



**Geofísica Aplicada à Prospecção de Água para Comunidades Afetadas
pela Seca – Estudo de Caso no Domínio Piranhas-Seridó**
Geophysics in Support of Drilling of Artisan Wells for Dry-Affected
Communities - Case Study in Piranhas-Seridó Domain

Yesus Emmanuel Medeiros Vieira; Renata Albergaria de Mello
Bandeira & Orivalde Soares da Silva Júnior

*Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção,
Praça Gen. Tibúrcio 80, 22290-270, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

E-mails: yesuscad@gmail.com; renatabandeira@ime.eb.br; orivalde@ime.eb.br

Recebido em: 06/07/2020 Aprovado em: 08/08/2020

DOI: http://doi.org/10.11137/2020_3_467_474

Resumo

A locação de poços em aquíferos fraturados é uma atividade desafiadora, uma vez que nestes ambientes as zonas produtoras de água estão localizadas em pontos preferenciais, dificultando a obtenção de poços produtivos. O presente artigo apresenta um estudo de caso relativo à locação e perfuração de cinco poços artesianos executados pelo Exército Brasileiro no contexto das obras de atendimento a comunidades afetadas pela seca na região semiárida do Brasil. Utilizou-se a técnica geoeletrica de imageamento elétrico multi-eletrodos a geometria variável, com o objetivo de identificar lineamentos estruturais nas rochas em subsuperfície, regiões estas com potencial de armazenamento de água subterrânea. As investigações geofísicas ocorreram em aquíferos fraturados do Complexo Caicó, com ocorrência de ortogneisses graníticos e dioríticos, e do Grupo Seridó, com ocorrência de rochas supracrustais de idade neoproterozoica, constituído por uma sequência de supracrustais metavulcânicas e metassedimentares. Os resultados indicam para a região a ocorrência de água subterrânea nas zonas de resistividade entre $6\Omega.m$ a $300\Omega.m$, sendo que a associação dos dados geofísicos com as características geológicas locais foi fundamental no processo de interpretação das seções modeladas de resistividade, contribuindo para a obtenção de um maior índice de sucesso na perfuração de poços produtivos.

Palavras-Chave: *Eletrorresistividade; Aquífero Fraturado; Semiárido*

Abstract

Water well site location in fractured aquifers is a challenging activity, since in these environments the water producing areas are located at preferential points, making it difficult to obtain productive wells. This paper presents a case study on the location and drilling of five artesian wells executed by the Brazilian Army in the context of works to aim the communities affected by drought in the Brazilian semi-arid region. The geoelectric technique of multi-electrode electric imaging was the variable geometry, with the objective of identifying structural lineaments in the rocks in subsurface, regions with potential groundwater storage. The geophysical investigations occurred in fractured aquifers of the Complex Caicó, with occurrence of granite and diorite orthogneisses, and of the Seridó Group, with occurrence of supracrustal rocks of neoproterozoic age, constituted by a sequence of metavolcanic and metasedimentary supracrustal. The association of the geophysical data with the local geological characteristics was fundamental in the process of interpretation of the resistivity modeled sections, contributing to obtain a higher success rate in the drilling of productive wells.

Keywords: *Eletrorresistivity; Fractured-bedrock aquifer; Semi-arid*



1 Introdução

No Brasil, a seca é o tipo de desastre natural que mais afeta a população: apenas na região Nordeste, os danos atingiram mais de 41 milhões de pessoas afetadas entre 1991 e 2012 (CEPED UFSC, 2015). Com a provável intensificação das mudanças climáticas no país e em muitas regiões do planeta, tem-se aumentado a importância de medidas que promovam maior resiliência aos impactos advindos deste tipo de desastres, sendo que uma das alternativas mitigadoras a esta escassez hídrica se dá por meio da prospecção de águas subterrâneas. Entre os procedimentos que podem auxiliar nesta tarefa, o método da eletroresistividade, por meio de uma de suas principais técnicas de investigação em superfície – o caminhamento elétrico – é um dos que apresenta maior abrangência nas aplicações voltadas aos estudos geológicos (hidrogeologia, mapeamento, mineração), engenharia civil e estudos ambientais em geral (Gandolfo, 2007). Tal método oferece vantagens quanto à rapidez, baixo custo e resultados satisfatórios (Silva *et al.*, 2018). Nesse sentido, a literatura tem se dedicado ao estudo de tais métodos especialmente em domínios de aquíferos fissurais (Binley *et al.*, 2015; Mohamaden *et al.*, 2017; Abuzied *et al.*, 2016; Nazuridin *et al.*, 2017; Abuzied & Alrefaee, 2017; Aziz *et al.*, 2018), sendo que as análises que adotam tais abordagens permanecem escassas no cenário brasileiro (Brandão & Gomes, 2003; Madrucci *et al.*, 2008; Elis *et al.*, 2019). Adicionalmente, apesar dos impactos econômicos e sociais infligidos pela seca no cenário brasileiro, verificam-se insuficientes estudos

conduzidos na região nordeste, dificultando uma melhor compreensão dos fatores geológicos que influenciam na ocorrência de águas subterrâneas. Este é o caso do Domínio rio Piranhas-Seridó (DPS), formação geológica para a qual não se verificam na literatura estudos que considerem emprego de métodos geofísico de campo em auxílio à predição de ocorrência de águas subterrâneas.

Nesse contexto, o presente artigo apresenta o resultado de pesquisas geofísicas conduzidas por ocasião da locação e perfuração dos poços artesianos executados pelo Exército Brasileiro em atendimento a comunidades que são atendidas pela Operação carro Pipa, na região semiárida do Brasil. Utilizou-se o método do caminhamento elétrico em uma amostra de cinco localidades, visando auxiliar na definição de locais e profundidades da perfuração de novos poços tubulares. Os casos estão inseridos no contexto geológico de aquíferos cristalinos, caracterizados pela ocorrência de água subterrânea em sistemas de fendas e fraturas interconectadas, descontínuas e de limitadas extensões.

2 Área de Estudo e Contexto Geológico

Os locais dos ensaios estão inseridos no contexto geológico do Domínio Rio Piranhas-Seridó (DPS), conforme ilustra a Figura 1. O DPS ocupa uma vasta área localizada na porção centro-sul do Estado do Rio Grande do Norte, abrangendo diversas litologias, e delimita-se tectonicamente a oeste pela zona de cisalhamento Portalegre e a leste pela zona de cisalhamento Picuí-João Câmara

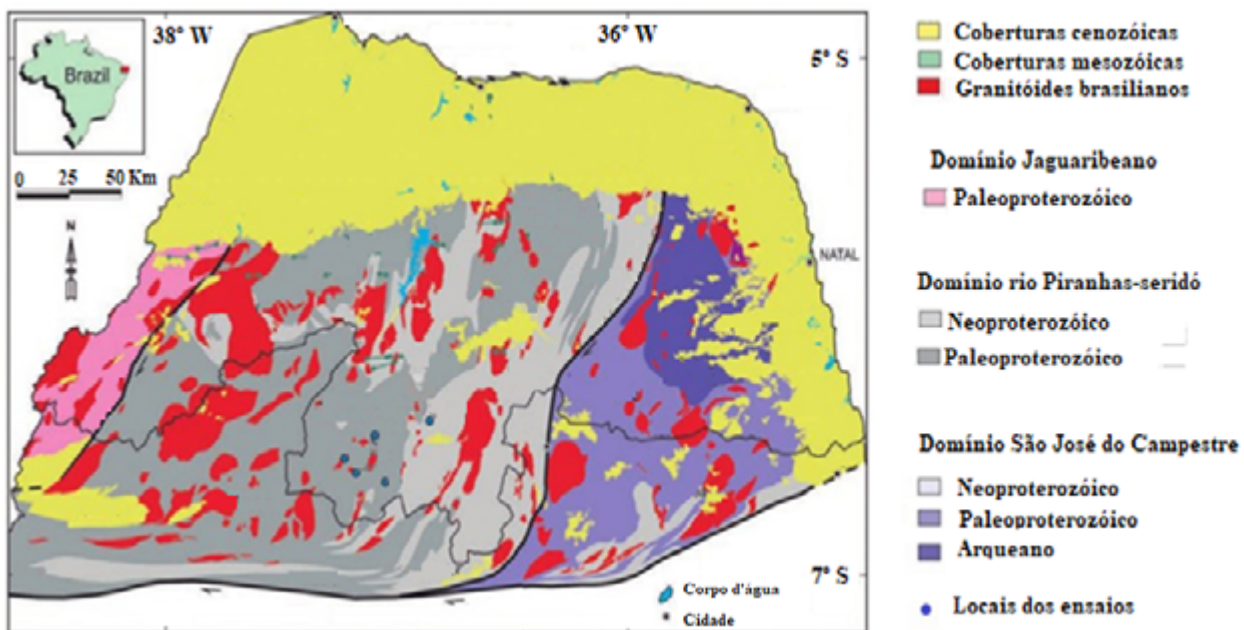


Figura 1 Arcabouço geológico do extremo nordeste da Província Borborema, contendo o Domínio Rio Piranhas-Seridó. Fonte: Adaptado de Medeiros *et al.* (2017).

(Angelim *et al.*, 2006). Jardim de Sá (1994) descreve o embasamento paleoproterozoico Rio Piranhas como composto por ortognaisses equigranulares, anfíbolitos e rochas metavulcanossedimentares, tais como paragnaisses, xisto, quartzitos ferríferos, de idade paleoproterozoica-riaciana, incluindo possíveis remanescentes de idade arqueana, que caracterizam o Complexo Caicó. Sobre o embasamento, repousam rochas supracrustais de idade neoproterozoica do Grupo Seridó. O Grupo Seridó, por sua vez, é constituído por uma sequência de supracrustais metavulcânicas e metassedimentares, inserido no Domínio Rio Piranhas-Seridó.

As comunidades onde as pesquisas foram conduzidas situam-se nos municípios de Caicó, São José do Seridó e São João do Sabugi. Nestes locais, espera-se que os perfis geoeletricos cruzem possíveis falhas ou fraturas, aumentando as chances de obtenção de poços produtivos.

3 Métodos

A definição dos locais de perfuração se deu por meio de análise fotogeológica e cartográfica, associadas com as orientações estruturais, relevo e áreas de recarga. Foram selecionadas variáveis explicativas que teoricamente podem influenciar no processo de circulação e armazenamento de água em meios fissurais, conforme destaca a literatura (Feitosa, 2008; Brandão & Gomes, 2003), tendo sido considerados neste trabalho os aspectos de litologia em subsuperfície, declividade do terreno, densidades de drenagem superficial e de lineamentos estruturais locais e regionais. Os dados foram tratados em ambiente SIG, tendo como base as cartas de integração geológica geofísica do banco de dados corporativo (Geobank) da CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e os dados hipsométricos constantes do banco de dados do INPE (2019). A Figura 2 apresenta um esquema ilustrativo dos aspectos avaliados, para o caso da Folha CAICÓ (SB.24-Z-B-I), escala 1:100.000.

As quatro variáveis de decisão avaliadas foram divididas de acordo com a sua potencialidade na ocorrência de água subterrânea (Tabela 1). Assim, os litotipos estão

classificados de acordo com a escala indicada pelo Feitosa (2008), ao passo que densidades de lineamentos estruturais e de drenagem superficial foram divididas em classes ordinais de 0 (zero) a 5 (cinco), cujo intervalo numérico se deu em função dos valores médios observados nos locais de perfuração dos 113 poços. As categorias de declividade correspondem à classificação conforme definição do Embrapa (1979).

Os trabalhos de prospecção de água subterrânea ocorreram por meio dos métodos geofísicos elétricos, uma vez que este, segundo Gonçalves & Giampá (2006), satisfaz a condição básica para identificação de um aquífero, que é a presença de contraste entre as grandezas, delimitando, por exemplo, as zonas de fraturas ou simplesmente saturadas em água, vertical e horizontalmente. O método da eletrorresistividade adota como procedimento a busca por medir a intensidade de uma grandeza física presente no material, denominada resistividade elétrica (ρ), que varia conforme as suas características de composição mineralógica ou química, granulometria, saturação, compactação, cimentação entre outros aspectos (Kearey *et al.*, 2009). A resistividade elétrica pode ser definida matematicamente de acordo com a Equação: $\rho = K \cdot \Delta V / I$ m.m, onde (I) corresponde à intensidade da corrente que percorre o embasamento, (K) é um valor que varia conforme a geometria do arranjo dos eletrodos adotada, e (ΔV) corresponde à diferença de potencial medida pelos eletrodos receptores. A unidade da resistividade aparente é medida em Ohm.m.

O arranjo de eletrodos adotado neste trabalho foi o Dipolo-Dipolo (D-D) que, além de ter sido validado nos testes preliminares em campo, apresenta, conforme destacam Martorana *et al.* (2017), resolução aceitável e ao mesmo tempo uma alta velocidade de aquisição de dados. Neste tipo de arranjo, os 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, onde o espaçamento $l = AB = MN$. A profundidade de investigação cresce com $(n+1)l/2$, sendo n os níveis de investigação em subsuperfície (Figura 3).

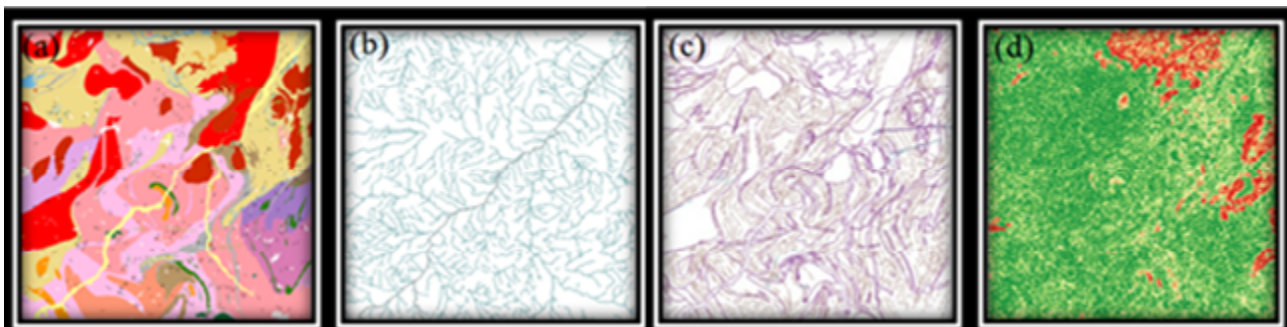


Figura 2 Resultados em escala 1:100.000 das variáveis independentes avaliadas. A. Litotipos predominantes; B. Drenagem superficial; C. Lineamentos estruturais; D. Declividade.

Variável	Classes	Descrição/intervalos	Potencial teórico de acumulação de água subterrânea	Peso atribuído
Litotipo predominante	1	Granitoides não deformados / quartzodioritos / granodioritos / corpos tabulares de granito	Muito ruim	3
	2	Paragneisse/granodioritos e granitos porfíricos gnaissificados	ruim	4
	3	Ortogneisses fortemente bandados / migmatitos paraderivados / calcissilicáticas	Moderado	5
	4	Xistos / quartzitos / biotite-gnaisses / metacalcários	Bom	6
	5	Aluviões	Muito bom	9
Densidade lineamentos (Km/Km ²)	1	0-0,490	Muito ruim	1
	2	0,490-0,980	ruim	3
	3	0,980-1,470	Moderado	5
	4	1,470-1,960	Bom	7
	5	>1,960	Muito bom	9
Densidade drenagem superficial (Km/Km ²)	1	0-0,452	Muito ruim	1
	2	0,452-0,904	ruim	3
	3	0,904-1,356	Moderado	5
	4	1,356-1,808	Bom	7
	5	>1,808	Muito bom	9
Declividade	1	0-2% Plano	Muito bom	1
	2	2%-5% Suave ondulado	Bom	3
	3	5%-10% Ondulado	Moderado	5
	4	10%,-15% Moderadamente ondulado	Ruim	7
	5	15%-45% Forte ondulado	Muito ruim	9
Distância do ponto de perfuração ao lineamento mais próximo	1	<100m	Favorável	1
	2	>100m	Desfavorável	0

Tabela 1 Resultado da divisão das variáveis independentes em classes, conforme potencial teórico de acumulação de água subterrânea.

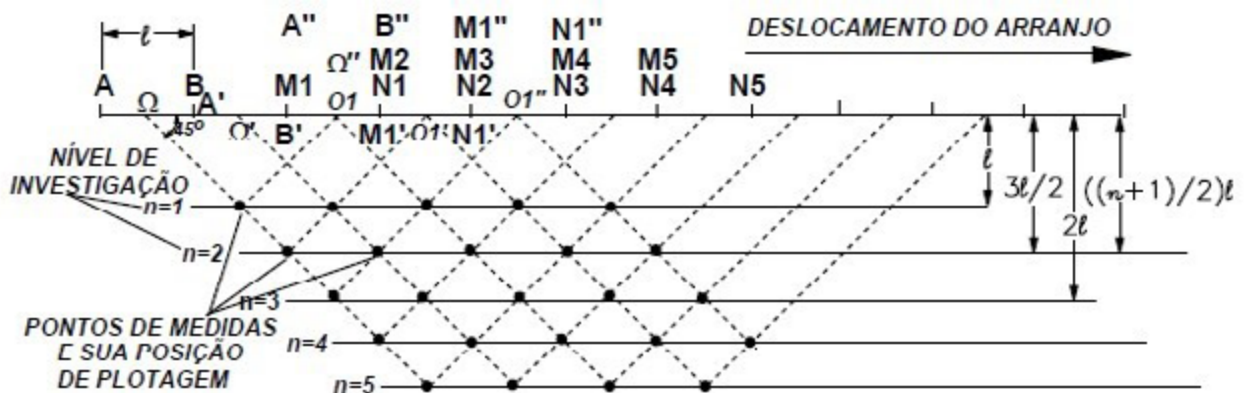


Figura 3 Caminhamento Resistividade/Disposição do arranjo dipolo-dipolo (Gallas, 2000, adaptado de Hallof, 1957).

Para os experimentos realizados com D-D, utilizou-se o equipamento *Superisting R8*, que possui 8 canais e potência de 200W. O equipamento dispõe de 84 eletrodos, que foram espaçados de acordo com as características de espaço físico disponíveis nas áreas de pesquisa, influenciando também nos comprimentos das linhas de caminhamento elétrico, que variaram de 249 m a 350m (Tabela 2). Estas variações na geometria do arranjo permitiram alcançar profundidades teóricas de investigação de até 70m.

As cinco linhas de pesquisa geofísica executadas nos municípios de Caicó, São José do Seridó, e São João do Sabugi foram dispostas conforme a Tabela 1, buscando capturar as principais tendências dos lineamentos estruturais que, segundo o banco de dados corporativo (Geobank) da CPRM (Serviço Geológico do Brasil), ocorrem nesta região conforme as orientação oés-noroeste – és-sudeste (ONO-ESE), existindo porém, lineamentos de menor expressão na direção sudoeste-nordeste (SO-NE). A Figura 4 ilustra

um dos exemplos de investigação de campo adotadas, para o caso da localidade Palma.

Os dados de resistividade aparente foram medidos e processados através do software RES2DINV, um programa de inversão para dados de eletroresistividade que possui suporte a dois algoritmos de inversão (robusto e suavidade), dados de topografia do terreno, e interface gráfica amigável. O método adotado na inversão dos dados foi o método de inversão robusta (Oldenburg & Li, 1999). Tratando-se de uma morfologia irregular, foi aplicada a correção topográfica com base nos dados topográficos levantados sucessivamente à campanha geofísica. A perfuração dos poços foi realizada utilizando uma broca Prominas modelo R-1S, com capacidade para perfurar poços até 250 metros de profundidade. Na perfuração, 10,1 / 2 “ou 9,7 / 8” bits de diâmetro foram utilizados na fase inicial do poço. Na fase intermediária, foi utilizada broca de 8 “e, na etapa final, 6” de diâmetro.

Município	Localidade	Espaçamento entre eletrodos	Comprimento da linha
Caicó	Bairro Penedo	3 m	249m
São José do Seridó	Comunidade Badaruco	3,5m	290,5m
Caicó	Comunidade Logradouro	2,80m	232,4m
Caicó	Comunidade Palma	4m	332 m
São João do Sabugi	Comunidade cachos	3m	249m

Tabela 2 Localização e disposição geométrica dos arranjos.

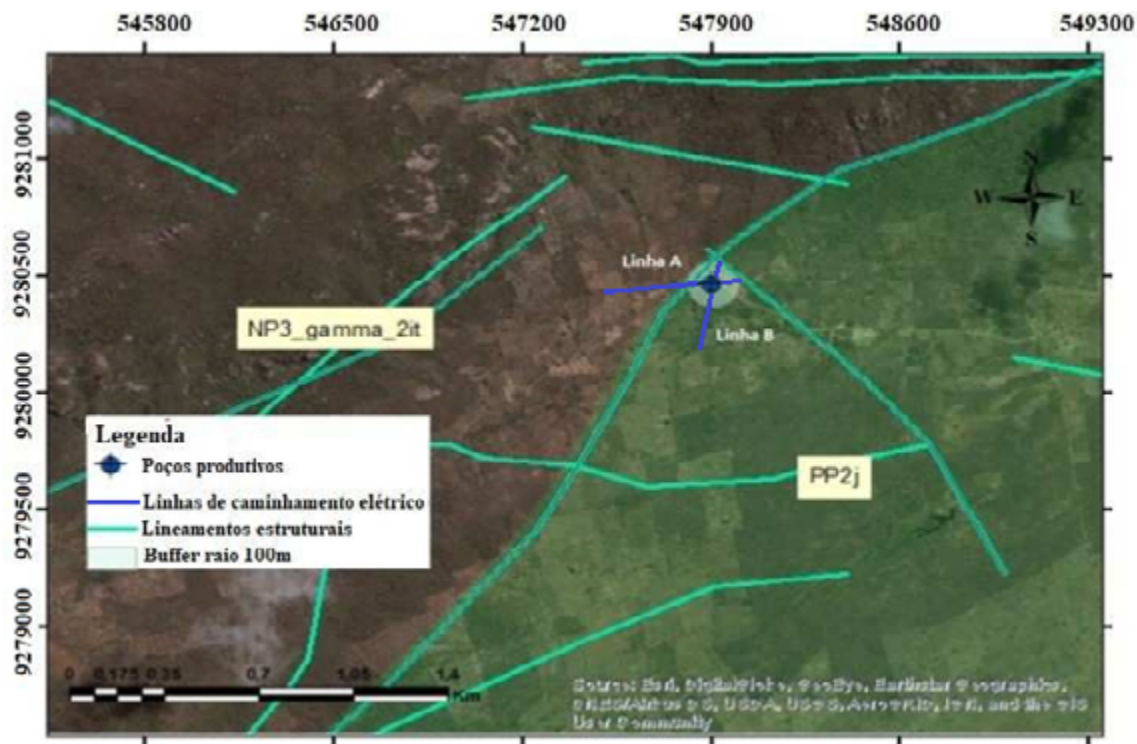


Figura 4 Disposição das linhas de pesquisa geofísicas na localidade Palma-RN.

4 Resultados e Discussão

Após executados os ensaios de eletrorresistividade, foi possível estimar a ocorrência de água subterrânea nas cinco localidades estudadas, confirmadas em quatro das cinco perfurações posteriores, conforme resultados descritos na Tabela 3.

Na Figura 4 estão apresentadas as seções modeladas, resultantes das pseudo-seções de eletrorresistividade, obtidas do software RES2DINV. As interpretações das imagens consideraram o litotipos predominantes da região de estudo, destacados em Medeiros *et al.* (2012) como com a presença de ortognaisses dioríticos a graníticos no Complexo Caicó, e de micaxistos e granada micaxistos na Formação Seridó. Dessa maneira, todos os locais de ensaios foram atendidos com perfurações, escolhendo-se cinco pontos, um para cada linha de caminamento elétrico. Estas locações estão representadas na Figura 5 pelas setas na cor vermelha (locação mais favorável), e delimitadas da seguinte maneira: Linha 1 (1º BEC); Linha 2 (Logradouro); Linha 3 (Palma); Linha 4 (Cachos), e Linha 5 (Badaruco).

Figura 5 Seções modeladas de resistividade das cinco localidades estudadas, em sequência: 1º BEC; Logradouro; Palma; Cachos e Badaruco.

De acordo com o formato assumido pelas seções modeladas, alguns pontos específicos da linha de caminamento foram associados a prováveis fraturamentos e/ou regiões onde há um aprofundamento do topo da rocha sã, e estão representados nas quatro primeiras imagens pelas cores azuis e verdes, possuindo menores valores de resistividade, variando de $6\Omega.m$ a $300\Omega.m$. Áreas com elevados valores de resistividade (cores amarelo-avermelhadas nas figuras) foram associadas a possíveis ocorrências de rochas graníticas/ gnássicas e locais pouco ou nada alteradas (baixo grau de faturamento), variando de $325\Omega.m$ a mais de 5000Ω .

Na quinta imagem, referente à comunidade Badaruco, são percebidos menores amplitudes e valores absolutos de

resistividade, o que se associou à presença de rochas xistosas alteradas, litotipo bem avaliado quanto ao favorecimento de ocorrência de águas subterrâneas, segundo Brandão & Gomes (2003), e que pode justificar a ótima vazão obtida nesta perfuração. Baixas resistividades ocorrem em camadas superficiais de cerca de 8 m de espessura em todos os perfis estudados, e foram associadas à ocorrência de camadas de solo ou rocha alterada. Em todos os casos, a presença de variações laterais entre zonas fortemente condutivas e zonas resistivas pode ser interpretada como fraturas abertas, com potencial de ocorrência de água subterrânea, ou mesmo como a presença de terrenos soltos argilosos ocupando o espaço gerado pelos falhamentos. Considerando que há a presença de fortes lineamentos estruturais na região, e que houve o cruzamento com os perfis geoelétricos executados, decidiu-se pela interpretação da ocorrência de falhamentos nos cinco perfis. Assim, foram escolhidos cinco pontos para perfuração de poços artesianos, representados na Figura 5 pelas setas na cor vermelha, e delimitadas da seguinte maneira: Linha A (1º BEC): ponto 210 m. Linha B (Logradouro): ponto 87 m. Linha C (Palma): ponto 192 m. Linha D (Cachos): ponto 135 m. Linha E (Badaruco): ponto 128 m.

Após perfurados os poços, apenas o localizado na comunidade Palma se revelou improdutivo, pois embora tenham sido identificadas fraturas durante a perfuração, a presença de terrenos soltos argilosos preenchendo os seus espaços inviabilizou a ocorrência de água. Conforme destaca Neves (2005), as fraturas preenchidas com água ou argila possuem respostas geoelétricas semelhantes, sendo então um risco associado à perfuração, caso os ensaios de eletrorresistividade não sejam acompanhados de investigações adicionais. A obtenção, no entanto, de quatro poços produtivos nas cinco perfurações realizadas, correspondendo ao índice de sucesso de 80%, destaca a eficácia do método geofísico na prospecção de águas subterrâneas em aquíferos fraturados na região em análise.

Caso	Local	Classes indicativas de ocorrência de água subterrânea			Indicação de Água	Vazão instantânea obtida
		Litologia	Lineamentos	Drenagem		
1	1º BEC	2	1	5	Sim	3m³/h
2	Logradouro	1	5	4	Sim	4m³/h
3	Palma	2	4	3	Sim	seco
4	Cachos	2	5	3	Sim	2,5m³/h
5	Badaruco	4	1	4	Sim	10m³/h

Tabela 3 Resultado do método do caminamento elétrico.

5 Conclusões

Da análise dos resultados obtidos nas cinco localidades, verificou-se que o método geoeletrico se mostrou viável na prospecção de águas subterrâneas nos aquíferos fraturados situados na área de estudo, tendo obtido a técnica do caminhamento elétrico, através do arranjo Dipolo-Dipolo, altos contrastes nas variações horizontais de resistividade elétrica. A associação dos dados geofísicos com as características geológicas locais foi fundamental no processo de interpretação das seções modeladas de resistividade, pois permitiu uma melhor interpretação de ocorrência de possíveis zonas de fraturas, possuidoras de menor resistividade elétrica, contrastando com áreas de maior resistividade da rocha sã, assim como na estimativa da profundidade do topo rochoso e regiões de regolito. Tais ferramentas auxiliaram no processo de locação dos poços artesianos e contribuindo para a obtenção uma maior probabilidade de perfuração de poços produtivos.

6 Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

7 Referências

- Abuzied, S.M. & Alrefae, H.A. 2017. Mapping of groundwater prospective zones integrating remote sensing, geographic information systems and geophysical techniques in El-Qaâ Plain area, Egypt. *Hydrogeology Journal*, 25: 2067-2088.
- Abuzied, S.M.; Ibrahim, S.K.; Kaiser, M.F. & Seleem, T.A. 2016. Application of remote sensing and spatial data integrations for mapping porphyry copper zones in Nuweiba area, Egypt. *International Journal of Signal Processing Systems*, 4(2):102–108.
- Angelim, L.A.A.; Medeiros, V.C. & Nesi, J.R. 2006. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala: 1:500.000.
- Aziz, N. A.; Hasan, R. H.; Abdulrazzaq, Z. T. 2018. Optimum Site Selection for Groundwater wells using Integration between GIS and Hydrogeophysical Data. *Engineering and Technology Journal*, 36(6):596-602.
- Binley, A.; Hubbard, S.S.; Huisman, J.A.; Reilley, A.; Robinson, D.A.; Singha, K. & Slater, L. D. 2015. The emergence of hydrogeophysics for improved understanding of subsurface processes over multiple scales. *Water Resources Research*, 51: 3837–3866.
- Brandão, R.L. & Gomes, F.E.M. 2003. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na avaliação de potencial hidrogeológico da Folha Irauçuba. *Revista de Geologia*, 16(1):106-124.
- CEPED UFSC. 2015. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Seca e Estiagem no Brasil – Conheça os dados, referências e outras informações. Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/seca-e-estiagem-no-brasil-conheca-os-dados-ate-2012>>. Acesso em: 23 fev. 2019.
- Elis, V. R.; Bondioli, A.; Ustra, A. T.; Carlos, I. M.; Pozzo, H. Â. P. D. 2019. Resistivity imaging for identification of fracture zones in crystalline bedrock in Brazil. *Sustainable Water Resources Management*, 5(3): 1089–1101.
- EMBRAPA (Brasil). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 2019. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. Súmula. Rio de Janeiro.
- Feitosa, F.A.C. 2008. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações/ organização e coordenação científica/ 3. Ed. Ver. E ampl.* – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 812 p.
- Gallas, J.D.F. 2000. “Principais métodos geoeletricos e suas aplicações em prospecção mineral, hidrogeologia, geologia de engenharia e geologia ambiental”. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente, 174p.
- Gandolfo, O.C.B. 2007. “Um estudo do imageamento geoeletrico na investigação rasa”. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado em Geociências, 215 p.
- Gonçalves, V.G. & Giampá, C.E.Q. 2006. “Águas subterrâneas e poços tubulares profundos”. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 14(3): IV-IV.
- Hallof, P.G. 1957. “On the interpretation of resistivity and induced polarization measurements”: Cambridge, MIT, Ph. D. thesis. 216 p.
- INPE. 2019. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: www.webmapit.com.br/inpe/topo/data/. Acesso em: 17 mar 2019.
- Jardim de Sá, E.F. 1994. *A Faixa Seridó “(Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana”*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 803p.
- Keary, P.; Brooks, M. & Hill, I. 2009. *Geofísica de Exploração*. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 438p.
- Madrucci, V.; Taioli, F. & Araújo, C.C. 2008. Groundwater favorability map using GIS multicriteria data analysis on crystalline terrain, Sao Paulo state, Brazil. *Journal of Hydrology*, 357(3): 153–173.
- Martorana, R.; Capizzi, P.; D’Alessandro, A. & Luzio, D. 2017. “Comparison of different sets of array 245 configurations for multichannel 2D ERT acquisition”. *Journal of Applied Geophysics*, 137: 34 – 48.
- Medeiros, V.C.; Cavalcante, R.; Cunha, A.L.C.; Costa, A.P.; Sá, J.M.; Silveira, F.V.; Rodrigues, J.B.; Silva, M.A. & Dantas, A.R., 2017. “Magmatismo ediacarano-cambriano da região das mineralizações de W de Currais Novos (RN), domínio Rio Piranhas-Seridó”. In: Anais do XXVII Simpósio de Geologia do Nordeste, João Pessoa, Nov 2017, 27(3): 3-44.

- Medeiros, V.C.; Nascimento, M.A.L.; Dantas, B.L. & Cunha, A.L.C. 2012. Programa Geologia do Brasil-PGB. Currais Novos. Folha SB.24-Z-B-II. Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Carta Geológica. Escala: 1:100.000.
- Mohamaden, M.I.I.; El-Sayed, H.M. & Mansour, S.A. 2017. Combined application of electrical resistivity and GIS for groundwater exploration and subsurface mapping at northeast Qattara Depression, Western Desert, Egypt. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(1): 80-88.
- Nazaruddin, D.A.; Amiruzan, Z.S.; Hussin, H. & Jafar, M.T.M. 2017. Integrated geological and multi-electrode resistivity surveys for groundwater investigation in Kampung Rahmat village and its vicinity, Jeli district, Kelantan, Malaysia. *Journal of Applied Geophysics*, 138: 23-32.
- Neves, M.A. 2005. *Análise Integrada Aplicada à Exploração de Água Subterrânea na Bacia do Rio Jundiá (SP)*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Tese (Doutorado em Geologia Regional), 200 p.
- Oldenburg, D.W. & Li, Y. 1999. "Estimating depth of investigation in DC resistivity and IP surveys". *Geophysics*, 64(2): 403-416.
- Silva, M. A; Moreira, C. A.; Borssatto, K.; Ilha, L. M.; Santos, S. F. 2018. Geophysical prospection in tin mineral occurrence associated to greisen in granite São Sepé (RS). *REM - International Engineering Journal*, 71(2): 183-189.