geoeétrica na comunidade São Vicente II. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	708086	9250203	3 m	249 m	O/L
E-84	708334	9250194			
E-15 Poço	708129	9250202			

Figura 54- Estaca indicando o ponto para perfuração no eletrodo 15. Fonte: Própria da autora.



4.2.2 Jucurutu

No município de Jucurutu as comunidades de Pedra Navio e Boi Selado, foram estudadas, por meio de duas linhas geoeletricas, uma em cada comunidade.

A comunidade de Pedra Navio está inserida na Formação Jucurutu e apresenta litologicamente rochas calcissilicática, biotita gnaisse, biotita xisto, xisto, gnaisse, mármore e muscovita quartzito (Figura 54). A drenagem principal está a cerca de 1.155m da comunidade e a drenagem secundária está a aproximadamente 168 m. A direção noroeste-sudeste (NO/SE) da linha geoeletrica foi escolhida por cruzar as estruturas geológicas, mas passando distante do setor onde estavam as drenagens, sendo este local um dos preferenciais para a realização do mapeamento geofísico em subsuperfície (Figura 53). Na Tabela 11 estão descritas as coordenadas da linha geoeletrica.

Figura 55- Croqui da linha geoeletrica na comunidade Pedra Navio. Fonte: Própria da autora.

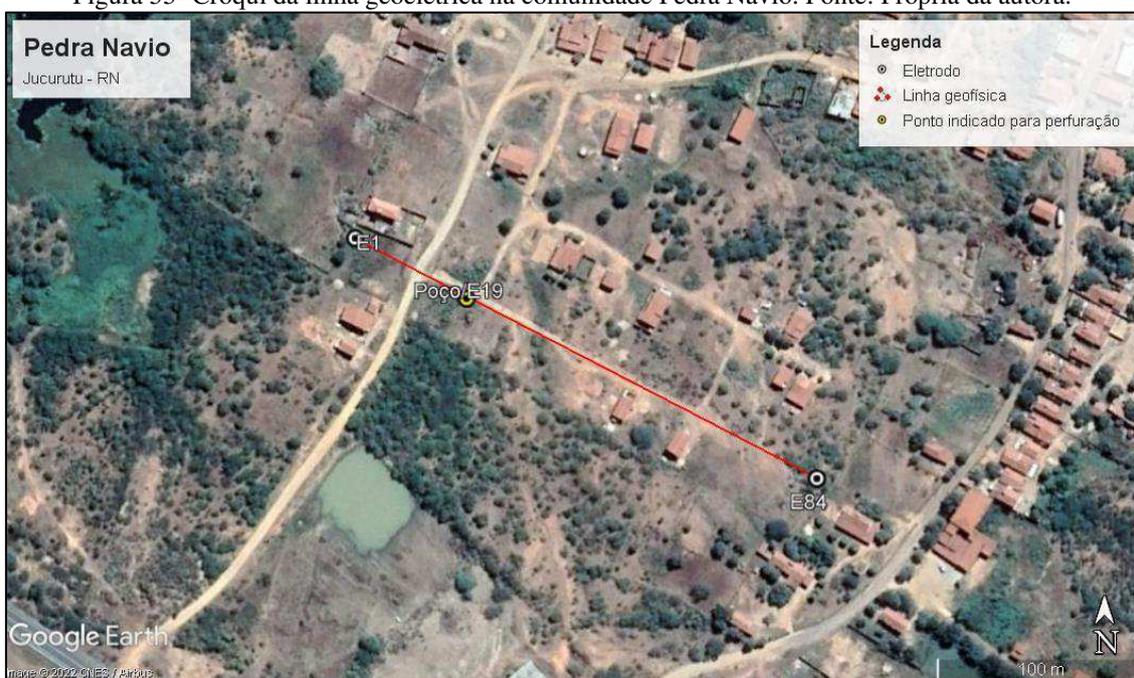


Tabela 11- Dados da linha geoeletrica na comunidade Pedra Navio. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000		Espaçamento	Comprimento	Orientação
	24S				
E-1	718317	93340886	3 m	249 m	NO/SE
E-84	718529	9333976			
E-19 Poço	718365	9334061			

Figura 56- Afloramento de gnaiss intemperizado fraturado, na comunidade Pedra Navio. Fonte: Própria da autora.



A comunidade de Boi Selado está localizada no meio de duas grandes drenagens, presentes na Suíte intrusiva Dona Inês (NP3 γ 2d), formada pelas rochas monzogranito, Sienogranito e Leucogranito. Neste local a linha geométrica foi feita seguindo a disponibilidade de área pública – estrada, da comunidade, na direção norte/nordeste-sul/sudoeste (NNE/SSO) passando paralela a direção das drenagens, no entanto, pela proximidade das mesmas, o local investigado era sugestivo a ocorrências de percolações através de possíveis fraturas em subsuperfície (Figura 55). Como esperado, após realizar o processamento dos dados, foi possível indicar um ponto para perfuração do poço no eletrodo 64 (Tabela 12).

Figura 57- Croqui da linha geoeletrica na comunidade Boi Selado. Fonte: Própria da autora.

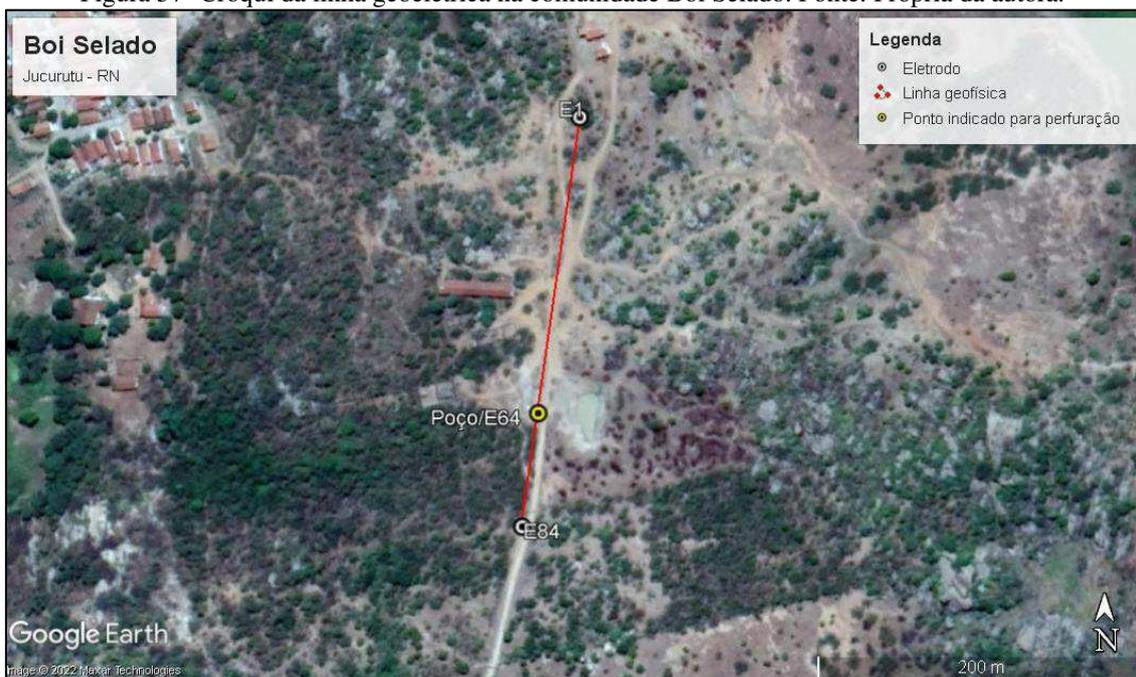
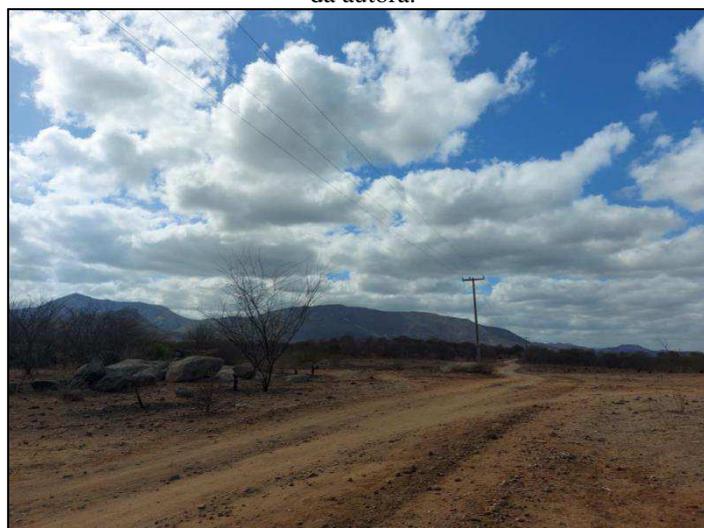


Tabela 12- Dados da linha geoeletrica na comunidade Boi Selado. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	731814	9333581	3 m	249 m	NNE/SSO
E-84	731778	9333331			
E-64 Poço	731788	9333400			

Figura 58- Estrada pública onde realizei o estudo geofísico na comunidade de Boi Selado. Fonte: Própria da autora.



4.2.3 Cruzeta

No município de Cruzeta a comunidade estudada foi Pau Lagoa, onde realizei dois levantamentos em pontos diferentes, os quais ocorreram entre os dias 6 e 7 de abril de 2021.

A comunidade está inserida na Formação Seridó, clorita-sericita biotita xisto, tendo como unidade litológica a rocha biotita xisto. Os lineamentos estruturais seguem a direção nordeste-sudoeste (NE/SO) e, a escolha da linha geoeétrica foi ser esta traçada no primeiro estudo de caso chamado de Pau Lagoa 1, na direção leste/nordeste- oeste/sudoeste (ENE/OSO) cruzando os lineamentos estruturais, além de estar próxima a uma drenagem local (Figura 57). A maneira como a linha geoeétrica foi disposta, permitiu que os dados coletados mapeassem uma anomalia em subsuperfície sugestiva a perfuração do poço, no eletrodo 53 (Tabela 13).

Figura 59- Croqui da linha geoeétrica na comunidade Pau Lagoa 1. Fonte: Própria da autora.

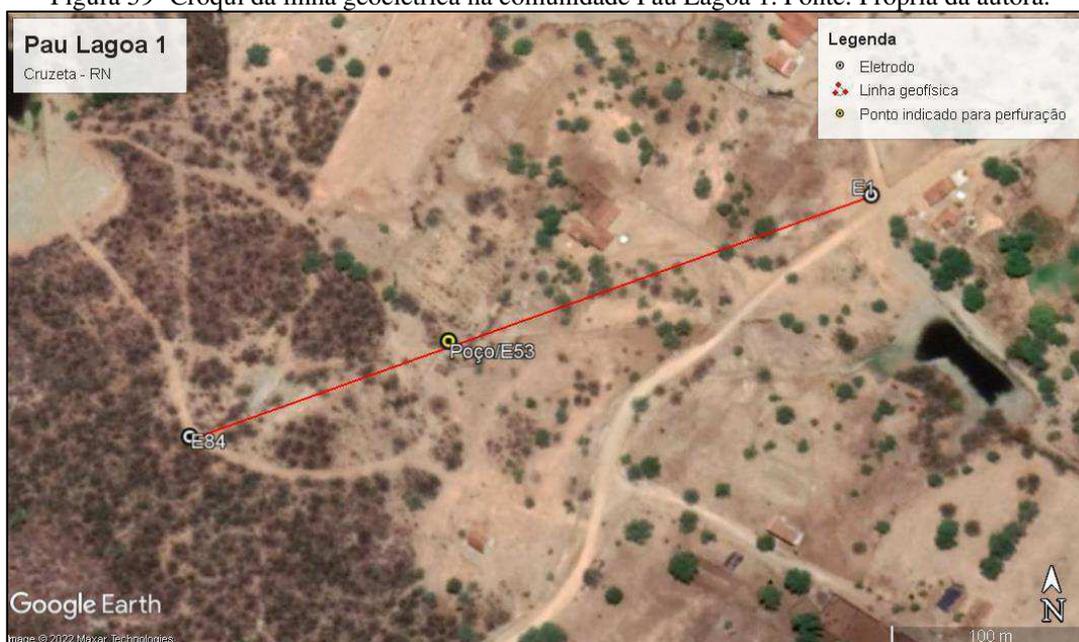


Tabela 13- Dados da linha geoeétrica na comunidade Pau Lagoa 1. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	742452,91	9295315,66	4,4 m	365 m	ENE/OSO
E-84	742108,44	9295194,50			
E-53 Poço	742236,39	9295241,75			

No segundo estudo de caso, denominado de Pau Lagoa 2, a linha geoeétrica foi realizada na direção norte/noroeste-sul/sudeste (NNO/SSE), cruzando além das drenagens secundárias existentes, os lineamentos estruturais, possibilitando resultados satisfatórios para locação de um ponto para perfuração no eletrodo 36 (Figura 58). Os dados da linha geoeétrica estão na Tabela 14.

Figura 60- Croqui da linha geoeétrica na comunidade Pau Lagoa 2. Fonte: Própria da autora.

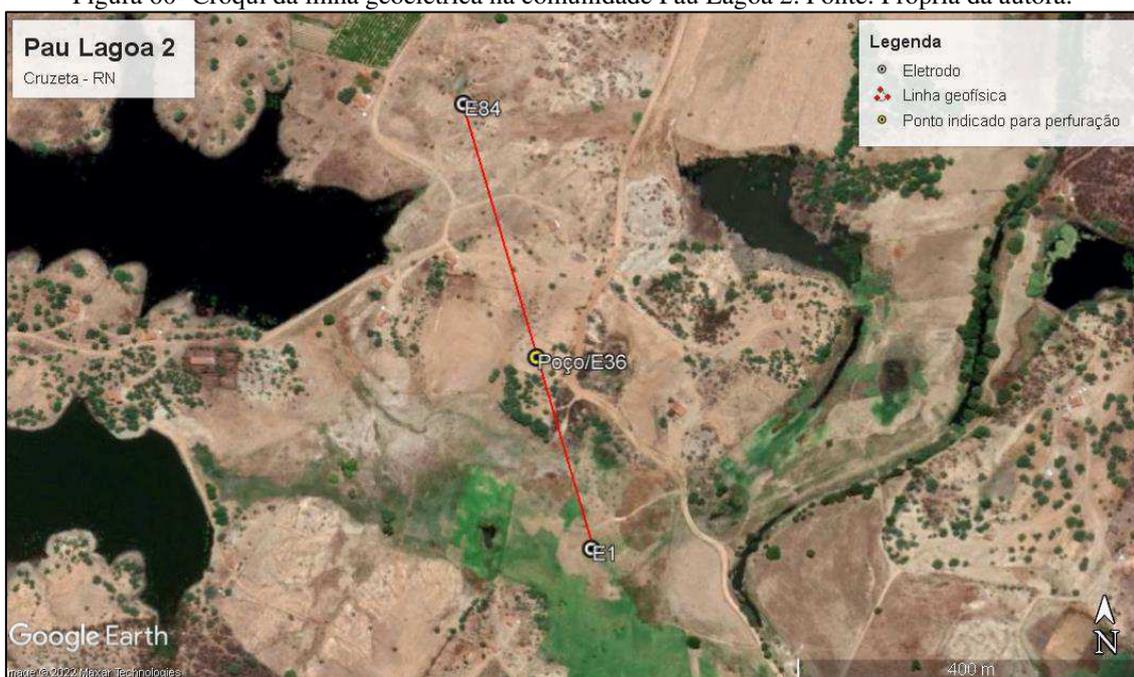


Tabela 14- Dados da linha geoeétrica na comunidade Pau Lagoa 2. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 24S		Espaçamento	Comprimento	Orientação
E-1	742460,78	9295896,47	6,4 m	531 m	NNO/SSE
E-84	742316,34	9296407,79			
E-36 Poço	742398	9296117			

4.2.4 Currais Novos

No município de Currais Novos a comunidade Maniçoba foi estudada em 14 de abril de 2021.

A comunidade de Maniçoba está localizada próxima a uma drenagem e inserida geologicamente na Formação Seridó (NP3ss), neste local é possível observar as seguintes litologias: mármore, biotita-quartzo xisto, xisto aluminoso, clorita xisto e filito. Segundo

as informações contidas no Siagas/CPRM, os poços cadastrados estão localizados próximos à drenagem, acompanhando a direção da mesma. No entanto a área disponibilizada para realização do estudo geofísico estava a cerca de 400 m da drenagem, em uma área não preferencial tecnicamente para o estudo, mesmo assim, a linha geolétrica foi feita na direção norte/noroeste-sul/-sudeste (NNO/SSE) (Figura 59). Os dados desta linha estão na Tabela 15.

Figura 61- Croqui da linha geolétrica na comunidade Maniçoba. Fonte: Própria da autora.

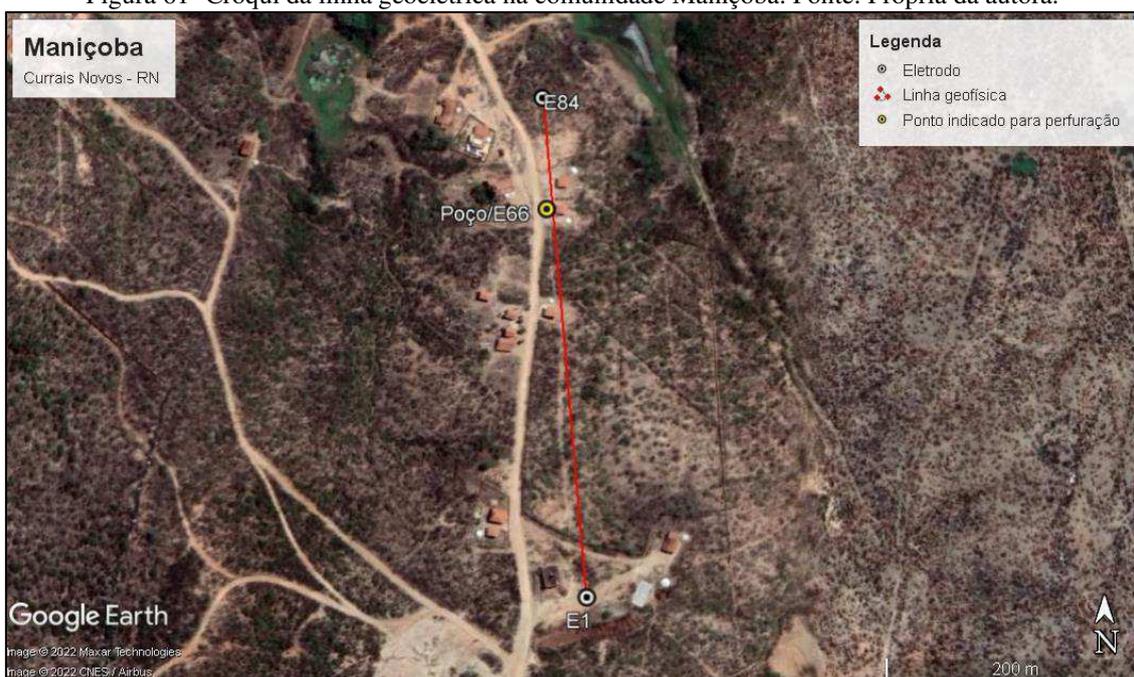


Tabela 15- Dados da linha geolétrica na comunidade Maniçoba. Fonte: Própria da autora.

Estacas	Coordenadas UTM SIRGAS 2000		Espaçamento	Comprimento	Orientação
	24S				
E-1	785750	9312863	4,85 m	403 m	NNO/SSE
E-84	785717	9313254			
E-66 Poço	785720	9313166			

5 RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO DOS PERFIS GEOELÉTRICOS E DA PERFURAÇÃO DOS POÇOS

Alguns fatores são essenciais para que a interpretação dos dados adquiridos em campo sejam as mais fidedignas possíveis e um deles é o conhecimento da geologia e

hidrogeologia da região que está sendo estudada, bem como a pesquisa de poços já existentes e suas principais características, como a profundidade das fraturas e o conhecimento das feições geológicas em subsuperfície.

Como a presente pesquisa é voltada para o estudo dos aquíferos fissurais, o alvo está no mapeamento dos lineamentos estruturais, quais sejam anticlinal, síclinal, diques, falhas, fraturas ou zonas de cisalhamento. Neste sentido é importante que sejam identificados estes alvos e seus perfis de resistividade, obtendo os parâmetros técnicos que caracterizam estas anomalias em subsuperfície. Nos estudos de caso analisados neste trabalho, foi adotado o arranjo dipolo-gradiente, que é a combinação dos arranjos dipolo-dipolo e gradiente, sendo estes executados como caminhamento elétrico, permitindo com isso, uma melhor qualidade do sinal adquirido, como consequência um registro mais bem definido das anomalias existentes. Tendo definidos os critérios geológicos, a correta aquisição dos dados em campo, depende do conhecimento e estudo de outros fatores, a saber: topografia, direção dos afloramentos e estruturas, drenagens, imagens de satélite e dados de pesquisas já realizadas na área de estudo. Com isso é possível definir a direção da linha geométrica a ser levantada que preferencialmente deve passar perpendicularmente ao lineamento estrutural e as drenagens locais. A extensão da linha é definida com base na profundidade média dos poços locais, tendo com isso um parâmetro da profundidade média de investigação desejada.

Durante a aquisição dos dados deve-se atentar, conforme fabricante, sobre os objetos distante lateralmente cerca de 10 a 15% da extensão total da linha, que influenciam nos valores de resistividade da seção geométrica 2D, para isso são considerados como fontes de interferências próximas os afloramentos rochosos, estações de tratamento de esgotos, fossas, construções, drenagens, tubulações, entre outros, os quais venham a gerar anomalias semelhantes às fraturas e causar uma falsa interpretação.

Os dados mais confiáveis são os perfis dos poços existentes no local de estudo, que dão uma noção da ocorrência das estruturas que serão vistas através do estudo geofísico, uma vez que as camadas geológicas dificilmente apresentam grandes mudanças em curta distância.

Antes da coleta dos dados é realizado o teste no *Supersting*, afim de certificar sobre o funcionamento do equipamento e se este apresenta alguma alteração. O principal teste executado é o “*receiver test*”, este é um teste de receptor, cujo intuito é verificar se

todos os receptores estão recebendo sinal sem alteração, assim o intervalo considerado dos 8 receptores como sem alteração é 500mohm (+5%), ou seja, valores entre 475 a 525 mohm indicam que o equipamento pode ser usado sem nenhum problema. Outro teste executado é o “*relay test*”, se o *SwitchBox* estiver endereçado corretamente e cada relé estiver funcionando corretamente, você verá AB/off “OK” em cada relé à medida que o teste avança.

Por fim, é realizado o teste de resistência de contato, que segundo o fabricante do *Supersting* (a empresa *Advanced Geosciences Inc. – AGI*), a resistência de contato adequada pode variar de acordo com o local da pesquisa e as estruturas geológicas presentes, portanto, não há um número padrão de ohms a ser estabelecido. Sabe-se que quanto menor a resistência de contato mais limpos tendem a serem os dados adquiridos. Neste caso, é recomendável pelo fabricante que a resistência esteja até 5.000 ohms para a resistência de contato - embora o ideal seja tentar obter dados abaixo de 1.800 ohms, se possível. Menos de 1.800 ohms permitem que os 200 watts de potência sejam usados, o que é chamado de Boost Mode. Se todos os seus contatos estiverem acima deste valor, a fonte de alimentação do gerador *AGI boost* ou a bateria *boost* não serão utilizadas. Neste caso reduzir a resistência de contato permite mais corrente, e quanto mais corrente, o sinal emitido fica acima de qualquer ruído presente.

Cada linha de sondagem foi executada em um dia, com uma média de 2h para montagem da linha, colocação dos cabos e testes no equipamento; 90min para aquisição dos dados geofísicos; e 1h para desmontagem do equipamento.

Os dados coletados foram processados em 2D no *software EarthImager*, no qual foram removidos os dados ruins/ruidosos presentes, que segundo o fabricante, a remoção destes dados é aceitável se feito de forma processual - até cerca de 20% do total dos dados coletados. De início já existe uma quantidade de dados que são removidos durante a coleta, que variam conforme a qualidade dos dados (quanto mais limpos, menos dados são removidos). Ao ser removido uma grande quantidade de dados, isso causará uma baixa resolução nas áreas dos dados ruidosos removidos e como consequência o perfil geoeletrico gerado não será uma representação confiável da área estudada. Ao remover dados, deve-se remover apenas $\leq 5\%$ dos dados por iteração até chegar a $\leq 10\%$ RMS (*Root Mean Squared – Raiz Média Quadrada*). Dados muito limpos geralmente são $\leq 5\%$ RMS. Outra rotina de processamento que pode ser executada é objetivando atingir o fator $L2 < 1$, este fator é definido como a soma dos erros de dados ponderados ao quadrado. Foi

utilizado para o processamento dos dados coletados nesta pesquisa, o RMS e o L2, de forma comparativa para a certificação das anomalias encontradas, no entanto, apenas será demonstrado o perfil geoeletrico segundo o RMS.

Os valores de resistividade variam segundo o nível de alteração e o grau de faturamento, quanto menor os valores de resistividade encontrados, maior o nível de alteração e/ou faturamento das estruturas em subsuperfície. Foi percebido através destes estudos geofísicos que realizei no Exército, que os valores de resistividade para ocorrência de água em subsuperfície, de ambientes predominantemente constituídos por rochas cristalinas, encontra-se até 100 ohm.m. No entanto é necessário ter cautela sobre estes valores pois, os mesmos podem também estar associados a outros materiais como argilas ou outro material saturado, os quais assemelham-se nos valores de resistividade e só podem ser comprovados no ato da perfuração do poço. Outro fator é a profundidade onde se encontra esses valores de resistividade, bem como se estes são contínuos em uma determinada faixa ou não. Isto é de grande importância, uma vez que se os valores de resistividade, abaixo de 100 ohm.m, estiverem posicionados em uma faixa muito rasa podem estar relacionadas ao manto de intemperismo, localizado na camada superficial, que pode ter espessura variável de acordo com a região estudada, sendo estes confundidos com a presença de água. No tocante a continuidade dos valores de baixa resistividade é necessária ter uma espessura significativa para ser caracterizado como uma anomalia sugestiva para ocorrência de água.

A perfuração dos poços locados por meio do resistivímetro foi realizada, através de uma perfuratriz roto pneumática, com capacidade de perfurar até 250 m. Cada poço teve duração de um dia para executar a perfuração, totalizando 14 dias, sendo estes não consecutivos. A vazão dos poços foi realizada no dia posterior a perfuração, dando assim o tempo necessário para recuperação do poço perfurado e conseqüentemente o cálculo da vazão mais precisa. As informações referentes às vazões e profundidades estão descritas a seguir.

5.1 Estudos de caso da Paraíba

Após a aquisição dos dados em campo, estes foram processados no Software EarthImager 2D, que minimizou os erros existentes e, através do método dos mínimos quadrados, inverteu os dados, gerando com isso o perfil geoeletrico da subsuperfície

investigada. Este perfil foi colocado em escalas de cores diferentes para facilitar a compreensão, quanto ao posicionamento da anomalia de baixa resistividade.

Os estudos que realizei no Estado da Paraíba nos municípios de São Mamede, Cubati, Pedra Lavrada e Várzea apresentaram os seguintes resultados:

5.1.1 São Mamede

No município de São Mamede foram realizadas três linhas geoeletricas, uma em cada comunidade, a saber Mundo Novo, Belo Monte e Nossa Senhora Aparecida II.

Em Mundo Novo, foram coletados 3.538 dados, e após invertidos, teve-se eliminados 4,9% de erros resultando em um RMS final 4,82%, indicando a qualidade da aquisição, uma vez que, quanto menos dados forem eliminados, mais confiável é a imagem gerada no perfil geoeletrico. Os valores de resistividade adquiridos variaram entre 10.000 a 5,3 ohm.m, alcançando uma profundidade de investigação de 78 m. A baixa resistividade (representada pela cor azul nos perfis) até os 15 m é resultado do manto de alteração. No perfil foi identificado duas zonas de baixa resistividade entre os eletrodos 33 – 37 e 59 – 65, os quais demonstram serem zonas de fratura, tendo como exemplo de uma anomalia de baixa resistividade em subsuperfície a posição do eletrodo 62 (Gráfico 1).

Na comunidade Belo Monte foram coletados 3.591 dados, sendo os mesmos processados e eliminados um número maior de erros, cerca de 15,8% de erros resultando em um RMS final de 8,41%. O terreno estudado até 150 m de profundidade e apresentou mais valores de alta resistividade, alcançando 100.000 ohm.m, resultado da possível presença de um maciço rochoso em subsuperfície. Valores de menor resistividade foram observados entre os eletrodos 56 – 73, até aproximadamente 90 m de profundidade. O menor valor de resistividade foi observado no eletrodo 70, sendo este o ponto indicado para perfuração do poço (Gráfico 2).

Gráfico 1- Seções de resistividade invertida na comunidade Mundo Novo. Fonte: Própria da autora.

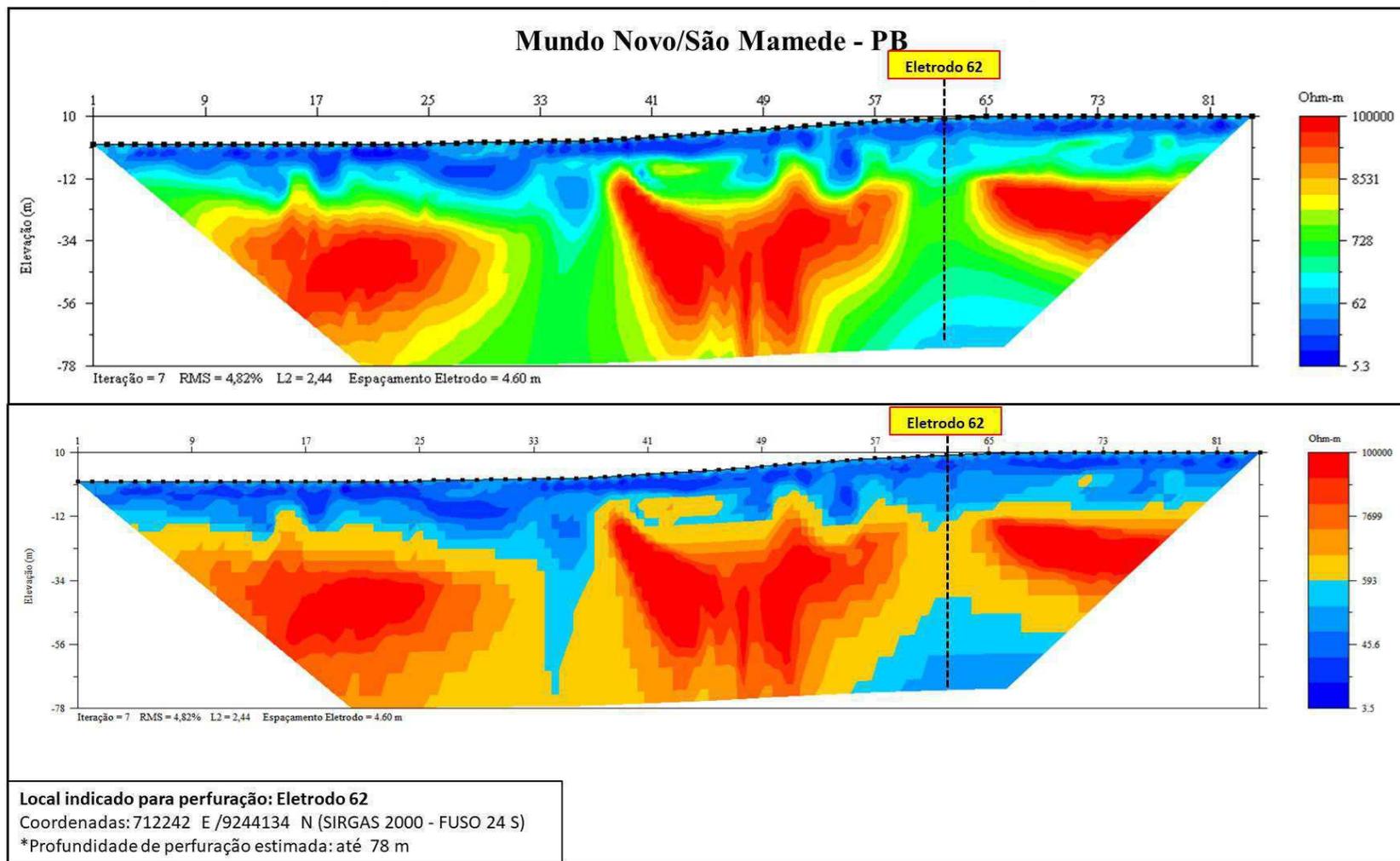


Gráfico 2- Seções de resistividade invertida na comunidade Belo Monte. Fonte: Própria da autora.

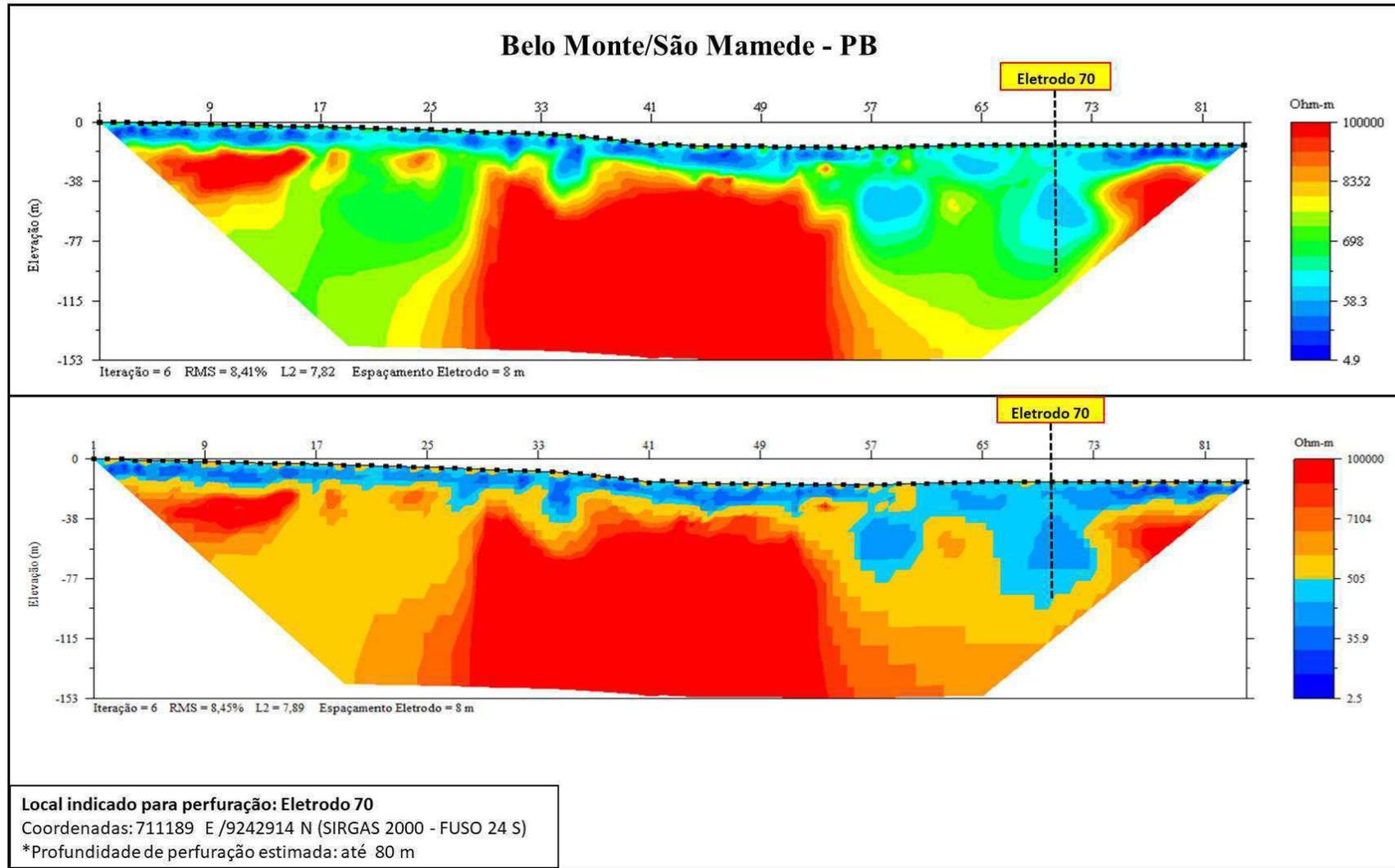
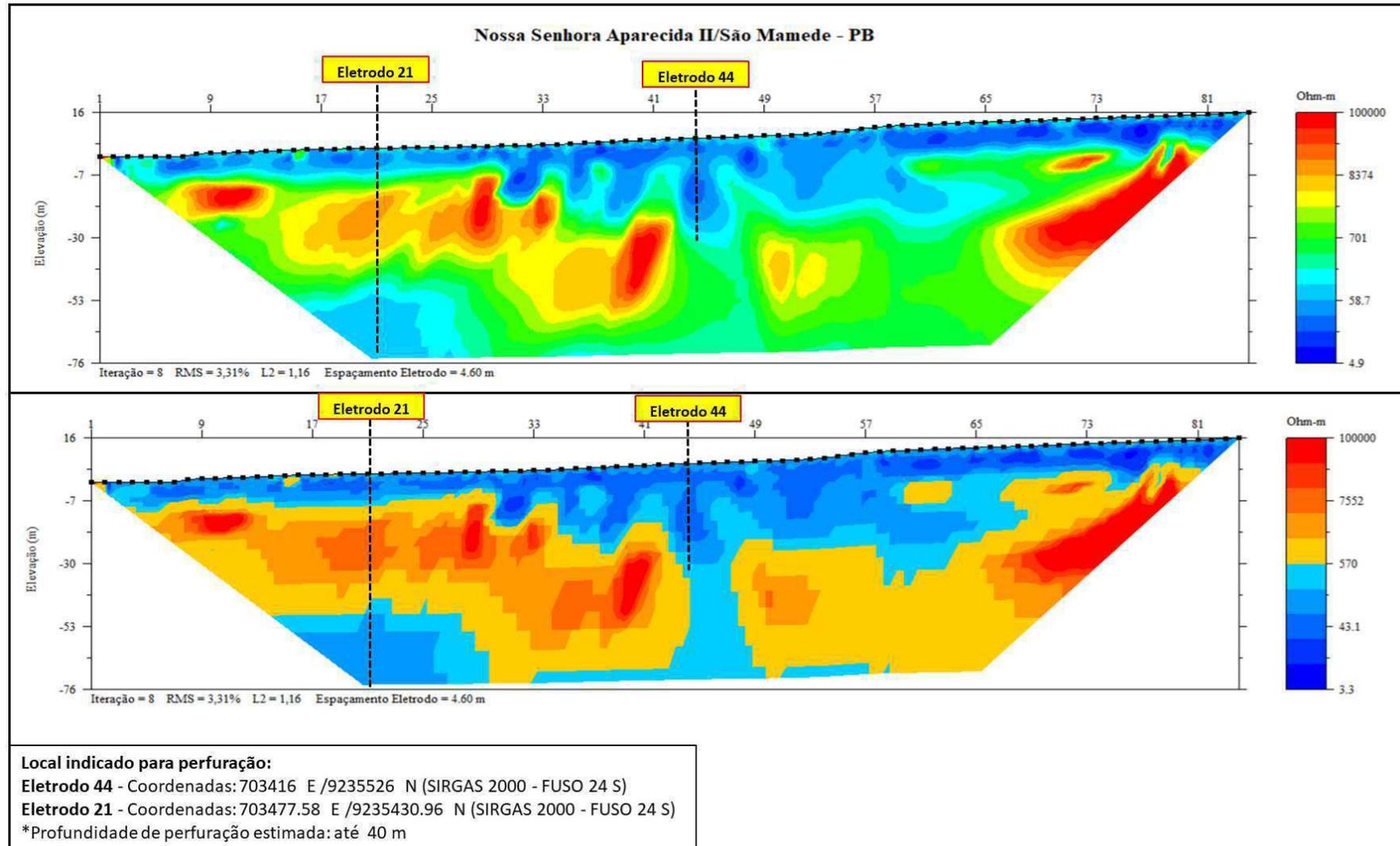


Gráfico 3- Seções de resistividade invertida na comunidade Nossa Senhora Aparecida II. Fonte: Própria da autora.



A comunidade Nossa Senhora Aparecida II apresentou mais valores de baixa resistividade. Ao total foram coletados 3.588 dados e retirados após o processo de inversão 7,7% de erros resultando em um RMS final de 3,3 %. A presença de uma anomalia de baixa de resistividade mais predominante ocorreu nos eletrodos 44 e 21, em que é possível observar a ocorrência de duas possíveis fraturas, no eletrodo 44 até aproximadamente 40 m, e no eletrodo 21 a anomalia de baixa resistividade encontra-se entre 50 a 80 m, conforme mostra o Gráfico 3. No entanto ao ser realizada a perfuração no eletrodo 44, não houve indício de água. Em virtude disto, foi realizada uma nova perfuração no eletrodo 21, apresentando assim a presença de água, neste ponto.

A análise do perfil geoeletrico permite uma observação macro dos dados adquiridos em subsuperfície, no entanto, para que se possa obter uma maior precisão destas informações, é possível utilizar durante a interpretação das seções de resistividade invertida, uma análise pontual da resistividade elétrica em cada eletrodo. Esta ferramenta é chamada “*log de resistividade elétrica*” contida no Software EarthImager 2D, onde ao ver o perfil das resistividades nos eletrodos que indicam possíveis anomalias de baixa resistividade, pode-se fazer uma comparação entre os valores observados e ter mais um índice que auxilia na tomada de decisão para indicação do melhor local para perfuração do poço.

Após analisar pontualmente, os eletrodos apresentaram os seguintes resultados, conforme a Tabela 16 e 17. Baseado no histórico dos estudos geofísicos que realizei em campo, a presença de água nas fraturas em aquíferos fissurais na região semiárida, ocorre comumente em resistividades abaixo de 100 ohm.m. Estes valores foram encontrados na comunidade de Mundo Novo de maneira superficial até uma profundidade de 7 m, e voltou a reduzir em aproximadamente 67 m. Na comunidade de Belo Monte, a possível existência de fratura é indicada entre 40 a 67 m de profundidade, tendo como menor valor de resistividade 67.695 ohm.m. A comunidade Nossa Senhora Aparecida II, apresentou uma maior quantidade de valores com baixa resistividade no eletrodo 44 até aproximadamente 25 m, se comparando com as outras comunidades estudadas no município de São Mamede, e no eletrodo 21 foi percebido duas faixas de baixa resistividade uma mais superficial, até aproximadamente 4 m e outra mais profunda iniciando em 55 m aproximadamente.

Tabela 16-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 62 (Mundo Novo), 70 (Belo Monte). Fonte: Própria da autora.

Log de Resistividade elétrica				
Município	São Mamede - PB			
Comunidades	Mundo Novo: Eletrodo 62		Belo Monte: Eletrodo 70	
Valores de Resistividade	x = 280.600(m)		x = 552.000(m)	
	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)
	9.247	102.613	14.686	307.010
	8.487	48.674	15.685	233.798
	7.014	11.381	17.799	137.096
	5.420	10.643	20.151	98.657
	3.694	20.318	22.766	121.314
	1.821	51.715	25.669	172.653
	0.214	68.655	28.886	207.974
	2.430	62.568	32.449	187.345
	4.845	66.079	36.391	134.287
	7.481	90.394	40.746	95.946
	10.361	158.690	45.557	78.252
	13.511	328.598	50.865	67.695
	16.960	647.007	56.720	72.961
	20.740	925.120	63.175	98.320
	24.885	1027.685	70.286	128.231
	29.433	925.932	78.119	159.663
	34.427	715.659	86.743	258.965
	39.913	504.827	96.237	547.562
	45.941	358.168	106.686	1394.684
	52.567	242.207	118.184	2837.109
	59.852	153.085	130.836	3658.803
	67.862	91.344	144.755	4145.686
72.021	70.559	152.046	4413.205	

Tabela 17-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 21 e 44 em Nossa Senhora Aparecida II. Fonte: Própria da autora.

Log de Resistividade elétrica					
Município	São Mamede - PB				
Comunidades	Nossa Senhora Aparecida: Eletrodo 21		Nossa Senhora Aparecida: Eletrodo 44		
Valores de Resistividade	x = 92.000(m)		x = 197.800(m)		
	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)	
	3.152	276.991	6.871	106.760	
	2.593	150.344	6.211	67.466	
	1.452	50.583	4.934	26.942	
	0.175	27.510	3.524	20.313	
	1.251	28.999	1.969	25.418	
	2.841	44.696	0.255	39.781	
	4.611	74.806	1.634	48.303	
	6.578	142.881	3.716	41.566	
	8.763	341.546	6.010	31.768	
	11.186	1195.099	8.537	26.899	
	13.872	5606.061	11.320	23.853	
	16.845	12604.403	14.386	24.873	
	20.134	13547.682	17.761	28.990	
	23.770	9799.598	21.477	44.517	
	27.787	8023.675	25.569	80.706	
	32.223	6017.421	30.072	191.993	
	37.119	3128.169	35.029	394.707	
	42.519	633.879	40.484	561.140	
48.474	136.460	46.488	585.745		
55.038	79.584	53.094	556.441		
62.270	73.396	60.363	467.450		
70.237	83.045	68.361	302.809		
74.402	88.348	72.525	243.775		

O resultado das perfurações executadas nas comunidades estão descritos na Tabela 18.

Tabela 18-Dados de perfuração das comunidades de Mundo Novo, Belo Monte e Nossa Senhora Aparecida II. Fonte: Própria da autora.

Caso	Comunidade	Indicação para Perf.	Prof. Da Perf. (m)	Manto de alteração (m)	Vazão obtida (L/h)
1	Mundo Novo	Eletrodo - 62	64	12	2.400
2	Belo Monte	Eletrodo - 70	80	4	2.400
3	Nossa Senhora Aparecida II	Eletrodo - 44	40	8	Seco
		Eletrodo - 21	64	9	870

Todos os pontos indicados para perfuração apresentaram resultados satisfatórios, no entanto, o poço que indicou menor vazão foi na comunidade de Nossa Senhora Aparecida II, mesmo indicando os menores valores de resistividade elétrica, o fato é que a fratura encontrada era mais superficial. O baixo acúmulo de água também reflete a pouca recarga da região, oriunda da estiagem no período estudado. Contudo, esta vazão é satisfatória permitindo a instalação do poço e atendendo a necessidade da comunidade. É possível que, havendo chuvas na região, a vazão dos poços possa aumentar e/ou serem mantidos.

No tocante a profundidade do manto de alteração, observa-se que os poços apresentaram uma variação entre 4 a 12 m, sendo que na comunidade Belo Monte o poço perfurado está inserido praticamente na drenagem local e o poço perfurado na comunidade Mundo Novo está próximo a uma pequena barragem e a drenagem local, e ambos os poços em virtude da proximidade destas drenagens apresentaram as maiores vazões. Já o poço da comunidade de Nossa Senhora da Aparecida II está distante da drenagem e não existe reservatório de água próximo.

5.1.2 Cubati

No município de Cubati realizei estudos nas comunidades de Belo Monte I e São Domingos I, nestes locais os dados gerados apresentam resultados satisfatórios.

Na comunidade de Belo Monte I, conseguiu-se obter 2.975 dados, sendo retirados durante o processamento 12,9% de erros, obtendo-se no final um RMS 2,95%. Os valores de baixa resistividade encontrados foram mais expressivos entre os eletrodos 33 a 41, onde nestes locais as resistividades variaram de 131 – 2,1 ohm.m, conforme mostra a escala. O eletrodo 37 escolhido para perfuração apresentou uma média de 25 ohm.m na anomalia que foi encontrada até a profundidade de 35 m (Gráfico 4).

Gráfico 4- Seções de resistividade invertida na comunidade Belo Monte I. Fonte: Própria da autora.

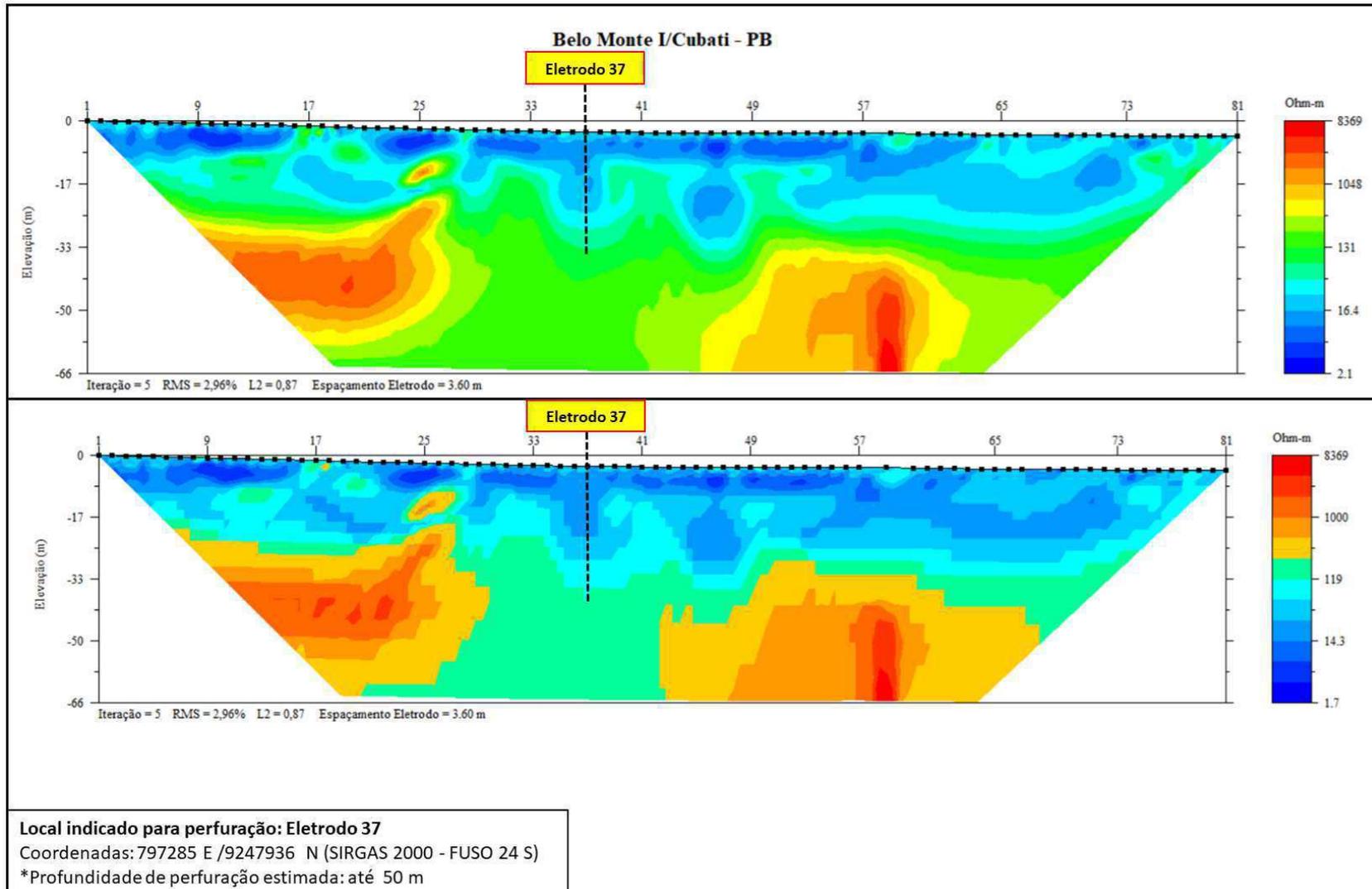
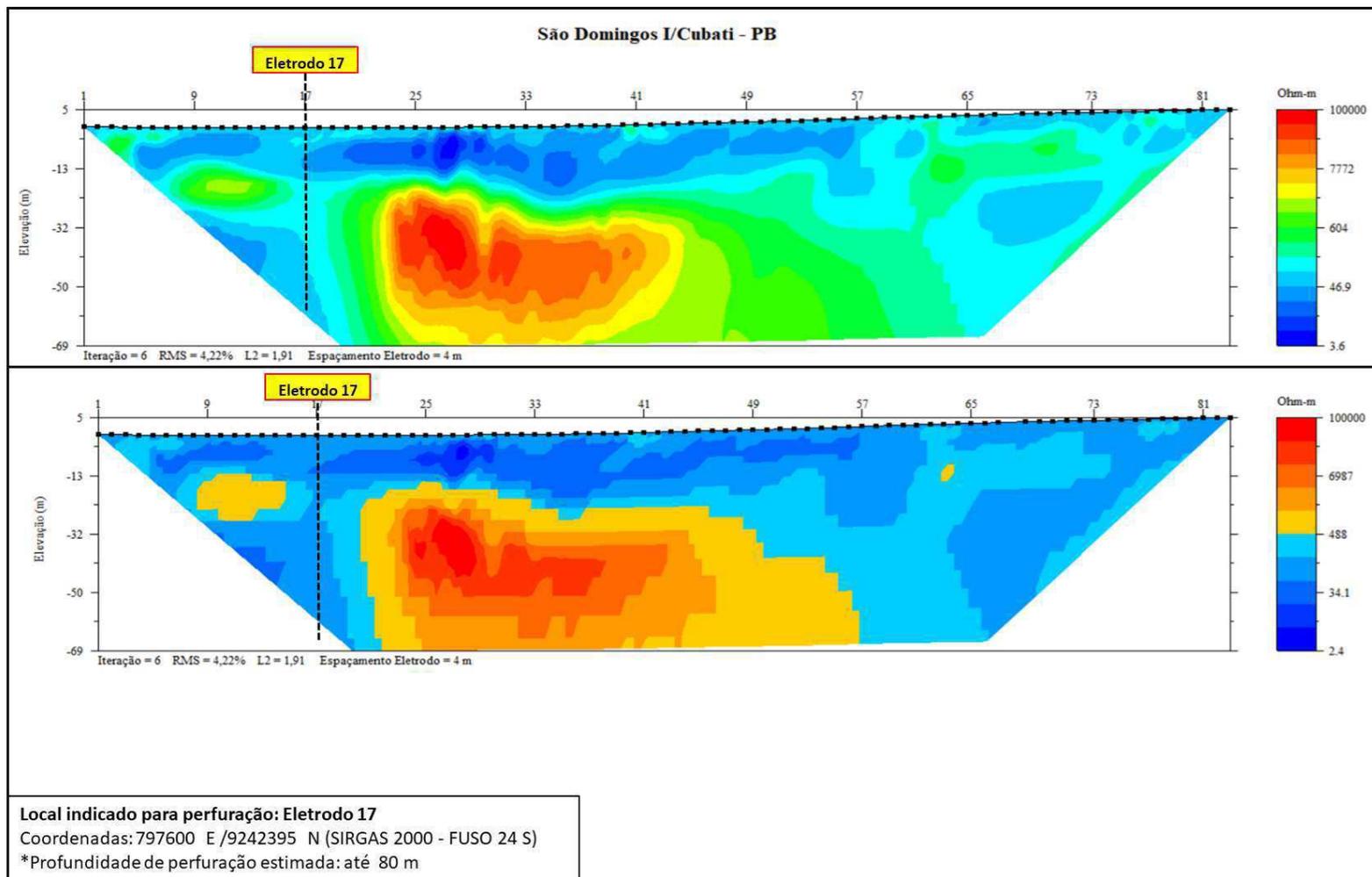


Gráfico 5- Seções de resistividade invertida na comunidade São Domingos I. Fonte: Própria da autora.



Na comunidade de São Domingos I no total foram adquiridos 3.268 dados, sendo retirados 18,6% de erros, finalizando com um RMS de 4,22%. Anomalias de baixa resistividade foram observadas nos eletrodos 17 e 68, apresentando até praticamente 70 m de profundidade valores sugestivos de ocorrência de água em subsuperfície. No entanto foi no eletrodo 17 que a perfuração foi realizada, tendo em vista que neste ponto os valores de resistividade foram melhores (Gráfico 5).

Os eletrodos previamente escolhidos na análise do perfil geoeletrico, tiveram seus eletrodos estudados pontualmente, conforme a Tabela 19 e os resultados da perfuração na Tabela 20.

Tabela 19-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 37 (Belo Monte I) e 17 (São Domingos I). Fonte: Própria da autora.

Log de Resistividade elétrica				
Município	Cubati - PB			
Comunidades	Belo Monte I - Eletrodo 37		São Domingos I - Eletrodo 17	
Valores de Resistividade	x = 129.600(m)		x = 64.000(m)	
	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)
	2.824	28.584	0.224	70.101
	3.355	24.165	0.795	70.429
	4.489	17.354	1.995	71.483
	5.739	13.190	3.327	86.339
	7.117	12.430	4.806	105.186
	8.635	12.796	6.444	80.185
	10.305	13.132	8.257	47.143
	12.145	12.608	10.261	35.938
	14.170	12.368	12.476	36.658
	16.398	12.664	14.922	56.177
	18.850	14.432	17.620	110.301
	21.548	18.852	20.595	142.589
	24.516	25.740	23.874	146.340
	27.781	39.583	27.487	137.172
	31.373	61.237	31.467	115.736
35.325	91.230	35.848	94.818	
39.672	126.865	40.671	88.248	
44.453	168.408	45.978	88.074	
49.713	182.757	51.819	82.989	
55.499	165.751	58.245	68.862	
61.864	153.306	65.315	57.797	
65.205	147.445	69.017	52.950	

Tabela 20-Dados de perfuração das comunidades de Belo Monte I e São Domingos I. Fonte: Própria da autora.

Caso	Comunidade	Indicação para Perf.	Prof. Da Perf. (m)	Manto de alteração (m)	Vazão obtida (L/h)
1	Belo Monte I	Eletrodo - 37	72	12	1.300
2	São Domingos I	Eletrodo - 17	76	12	800

Em todos os pontos indicados para perfuração, nos estudos de caso do município de Cubati, os resultados foram satisfatórios, indicando vazões suficientes para a instalação do poço. As possíveis fendas em subsuperfície mapeadas pelo resistivímetro foram confirmadas na perfuração.

A profundidade do manto de alteração foi a mesma 12 m em ambos os poços. Na comunidade de Belo Monte o poço está próximo a drenagem e este apresentou uma maior vazão que o poço da comunidade São Domingos I onde não existe drenagem próxima.

5.1.3 Pedra Lavrada

Na comunidade de Belo Monte II foram coletados 3.446 dados, sendo eliminados durante o processamento 18,2% de erros, tendo por fim um RMS de 3,44%. Observando o Gráfico 6 é possível ver uma anomalia de baixa resistividade entre os eletrodos 27 a 32, onde estes atingem uma profundidade de aproximadamente 65 m. Contudo ao analisar pontualmente a resistividade de cada um dos eletrodos, foi visto que o eletrodo 32 apresentou o melhor resultado (Tabela 21), mostrando em todo o perfil valores de resistividade abaixo de 41 ohm.m (Gráfico 6).

Gráfico 6- Seções de resistividade invertida na comunidade Belo Monte II. Fonte: Própria da autora.

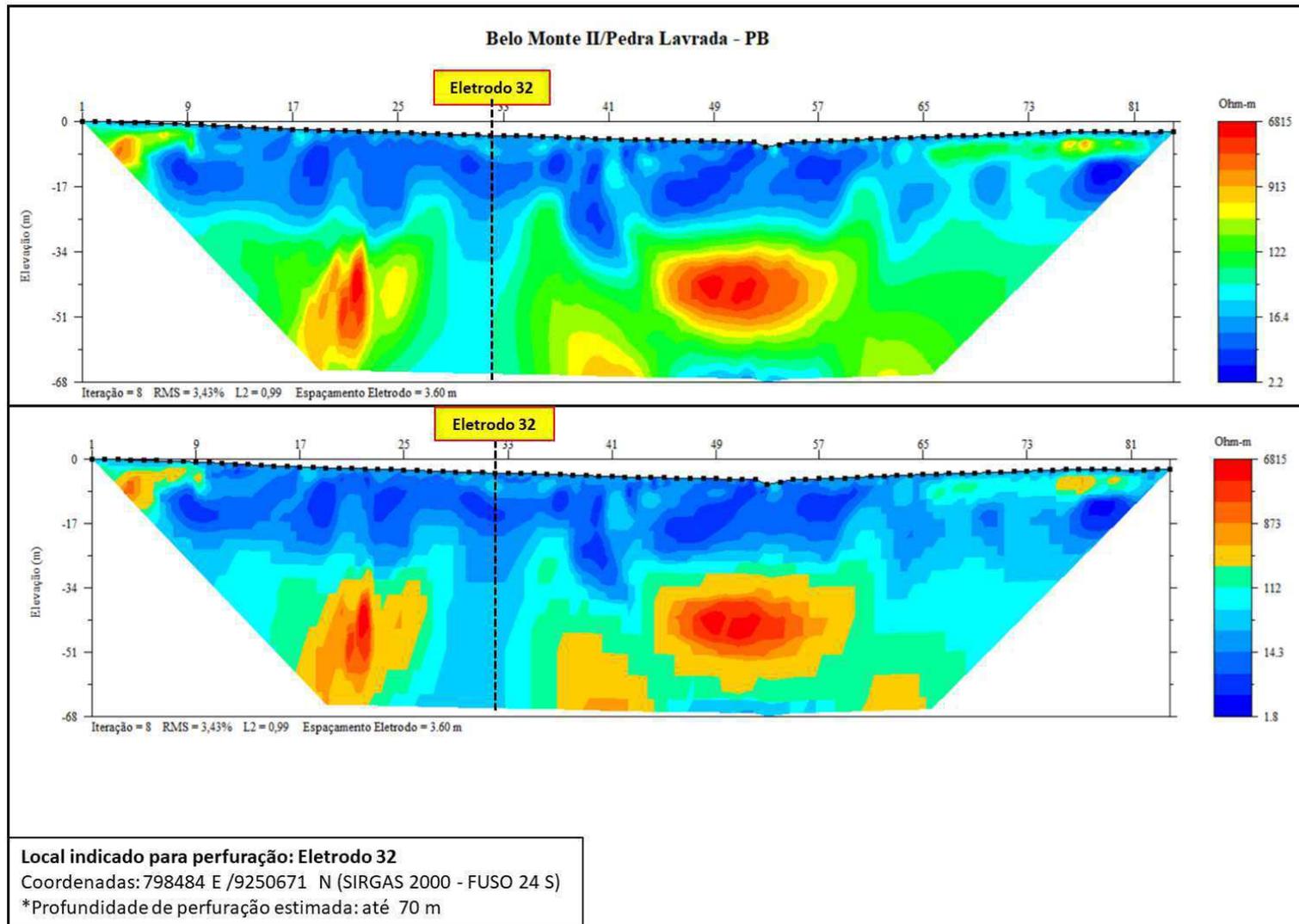


Tabela 21-Perfil de resistividade elétrica do eletrodo 32 (Belo Monte I). Fonte: Própria da autora.

Log de Resistividade elétrica

Município	Pedra Lavrada - PB	
Comunidades	Belo Monte II - Eletrodo 32	
Valores de Resistividade	x = 111.600(m)	
	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)
	3.716	13.917
	4.172	14.412
	5.177	15.464
	6.286	21.472
	7.510	28.462
	8.859	16.533
	10.345	9.666
	11.984	6.746
	13.788	5.350
	15.776	5.429
	17.964	6.822
	20.373	10.078
	23.025	14.021
	25.944	17.034
	29.156	19.099
	32.690	21.375
	36.578	25.808
	40.856	31.949
45.562	37.728	
50.739	41.667	
56.434	43.103	
62.699	41.705	
65.995	41.023	

Tabela 22-Dados de perfuração das comunidades de Belo Monte II. Fonte: Própria da autora.

Caso	Comunidade	Indicação para Perf.	Prof. Da Perf. (m)	Manto de alteração (m)	Vazão obtida (L/h)
1	Belo Monte II	Eletrodo - 32	70	8	960

Os baixos valores de resistividade encontrados foram confirmados na perfuração, resultando um poço produtivo (Tabela 22).

O poço perfurado está distante da drenagem local e apresentou 8 m de profundidade do manto de alteração.

5.1.3 Várzea

Na comunidade de Novo Horizonte, foram coletados 3.545 dados, e ao serem processados, retirou-se 18,5% de dados ruidosos, obtendo-se no final um RMS de 5,11%. O Gráfico 7 mostra que entre os eletrodos 45 a 73 existe a ocorrência de uma anomalia de baixa resistividade, sugestiva para presença de água. Após a análise pontual destes eletrodos, foi possível determinar que o local de maior probabilidade de ocorrência de água era no eletrodo 47 (Tabela 23).

Tabela 23- Perfil de resistividade elétrica do eletrodo 47 (Novo Horizonte). Fonte: Própria da autora.

Log de Resistividade elétrica	
Município	Várzea - PB
Comunidades	Novo Horizonte - Eletrodo 47
Valores de Resistividade	x = 230.000(m)
	Depth(m) Resistivity(Ohm-m)
	0.016 52.931
	0.679 30.997
	2.096 10.771
	3.655 7.668
	5.372 11.101
	7.260 20.692
	9.338 34.545
	11.625 36.915
	14.142 29.786
	16.910 24.101
	19.957 22.623
	23.308 26.133
	26.996 38.329
	31.053 61.125
	35.516 125.876
	40.425 264.439
	45.827 424.255
	51.769 517.640
58.305 553.892	
65.495 511.081	
73.405 357.769	
82.106 183.447	
86.671 132.291	

Gráfico 7- Seções de resistividade invertida na comunidade Novo Horizonte. Fonte: Própria da autora.

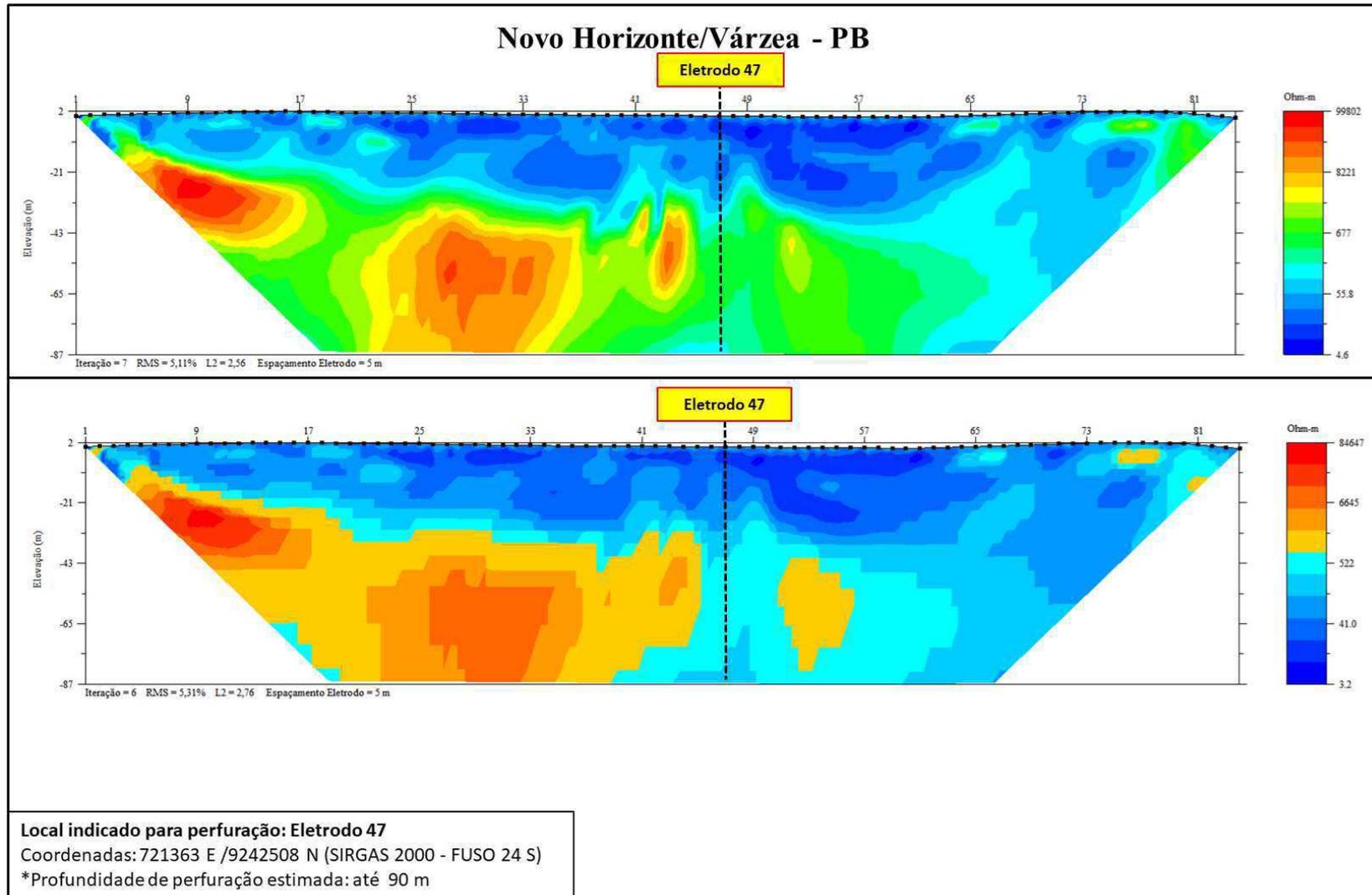


Tabela 24-Dados de perfuração das comunidades de Belo Monte I e São Domingos I. Fonte: Própria da autora.

Caso	Comunidade	Indicação para Perf.	Prof. Da Perf. (m)	Manto de alteração (m)	Vazão obtida (L/h)
1	Novo Horizonte	Eletrodo - 47	68	4	3.500

Os resultados da perfuração confirmaram que a anomalia de baixa resistividade, vista no perfil geoeletrico, era de fato uma fenda na rocha em subsuperfície saturada com água (Tabela 24).

Foi observado ainda que a profundidade do manto de alteração do poço é de 4 m e que este, está em um local distante da drenagem presente na região.

5.2 Estudos de caso do Rio Grande do Norte

No Estado do Rio Grande realizei estudos nos municípios de Ipueira, Jucurutu, Cruzeta e Currais Novos.

5.2.1 Ipueira

No município de Ipueira realizei dois estudos de caso: o primeiro na comunidade de São Vicente I, onde foram coletados 3.437 dados geoeletricos, os quais ao serem analisados e retirados 9,2% de dados ruidosos tendo um RMS final de 5,40%, mostraram uma pequena área de baixa resistividade no eletrodo 38. Estes valores encontrados estavam abaixo de 100 Ohm-m, conforme indica a escala de cores ao lado da imagem de seção de resistividade invertida (Gráfico 8). Segundo esta escala, os valores de baixa resistividade são representados pela cor azul, a partir da cor verde a resistividade dos materiais encontrados em subsuperfície é maior, indicando nestes casos uma baixa porosidade, ou seja, menor capacidade de transmissão de água, não indicando, portanto, indício de água.

Gráfico 8- Seções de resistividade invertida na comunidade São Vicente I. Fonte: Própria da autora.

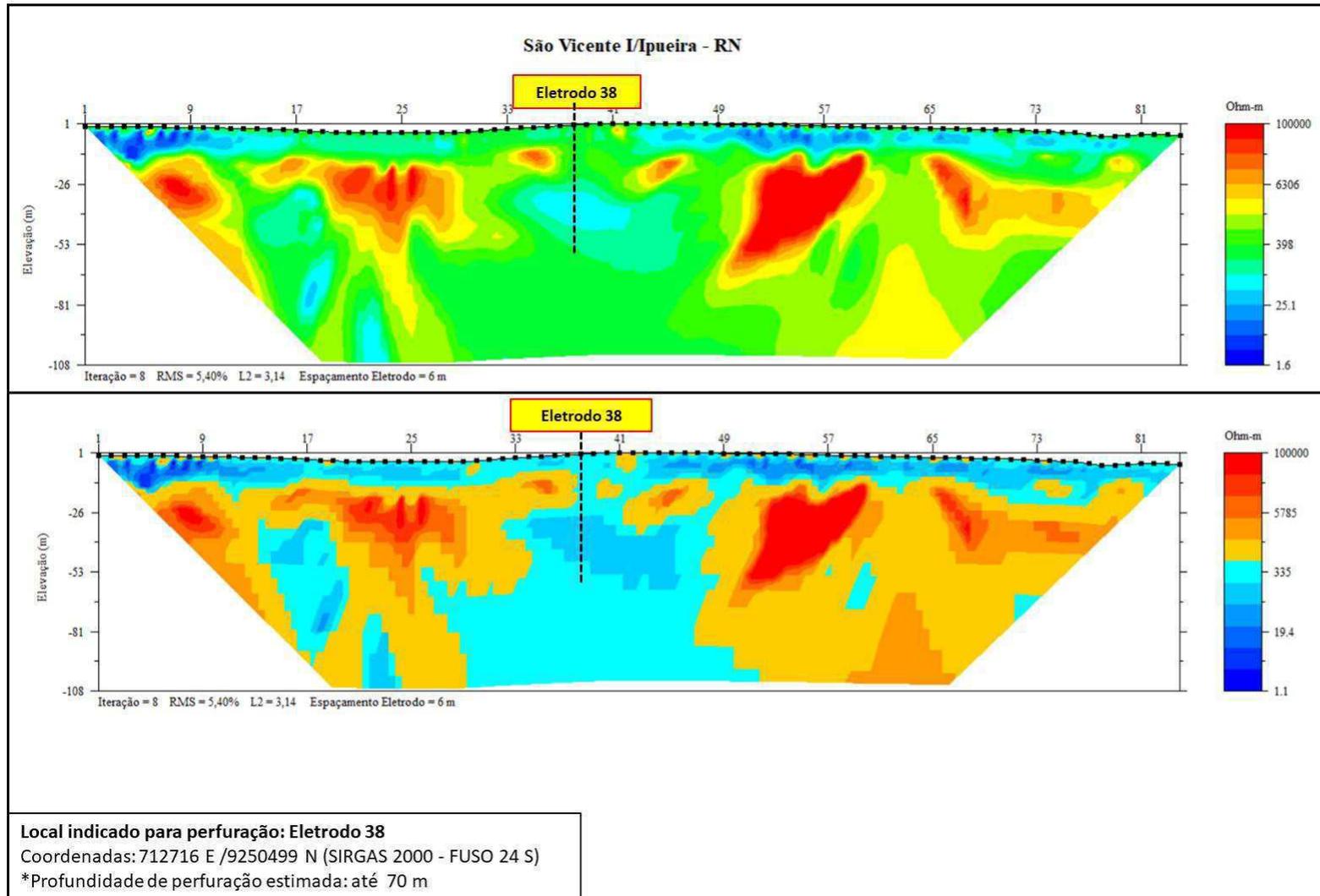
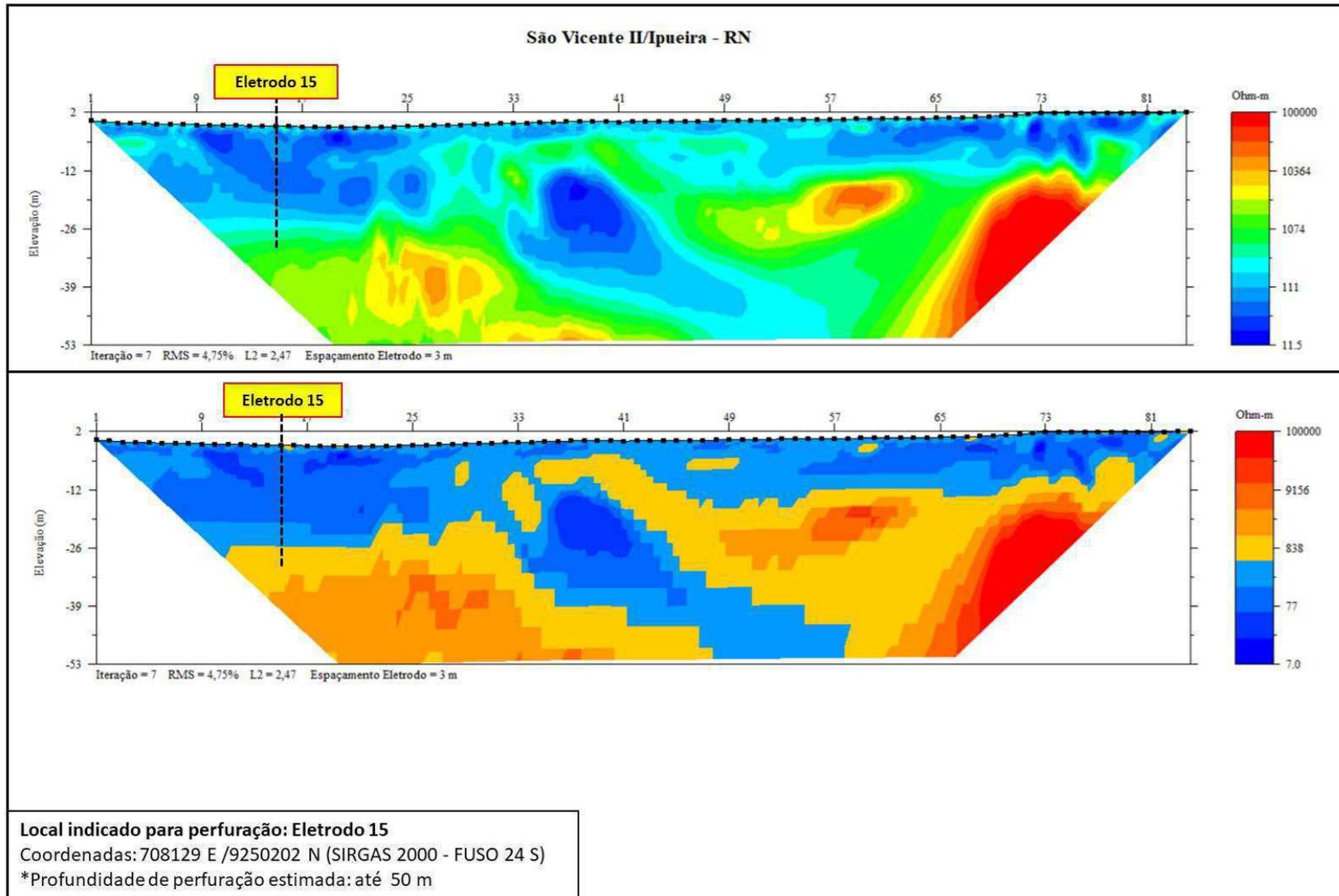


Gráfico 9- Seções de resistividade invertida na comunidade São Vicente II. Fonte: Própria da autora.



Na comunidade de São Vicente II, foram coletados 3.545 dados e retirados durante o processamento 18,5% de dados ruidosos, resultando um RMS de 4,75%. Os valores de baixa resistividade elétrica encontrados foram mais expressivos, indicando uma anomalia mais definida no eletrodo 15, sendo este o local sugerido para perfuração do poço (Gráfico 9).

Os eletrodos sugeridos para perfuração do poço nas comunidades de São Vicente I e São Vicente II apresentaram resultados distintos (Tabela 25). Apenas na comunidade de São Vicente II o resultado da perfuração foi satisfatória, indicando uma vazão de 1000 L/h (Tabela 26).

Tabela 25-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 38 (São Vicente I) e 15 (São Vicente II). Fonte: Própria da autora.

Log de Resistividade elétrica				
Município	Ipueira - RN			
Comunidades	São Vicente I - Eletrodo 38		São Vicente II - Eletrodo 15	
Valores de Resistividade	x = 222.000(m)		x = 42.000(m)	
	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)
	0.505	248.695	1.247	205.877
	0.419	243.754	1.616	146.774
	2.179	238.680	2.425	77.611
	4.102	256.317	3.324	57.382
	6.206	301.791	4.321	68.106
	8.511	380.067	5.426	96.496
	11.037	431.567	6.649	95.254
	13.807	421.994	8.001	82.116
	16.848	317.836	9.494	60.578
	20.188	317.898	11.141	47.123
	23.857	214.296	12.958	41.783
	27.890	126.934	14.961	44.644
	32.323	76.902	17.167	58.745
	37.197	75.432	19.597	95.608
	42.558	80.558	22.272	152.192
48.453	112.867	25.216	298.485	
54.938	167.631	28.455	642.474	
62.070	213.192	32.020	1384.927	
69.915	227.941	35.941	1915.797	
78.545	248.899	40.256	2107.577	
88.037	286.706	45.002	2064.224	
98.479	425.013	50.222	1527.223	
103.882	517.489	52.967	1314.204	

Tabela 26-Dados de perfuração das comunidades de São Vicente I e São Vicente II. Fonte: Própria da autora.

Caso	Comunidade	Indicação para Perf.	Prof. Da Perf. (m)	Manto de alteração (m)	Vazão obtida (L/h)
1	São Vicente I	Eletrodo - 38	70	8	Seco
2	São Vicente II	Eletrodo - 15	70	12	1.000

Comparando o perfil das resistividades dos dois eletrodos 38 e 15, observa-se que o eletrodo 15 apresenta mais valores de baixa resistividade, indicado pelos valores na cor vermelha, mesmo estes estando em uma baixa profundidade, a anomalia foi mais continua até aproximadamente 19 m. Após isso, os valores tendem a alcançar o seu máximo (2107.577 Ohm-m) em 40 m, não apresentando mais indícios de ocorrência de água até aproximadamente 52 m.

O eletrodo 38 apresentou de maneira geral valores de resistividade uniformes, abaixo de 517 Ohm-m, bem menores do que no eletrodo 15 da comunidade de São Vicente II, no entanto, esta condição não representou uma perfuração de sucesso, revelando que os baixos índices de resistividade apontados entre 32 m e 42 m, não foi indicativo de água, nem tampouco se observou ao longo da perfuração material saturado que justificasse a presença destes valores, podendo determinar que tal anomalia tratava-se de uma fenda vazia em subsuperfície.

A profundidade do manto de alteração variou de 8 a 12 m nos poços perfurados, sendo a maior espessura resultante do poço produtivo, por fim, não foi observado nenhuma drenagem próximo aos locais perfurados nestas comunidades.

5.2.2 Jucurutu

No município de Jucurutu realizei dois estudos de caso nas comunidades de Pedra Navio e Boi Selado. Em Pedra Navio foram coletados, durante o estudo geofísico de eletrorresistividade, 3.080 dados, dos quais retirou-se 5,7 % de dados ruidosos, durante o processo de inversão dos dados. Ao final do processamento, obteve-se um valor de RMS de 4,55% e na região de baixo topográfico, como mostra o Gráfico 10, foi observada a presença de uma anomalia de baixa resistividade, indicando a presença de uma falha em subsuperfície, sendo este local indicado (eletrodo 19) para realização da perfuração.

Na comunidade de Boi Selado, foram obtidos 3.054 dados e retirados 12% de dados ruidosos, resultando em um RMS de 4,72%. A região estudada não apresentou muita variação topográfica e os índices de resistividade foram maiores do que no caso anterior estudado. Apenas em um local (estaca 64) foi possível observar uma anomalia de resistividade mais baixa, que indicava a ocorrência de uma possível fratura saturada em subsuperfície, sendo proposto a perfuração do poço (Gráfico 11).

Ao serem analisados os perfis de resistividade de cada caso estudado no município de Jucurutu obteve-se os seguintes valores, conforme mostra a Tabela 27.

Tabela 27-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 19 (Pedra Navio) e 64 (Boi Selado). Fonte: Própria da autora.

Log de Resistividade elétrica					
Município	Jucurutu - RN				
Comunidades	Pedra Navio - Eletrodo 19		Boi Selado - Eletrodo 64		
Valores de Resistividade	x = 54.000(m)		x = 189.000(m)		
	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)	
		3.672	107.001	0.094	1765.089
		4.049	57.641	0.535	242.771
		4.823	16.781	1.465	14.224
		5.698	13.480	2.496	10.075
		6.683	20.237	3.637	24.810
		7.790	43.918	4.896	211.219
		9.030	110.296	6.286	107.854
		10.416	236.065	7.817	66.007
		11.963	312.283	9.504	37.539
		13.687	231.594	11.361	14.885
		15.604	111.677	13.404	6.883
		17.734	59.133	15.653	6.410
		20.096	36.882	18.127	7.597
		22.715	32.273	20.848	11.404
		25.614	35.593	23.842	23.868
		28.821	54.663	27.135	65.228
		32.365	109.152	30.758	198.568
		36.281	213.203	34.742	433.357
	40.603	395.813	39.126	891.991	
	45.371	692.679	43.947	1408.677	
	50.629	891.528	49.251	1780.955	
	53.378	1011.603	52.029	2003.098	

Gráfico 10- Seções de resistividade invertida na comunidade Pedra Navio. Fonte: Própria da autora.

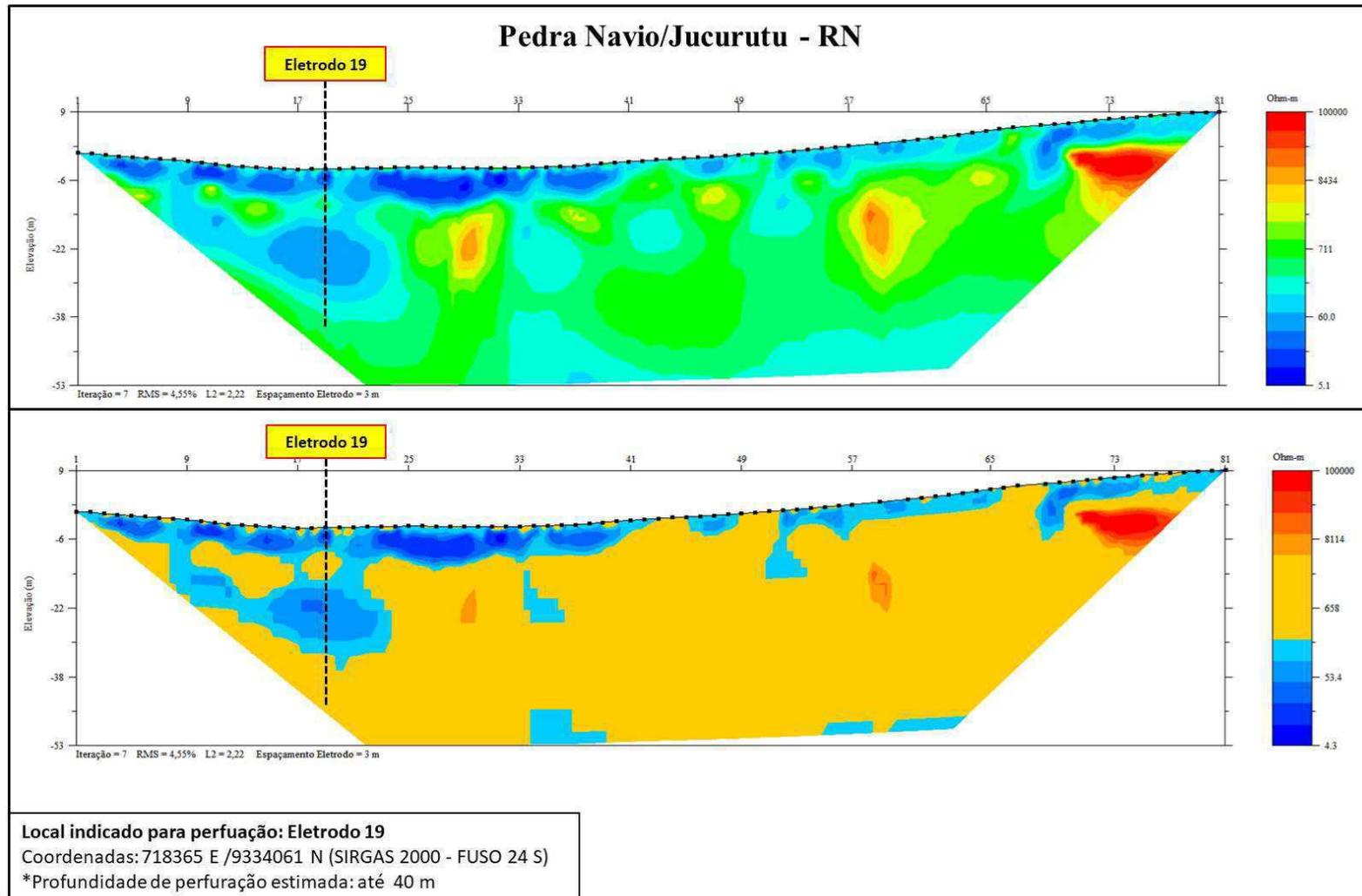
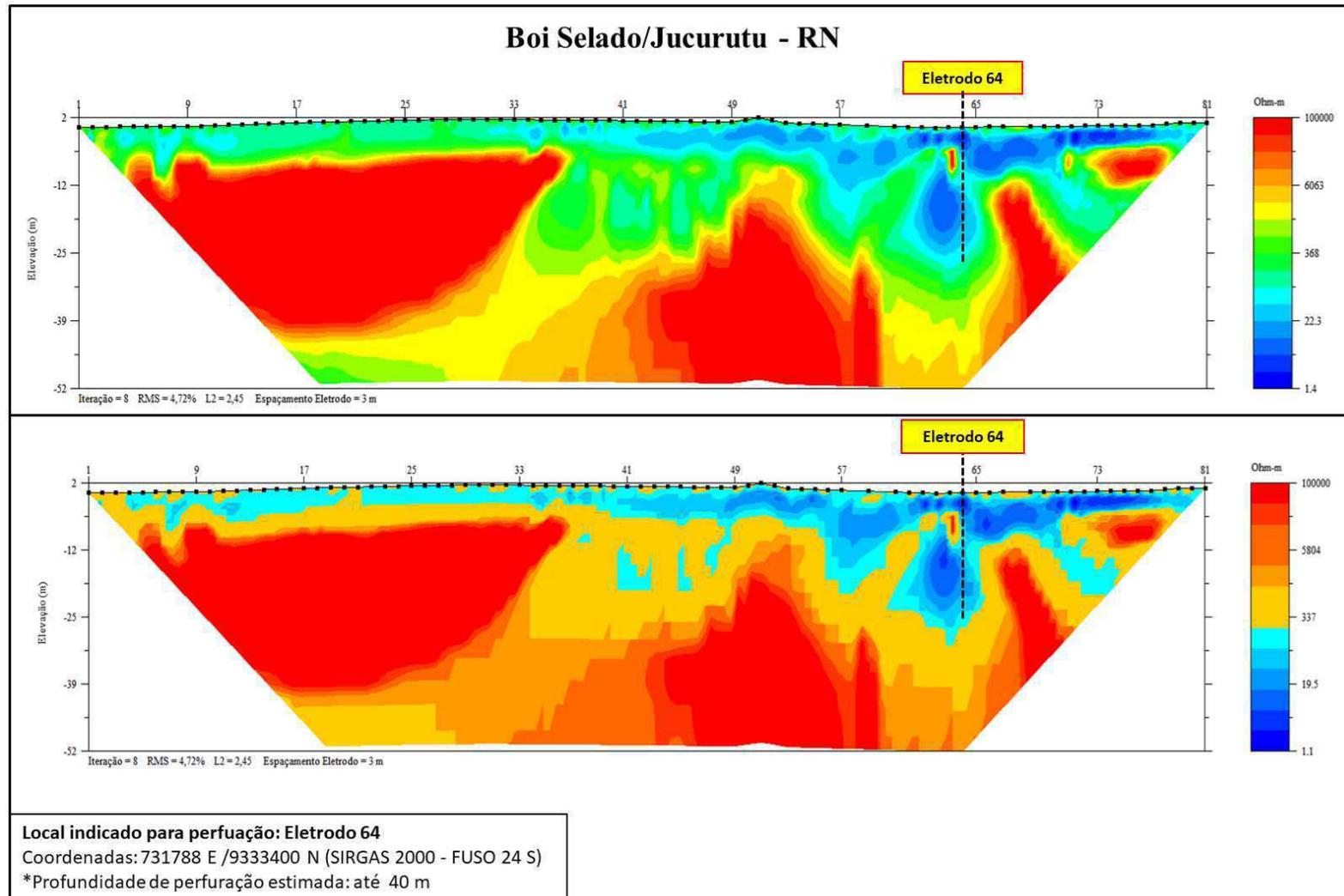


Gráfico 11- Seções de resistividade invertida na comunidade Boi Selado. Fonte: Própria da autora.



Comparando os dois perfis de resistividade, é possível perceber que os valores de baixa resistividade apresentados na comunidade de Boi Selado são mais expressivos do que em Pedra Navio, indicando que quanto menor for este valor, maior a probabilidade de existir uma perfuração de sucesso. Outro fator observado foi que em ambas as comunidades, os perfis mostraram duas pequenas fraturas em subsuperfície, contudo apenas em Boi Selado a perfuração do poço conseguiu ser produtiva. Na comunidade de Pedra Navio, ao realizar a perfuração, foi achado água, mas em pouca quantidade, não sendo possível realizar a instalação do poço, tampouco medir a vazão do mesmo, por isso, este foi considerado para fins de produtividade como “Seco” (Tabela 28).

Tabela 28-Dados de perfuração das comunidades de Pedra Navio e Boi Selado. Fonte: Própria da autora.

Caso	Comunidade	Indicação para Perf.	Prof. Da Perf. (m)	Manto de alteração (m)	Vazão obtida (L/h)
1	Pedra Navio	Eletrodo - 19	40	12	Seco
2	Boi Selado	Eletrodo - 64	40	8	4.000

No tocante a profundidade do manto de alteração este apresentou 8m para o poço produtivo e 12 m para o poço seco. O poço perfurado em Boi Selado encontra-se no meio de duas drenagens, em uma área favorável hidricamente, diferente da área de pedra Navio, onde a indicação do poço estava mais distante da drenagem principal.

5.2.3 Cruzeta

No município de Cruzeta realizei dois estudos de caso na comunidade de Pau Lagoa, onde foi possível realizar a indicação de dois locais para perfuração. No primeiro caso, foram coletados 3.464 dados, sendo retirados 2,9 % de dados ruidosos e um RMS de 2,96%. O local indicado para perfuração (eletrodo 53) mostrou uma anomalia de baixa resistividade a partir de aproximadamente 40 m, os demais locais de baixa resistividade indicam a presença de regolito e águas superficiais (Gráfico 12). No segundo caso, foram coletados 3.591 dados e retirados 7,1 % de erros e um RMS de 4,35%. De maneira geral, esta área apresentou índices de resistividade mais baixos e, no eletrodo 36 foi possível ver a presença de uma zona de menor resistividade entre 2 - 11 m e 30 - 47 m de profundidade (Gráfico 13).

Gráfico 12- Seções de resistividade invertida na comunidade Pau Lagoa 1. Fonte: Própria da autora.

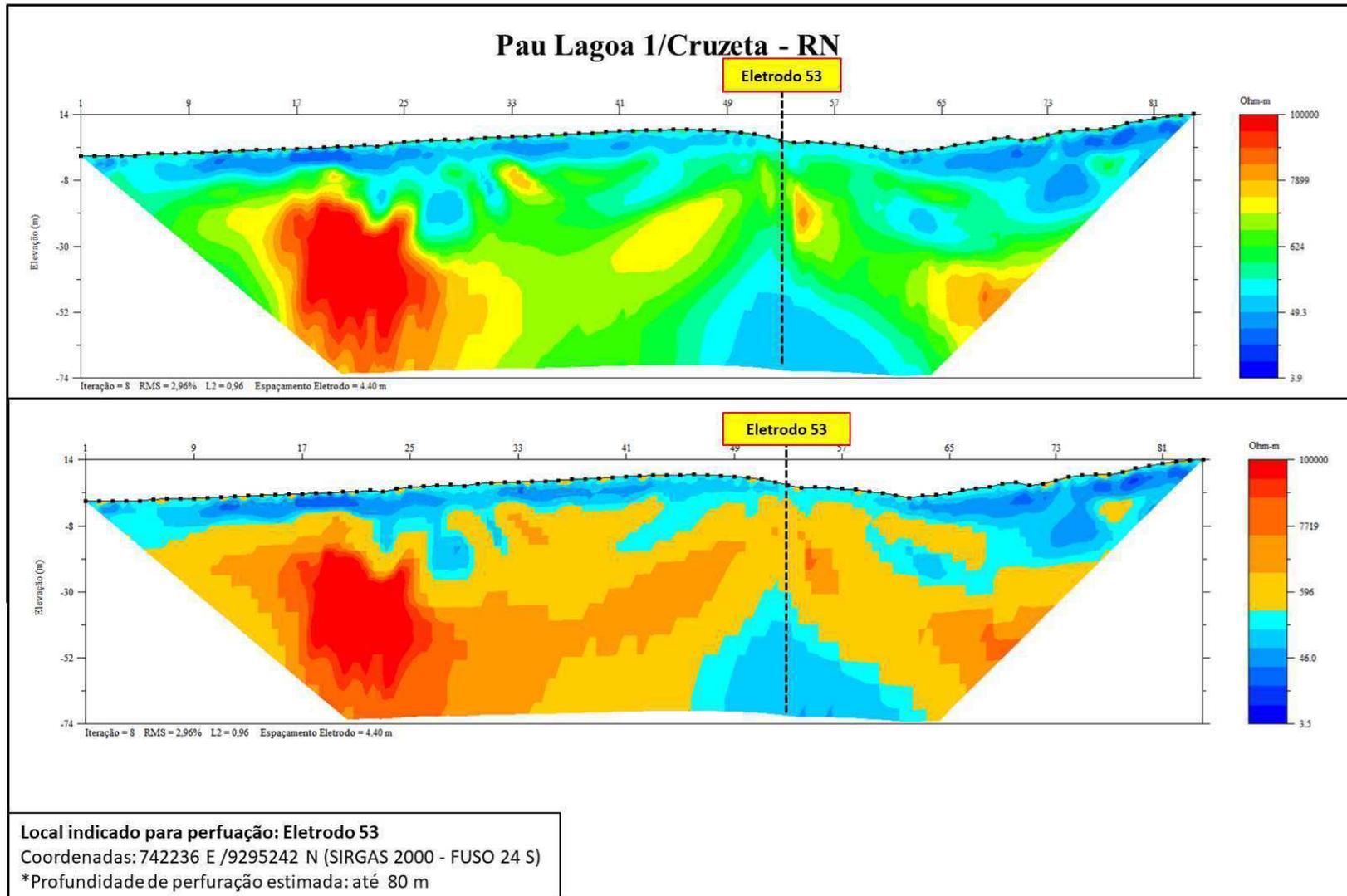
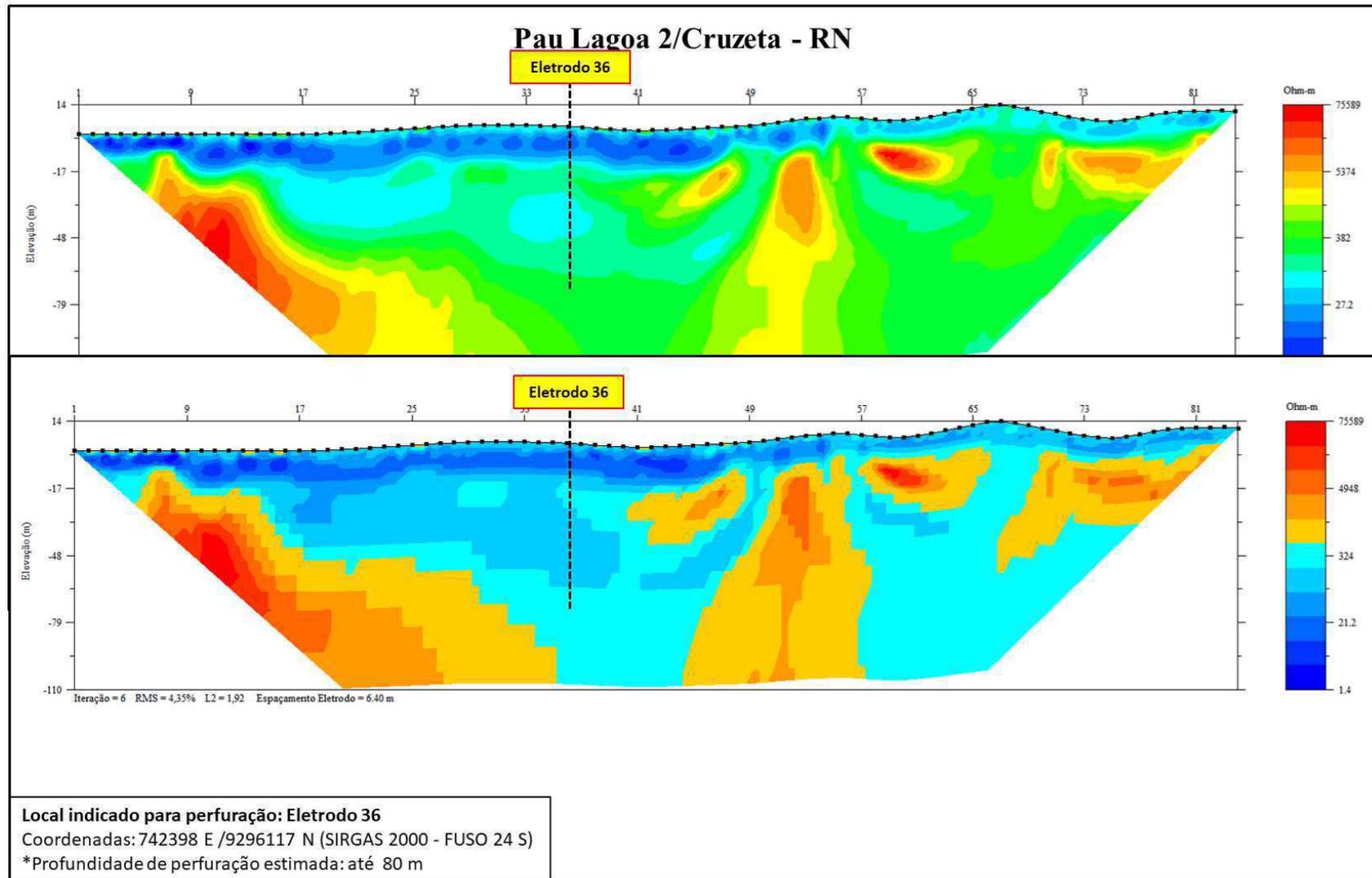


Gráfico 13- Seções de resistividade invertida na comunidade Pau Lagoa 2. Fonte: Própria da autora.



Os perfis de resistividade elétrica dos eletrodos indicados, apresentaram os seguintes valores (Tabela 29).

Tabela 29-Perfil de resistividade elétrica dos eletrodos 53 (Pau Lagoa 1) e 36 (Pau Lagoa 2). Fonte: Própria da autora.

Log de Resistividade elétrica					
Município	Jucurutu - RN				
Comunidades	Pau Lagoa 1 - Eletrodo 53		Pau Lagoa 2 - Eletrodo 36		
Valores de Resistividade	x = 228.800(m)		x = 224.000(m)		
	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)	Depth(m)	Resistivity(Ohm-m)	
		5.054	123.417	3.643	122.590
		4.701	118.670	2.873	71.683
		3.457	111.337	1.079	24.520
		2.089	123.973	0.899	10.786
		0.582	164.002	3.079	8.370
		1.076	242.896	5.481	10.223
		2.902	388.046	8.128	16.200
		4.911	601.179	11.042	36.898
		7.122	951.299	14.252	106.911
		9.555	984.860	17.786	184.294
		12.232	1028.385	21.677	189.275
		15.178	943.260	25.959	118.454
		18.420	572.720	30.673	86.546
		21.987	367.518	35.861	82.536
	25.912	296.899	41.569	80.125	
	30.230	270.596	47.851	101.427	
	34.980	215.304	54.762	130.198	
	40.207	118.540	62.366	181.420	
	45.956	87.739	70.731	240.426	
	52.282	71.705	79.934	306.749	
	59.241	61.138	90.058	375.604	
	66.896	56.463	101.194	440.185	
	71.025	54.261	107.084	476.545	

Analisando os perfis de resistividade dos eletrodos indicados para perfuração, observou-se que no primeiro caso os valores de resistividade abaixo de 100 Ohm-m, que indicam a possível presença de água, encontram-se em maior profundidade. Ao realizar a perfuração foi constatado que a fratura existente não armazenava uma quantidade de água suficiente para realizar a instalação do poço, vindo apenas a molhar as hastes, sendo portanto considerado para fins de produtividade, como um poço “seco”. No segundo caso pode-se ver a presença de duas zonas de baixa resistividade, indicando a presença de duas possíveis fraturas em subsuperfície, o que foi comprovado através da perfuração do poço, sendo este, o poço que apresentou maior vazão dos casos estudados (Tabela 30).

Tabela 30-Dados de perfuração da comunidade de Pau Lagoa. Fonte: Própria da autora.

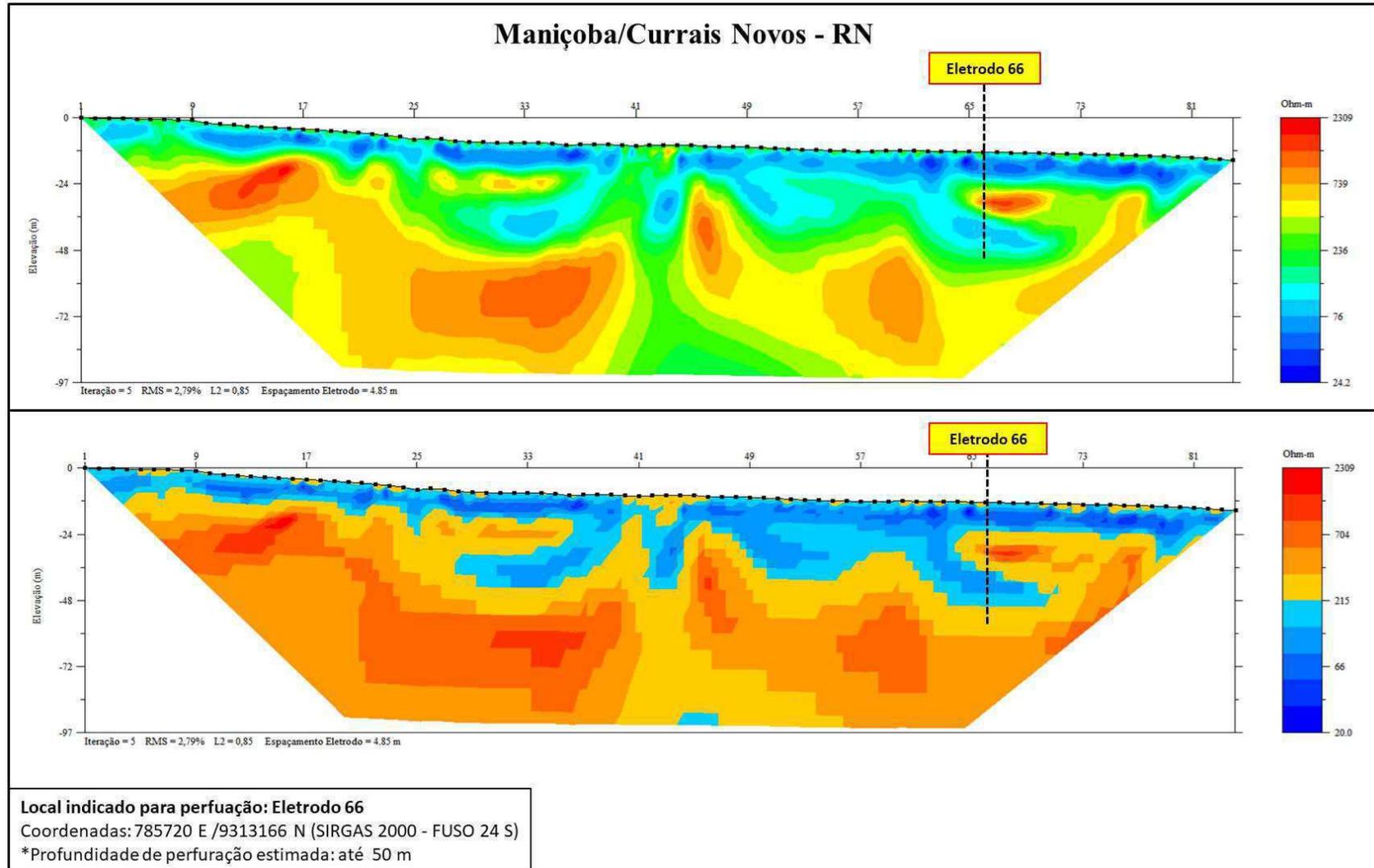
Caso	Comunidade	Indicação para Perf.	Prof. Da Perf. (m)	Manto de alteração (m)	Vazão obtida (L/h)
1	Pau Lagoa 1	Eletrodo - 53	60	8	Seco
2	Pau Lagoa 2	Eletrodo - 36	60	16	7.200

A profundidade do manto de alteração nos poços perfurados foi diferente, em Pau Lagoa 2 o poço apresentou uma maior espessura e proximidade com a drenagem existente no local, o que era hidricamente mais favorável que na comunidade de Pau Lagoa 1, o qual não obteve água.

5.2.4 Currais Novos

No município de Currais Novos realizei um estudo de caso, na comunidade de Maniçoba. Em Maniçoba foram coletados 3.591 dados e destes 4,4 % de erros foram retirados durante o processo de inversão dos dados resultando em um RMS de 2,79%. Esta área apresentou poucos valores de baixa resistividade, apenas entre as profundidades de 14 - 21 m do eletrodo 66 isso foi observado, sendo indicado realizar a perfuração neste local (Gráfico 14).

Gráfico 14- Seções de resistividade invertida na comunidade Maniçoba. Fonte: Própria da autora.



Para a melhor tomada de decisão, no tocante a locação do poço, os perfis de resistividade elétrica foi analisado (Quadro 15).

Tabela 31-Perfil de resistividade elétrica do eletrodo 66 em Maniçoba. Fonte: Própria da autora.

Log de Resistividade elétrica	
Município	Currais Novos - RN
Comunidades	Maniçoba - Eletrodo 66
Valores de Resistividade	x = 320.100(m)
	Depth(m) Resistivity(Ohm-m)
	12.643 163.610
	13.207 137.305
	14.455 97.086
	15.846 60.175
	17.393 44.152
	19.113 48.670
	21.021 70.117
	23.136 143.042
	25.480 380.048
	28.074 870.554
	30.942 1046.804
	34.113 442.086
	37.616 120.713
	41.483 104.488
	45.751 131.411
	50.458 206.701
	55.648 335.230
	61.367 464.267
67.670 518.155	
74.612 509.136	
82.257 449.078	
90.674 455.921	
95.099 459.384	

Ao analisar os perfis de resistividade e comparando com os resultados da perfuração, é possível perceber que mesmo apresentando uma média de resistividade mais baixa, a comunidade de Maniçoba não apresentou um poço produtivo. Durante a perfuração não foi possível visualizar a presença de água, sendo o poço considerado como seco. Na comunidade de Maniçoba, o perfil indicou dois locais de baixa resistividade, e durante a perfuração foi constatada a presença de duas fendas com água, a primeira a 24 m e a segunda a 60 m de profundidade (Tabela 31).

Tabela 32-Dados de perfuração da comunidade de Maniçoba. Fonte: Própria da autora.

Caso	Comunidade	Indicação para Perf.	Prof. Da Perf. (m)	Manto de alteração (m)	Vazão obtida (L/h)
1	Maniçoba	Eletrodo - 66	68	12	Seco

O poço perfurado na comunidade Maniçoba encontra-se em uma área distante da drenagem local e o resultado foi um poço improdutivo, seu manto de alteração foi de 12 m.

6 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas apresentam quantidades e concentrações de sais em solução que dependem do movimento, ambiente e da fonte de água subterrânea. Tais sais solúveis encontrados na água subterrânea são advindos da dissolução dos minerais das rochas. (CAPUCCI *et al.*, 2001). Segundo Santos (2000), a qualidade das águas subterrâneas tem por objetivo principal a proteção da saúde pública e controle de substâncias nocivas à saúde do ser humano, a exemplo de microorganismos patogênicos, substâncias tóxicas e compostos radioativos.

Os parâmetros de água utilizadas para consumo humano não deve conter elementos nocivos à saúde (substâncias tóxicas e organismos patogênicos), nem possuir sabor, odor ou aparência indesejável. (TSUTIYA, 2006). Durante a avaliação da qualidade da água, as impurezas são retratadas por suas características físicas, químicas e microbiológicas, onde estas permitem classificar a água por seu conteúdo mineral, caracterizar a sua potabilidade e presença de substâncias tóxicas. (MESTRINHO, 2013). Os parâmetros analisados são: turbidez, cor, sabor e odor, temperatura, condutividade elétrica, resíduo seco, salinidade e sólidos. Nas características químicas são analisados: pH, Eh, acidez, alcalinidade, dureza, oxigênio dissolvido (OD), metais pesados, etc. Nas características microbiológicas são analisados: a contaminação por dejetos humanos e de animais, coliformes fecais e coliformes termotolerantes.

De acordo com a resolução do CONAMA 357/2005, o pH deve estar entre 6,0 e 9,0 nas águas para consumo humano. Outro parâmetro importante durante a avaliação dos laudos das análises de água é a condutividade elétrica, que representa a capacidade de transmitir corrente elétrica através de substâncias dissolvidas (Tabela 33). Sua influência

decorre do tipo de concentração, valência e mobilidade da espécie iônica e temperatura. Os valores para as águas subterrâneas em ambientes cristalinos tendem a ser mais altos em virtude da alta salinidade das águas.

Tabela 33-Classificação da qualidade da água segundo os intervalos de condutividade elétrica. Fonte: MENDES & OLIVEIRA, 2004.

Condutividade elétrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Mineralização	Qualidade da água
<100	Muito fraca	Excelente
100 - 200	Fraca	Excelente
200 - 400	Pouco acentuada	Excelente
400 - 600	Média	Boa
600 - 1000	Importante	Utilizável
>1000	Excessiva	Difícilmente utilizável
>1500	Excessiva	Não utilizável na rega

A classificação dos sólidos na água é de acordo com o tamanho. Os sólidos em suspensão: correspondem à carga sólida em suspensão (silte, argila, matéria orgânica) que pode ser separada por filtração, seca e pesada, expressa em mg/l. Sólidos totais dissolvidos (STD): correspondem ao peso total de minerais constituintes na água, por unidade de volume. (MESTRINHO, 2013).

A Portaria n° 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde, estabelece que os padrões de potabilidade da água para o consumo humano, deve apresentar um valor máximo de sólido totais dissolvidos (STD) de 1000mg/l. As águas são classificadas de acordo com os STD (Sólidos Totais Dissolvidos), conforme a Tabela 34.

Tabela 34-Classificação das águas conforme os intervalos de STD. Fonte: CONAMA, 2005.

STD (mg/l)	Classificação
0 - 500	Água doce
501 - 1.500	Água salobra
>1.500	Água salgada

Foram realizadas análises de água nos poços dos municípios de Jucurutu e Cruzeta, Estado do Rio Grande do Norte, e dos poços do município de São Mamede na Paraíba. Os resultados para os valores de Sólidos Totais Dissolvidos – SDT (mg/l), foram expressos na Tabela 35.

Tabela 35- Dados da análise de água realizada nos poços perfurados. Fonte: Própria da autora.

Caso	Município/Estado	Comunidade	SDT (mg/l)	Condutividade elétrica $\mu\text{S/cm}$	pH	Vazão obtida (L/h)
1	São Mamede - PB	Belo Monte	490	1.172	6,91	2.400
2		Mundo Novo	266	645	7,29	2.400
3		Nossa Senhora Aparecida II	3.940	8.140	6,81	870
4	Cubati - PB	Belo Monte I	2.460	5.310	7,80	1.300
5		São Domingos I	7.260	14.770	7,43	800
6	Várzea - PB	Novo Horizonte	1.338	3.130	7,65	3.500
7	Pedra Lavrada - PB	Belo Monte II	12.940	25.000	7,39	960
8	Ipueira - RN	São Vicente II	459	1.097	7,70	1.000
9	Jucurutu - RN	Boi Selado	1.297	1.885	8,38	4.000
10	Cruzeta - RN	Pau Lagoa 2	9.205	13.150	7,07	7.200

Dentre as análises de água realizadas nos 10 poços produtivos, em 3 deles as águas foram classificadas como doce segundo os parâmetros de SDT e pH, sendo eles os poços das comunidades de Belo Monte e Mundo Novo, ambos no município de São Mamede no estado da Paraíba e na comunidade São Vicente II no município de Ipueira no estado do Rio Grande do Norte. Mesmo tendo a água classificada como doce, os poços das comunidades de Belo Monte e São Vicente II apresentaram uma condutividade elétrica alta, sendo considerados como dificilmente utilizável, necessitando ainda de correção da água para que a mesma seja enquadrada dentro dos parâmetros adequados para consumo humano.

Os poços de Nossa Senhora Aparecida II em São Mamede, de Belo Monte I e São Domingos em Cubati, de Belo Monte II em Pedra Lavrada, ambos no estado da Paraíba, e o poço de Pau Lagoa 2 em Cruzeta no Rio Grande do Norte apresentaram pH desejável, mas valores elevados tanto para SDT, quanto para condutividade elétrica, sendo

considerado como água salgada e não utilizável, respectivamente. Neste caso o indicado para correção é a utilização de um dessalinizador, que consiste em um equipamento que utiliza o processo de osmose reversa onde membranas semipermeáveis funcionam como um filtro, conseguindo retirar da água salobra ou salina a quantidade de sais imprópria para consumo humano, produzindo dois efluentes, o permeado (água dessalinizada) e o concentrado.

Os poços perfurados nos municípios de Jucurutu e Várzea, apresentaram um pH dentro dos parâmetros desejáveis para consumo humano, mas altos valores de SDT e condutividade elétrica, sendo a água classificada como água salobra e não utilizável. Em ambas as comunidades a correção da salinidade deverá ser realizada através do dessalinizador.

Por fim, foi possível observar que a qualidade das águas no tocante a salinidade é um parâmetro presente nos aquíferos cristalinos, e que tais valores tendem a ser mais reduzidos quando as zonas fraturadas se encontram mais próximas das possíveis fontes de recarga – redes de drenagens. Isto pode ser comprovado através dos poços classificados com água doce, onde estes estão inseridos mais próximos da drenagem local. Outro fator a ser observado é que a utilização do dessalinizador para adequação dos parâmetros físico-químicos das águas, aumenta o custo do poço, muitas vezes inviabilizando a utilização da água para consumo humano, sendo esta destinada para outras finalidades, a saber irrigação, uso doméstico, entre outros.

7 CONCLUSÕES

Nos estudos que realizei nas 14 (quatorze) comunidades nos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, observou-se pouca variação no que se refere à geologia dos locais estudados, em ambos os Estados. Todas as formações encontradas apresentam de maneira geral a presença de xisto, ortognaisse e granito, e a perfuração de poços nestes locais tiveram resultados satisfatórios em sua grande maioria. Referente à hidrogeologia, todos os locais estão inseridos no contexto dos aquíferos cristalinos.

O lineamento das estruturas geológicas seguiu um padrão em ambos os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, variando entre NE/SO e NNE/SSO. Foi constatado

que realizando a pesquisa geofísica cruzando estas estruturas é possível melhor visualizar a ocorrência de fraturas em subsuperfície.

No tocante à existência de drenagens, foi constatado que realizar a linha geométrica cruzando estas estruturas, seja ela o seguimento principal ou secundário, resultou em poços produtivos e de maiores vazões.

Através deste estudo, em ambos os estados, percebeu-se um padrão de resistividade elétrica para a ocorrência de água em ambientes cristalinos da Paraíba e do Rio Grande do Norte, a qual está abaixo de 100 ohm.m, no entanto, algumas anomalias de baixa resistividade encontradas após perfuração resultaram em poços secos. Isso indica a necessidade de se observar alguns critérios na avaliação destas resistividades, como por exemplo a profundidade e a espessura destas resistividades, visando com isso mitigar os insucessos na perfuração. Portanto, segundo o histórico dos caminhamentos elétricos que realizei, posso afirmar que a avaliação das resistividades abaixo de 100 ohm.m para ocorrência de água em ambiente cristalino é um parâmetro de confiança para interpretação dos perfis geométricos. Ressalta-se, contudo, que mesmo sendo um critério que aumenta as chances da perfuração de um poço produtivo, deve-se lembrar de que a baixa resistividade também pode estar associada a fendas preenchidas por argila, baixo volume de água e em alguns poucos casos seca.

Os perfis dos poços foram analisados e com eles a profundidade do manto de alteração, revelando que a espessura do mesmo não influencia na produtividade dos poços, uma vez que mesmas espessuras apresentaram resultados diferentes relacionados a produtividade. De maneira geral o manto de alteração apresentou uma variação entre 4 a 16 m entre os poços perfurados. No tocante a produtividade dos poços, pode-se dizer que estão diretamente relacionadas à direção do alinhamento das estruturas geológicas, bem como da proximidade com as zonas de drenagem do local estudado. De acordo com os resultados obtidos, na presente pesquisa, as maiores vazões estavam relacionadas a proximidade dos poços com as drenagens locais.

Outro fator importante a ser considerado é o resultado das análises de água que nos poços analisados tanto no Estado da Paraíba quanto do Rio Grande do Norte apresentaram em sua maioria altos valores de SDT e condutividade elétrica, considerando com isso as águas em alguns casos como salobras, salgadas e não utilizáveis, necessitando, portanto, para a correção destes parâmetros a utilização de um

dessalinizador. Dos laudos de água analisados o único que apresentou uma água dentro dos parâmetros de qualidade para consumo humano foi no poço de Mundo Novo em São Mamede – PB. Observa-se que os valores de SDT e condutividade elétrica são mais reduzidos quando o poço encontra-se mais próximo das drenagens, uma vez que nestas áreas o curso das águas é controlado por uma fratura e/ou zona de fratura assegurando periodicamente, condições de recarga, melhorando com isso a qualidade das águas.

Foi possível constatar que o uso do método de eletrorresistividade em aquíferos cristalinos é de grande importância para que se possa visualizar de maneira mais precisa a ocorrência das fendas em subsuperfície e com isso realizar a perfuração de poços mais produtivos. Nesta pesquisa dos 14 poços perfurados através da locação com o auxílio do resistivímetro, 10 deles apresentaram água, totalizando uma porcentagem de acerto de 71%.

A principal vantagem de utilizar este método está na maior confiabilidade do conhecimento dos materiais em subsuperfície, evitando com isso que sejam desperdiçados tempo e recursos na prospecção de água.

A desvantagem do método está ainda no valor para realização deste trabalho, o que onera na perfuração de poços tubulares, bem como nos baixos valores de resistividade de alguns materiais que se confundem com o da água.

Por fim, uma sugestão para futuras pesquisas é avaliar o comportamento das resistividades elétricas em outros ambientes de aquíferos cristalinos e verificar se o parâmetro de resistividade abaixo de 100 ohm.m para ocorrência de água subterrânea também é válida. Além disso, é importante constatar se existe uma variação na qualidade das águas encontradas frente as diferentes formações geológicas cristalinas em outras regiões do país.

8 REFERÊNCIAS

AESA. Plano Estadual de Recursos Hídricos - **PERH**. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/PE_03.pdf.

Acesso em: 30 de abril de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos: informe 2016**. Distrito Federal, Brasília, 2016.

ALEIXO. Blog Pedagógico Direcionado Às Pesquisas E Orientações Escolares. **A. Geografia**. São Paulo, 12 set. 2017. Disponível em: <https://jrbaleixo.blogspot.com/2017/09/6-ano-hidrografia-4-bimestre.html>. Acesso em: 10 abr. 2022.

ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. **O pré-cambriano do Brasil**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1984. 378p.

BANCO MUNDIAL. **Monitor das Secas do Nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas**. 1. ed. Brasília: Editora Banco Mundial, 2015. 129p.

BEAR, J.; VERRUIJT, A. **Modelling groundwater flow and pollution**. Dordrecht: D. Reidel, 1987. 414 p.

BEZERRA, F. D.; ROCHA, A. M. M.; BARBOSA, M. B. **O Nordeste em Mapas**. [S.l.]: [s.n.], 2010.

BIZZI, L. A. et al. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. Brasília: CPRM, 2003. cap.5, p.227 -334.

BRAGA, A. C. de O. **Geofísica Aplicada: Métodos Geoelétricos em Hidrogeologia**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2016. 157p.

BRAGA, A. C. O. 2007. 79p. **Métodos geoelétricas aplicados nos estudos de captação e contaminação das águas subterrâneas**. Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2007.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente do. **Resolução n 357, de 17 de março de 2005-Conama**. 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conam

a_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 05 out. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Atlas Nordeste abastecimento urbano: alternativas de oferta de água para as sedes municipais da Região Nordeste do Brasil e do Norte de Minas Gerais**. Brasília: Editora ANA/SPR, 2016. 82p.

CAPUCCI, Egmont et al. **Poços Tubulares e outras Captações de Águas Subterrâneas**. Rio de Janeiro: Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2001. 70 p.

CARDOSO, R.. **Porosity and tortuosity influence on geophysical properties of an artificially cemented sand**. Engineering Geology, vol. 211, 2016. p. 198-207.

CARVALHO e SILVA. **Apostila de Hidrogeologia**. Disponível em: http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO_Cap2-CH.pdf. Acesso em: 13 de maio de 2021.

COSTA, W. D. **Uso e gestão de água subterrânea**. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, 2000. cap. 14, p. 341-367.

CPRM. **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba**. Recife, 2002.

CPRM. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea – Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, 2005.

DOBRIN, M. B. **Introductoin to geophysical prospecting**. McGraw-Hill Book Comany. 3. ed. 1976.

FEITOSA, Fernando A. C.. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações/ organização e coordenação científica**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FIESP. **Orientações para a utilização de águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Editora ABAS – DH, 2005.

GALLAS, J. D. F. **Prospecção de Água Subterrânea em Aquíferos Cristalinos com o Emprego de Métodos Indiretos**. Revista do Instituto Geológico, vol. 24, nº 1/2, pág. 43-51, São Paulo, 2003.

GANDOLFO, O. C. B. 2007. 215p. **Um estudo de imageamento geolétrico na investigação rasa**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GIAMPÁ, Carlos Eduardo Quaglia. GONÇALES, Valter Galdino. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2. ed. rev. e atualizada. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

GONZAGA, Francisco de Assis da Silveira. **Uma Metodologia para Determinação da Vazão de Exploração em Poços do Sistema Aquífero Cristalino no Cariri Paraibano**. 2011. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2011.

INBS, I. B. D. S. InBS. **Instituto Brasileiro de Sustentabilidade, 2011**. Disponível em: <https://www.inbs.com.br/a-consequencia-das-queimadas-para-os-aquiferos/>. Acesso em: 05 de janeiro de 2022.

JARDIM DE SÁ, E.F. & Salim, J. **Reavaliação dos conceitos estratigráficos na região do Seridó³ (RN-PB)**. Miner. Metal., 80:-16-28. 1980.

JULIÃO, José Lion Oliveira. **Aspectos Hidrogeológicos do Aquífero Fraturado Cristalino no Estado da Paraíba**. 2021. 110p. TCC – Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

LUCENA, L. R. F.; ROSA FILHO, E. F.; BITTENCOURT, A. V. L. **Características hidroquímicas do aquífero Barreiras no âmbito do setor oriental da Bacia do Rio Pirangi-RN**. Revista Águas Subterrâneas, v. 18, p. 29-38, 2004.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J.f.s. **Qualidade da água para consumo humano**. Portugal: Lidel, 2004.

MESTRINHO, Suely Schuartz Pacheco. **Qualidade e classificação das águas subterrâneas**. In: GIAMPÁ, Carlos Eduardo Quaglia; GONÇALES, Valter Galdiano (Org.). **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Cap. 14. p. 18-496.

MISTRETA, G.O. **Aquífero Jandaíra da Bacia Potiguar**. Dissertação de Mestrado em Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

MORAIS, F.; Melo, J. G. de; Medeiros, J. I. de; Srivastava, N. K.; Diniz Filho, J. B.; Lopes, V. L.; Oliveira, J. A. de; Vasconcelos, M. B. **Comportamento das bacias sedimentares da região semiárida do Nordeste brasileiro. Avaliação do aquífero Açua na borda sul da bacia Potiguar** – Trecho: Upanema-Afonso Bezerra. José Geraldo de Melo, José Ivan de Medeiros, Narendra Kumar Srivastava, José Braz Diniz Filho, Vera Lúcia Lopes, Josimar Alves de Oliveira, Mickaelon Belchior Vasconcelos. Recife: CPRM/FINEP, 2005.

ORELLANA, E, 1972. **Prospeccion Geolectrica en Corriente Continua**. Biblioteca Tecnica Philips, Madrid, España: Paraninfo,1972. 523p.

REBOUÇAS, A. D. C. **Potencialiades dos Aquíferos do Nordeste do Brasil**. IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, Recife, 14 a 17 Outubro 2001.

Resolução 396/08 do **CONAMA**. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 29 de abril de 2022.

SAMOUELIAN, A.; COUSIN, I.; TABBAGH, A.; BRUAND, A.; RICHARD, G. **Electrical resistivity survey in soil science: a review**. *Soil & Tillage Research*, vol. 83, pág. 173–193, setembro de 2005.

SANTOS, Almany Costa. **Noções de Hidroquímica**. In: FEITOSA, Fernando A.c.; FILHO, João Manoel (Org.). *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 2. ed. Fortaleza: Cprm, 2000. Cap. 15. p. 3-390.

SINGHAL, B. B. S., & GUPTA, R. P.. **Applied Hydrogeology of Fractured Rocks** . London: Kluwer Academic Publishers, 1999. (pp. 129-150).

TELFORD, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. (1990) **Resistivity Methods**. In: **Applied Geophysics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press., 1990. p. 353-358.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidraulica, 2006. 643 p.

VASCONCELOS, T. A. **Estudos físico-químicos e microbiológicos de águas de poços tubulares da cidade de Manaus**. 2006. 118p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.