

SONDAGENS GEO-ELÉTRICAS APLICADAS NA OBTENÇÃO DA GEOMETRIA DO AQUÍFERO BARREIRAS NA REGIÃO SUL DE NATAL-RN.

Leandson Roberto Fernandes de Lucena¹;
Ernani Francisco da Rosa Filho; Eduardo Chemas Hindi²

Resumo

O presente artigo compreende os resultados de uma pesquisa desenvolvida na região litorânea sul de Natal-RN, especificamente no setor oriental da bacia do Rio Pirangi. O objetivo central foi efetuar um mapeamento da espessura saturada do Aquífero Barreiras, utilizando dados de poços e de sondagens geo-elétricas, considerando a influência da estruturação regional neste contexto. Esta última, caracterizada previamente nas direções preferenciais NW, NE e E-W, aproximadamente, mostrou-se exercer forte influência no contexto hidrogeológico local, sobretudo no que diz respeito à geometria do aquífero. O mapa de espessura saturada obtido evidenciou espessuras de até 100 m, consistindo numa importante ferramenta na gestão otimizada dos recursos hídricos subterrâneos locais.

Abstract

The present paper encompasses the results of a research carried out in the southern coastal region of Natal-RN State, specifically on the eastern section of the Pirangi River basin. The main objective is to mapping the saturated thickness of Barreiras Aquifer with well and geo-electrical data, considering the influences of regional structuring on this context. The regional structuring, outlined by the overall preferential directions NW, NE and E-W, revealed as exerting strong influence on a diverse array of aspects of the Barreiras Aquifer context, essential in the aquifer geometry. The saturated map obtained show thickness of aquifer up to 100 m, consisting of an important tool in the optimized administration of the local underground water resources.

Palavras-chave: Aquífero Barreiras, sondagens geo-elétricas, espessura saturada.

¹ Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte-EMPARN, Rua Jaguarari, 2192 – Lagoa Nova, CEP: 59.062-500. Natal-RN/Brasil. Tel.: (0xx84)3232-5854. E-mail: leandson_lucena@yahoo.com.br

² Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas-LPH/UFPR, Centro Politécnico – Jardim das Américas, CEP: 81.531-990. Curitiba-PR/Brasil. Tel/Fax: (0xx41)3361-3355/3267-7910. E-mail: ernani@ufpr.br/hindi@ufpr.br.

1 – INTRODUÇÃO

O levantamento geofísico raso foi realizado com o objetivo principal de suprir de informações locais onde os dados de poços, quando existentes, não eram suficientes para a elaboração de um modelo geométrico preliminar para o Aquífero Barreiras na área. Neste aspecto, a informação preponderante buscada foi a profundidade da base do aquífero, indicada regionalmente pelo topo da seqüência carbonática mesozóica não aflorante (arenitos e argilitos calcíferos, segundo a terminologia conhecida e historicamente mais utilizado para a região).

O método geofísico adotado, face à sua reconhecida aplicabilidade na pesquisa de águas subterrâneas, foi o da eletro-resistividade (Astier, 1975). Dentre as modalidades de utilização deste método, a técnica escolhida de acordo com os objetivos a serem alcançados foi a de Sondagem Elétrica (S.E.), com arranjo de eletrodos Schlumberger. Esta técnica permite caracterizar as variações da resistividade em função da profundidade, desde que seja válido para a área um modelo de camadas planas e paralelas.

O equipamento utilizado no presente levantamento foi um resistivímetro modelo GEOTEST R85. Este aparelho possui as características de minimizar a instabilidade das leituras, devido aos fenômenos de polarização de eletrodos, além de efetuar uma filtragem eletrônica no sinal, atenuando ruídos provocados por correntes telúricas e linhas de transmissão. Ruídos atribuídos a possíveis induções eletromagnéticas foram controlados mantendo-se distâncias adequadas entre os cabos de recepção e transmissão.

Outros procedimentos operacionais envolveram cuidados na locação das sondagens e na redução de resistências de contato. Na locação, buscaram-se áreas de menor fluxo de pessoas e animais (evitando acidentes e danos aos equipamentos) e topografia suave, que permitisse uma abertura de eletrodos compatível com a profundidade de exploração. As resistências de contato foram reduzidas com o uso de água salgada em torno dos eletrodos, além da realização de limpezas periódicas nestes. Na execução de cada sondagem, utilizou-se ainda a técnica da “embreagem” (Orellana, 1972). Esta técnica consiste em se efetuar leituras com o mesmo AB (eletrodos de corrente) e utilizando diferentes aberturas de MN (eletrodos de potencial). Tais mudanças buscam melhorar a relação sinal/ruído, além de permitir a identificação de efeitos de variação lateral de resistividade nas proximidades dos eletrodos de potencial.

O presente levantamento foi realizado na região sul de Natal-RN, abrangendo todo o setor oriental da bacia hidrográfica do Rio Pirangi (figura 1). Foram executadas um total de 15 sondagens elétricas na área de estudo (apresentadas na tabela 1), com uma abertura máxima de eletrodos de 1,2 km ($AB/2 = 600$ m). Os valores de altimetria foram obtidos com altímetros, incluindo sensores barométricos, sendo posteriormente confrontados com as cartas topográficas da SUDENE, Folhas SB.25-V-C-V (Natal) e SB.25-Y-A-II E III (São José de Mipibú). Ressalta-se

que os valores de espessura dizem respeito apenas ao aquífero e não à coluna sedimentar Terciária-Quaternária.

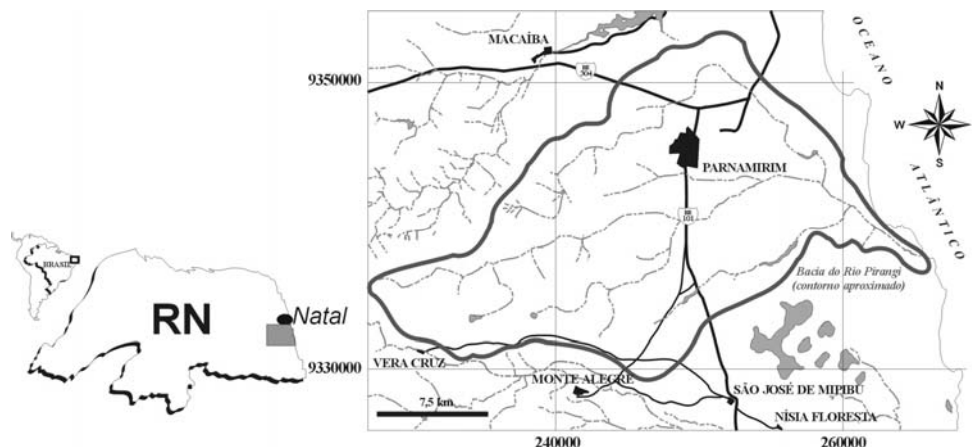


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Tabela 1 – As sondagens elétricas executadas na área.

S.E's	LOCALIDADE	COORDENADAS (UTM)		AB/2 (m)	Alt. (m)	Espessura Aquíf. (m)
		Km W	Km N			
1	Próx Ponte Velha (Parnamirim)	251855	9350532	300	41,81	40,0
2	Lot. Pq. Das Árvores (Parnamirim)	254308	9346151	200	30,62	50,0*
3	Prox. final aeroporto (Parnamirim)	253135	9344710	300	35,71	45,0
4	Lot. Sonho Verde (Parnamirim)	250072	9341890	400	51,07	47,0
5	Pium de Cima (Nísia Floresta)	253300	9337890	600	47,18	90,0
6	RN - 313 (Nísia Floresta)	254350	9341400	600	40,0	58,0
7	Próx. Taborda (Nísia Floresta)	251007	9338660	500	50,0	80,0
8	Próx. Pium de Cima (Nísia Floresta)	253045	9339440	600	46,48	40,0
9	Próx Lagoa do Pium (Nísia Floresta)	255220	9340140	500	43,50	38,0
10	Granja Canaã (S. José de Mipibu)	249030	9336820	400	54,23	40,0
11	Coqueiro-BR 101 (S. José de Mipibu)	250400	9335000	500	59,0	55,0
12	Próx. Lagoa Bonfim (Nísia Floresta)	254010	9336080	500	50,50	90,0
13	Próx. Lagoa do Pium (Nísia Floresta)	257070	9338020	450	55,0	55,0
14	Prox. Lagoa Bonfim (Nísia Floresta)	252300	9335300	500	50,0	31,0
15	Bica (S. José de Mipibu)	252918	9327905	200	37,0	35,0

2 – O CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

A coluna estratigráfica é constituída por duas seqüências básicas: uma não aflorante, envolvendo o embasamento cristalino Pré-Cambriano e sedimentos da bacia sedimentar mesozóica, ambos detectados em perfis de poços da região, e outra aflorante, representada por sedimentos cenozóicos. Estes últimos compreendem sedimentos argilo-arenosos a conglomeráticos do Grupo Barreiras e arenosos da Formação Potengi, sotopostos aos sedimentos quaternários, onde se incluem os *beachrocks*, arenitos praiiais, depósitos aluvionares, eólicos e de mangues e as coberturas arenosas. A caracterização estrutural regional, abordada em trabalhos prévios tais como Bezerra et al. (1993), Lucena e Queiroz (1996), Coriolano et al. (1999), dentre outros, somado com levantamentos restritos ao contorno da bacia do Rio Pirangi, evidenciaram uma complexa estruturação na área, caracterizada nas direções gerais NW-SE, NE-SW e E-W.

O Aquífero Barreiras é responsável pelo abastecimento da maioria das cidades da faixa litorânea oriental do Rio Grande do Norte, incluindo a capital Natal. O limite inferior deste aquífero é o topo da seqüência carbonática mesozóica não aflorante da região, a qual foi individualizada nas perfurações como sendo constituído por sedimentos areno-argilosos a argilosos de composição calcífera e baixa potencialidade hidrogeológica, ou mesmo o embasamento cristalino, nas áreas próximas do contato deste último com a bacia sedimentar costeira (Lucena e Queiroz, 1996). O aquífero apresenta vazões de exploração elevadas em determinadas localidades, sobretudo naquelas de maior espessura dos sedimentos do Grupo Barreiras, conforme observado em algumas captações na região sul de Natal e Parnamirim-RN (vazões da ordem de 100 m³/h). Por outro lado, valores reduzidos de vazões explotadas são atribuídos à causas diversas, dentre as quais espessuras reduzidas do Barreiras e a forma de construção e desenvolvimento de poços mais antigos, face às atuais técnicas de perfuração. Um estudo realizado pelo IPT (1982) para o Governo do Estado, revelou transmissividades da ordem de 2,8 x 10⁻³ a 9,2 x 10⁻³ m²/s para a região compreendida entre Natal e São José de Mipibú-RN.

No tocante à condição hidrodinâmica, o Aquífero Barreiras comporta-se de maneira bastante variável, sobretudo na região sul de Natal até a fronteira com a Paraíba. Este comportamento pode apresentar-se de livre a semiconfinado, onde a camada semiconfinante no topo, quando presente, é representada por lentes argilosas do Grupo Barreiras, (IPT, 1982).

3 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 – O Modelo Geo-Elétrico

De acordo com a necessidade de se adotar um modelo consistente com o ambiente geológico com vistas à interpretação de dados geo-elétricos, ressalta-se que a área estudada é representada por terrenos sedimentares e com estratificações aproximadamente horizontalizadas. Somado a isso, as

distâncias entre as descontinuidades horizontais expressivas (falhas) são bem maiores que as máximas aberturas de eletrodos utilizadas. Dessa forma, o modelo geo-elétrico adotado possui as seguintes características:

- i. O subsolo é constituído por uma seqüência de camadas com espessuras (E_i) finitas, excetuando-se a última que é dada como infinita;
- ii. Cada camada é admitida como sendo eletricamente homogênea e isotrópica, sendo caracterizada por uma resistividade (ρ_i);
- iii. As interfaces de separação entre as camadas são planas e horizontais e paralelas à superfície da terra.

3.2 – Interpretação das Sondagens Elétricas

A interpretação da curva experimental ($\rho_a \times AB/2$) de uma S.E. consiste basicamente na obtenção de estimativas numéricas dos parâmetros geo-elétricos, no caso, resistividades e espessuras, para o modelo de camadas planas e paralelas. Os ajustes entre as curvas de campo e aquelas interpretadas foram feitos mediante sucessivas tentativas de variações dos parâmetros de um modelo inicialmente proposto, finalizando quando se obteve, ao mesmo tempo, um ajuste satisfatório e a incorporação de vínculos conhecidos sobre o modelo geo-elétrico.

3.2.1 – As Calibrações Geo-Elétricas e Demais Sondagens Executadas

Diante da inexistência de perfis elétricos de poços, que revelassem os valores de resistividades *in situ* dos diversos horizontes estratigráficos locais, adotou-se a estratégia de executar sondagens elétricas de “calibração”, adjacentes a poços de perfis estratigráficos conhecidos. As interpretações destas sondagens foram feitas fixando-se os valores de espessuras das camadas (fornecidas pelos perfis litológicos) e estimando-se as resistividades, de maneira a ajustar a curva usando intervalos de valores característicos (dados bibliográficos) das respectivas litologias (Medeiros e Silva, 1996).

A primeira calibração geo-elétrica foi realizada contígua a um poço da CAERN (S.E. 15 na tabela 1) de perfil litológico conhecido (figura 2), apesar de situada fora dos limites da área estudada. O ajuste da curva referente a esta calibração (figura 3) foi bastante satisfatório, embora pequenas variações texturais e no conteúdo matricial das litologias, descritas no perfil litológico do poço (pequenas mudanças no grau de compactação e/ou na porcentagem de materiais finos/grosseiros, dentre outros) não tenham sido evidenciadas. O fato do embasamento condutivo ter sido identificado a uma profundidade menor que no perfil do poço, é atribuído à variação topográfica observada entre este último e o centro da sondagem (diminuição de cota no sentido da

S.E.), uma vez que esta não foi efetuada imediatamente contígua ao poço (face ao elevado tráfego de animais e pessoas no local).

Sete principais horizontes geológicos mostraram-se influentes na sondagem, incluindo solo, porções não saturadas e saturadas do Aquífero Barreiras e o início do embasamento hidrogeológico deste último (seqüência mesozóica não aflorante na área). O modelo ora proposto envolve inicialmente um solo areno-argiloso, úmido e com bastante matéria orgânica, de espessura igual a 2 m e resistividade em torno de 350 Ω .m. Logo abaixo, tem-se uma seqüência indiferenciada, com espessura total de 12 m e resistividade de 65 Ω .m, litologicamente representada por variações de siltito arenoso a arenito fino.

A seguir, caracterizou-se um pequeno nível de 1 m de arenito fino a grosso e resistividade da ordem de 500 Ω .m, sobreposto a duas camadas sílticas arenosas, com espessuras de 4 m e 8 m e resistividades iguais a 30 e 20 Ω .m, respectivamente. Finalmente, uma nova camada com 10 m de espessura e resistividade da ordem de 600 Ω .m, correlacionada pelo perfil de poço a um arenito fino a médio, acha-se repousando sobre um embasamento condutivo de resistividade igual a 40 Ω .m e associado ao topo dos sedimentos mesozóicos regionais (arenito calcífero). Considerando que o centro da sondagem não foi locado exatamente sobre o poço (e sim a, aproximadamente, 20 m deste), conforme mencionado anteriormente, pequenas variações das espessuras são esperadas. Além disto, a camada síltica de 1 m, na parte inferior do perfil, não foi caracterizada, provavelmente devido ao fenômeno geo-elétrico de supressão de camadas (Orellana, 1972). Em particular, os valores maiores de resistividades (500 - 600 Ω .m) dizem respeito às camadas de maior transmissividade hídrica do aquífero no local, e, por isso, encontram-se filtradas para captação d'água no perfil construtivo do referido poço.

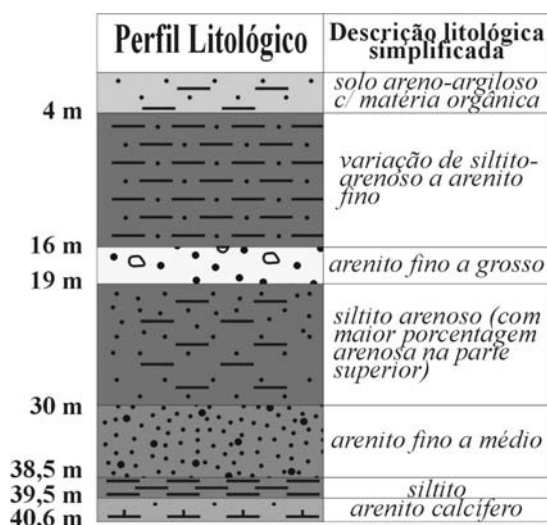


Figura 2 – Perfil litológico do poço de propriedade da CAERN, na localidade de Bica-São José de Mipibu-RN.

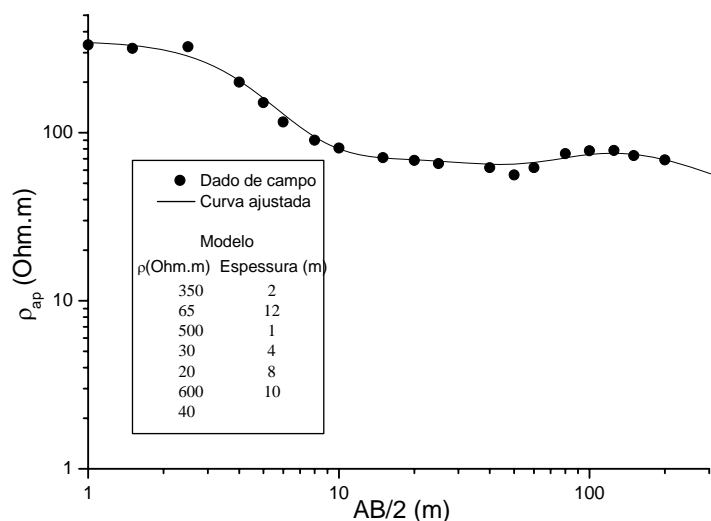


Figura 3 – Sondagem elétrica de calibração (S.E.15)

A segunda calibração, situada na localidade do loteamento Sonho Verde em Parnamirim (S.E. 4 na tabela 1) e adjacente ao poço perfurado recentemente no local (figura 4), definiu um modelo geo-elétrico estratigráfico constituído da base para o topo por (figura 5): calcário (referente a bacia sedimentar cretácica), arenito calcífero com resistividade de 30 Ω .m, arenito argiloso passando a arenito fino a grosso com resistividades de 180 e 500 Ω .m, respectivamente, e sedimentos arenosos com eventual presença argilosa e umidade, apresentando resistividades de 1200 a 5500 Ω .m. A exemplo da primeira calibração, a sondagem não foi executada exatamente sobre a boca do referido poço, o que pode explicar a pequena variação do valor total de espessura até o topo da seqüência mesozóica (arenito calcífero) da ordem de 3 m (66 m no perfil litológico do poço e 63 m na interpretação geo-elétrica). A figura 6 apresenta as curvas geo-elétricas interpretadas das demais sondagens executadas.

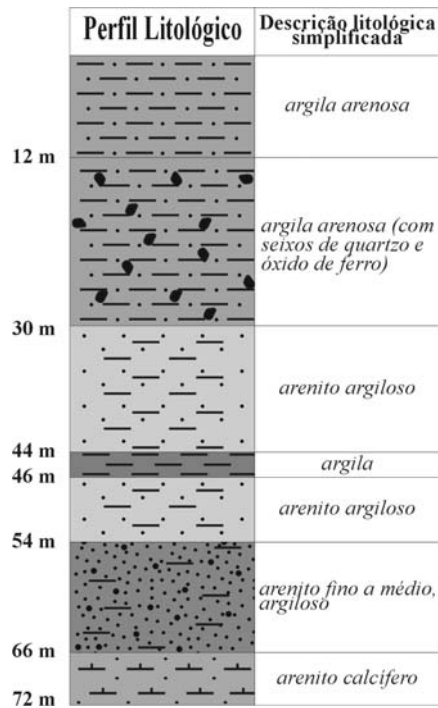


Figura 4 – Perfil litológico do poço tubular situado no loteamento Sonho Verde - Parnamirim-RN.

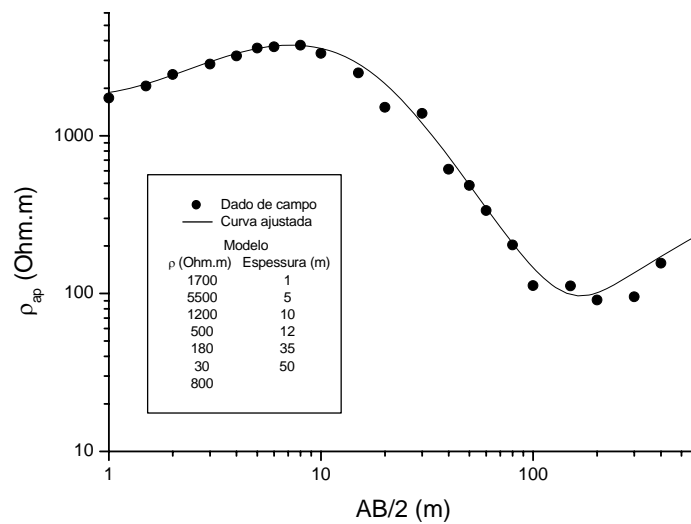


Figura 5 – Segunda sondagem elétrica de calibração (S.E.4).

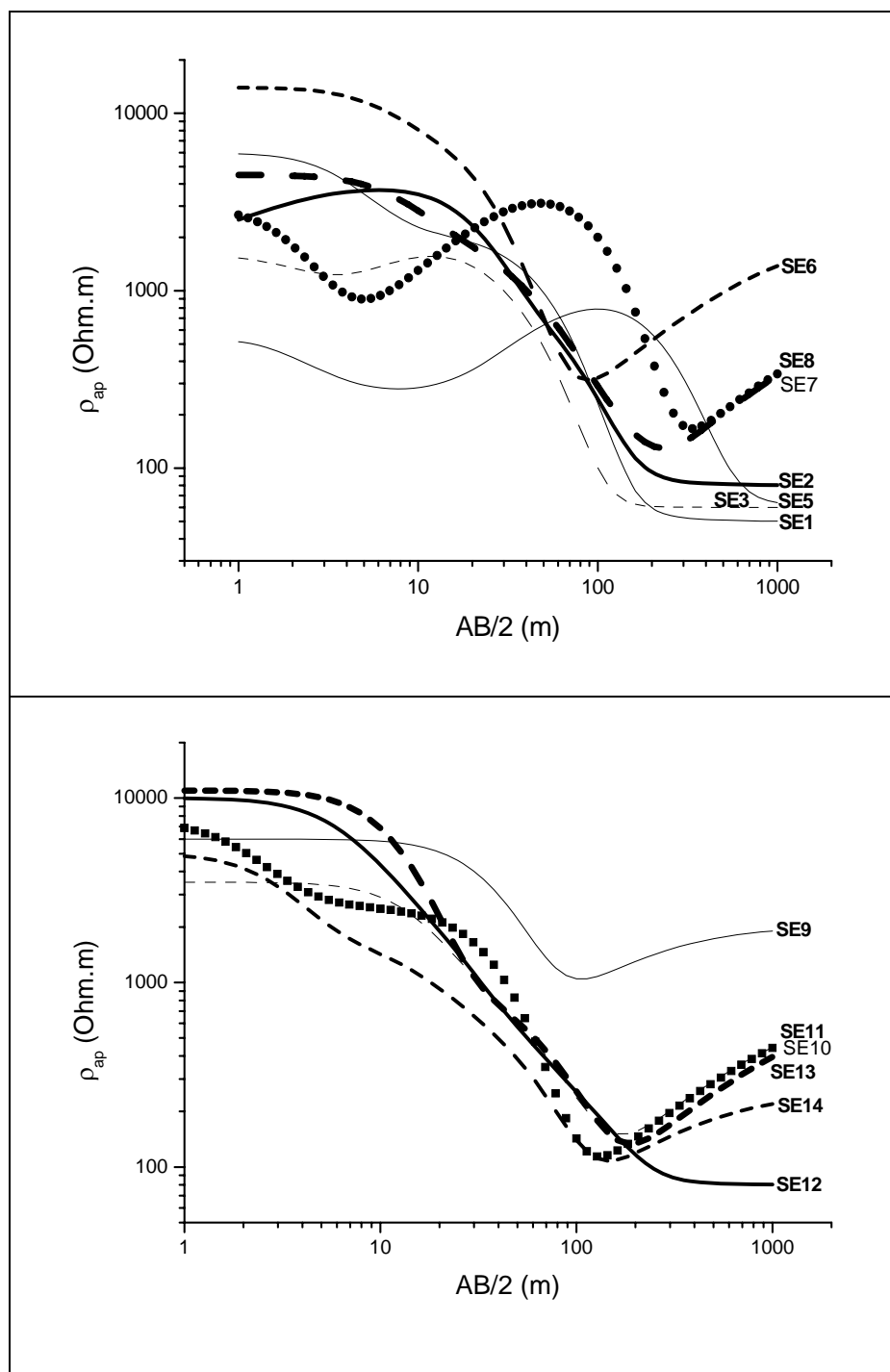


Figura 6 – Demais sondagens elétricas executadas.

3.2.2 – Outros Resultados Geo-Elétricos

Afora os valores buscados prioritariamente, no caso a espessura total do Aquífero Barreiras na área, outros resultados do levantamento geo-elétrico são apresentados na tabela 2, incluindo relações entre os tipos litológicos e suas respectivas resistividades e espessuras estimadas. Os calcários da seqüência cretácica, apesar de aparecerem na interpretação de algumas sondagens elétricas (resistividades da ordem de 800 a 1200 Ω .m na base da coluna estratigráfica) não foram

caracterizados satisfatoriamente por requererem maiores aberturas de eletrodos (maior penetração de corrente elétrica) e não se incluem nos objetivos da presente pesquisa.

Tabela 2 – Principais litologias e estimativa dos respectivos valores de resistividade e espessura.

LITOLOGIAS	OBSERVAÇÕES	RESISTIVIDADES ESTIMADAS (Ohm.m)	ESPESSURAS ESTIMADAS (m)
Areias quartzosas, pouco compactas (Cob. Arenosas)	Eventual presença de matéria orgânica e/ou fração argilosa.	1700 - ∞	0,5 - 14
Solo areno-argiloso (Grupo Barreiras)	Eventual presença de matéria orgânica e/ou umidade.	350 - 1600	1 - 2
Argilito arenoso a Arenito argiloso (Grupo Barreiras)	Eventual presença de matéria orgânica e/ou umidade.	260 - 1800	2 - 14
Arenito fino a grosso (Grupo Barreiras)	Eventual presença de umidade.	2000 - ∞	4 - 19
Argilito/siltito (Grupo Barreiras)	com eventual fração arenosa, saturado.	20 - 65	4 - 40
Arenito argiloso (Grupo Barreiras)	Saturado.	180 - 260	10 - 60
Arenito fino a grosso (Grupo Barreiras)	Saturado	400 - 800	1 - 40
Arenito calcífero (topo da seqüencia mesozóica)	Embasamento hidrogeológico do Aq. Barreiras	25 - 80	∞

3.3 – A Geometria do Aquífero Barreiras na Área de Estudo

A interpretação e modelamento matemático de sondagens geo-elétricas, somados a dados de poços que seccionam todo o Grupo Barreiras (quando disponíveis) e pontos de espessura saturada zero, tomados ao longo da linha de costa, possibilitaram a elaboração de um mapa de espessura do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi (figura 7). As informações dos poços tubulares ora utilizados foram obtidos nos acervos da Secretaria de Recursos Hídricos-SERHID/RN e da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte-CAERN, além de empresas particulares locais de perfuração de reconhecida capacidade técnica. A distribuição e origem dos dados são apresentadas na tabela 3. Estas informações pontuais, envolvendo coordenadas XY (UTM) e respectivos valores de espessura, foram gridadas e interpoladas no *software Surfer for Windows* pelo método *Kriging*.

Tabela 3 – Origem dos dados utilizados na confecção do mapa de espessura saturada do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi.

DADOS /ORIGEM	NÚMERO DE PONTOS
Linha de costa (esp. saturada zero)	47
Poços tubulares	31
Sondagens elétricas	14
Total	92

A figura 7, resultante do tratamento dos dados, revela valores de espessuras bastante variáveis, da ordem de 30 m em alguns locais do centro norte do mapa, alcançando cerca de 100 m nos extremos SE (já além do limite da bacia do Rio Pirangi) e SW do mesmo. Tais valores, quando confrontados com o arcabouço estrutural da região (Lucena et al., 2006), refletem a ampla influência desta estruturação na geometria do aquífero. Nesse contexto, as maiores espessuras do aquífero estão associadas com o abatimento, por falhas, do substrato carbonático do Grupo Barreiras, destacando-se a área sob influência do *Graben* Papary (Lucena e Queiroz, 1996) no SE do mapa. As menores espessuras, por sua vez, relacionam-se normalmente com o soerguimento (mesmo que relativo) desse mesmo substrato carbonático, igualmente decorrente da evolução tectono-estrutural da região. O gradiente E-W bem definido, observado no setor oriental do mapa, deve-se à influência de valores de espessura do aquífero iguais a zero ao longo da linha de costa; dessa forma, os valores de espessuras saturadas neste setor do mapa, igualmente resultantes da interpolação e gridagem dos dados de origem, devem ser encarados com reservas. Ressalta-se, entretanto, que o mapa da figura 7 representa uma abordagem inicial das variações de espessura do Aquífero Barreiras na área em questão, tendo em vista principalmente o reduzido número de informações disponíveis de poços que seccionam toda esta unidade estratigráfica.

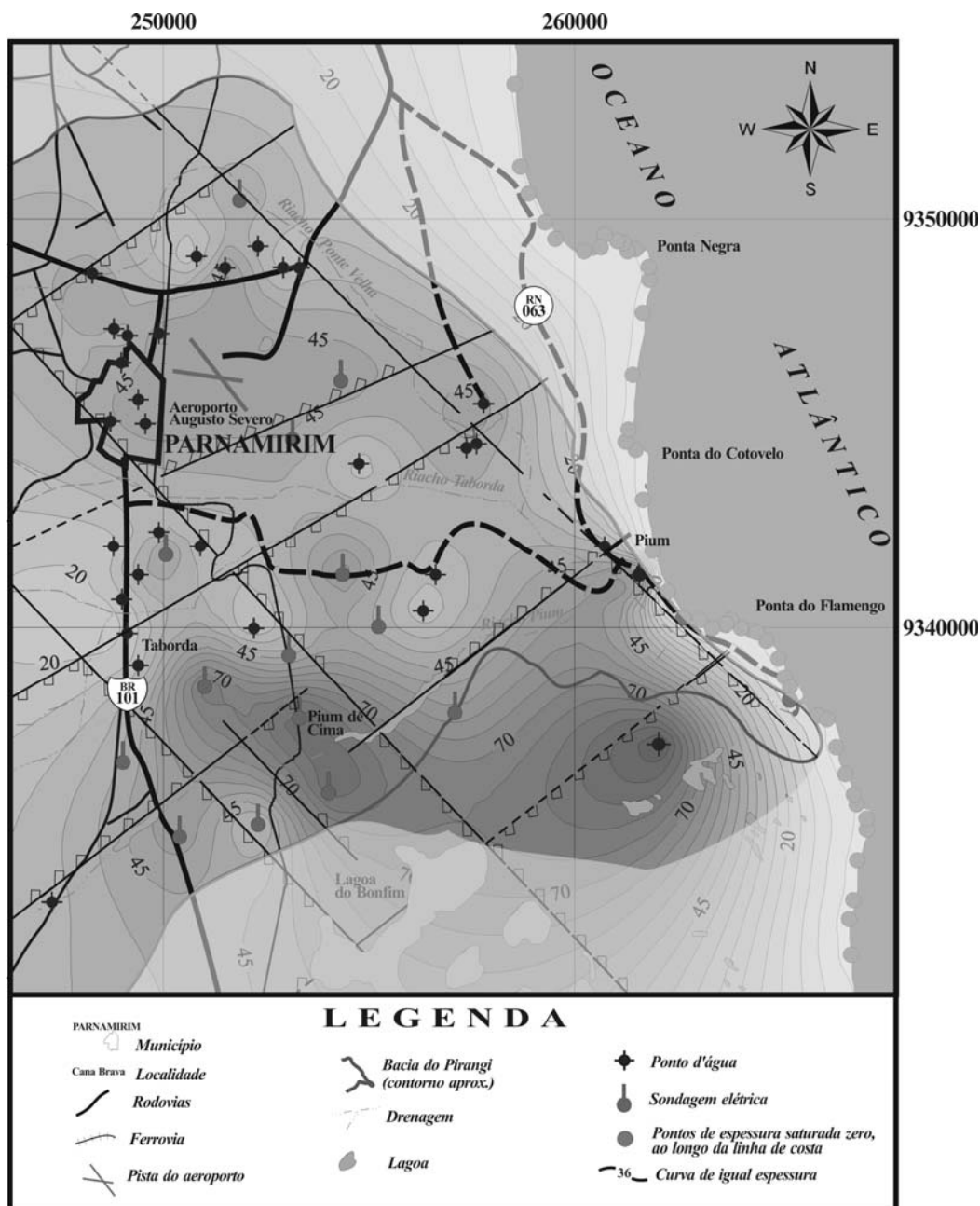


Figura 7 – Mapa de espessura do Aquífero Barreiras e o esboço estrutural da área do setor oriental da bacia do Rio Pirangi.

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As influências da estruturação regional no contexto hidrogeológico da área, particularmente no Aquífero Barreiras, são evidenciadas sob diversos aspectos, com base em análises prévias de dados geológicos, hidrogeológicos e geo-elétricos. A principal destas influências diz respeito à geometria do aquífero, na forma de variações bruscas de espessuras saturadas. Neste contexto, a execução de sondagens elétricas verticais mostrou-se como uma ferramenta fundamental na avaliação da geometria da zona saturada, sobretudo pela pouca disponibilidade local de dados de poços (perfis geológicos de poços que seccionam todo o Grupo Barreiras). O mapa de espessura saturada obtido com as informações disponíveis de poços e interpretação das sondagens elétricas,

estas locadas prioritariamente em sub-áreas de ausência de informações, evidenciaram espessuras saturadas variando de 20 metros a pouco mais de 100 metros, configurando-se numa metodologia essencial na própria gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTIER, J.L. **Geofísica aplicada a la hidrogeologia**. Madrid: Ed. Paraninfo, 1975. 344 p.

BEZERRA, F. H. R.; SAAD, A.; MOREIRA, J. A. M.; LINS, F. A. P. L.; NOGUEIRA, A. M. B.; MACEDO, J. W. P.; LUCENA, L. R. F. DE; NAZARÉ JR. D. Estruturação neotectônica do litoral de Natal-RN, com base na correlação entre dados geológicos, geomorfológicos e gravimétricos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, IV., 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte-MG: SBG, Núcleo MG. Bol. 12: p. 317-321.

CORIOLANO, A.C.F.; LUCENA, L.R.F.; JARDIM DE SÁ, E.F.; SAADI, A. A deformação quaternária no litoral oriental do Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, VIII., 1999, Lençóis. **Anais...** Lençóis-BA: SBG, 1999. P. 67-70.

IPT. Estudo hidrogeológico regional detalhado do Estado do Rio Grande do Norte. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. Natal, 1982. 389 p. Secretaria de Indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Norte. Relatório técnico IPT nº 15.795.

LUCENA, L.R.F. E QUEIROZ, M.A. Considerações sobre as influências de uma tectônica cenozóica na pesquisa e prospecção de recursos hídricos - o exemplo do litoral sul de Natal-RN, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, ABAS, São Paulo, Vol. 1, n. 15: 81-88, 1996.

LUCENA, L.R.F.; ROSA FILHO, E.F.; HINDI, E.C. O controle estrutural no Aquífero Barreiras – área da bacia do Rio Pirangi-RN. **Revista Águas Subterrâneas**, Curitiba, Nº20, p. 83-98, 2006.

MEDEIROS, W.E. E SILVA, J.B.C. Geophysical inversion using approximate equality constraints. **Geophysics**, v. 61, p. 81-88. 1996.

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