

O CONTROLE ESTRUTURAL NO AQÜÍFERO BARREIRAS - ÁREA DA BACIA DO RIO PIRANGI-RN

STRUTURAL CONTROLS ON BARREIRAS AQUIFER - PIRANGI RIVER BASIN ÁREA (RN/BRAZIL)

Leandson Roberto Fernandes de Lucena¹; Ernani Francisco da Rosa Filho² e Eduardo Chemas Hindi²

Recebido em: 12/11/2005, aceito em: 18/05/2006

RESUMO A estruturação regional, caracterizada nas direções preferenciais NW, NE e E-W, aproximadamente, mostrou-se exercer forte influência nos mais diversos aspectos do contexto do Aquífero Barreiras no litoral do nordeste brasileiro. Estas influências foram evidenciadas sob diversos aspectos, com base nas análises de dados geológicos, hidrogeológicos e geo-elétricos, sobretudo no que diz respeito à geometria do aquífero, na forma de variações bruscas de espessuras saturadas provocadas por falhamentos. A configuração de maiores transmissividades, decorrente de aumentos locais de espessuras saturadas, é evidenciada por uma correlação matemática efetuada entre vazões exploradas e espessuras saturadas, onde se obteve um fator de correlação de 0,79. As demais influências da estruturação no Aquífero Barreiras, caracterizadas no presente artigo, envolvem desde um controle do fluxo subterrâneo, até evidências no mapa potenciométrico, sob a forma de mudanças bruscas no espaçamento ou inflexões das equipotenciais. Adicionalmente, foi efetuado um cálculo de reservas permanentes na área da bacia do Rio Pirangi, considerando as variações da geometria do aquífero decorrente da estruturação regional. Outros aspectos de caráter regional foram também abordados, dentre os quais a possibilidade de alguns falhamentos na linha de costa, especificamente aqueles de comportamento distensional ou transtensional, estarem associados com a formação de cunhas salinas.

Palavras chave: Brasil, Aquífero Barreiras, controle estrutural

ABSTRACT The regional structuring, outlined by the overall preferential directions NW, NE and W-W, revealed as exerting strong influence on a diverse array of aspects of the Barreiras Aquifer context. These influences were attested by several aspects, based on the analysis of geological, hydrogeological and geo-electrical data, notably on the aquifer geometry, as witnessed by sudden variations of saturated thicknesses caused by faulting. Quantitative configuration of major transmissivities, resulting from local increase of these saturated thicknesses, was evidenced through statistical correlations carried out between exploitation flows and saturated thicknesses or extensions of filtering sections, where correlation coefficients up to 0.79 were obtained. The remaining influences of the structural framework of the Barreiras Aquifer include from a control of the underground flow to evidences on the potentiometric map, as expressed by sudden changes in spacing or inflexion of the equipotentials. In addition, quantification of permanent reserves was carried out in the area of the Pirangi River basin, taking into consideration variations in the aquifer geometry resulting from local structuring. Other aspects of regional implication were also addressed, among them the probability that some coastal line faults, particularly the distensional and transtensional ones, be associated to the formation of saltwater wedges.

Keywords: Brazil, Barreiras Aquifer, structural control.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Pesquisas recentes desenvolvidas no nordeste do Brasil vem demonstrando indícios que a estruturação regional exerce forte influência no contexto hidrogeológico, particularmente naqueles terrenos sedimentares de idade cenozóica (LUCENA; QUEIROZ, 1996; LUCENA et al., 1999). Estes estudos mostraram a delimitação de áreas com elevada transmissividade, decorrente do aumento de espessuras saturadas ocasionadas pela compartimentação estrutural local do Aquífero Barreiras. Tal implicação foi sugerida pelo aumento substancial de vazões em poços de uma mesma bateria que se aproximavam e adentravam os domínios de um proeminente bloco estrutural

local tipo *graben*. Os referidos estudos sugeriram ainda o condicionamento do fluxo subterrâneo através da configuração de barreiras laterais semi-impermeáveis (aquitardo cretácico), igualmente provocadas por falhamentos.

A presente pesquisa, por sua vez, possui o objetivo de realizar uma análise mais abrangente do impacto do condicionamento neotectônico-estrutural regional no contexto do Aquífero Barreiras. A área estudada localiza-se no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil (Figura 1), sendo os estudos específicos de natureza hidrogeológica concentrados no setor leste da bacia hidrográfica do Rio Pirangi.

¹Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte-EMPARN (leandson_lucena@yahoo.com.br)

²Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas (LPH-DEGEOL-UFPR) (ernani@ufpr.br) (hindi@ufpr.br)

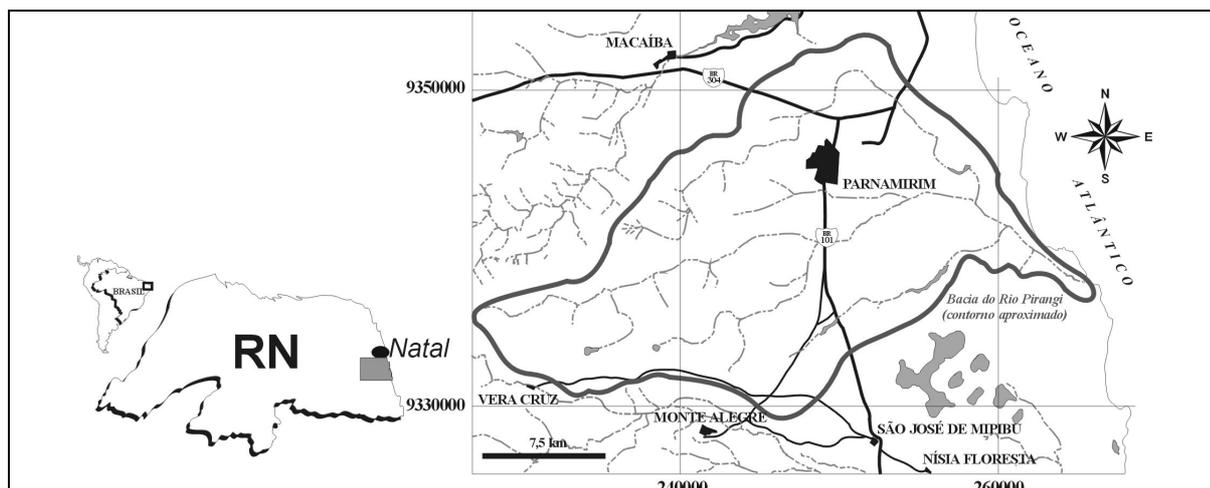


Figura 1- Localização da área de pesquisa
Figure 1- Study area location map

METODOLOGIA GERAL

A caracterização fisiográfica, geológica e hidrológica da área foi realizada a partir da revisão e atualização de material bibliográfico, cartográfico e de produtos de sensoriamento remoto disponíveis sobre a área da bacia do Rio Pirangi, incluindo averiguações e levantamentos específicos de campo (potenciometria do Aquífero Barreiras, geofísica aplicada à determinação da espessura do aquífero em locais de pouca informação, testes de aquífero, além de medições de descargas fluviais).

A análise do impacto do condicionamento neotectônico-estrutural no contexto hidrogeológico físico foi realizado basicamente através da superposição de informações relativas ao mapeamento geológico (com ênfase para o quadro tectono-estrutural local) e hidrogeológico do setor oriental da bacia, incluindo mapas potenciométricos e de espessuras saturadas, perfis hidrogeológicos e geofísicos (eletro-resistividade). As metodologias específicas de cada aspecto estudado na relação “estrutural x hidrogeologia” são discutidas dentro dos respectivos tópicos na apresentação e discussão dos resultados (item 6 deste trabalho).

A GEOLOGIA REGIONAL

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. O embasamento cristalino é constituído por granitos, granodioritos, migmatitos e gnaisses, correlacionados ao Complexo Caicó (BEZERRA et al., 1993). Os sedimentos mesozóicos, de provável idade cretácica, compreendem

basicamente duas unidades: uma arenítica (basal) e outra calcárea (topo), com intercalações areníticas, repousando em discordância com o embasamento cristalino (COSTA, 1971).

A porção aflorante envolve a coluna sedimentar cenozóica da região, representada por sedimentos argilo-arenosos a conglomeráticos do Grupo Barreiras e arenosos da Formação Potengi, resultado de deposições fluviais e provavelmente eólica, respectivamente, ambas de idade terciária-quadernária. Esta seqüência acha-se sotoposta aos sedimentos quadernários, onde se incluem os *beachrocks*, arenitos praias, 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; Queiroz (1996), Coriolano et al., (1998), dentre outros, somado com levantamentos restritos ao contorno da bacia do Rio Pirangi, foi efetuada através da análise conjunta de dados geológicos, geomorfológicos (topografia e hidrografia), gravimétricos, além de averiguações de campo. Estes estudos evidenciaram uma complexa estruturação na área, caracterizada nas direções gerais NW-SE, NE-SW (com base em análises gravimétricas, geomorfológicas e de campo) e E-W (mostrada nas análises geomorfológicas e de campo).

No cômputo geral, este arcabouço tectono-estrutural foi interpretado como sendo resultado de reativações sucessivas, mediante um campo de tensões em que os eixos de distensão e compressão máximas estão orientados aproximadamente em N-S e E-W, respectivamente, sendo este último conferido ao empurrão da cadeia meso-atlântica. A figura 2 apresenta o esboço geológico simplificado da região litorânea sul de Natal-RN, incluindo o setor oriental da bacia do Rio Pirangi.

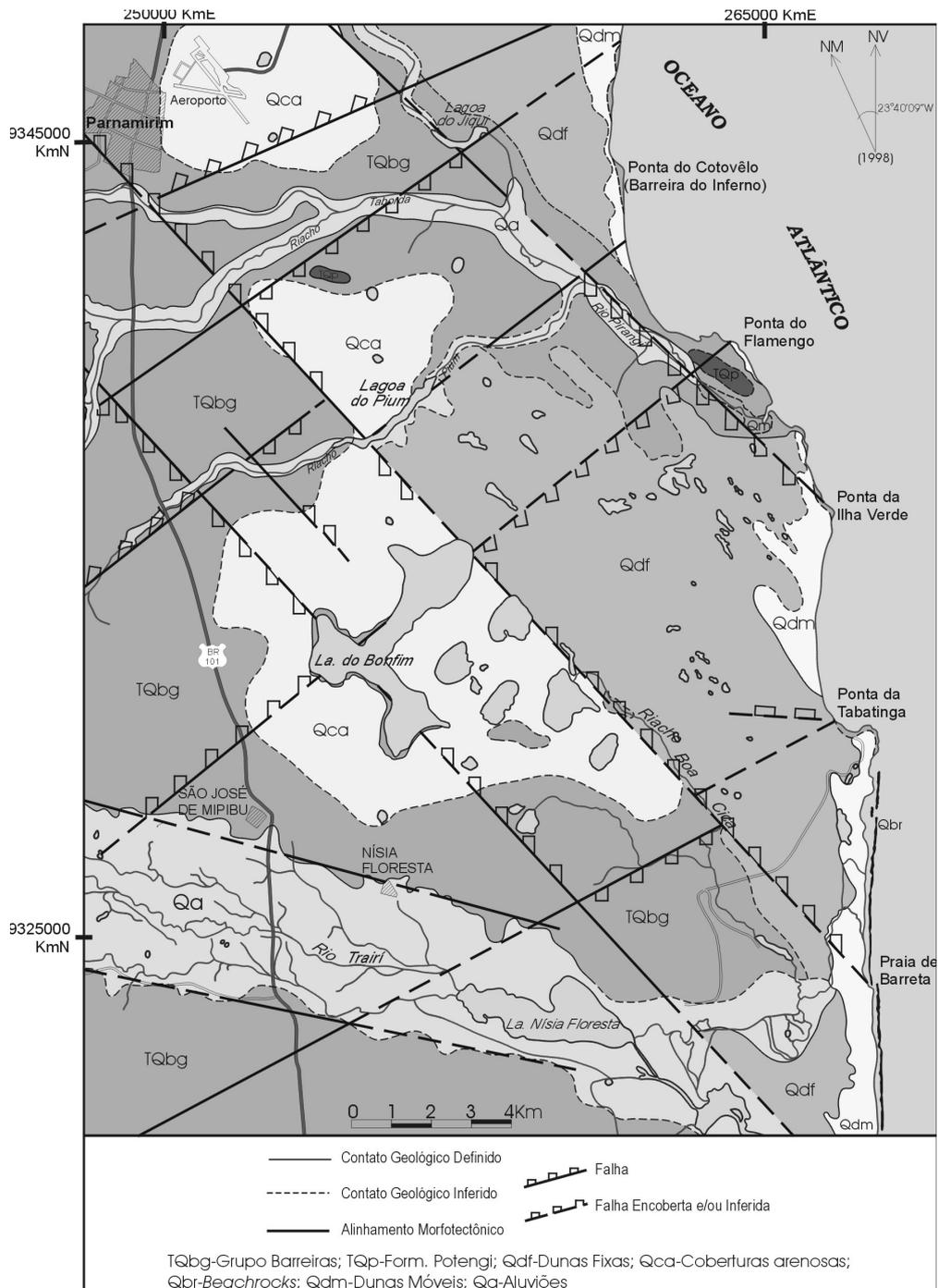


Figura 2- Esboço geológico simplificado da região litorânea sul de Natal-RN
 Figure 2- Geological simplified map of the coastal southern area of Natal-RN

O CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

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. 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 em 1982 para o Governo do

Estado, revelou transmissividades da ordem de $2,8 \times 10^{-3}$ a $9,2 \times 10^{-3}$ 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).

A potencimetrica do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi (Figura 3)

evidencia a existência de uma zona de recarga principal, situada na área da sede municipal de Parnamirim e uma secundária, situada ao norte da Lagoa do Bonfim (no limite sul da bacia), enquanto que a zona de descarga regional é compreendida pela região dos baixos cursos dos riachos Ponte Velha/Rio Pitimbu (incluindo a Lagoa do Jiqui) e Taborda e Rio Pirangi. Os gradientes hidráulicos apresentam-se relativamente menores nestas zonas de recarga, da ordem de 10^{-3} , atingindo valores em torno de 10^{-2} nas áreas de descarga do aquífero, principalmente no baixo curso do Rio Pirangi.

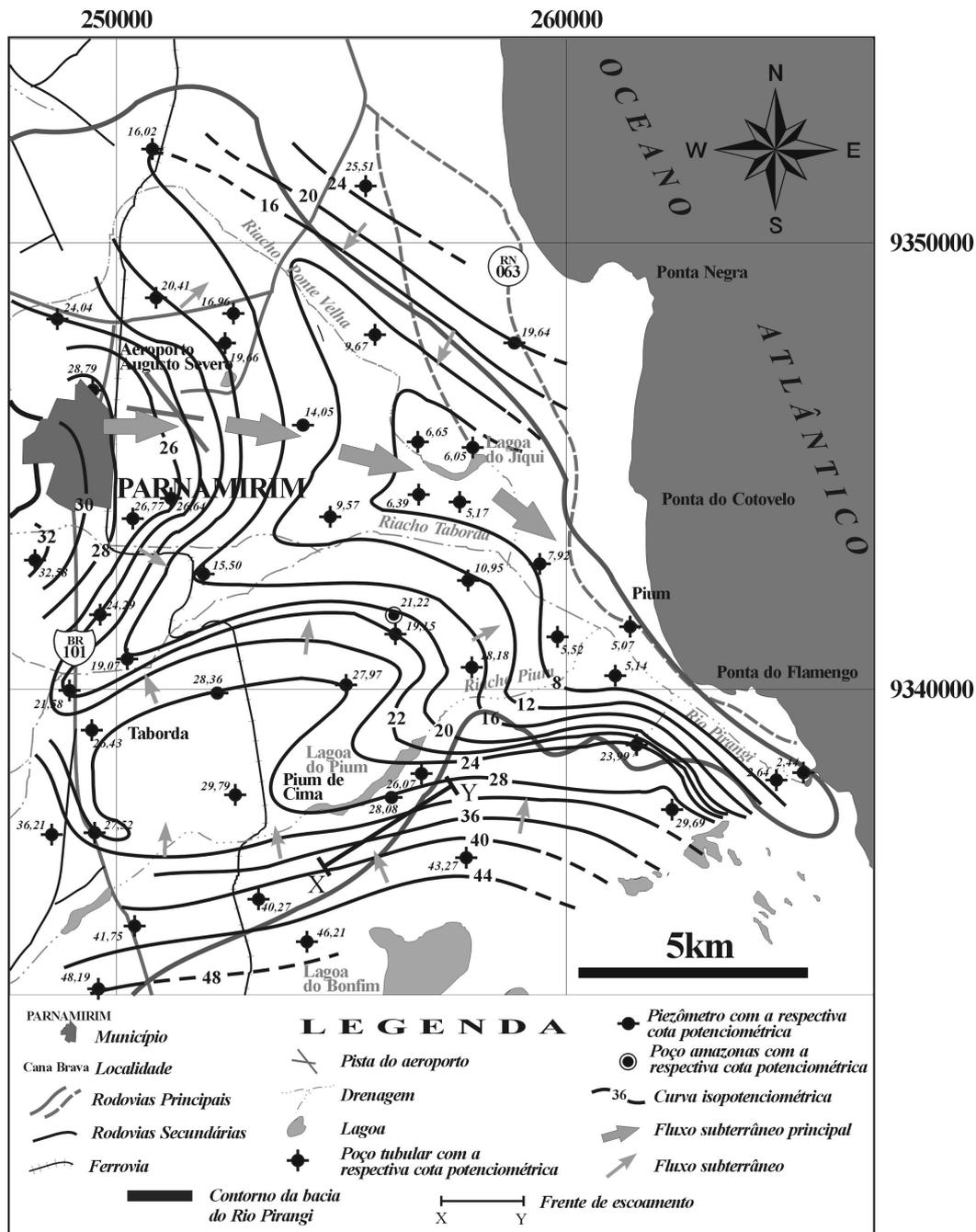


Figura 3- Mapa potencimétrico do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi
Figure 3- Barreiras aquifer potencimetric map (Oriental sector of Pirangi river basin)

Toda a área pesquisada evidencia uma ampla relação entre mananciais subterrâneos do Aquífero Barreiras e superficiais. O regime perene dos canais fluviais locais é creditado ao caráter influente do aquífero. Esta influência é igualmente evidenciada sobre as duas principais lagoas da área, Jiqui e Pium, sendo esta última aproximadamente regularizada, sob o ponto de vista de volume armazenado, decorrente da contribuição subterrânea proveniente do sistema do Bonfim.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As análises das principais relações e influências do condicionamento estrutural regional no Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi foram realizadas através da interação dos diversos levantamentos que levaram à caracterização do quadro hidrológico subterrâneo e superficial local, somado ao mapeamento estrutural da área.

VARIAÇÕES DE ESPESSURAS SATURADAS

As variações de espessura do Grupo Barreiras e, conseqüentemente, do aquífero homônimo foram caracterizadas através da configuração de rejeitos em subsuperfície, tomando-se como horizonte-guia o topo da seqüência mesozóica não aflorante (correlacionado ao Aquitardo Cretácico). Os rejeitos detectados, todos de caráter interpretativo normal, são da ordem de 15 a 100 m e, a julgar pela disposição estratigráfica local, sugerem um tectonismo sincrônico com a deposição do Grupo Barreiras.

Em termos qualitativos, a implicação fundamental destes falhamentos diz respeito aos afundamentos ou soerguimentos de horizontes estratigráficos, particularmente do Aquitardo Cretácico, mesmo que relativos a blocos estruturais adjacentes. Estes afundamentos proporcionaram um maior acúmulo de sedimentos do Grupo Barreiras, o que produziu, em última análise, zonas de maior transmissividade em virtude do aumento da espessura saturada do aquífero.

Estas variações de espessuras saturadas podem ser igualmente visualizadas na forma de isolinhas, através da elaboração de um mapa de espessura do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi (Figura 4). Este mapa foi obtido a partir da interpretação e modelamento matemático de sondagens geo-elétricas executadas na área, somado a dados de poços que seccionam todo o Grupo Barreiras e pontos de espessura saturada zero, tomados ao longo da

linha de costa (Tabela 1). As informações dos poços tubulares ora utilizados foram obtidas 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 (PROPOÇO, HIDROPOÇOS, GEPÊ ENGENHARIA E PROSENG). Estas informações pontuais, envolvendo coordenadas XY (UTM) e respectivos valores de espessura, foram gridadas e interpoladas no *software Surfer for Windows*.

Tabela 1- Origem dos dados utilizados na confecção do mapa de espessura saturada do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi

Table 1- Origin of the data used to draw the aquifer saturated thickness map (Oriental sector of Pirangi river basin)

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

A figura 4, 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 (ver Figura 2), refletem a ampla influência desta estruturação na geometria do aquífero. Nesse contexto, as maiores espessuras do aquífero, conforme mencionado, estão associadas com o abatimento, por falhas, do substrato carbonático do Grupo Barreiras, destacando-se a área sob influência do *Graben* Papary (LUCENA; 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 devem ser encarados com reservas, uma vez que resultam da interpolação e gridagem dos dados de origem.

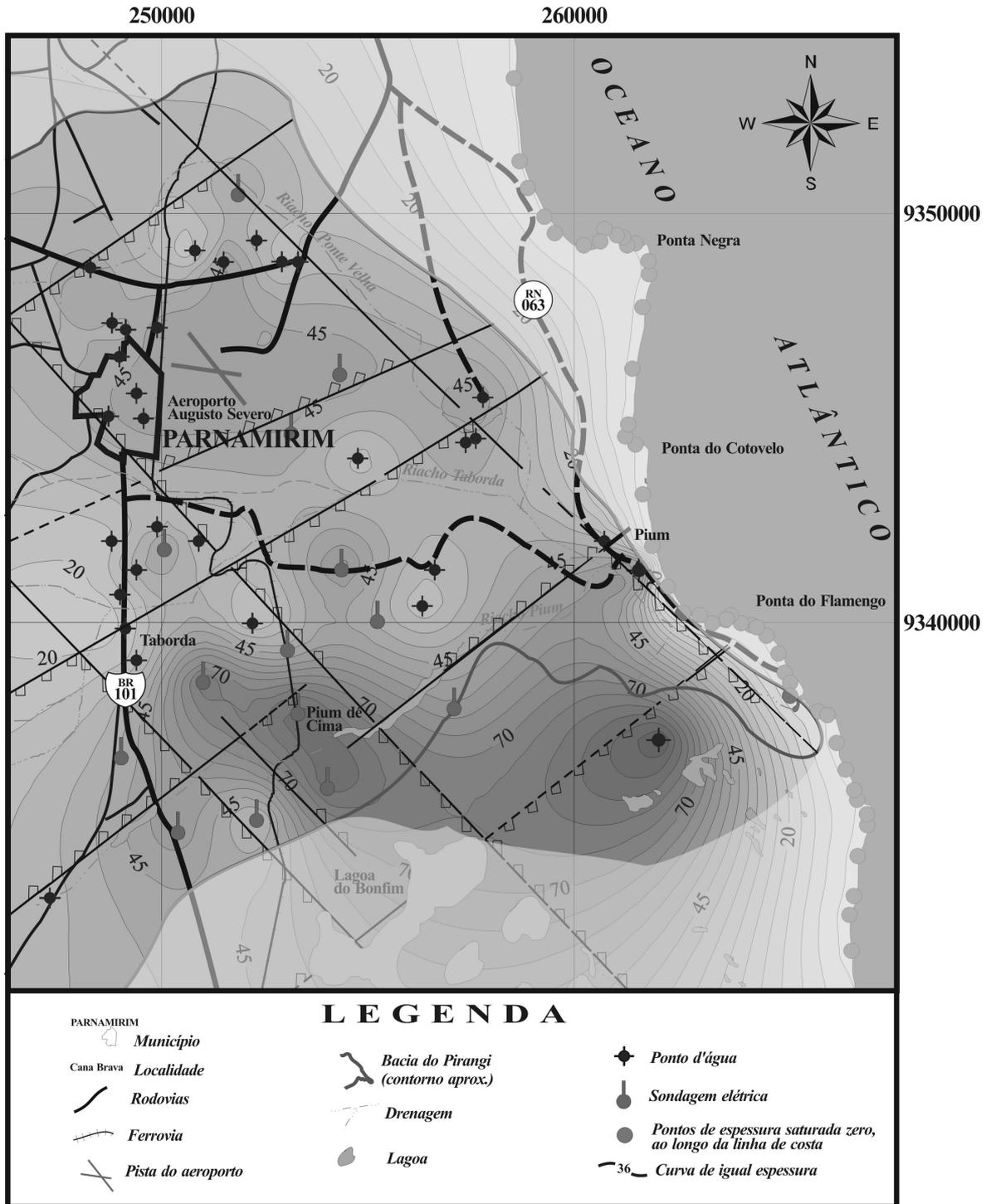


Figura 4- Mapa de espessura do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi
 Figure 4- Aquifer thickness map (Oriental sector of Pirangi river basin)

A busca por uma quantificação dessa influência do condicionamento tectono-estrutural no contexto do Aquífero Barreiras, por sua vez, revelou-se numa tarefa bastante complexa, face ao grande número de variáveis hidrogeológicas e físicas envolvidas. Entretanto, resultados satisfatórios foram obtidos na presente pesquisa, particularmente no tocante a variações de espessuras saturadas, adotando-se procedimentos que objetivaram atenuar esta problemática.

Dentre tais procedimentos, destaca-se inicialmente a seleção de poços tubulares destinados ao referido estudo. Estas captações, num total de 87, abrangem poços da CAERN (77) e das empresas particulares locais já mencionadas (10), sendo todas com perfis geológicos e construtivos conhecidos, além de valores respectivos de vazões recomendadas a partir de testes de produção. Estas informações possibilitaram a confecção de perfis

hidrogeológicos (exemplificado na Figura 5), no qual se pode visualizar a influência preponderante da estruturação da área nas vazões dos poços locais. A captação 103 do perfil hidrogeológico da figura 5, separada por uma distância de pouco mais de 1,5 km da captação

99 e situada em um bloco estrutural local distinto desta última, apresenta uma vazão explorada de 3,2 vezes maior, enquanto que poços com espessuras saturadas aproximadamente iguais mostram produtividades idênticas.

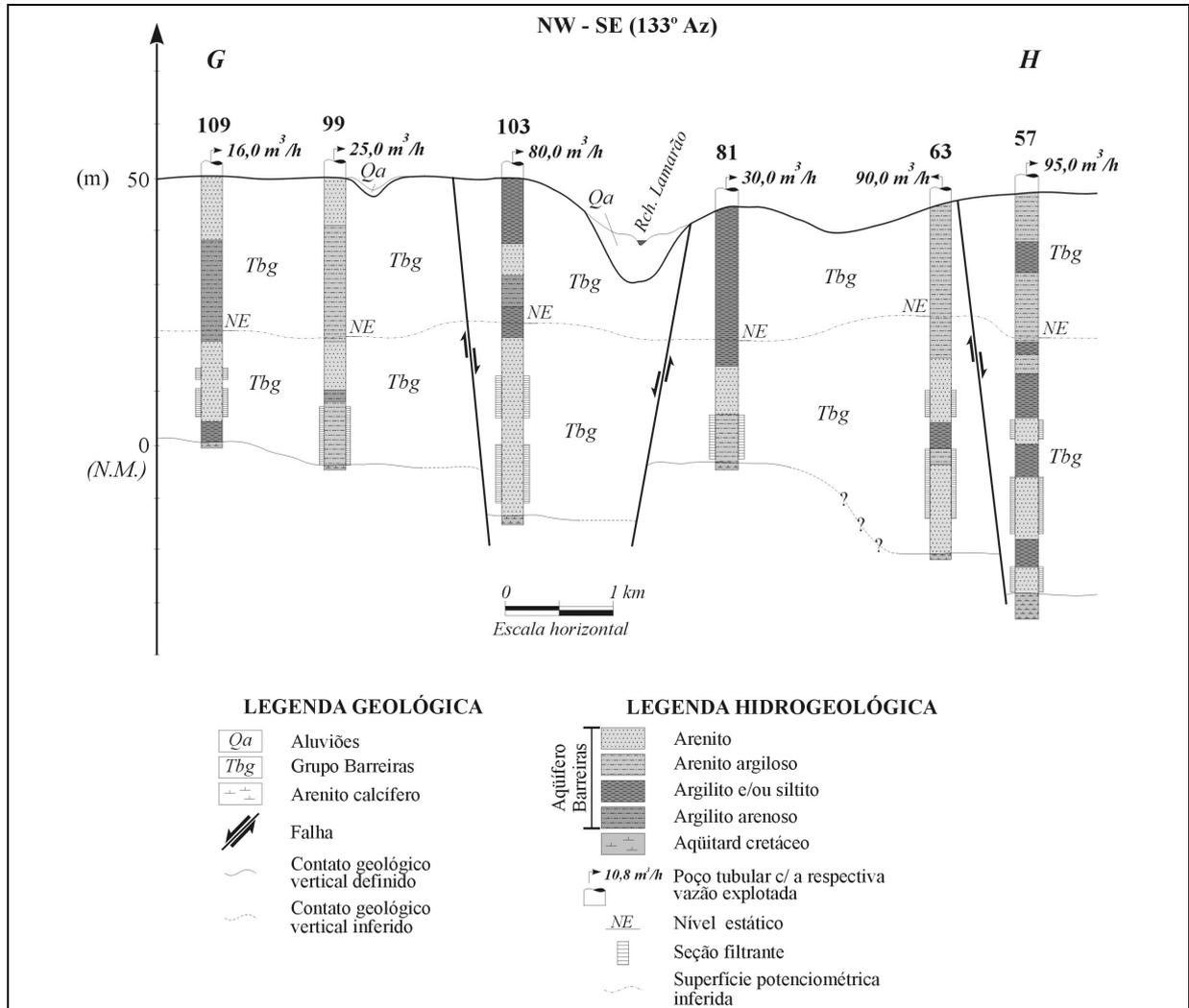


Figura 5- Exemplo da influência da estruturação regional nas descargas de poços tubulares locais; NW de Parnamirim-RN

Figure 5- Example of regional structural influence on well yielding (NW from Parnamirim-RN)

Adicionalmente, buscou-se obter um fator de correlação satisfatório entre vazão explorada e espessura saturada ou extensão de seções filtrantes. Neste procedimento, entretanto, não se considerou a influência do gradiente hidráulico nas vazões dos poços, uma vez que se objetivou correlacionar inicialmente a descarga medida e a respectiva espessura local do aquífero, numa área previamente caracterizada em termos de potenciométrica. No tocante a demais parâmetros que, de uma maneira ou outra, influem diretamente na relação ora estudada, destaca-se a disposição vertical das captações, ou seja, se estas seccionam ou não todo o Grupo Barreiras, bem como a extensão vertical das seções filtrantes. Estas últimas acham-se implicitamente

associadas com a proporção argilas/areias, já que horizontes mais argilosos normalmente não são revestidos por filtros.

Dentro deste contexto, um resultado mais refinado foi alcançado ao se restringir os poços analisados apenas àqueles que seccionam todo o Grupo Barreiras (considerando as extensões dos filtros), com 8 polegadas de diâmetro de revestimento e pertencentes a uma única empresa de perfuração, no caso a CAERN (perfazendo uma população de 15 captações). Neste caso, o coeficiente de correlação obtido foi de 0,798 (Figura 6).

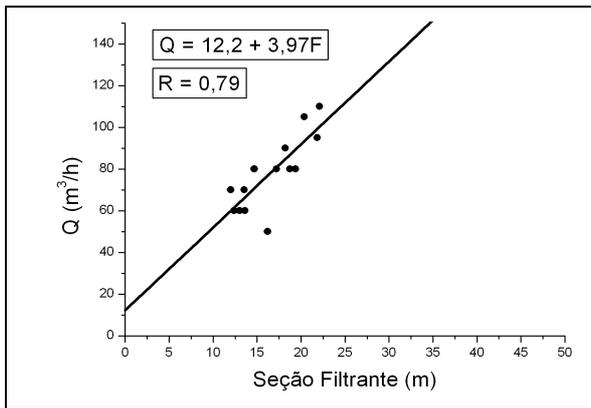


Figura 6- Representação gráfica da relação “extensão de seções filtrantes x vazão”; população analisada: 15 poços (8”) que seccionam todo o Grupo Barreiras

Figure 6- Relationship between filter length and well yielding. Data from 15 wells (8” diameter) drilled in Barreiras Group

O CONTROLE ESTRUTURAL DO FLUXO SUBTERRÂNEO

A presença de um alto potenciométrico imediatamente a norte da Lagoa do Bonfim, motivou a realização de levantamentos específicos na área de fronteira entre o sistema lacustre do Bonfim e a bacia do Rio Pirangi. Este

alto potenciométrico representa uma importante fonte de recarga do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi, conforme a potencimetria da área (ver Figura 3), sugerindo uma conexão hidráulica subterrânea entre os dois sistemas. Estes estudos foram conduzidos partindo-se da caracterização geológica e hidrológica da área, além da execução de um levantamento geo-elétrico, envolvendo 4 sondagens elétricas (sondagens elétricas 11, 12, 13 e 14; ver localização no mapa da Figura 2).

As sondagens geo-elétricas (Figura 7) revelaram valores de resistividades da ordem de 50 a 600 Ohm.m, respectivamente para porções mais argilosas e arenosas do aquífero, com base em calibrações geo-elétricas prévias na área. As sondagens apresentaram ainda proeminente influência da camada condutiva basal, com resistividades da ordem de 40 a 80 Ohm.m, associada ao Aquitardo Cretácico (embasamento hidrogeológico do Aquífero Barreiras). Tal influência possibilitou o modelamento matemático das espessuras do aquífero em cada ponto de sondagem, bem como da porção não saturada (com resistividades superiores a 1000 Ohm.m).

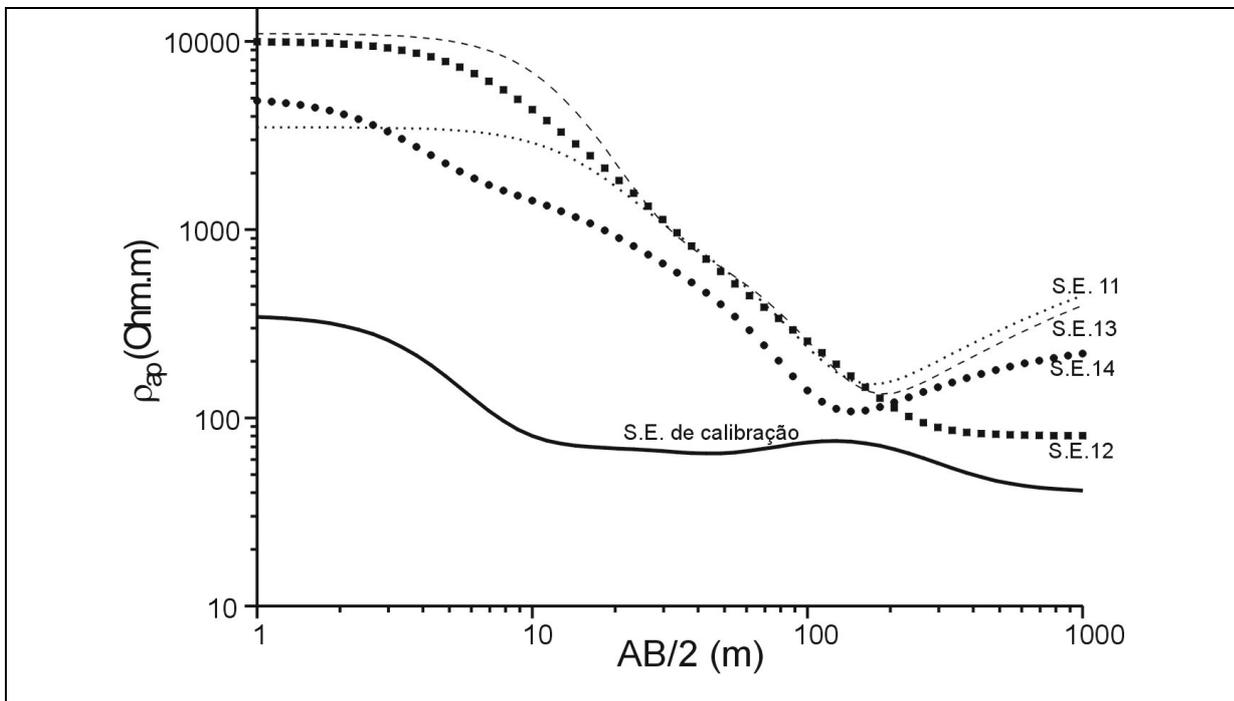


Figura 7- Sondagens elétricas executadas entre o sistema lacustre do Bonfim e a bacia do Rio Pirangi
Figure 7-Electrical soundings carried out between the Bonfim lake and the Pirangi river basin

As evidências do alinhamento morfotectônico situado entre o Sistema Bonfim e a bacia do Rio Pirangi (ver Figura 2) como sendo decorrente de falhamentos, decorreu da caracterização de rejeitos verticais. Estes últimos

foram caracterizados através da composição de uma seção hidrogeológica (Figura 8), interpretada a partir dos dados geo-elétricos e situada paralelamente ao limite entre a Lagoa do Bonfim e o Riacho Pium (com lagoa homônima).

O corte hidrogeológico/geo-elétrico resultante evidenciou um abatimento do substrato carbonático mesozóico do Grupo Barreiras, e conseqüente aumento brusco da espessura do aquífero homônimo, da ordem de até 70 m, disposto transversalmente ao limite entre a Lagoa do Bonfim e a bacia do Rio Pirangi.

Este movimento de blocos ocasionou, além do aumento de espessura do aquífero neste bloco central, a configuração de barreiras laterais semi-impermeáveis, constituídas pelo substrato

carbonático do Grupo Barreiras (Aqüitardo Cretácico), resultando em limites subterrâneos localizados e canalizando parte do fluxo subterrâneo no sentido do Riacho Pium (bacia do Rio Pirangi). Este fluxo teria sua origem relacionada com a ocorrência de cotas potenciométricas relativamente maiores nas proximidades da Lagoa do Bonfim (ver Figura 3), fato este incrementado durante e logo após o período chuvoso da região (abril a agosto).

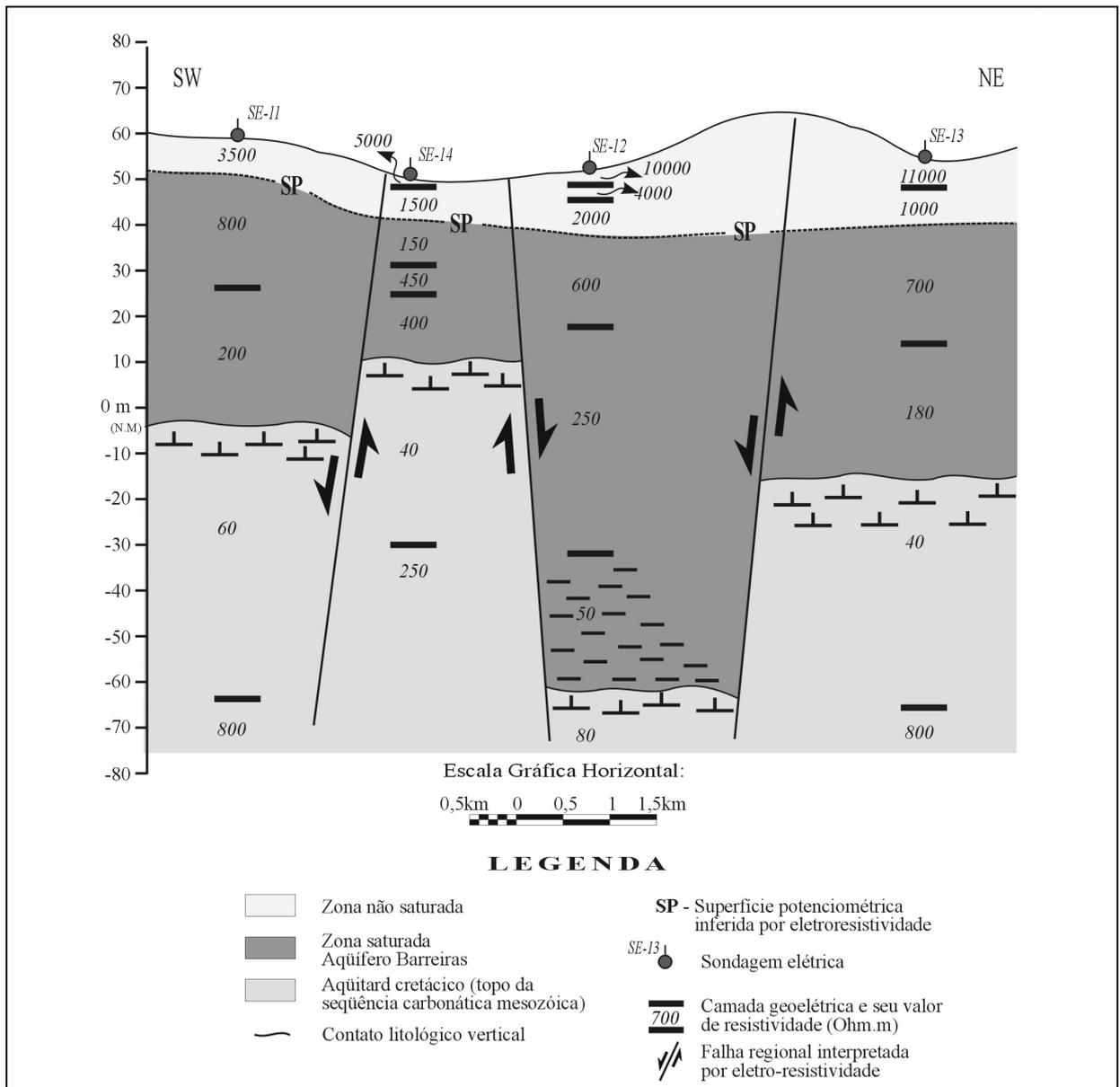


Figura 8- Seção hidrogeológica, interpretada a partir de dados geo-elétricos (ver localização no mapa geológico da Figura 2). As partes tracejadas do Aquífero Barreiras indicam horizontes com maior percentual argiloso
 Figure 8- Hydrogeological section interpreted after electrical sounding data (see location on figure 2 – geological map). Traced area show clay rich horizons of Barreiras aquiife

Outros aquíferos de caráter hidráulico semelhante podem, inclusive, evidenciar uma “canalização” praticamente total do fluxo, numa situação extrema de rebaixamento regional do

nível freático. Neste caso, o fluxo em meio poroso estaria direcionado tão somente sobre os locais de abatimento do substrato semi-impermeável ou impermeável (grabens locais).

Outra situação possível neste mesmo contexto seria a total delimitação de uma porção do aquífero, em caráter bastante localizado, limitado igualmente por barreiras laterais e substrato semi-impermeável ou impermeável. Estas condições, todavia, não devem ser esperadas para a área da bacia do Rio Pirangi, visto que envolveria rebaixamentos regionais bastante elevados e incompatíveis, até o momento, com a realidade hidrogeológica do Aquífero Barreiras na região.

INFLUÊNCIAS DA ESTRUTURAÇÃO NO MAPA POTENCIOMÉTRICO

As influências do arcabouço estrutural, ao qual um aquífero poroso está submetido, refletem-se num mapa potenciométrico principalmente na disposição das linhas equipotenciais. Esta observação decorre, sobretudo, da cinemática dos falhamentos que atingem e moldam tanto o relevo superficial como também o substrato do aquífero, resultando em variações da carga potenciométrica ao longo de uma área considerada. Desta forma, depressões estruturais na forma de *grabens* correspondem a reduções da respectiva carga potenciométrica (CASTANY, 1975). As falhas desempenham ainda um papel de barreiras subterrâneas naturais, tendo em vista que põem em contato horizontes estratigráficos com diferentes condutividades hidráulicas, inclusive com horizontes semi-impermeáveis a impermeáveis, conforme discutido no tópico anterior. Somado a isso, ressalta-se que as linhas de fluxo sofrem refração ao passar de um limite entre meios de diferentes condutividades hidráulicas (TODD, 1959). Todas estas feições repercutem num mapa potenciométrico mediante alterações bruscas no espaçamento ou inflexões das curvas equipotenciais.

O estudo de tais feições no mapa potenciométrico do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi foi realizado, sobrepondo-se a estas informações do arcabouço estrutural regional, conforme observado na figura 9.

A principal destas feições observadas diz respeito à disposição e espaçamento das equipotenciais 32 e 28 na altura da localidade de

Pium de Cima (SW do mapa). Considerando-se um fluxo subterrâneo uniforme, os maiores espaçamentos entre as equipotenciais denotam condutividades hidráulicas maiores (TODD, 1959) e, conseqüentemente, um incremento da transmissividade. De fato, esta anomalia na potencimetria local está associada com a configuração de um pequeno *graben* situado imediatamente à oeste da Lagoa de Pium. Este bloco estrutural revelou espessuras saturadas da ordem de 100 m, o que, em última análise, incidisse no mapa potenciométrico na forma de um espaçamento substancialmente maior entre as referidas equipotenciais.

Outro aspecto não menos importante diz respeito à presença de inflexões das equipotenciais, de caráter bastante localizado, nas imediações de falhamentos. Estas anomalias decorrem do controle estrutural das drenagens superficiais da bacia (ver tópico 4) e da condição de efluência da rede fluvial em relação ao Aquífero Barreiras. Espera-se que pelo menos uma parte desta contribuição subterrânea deva ser creditada à cinemática das estruturas regionais, através do posicionamento resultante de horizontes com melhor condutividade hidráulica favoravelmente ao fluxo subterrâneo e no sentido dos canais fluviais. Estas características podem ser melhor observadas nos riachos Ponte Velha, Tordada e Pium. Por outro lado, seções da coluna estratigráfica imediatamente adjacentes a falhamentos podem dispor de sedimentos mais grosseiros e decorrentes das próprias falhas e suas respectivas reativações. Neste caso, pode-se observar um desvio positivo e localizado da transmissividade hidráulica, além de uma zona de alívio de pressão. Esta configuração pode ocasionar uma “convexidade” na superfície potenciométrica, além de que determinado falhamento pode estar atuando como conduto de ligação entre os contextos hidrogeológicos mesozóicos e cenozóicos. A sede municipal de Parnamirim, coincidente com uma zona de recarga do Aquífero Barreiras, apresenta-se como uma área de ocorrência desta conjunção de fatores, uma vez que se situa sobre a interseção de duas falhas, ambas de caráter profundo na crosta (LUCENA et al., 1999).

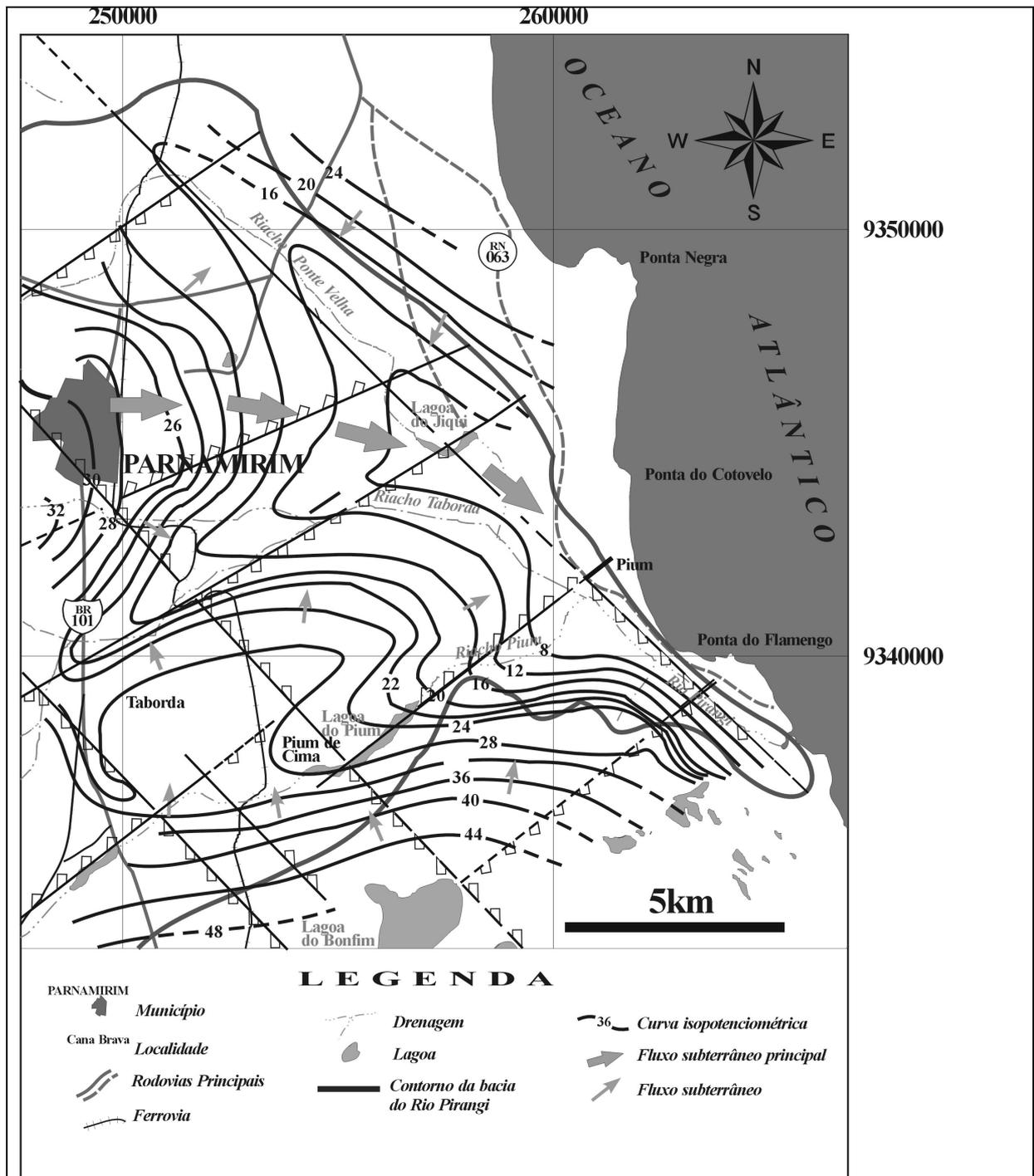


Figura 9- Potenciometria do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi e o esboço da estruturação regional

Figure 9- Potentiometric map of Barreiras aquifer in the oriental sector of Pirangi river basin and the aquifer regional structuring

A OTIMIZAÇÃO DO CÁLCULO DE RESERVAS PERMANENTES

A avaliação de reservas hidrogeológicas em áreas extensas (no caso uma bacia hidrográfica) e, sobretudo, sob proeminente controle estrutural, pode revelar valores que devem ser aceitos com ressalvas, já que, tradicionalmente, adota-se um valor médio que se imagina ser representativo da espessura do aquífero em toda a área explorada. Nesse contexto, um cálculo mais consistente de reservas permanentes foi efetuado, considerando

as variações de espessuras saturadas ao longo da área pesquisada, decorrente da evolução tectono-estrutural regional. Dessa forma, o setor oriental da bacia do Rio Pirangi (231,02 km²), foi subdividido em blocos estruturais delimitados por alinhamentos morfotectônicos ou falhamentos, além dos próprios limites da referida bacia hidrográfica (Figura 10). Somado a isso, para cada bloco estrutural foi adotado um valor representativo de espessura saturada (conforme

mapa da Figura 4). As reservas permanentes foram então calculadas da seguinte forma:

$$V_{s\text{ TOTAL}} = \sum A_n \cdot b_n \cdot \eta_e \quad (I)$$

Onde: V_s = volume de saturação/reservas permanentes (m^3);

N_a = subárea de ocorrência do aquífero (m^2);
 B_n = espessura média saturada do aquífero na subárea considerada (m);
 η_e = porosidade efetiva média do aquífero.

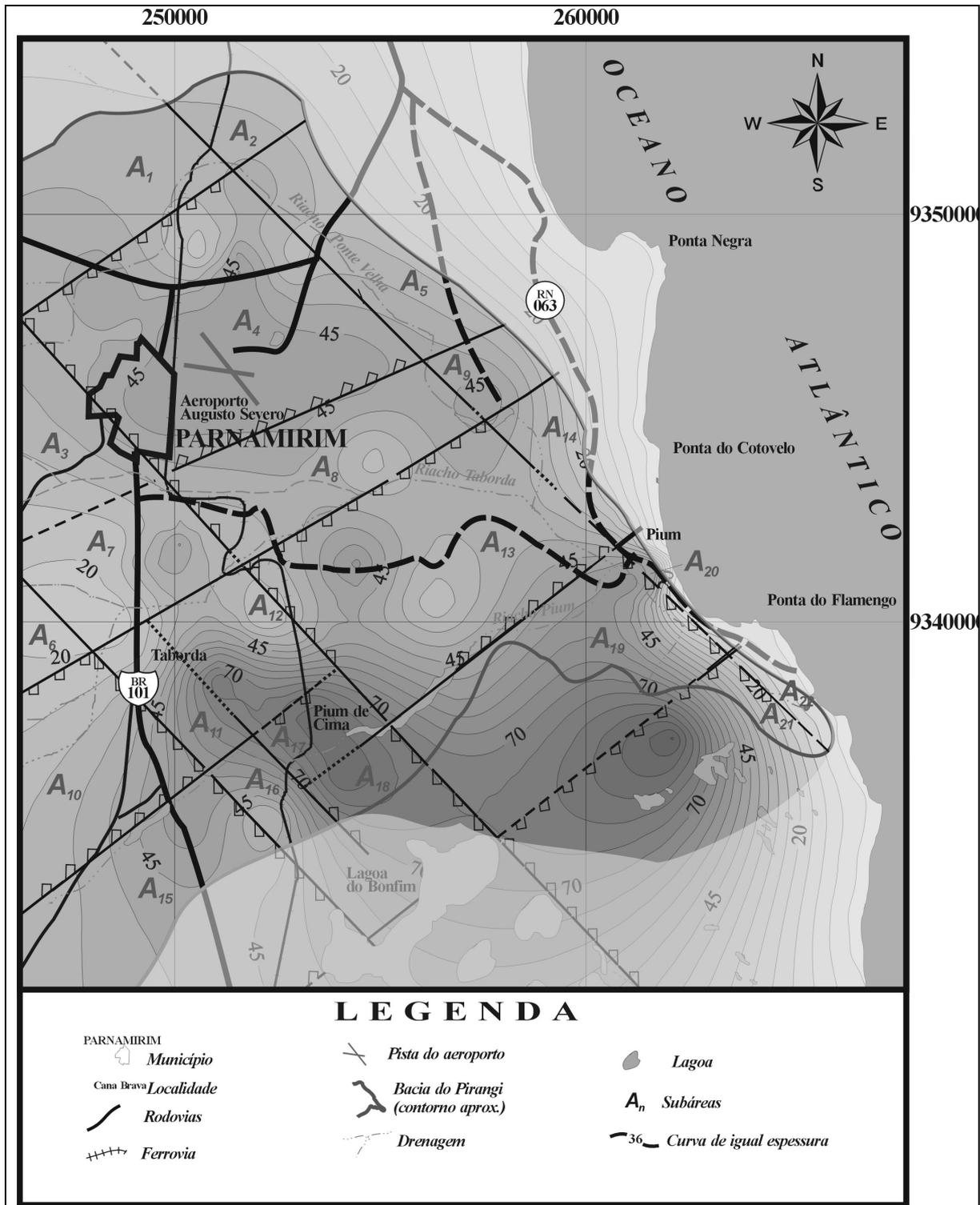


Figura 10- Subdivisão do setor oriental da bacia do Rio Pirangi em blocos estruturais, associada com o mapa de espessura saturada do Aquífero Barreiras e o esboço da estruturação regional.

Figure 10- structural blocks of the Barreiras aquifer (oriental sector of the Pirangi river basin) combined with its saturated thickness and regional structural features

De acordo com os procedimentos ora explicitados, foram individualizadas 22 subáreas no setor oriental da bacia do Rio Pirangi. Os respectivos parâmetros relativos ao cálculo das reservas permanentes de cada bloco são apresentados na tabela 2, considerando uma porosidade efetiva média do aquífero de 10%.

Tabela 2- Parâmetros obtidos relativos ao cálculo das reservas permanentes de cada subárea no setor oriental da bacia do Rio Pirangi

Table 2- Parameters related to groundwater permanent reserves calculation of each subarea into the oriental sector of Pirangi river basin

SUB-ÁREAS	PARÂMETROS OBTIDOS		
	A_n (x 10^6 m ²)	B_n (m)	$V_{s,n}$ (x 10^6 m ³)
1	14,74	35	51,59
2	4,83	35	16,90
3	9,59	35	33,56
4	37,65	45	169,42
5	11,87	35	41,54
6	2,53	20	5,06
7	12,81	30	38,43
8	16,76	40	67,04
9	3,85	40	15,4
10	16,11	35	56,38
11	5,60	50	28,0
12	9,65	50	48,25
13	33,04	40	132,16
14	5,19	30	15,57
15	16,60	40	66,4
16	4,18	50	20,9
17	4,80	75	36,0
18	3,46	75	25,95
19	12,68	45	57,06
20	1,19	25	2,97
21	2,36	30	7,08
22	1,53	15	2,29
TOTAL	231,02	-	937,95

O desenvolvimento e incremento desta metodologia poderia ainda considerar variações do parâmetro porosidade efetiva ao longo da área explorada, por intermédio de múltiplos testes de aquífero. Este procedimento possibilitaria a elaboração de um zoneamento em termos da capacidade de armazenamento, acrescentando uma coluna na tabela 3, respeitando a heterogeneidade do aquífero.

OUTROS ASPECTOS DE CARÁTER REGIONAL

As influências dos falhamentos no contexto hidrogeológico da faixa litorânea leste do Estado podem apresentar duas outras conseqüências que, dado à complexidade envolvida, não integraram o escopo desta pesquisa. Embora tais relações necessitem de estudos específicos, alguns comentários sobre o assunto foram efetuados, com o objetivo de situá-los no contexto geral do presente estudo.

A primeira conseqüência, não caracterizada na área, envolve a ocorrência de condutividades hidráulicas relativamente elevadas, de provável natureza fissural, associada a reativações de estruturas antigas do embasamento cristalino e da coluna sedimentar mesozóica. Este fato é relatado por Feitosa (1997), com base nas informações de dois poços da CAERN na cidade de Goianinha-RN (distanto cerca de 20 km do limite sul da área ora mapeada). Estes poços revelaram elevadas transmissividades, com descargas da ordem de 50-60 m³/h, se comparadas com valores de outras captações posteriormente efetuadas nas proximidades, que acusaram reduzidas espessuras do Grupo Barreiras (14-21 m) e conseqüente baixa produtividade. Tais valores anômalos de transmissividade são atribuídos por Feitosa (1997) a uma provável interceptação de zonas fraturadas no arenito calcífero (topo da coluna sedimentar mesozóica) pelas captações, apesar das locações terem sido realizadas de forma quase aleatória na época. Feitosa (1997) ressalta ainda a possibilidade de captações futuras serem realizadas em zonas de falha do substrato do Aquífero Barreiras, sobretudo onde este último não se mostrar satisfatoriamente produtivo.

A segunda influência diz respeito à relação de alguns falhamentos com a origem de cunhas salinas ao longo da linha de costa. Em geral, as cunhas salinas ocorrem em caráter local, não se estendendo por grandes extensões. Neste aspecto, as falhas podem se constituir em caminhos preferenciais para a contaminação do aquífero, por água salgada, no caso de elevada

exploração de poços perfurados nas proximidades de tais falhamentos.

Na zona costeira da área, uma complexa estruturação encontra-se afetando sedimentos saturados do Aquífero Barreiras, conforme abordado nos tópicos anteriores. Dentre estas estruturas, pelo menos uma merece especial atenção, uma vez que foi verificada a ocorrência de poços salinizados (normalmente com profundidades não superiores a 50 m) nas suas proximidades, no local em que esta atinge a linha de costa. Tal observação foi conferida na altura da Praia de Barreta (sul da área da bacia do Rio Pirangi), envolvendo o falhamento de direção NW do Riacho Boa Cica e que afeta os *beachrocks* locais, tendo como base informações (à respeito das captações) de moradores da área. Este fato, embora careça de confirmação técnico-científica e de estudos mais aprofundados, revela indícios de que determinados falhamentos, principalmente aqueles de regime distensional ou transtensional, estejam condicionando a instalação de cunhas salinas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de uma metodologia multidisciplinar, com base nas análises de dados geológicos, hidrogeológicos e geo-elétricos, mostrou-se não apenas eficiente, mas fundamental na avaliação das influências da estruturação regional no contexto de um aquífero sedimentar. Os resultados ora obtidos, no âmbito do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi, evidenciaram um amplo controle estrutural nos mais diversos aspectos deste contexto hidrogeológico. As variações na geometria do aquífero, decorrentes de falhamentos, representam a principal destas influências e originam, direta ou indiretamente, todas as outras implicações estudadas como o controle estrutural do fluxo subterrâneo, anomalias de equipotenciais no mapa potenciométrico, dentre outras.

Estas variações de espessuras saturadas, refletidas proporcionalmente nas vazões

exploradas dos poços locais, mostraram-se preponderantes neste aspecto, inclusive em relação a outros fatores como a composição litológica e condutividade hidráulica. A análise matemática efetuada neste contexto, correlacionando vazões exploradas e espessuras saturadas ou extensões de seções filtradas, evidenciou que ao se uniformizar nesta relação alguns parâmetros influentes nessas descargas, obtém-se um incremento dos respectivos fatores de correlação. Dentre tais parâmetros destacam-se diâmetros de revestimento, uniformidade nas descrições de amostras e conseqüente melhor definição de horizontes mais arenosos/filtrados e a disposição vertical da captação em relação à base do aquífero. Um estudo prévio dessa natureza possibilitaria, então, a obtenção de uma estimativa para a produção de captações futuras numa dada área de pesquisa, além de subsidiar os próprios projetos dos poços.

Entretanto, a maior produtividade dos poços não deve ser entendida tão somente como resultado dos aumentos de espessuras saturadas, provocados por falhamentos locais. Estas variações positivas de espessuras saturadas aumentam, sim, a probabilidade de captação de horizontes mais transmissivos hidráulicamente, decorrente do acúmulo de sedimentos mais arenosos, considerando uma parte do condicionamento tectono-estrutural regional sincrônico com a deposição do Grupo Barreiras.

A metodologia do cálculo de reservas, particularmente, efetuada à sombra da compartimentação estrutural do aquífero, apesar de ainda carecer de aperfeiçoamento, eleva-se em importância na medida que possibilita aos órgãos governamentais gestores otimizar o planejamento e utilização sustentável de aquíferos sedimentares porosos. Esta mesma importância estende-se aos demais aspectos ora estudados, devendo integrar os mais diversos projetos na área de recursos hídricos subterrâneos e superficiais em terrenos sedimentares sob proeminente controle tectono-estrutural.

REFERÊNCIAS

- BEZERRA, F.H.R.; LUCENA, L.R.F.; SAAD, A.; MOREIRA, J.A.M.; LINS, F.A.P.L.; NOGUEIRA, A.M.B.; MACEDO, J.W.P.; 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, 1984. Bol. 12: p. 317-321.
- CASTANY, G. **Prospección y explotación de las aguas subterráneas.** Barcelona: Ed. Omega, 1975. 738 p.
- CORIOLOANO, 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, 1997, Lençóis. **Anais...** Lençóis-BA: SBG, 1997. p. 67-70.
- COSTA, W.D. **Estudos hidrogeológicos de Natal-RN.** Natal: CAERN-Gov/RN, 1971. P. 20-54. Relatório técnico.
- FEITOSA, E.C. **Plano estadual de recursos hídricos do Rio Grande do Norte - os recursos hídricos subterráneos.** Natal: SRH-Gov/RN, 1997. V. 1, 96 Relatório diagnóstico, Hidroservice Engenharia Ltda.
- IPT. **Estudo hidrogeológico regional detalhado do Estado do Rio Grande do Norte.** Natal: SIC-Gov/RN, 1982. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. 389 p. Relatório técnico IPT nº 15.795.
- LUCENA, L.R.F.; OLIVEIRA, S.K.; MEDEIROS, W.E. Condicionamento estrutural sobre o Aquífero Barreiras e Sistema Lacustre do Bonfim, Nísia Floresta-RN. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRASILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, VI., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBGf, 1999. 1 CD-ROM.
- 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 Subterráneas**, São Paulo, v. 1, nº 15, p. 81-88, 1996.
- TODD, D. K. **Ground water hydrology.** New York: John Wiley & Sons, 1959. 319 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EMPARN e CAERN pelo apoio logístico fornecido durante os levantamentos de campo e aos pesquisadores Dr. Walter E. Medeiros e Dr. Emanuel Ferraz Jardim de Sá (PPGG-UFRN), respectivamente, pelas sugestões nos estudos geofísicos e caracterização estrutural regional.

