

# Configuração hidrogeológica do sistema aquífero Dunas/Barreiras na zona norte de Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

## Hydrogeologic configuration of the Dunas/Barreiras aquifer system in the north zone of Natal City, Rio Grande do Norte, Brazil

Mickaelon Belchior Vasconcelos<sup>I</sup>, José Geraldo de Melo<sup>II</sup>, José Geilson Alves Demétrio<sup>III</sup>

<sup>I</sup>CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza, Ceará, Brasil

<sup>II</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

<sup>III</sup>Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil

**Resumo:** A zona norte de Natal destaca-se pela ocupação habitacional iniciada na década de 1970, modificando suas características de área agrícola para uma área urbanizada. As águas subterrâneas representam aproximadamente 44% do suprimento hídrico local, com captações do sistema aquífero Dunas/Barreiras. Em decorrência da importância das águas subterrâneas, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de obter a configuração da estrutura hidrogeológica do aquífero Dunas/Barreiras, identificando espessuras saturadas, direções de fluxo e condicionamento geológico por meio das seguintes atividades: i) a aquisição de perfis de poços tubulares perfurados na área de estudo; ii) análise de trabalhos anteriores, com informações dos parâmetros hidrodinâmicos; iii) etapas de campo para a verificação do condicionamento geológico; iv) coleta de dados de nível estático; v) perfuração de um poço de pesquisa. A integração dos dados obtidos identificou prováveis processos tectônicos na área de estudo, bem como a configuração da estrutura geológica da área. O fluxo das águas subterrâneas mostrou-se homogêneo entre o ano de 1997 e 2008, apresentando um contorno similar das cargas potenciométricas e, conseqüentemente, as mesmas direções de fluxos.

**Palavras-chave:** Sistema aquífero Dunas/Barreiras. Hidrogeologia urbana. Configuração hidrogeológica.

**Abstract:** The residential occupation of the north zone of Natal city began in the 1970's, changing the characteristics of the agricultural area to an urbanized area. Groundwater represents approximately 44% of the local freshwater reserves, supplied by the aquifer system Dunas/Barreiras. Due to the importance of the groundwater, this study was developed in order to get the configuration of the hydrogeological structure of the Dunas/Barreiras aquifer by the identification of its saturated thickness, the flow directions and geologic conditioning through the following activities: i) the acquisition of depth profiles on wells drilled in the study area; ii) analysis of previous works with information from the hydrodynamic parameters; iii) field steps to verify the geological conditioning; iv) collecting of static level data; v) drilling of a research well. The data integration have identified the possible tectonic processes operating in the study area, as well the configuration of the geological structure. The groundwater flow was found to be homogeneous between the years 1997 and 2008, presenting an outline similar loads potentiometric and hence the same flow patterns.

**Keywords:** Dunas/Barreiras aquifer system. Urban groundwater. Configuration hydrogeologic.

---

VASCONCELOS, M. B., J. G. MELO & J. G. A. DEMÉTRIO, 2015. Configuração hidrogeológica do sistema aquífero Dunas/Barreiras na zona norte de Natal, Rio Grande do Norte, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 10(1): 145-158.

Autor para correspondência: Mickaelon Belchior Vasconcelos. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Av. Antônio Sales, 1418 – Joaquim Távora. Fortaleza, CE, Brasil. CEP 60135-101 (mickvasconcelos@yahoo.com.br).

Recebido em 26/09/2014

Aprovado em 13/04/2015

Responsabilidade editorial: Hilton Tulio Costi



## INTRODUÇÃO

Com uma população de aproximadamente 300.000 habitantes (Natal, 2007, com modificações), a zona norte da cidade de Natal (Figura 1) teve sua ocupação habitacional iniciada na década de 1970. Nessa área, as águas subterrâneas representam aproximadamente 44% do seu suprimento hídrico, sendo captadas do sistema aquífero Dunas/Barreiras.

Um dos primeiros estudos desenvolvidos sobre a hidrogeologia da cidade de Natal foi o elaborado por Costa (1970), a área estudada foi de aproximadamente 100 km<sup>2</sup>, cobrindo praticamente toda a zona sul da cidade. O trabalho admitiu a existência de duas unidades aquíferas: uma superior, do tipo livre, representada pelas dunas; e uma inferior, semiconfinada, correspondente aos arenitos do Grupo Barreiras. De acordo com o estudo, as águas subterrâneas da cidade, captadas do aquífero Barreiras, foram utilizadas para o consumo humano por várias décadas, sem apresentar nenhuma contraindicação quanto à potabilidade.

Melo (1998) desenvolveu estudos direcionados a esta área, abordando avaliação de risco das águas subterrâneas, considerando a existência das três unidades litostratigráficas

A presença de falhamentos na região do litoral do Rio Grande do Norte foi evidenciada em diversos trabalhos, como nos de Salim *et al.* (1974), Melo *et al.* (1988), Feitosa *et al.* (2002) e Lucena *et al.* (2002, 2013). Estes estudos apresentam processos dinâmicos da

tectônica da área, suficientes para gerar discontinuidades nos estratos geológicos. Na bacia hidrográfica do rio Ceará-Mirim, no limite norte da área, Diniz Filho & Barroso (2002) identificaram diversos falhamentos geológicos, gerando baixos e altos estruturais. Foram identificadas lentes e/ou intercalações argilosas, que, em relação aos aquíferos, favorecem a ocorrência de semiconfinamentos e confinamentos localizados (Vasconcelos, 2010).

A estrutura urbana existente na zona norte de Natal contribui de forma negativa para a distinção das unidades litostratigráficas e lineamentos geológicos, pois a urbanização recobre afloramentos e prováveis lineamentos, que seriam visíveis por meio de geoprocessamento de imagens. A identificação da configuração hidrogeológica é essencial para subsidiar a integração de informações sobre os aquíferos considerados.

Este trabalho possui o objetivo de apresentar a configuração da estruturação hidrogeológica do sistema aquífero Dunas/Barreiras, situado na zona norte de Natal, tendo como base as definições das unidades litostratigráficas, espessuras saturadas do sistema aquífero e direções de fluxo das águas subterrâneas.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho representa parte da tese de doutorado elaborada por Vasconcelos (2010). O desenvolvimento do

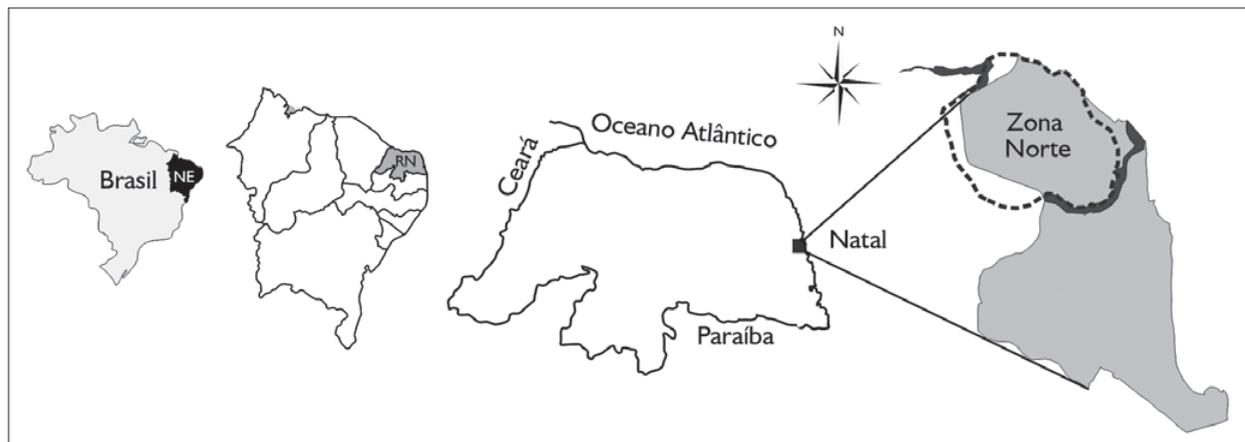


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

mesmo envolveu a aquisição de perfis de poços tubulares, fornecidos por empresas perfuradoras de poços. Também foi realizada uma análise dos trabalhos anteriores, com informações dos parâmetros hidrodinâmicos, etapas de campo para a verificação do condicionamento geológico, coleta de dados de níveis estáticos em poços, e perfuração de um poço para aferição dos dados litológicos.

## RESULTADOS

### ESPESSURAS DO SISTEMA AQUIFERO DUNAS/BARREIRAS

A determinação das espessuras do sistema aquífero Dunas/Barreiras foi elaborada com a análise de 34 perfis construtivos e litológicos de poços existentes na área de estudo.

Os poços utilizados e analisados neste trabalho possuem diâmetros que variam entre 8 e 14 polegadas, sendo comuns os com 12 polegadas, com profundidades variando de 53 a 99 m, e média de 70 m. As seções filtrantes dos poços estão localizadas, em sua maioria, a partir de 45 m de profundidade, possuindo uma espessura de cimentação variando entre 12 e 20 m, a partir da superfície do terreno.

Em decorrência da não demarcação do contato entre o topo do Grupo Barreiras com a base dos sedimentos de dunas, e ausência de diferenciação da carga hidráulica entre as duas unidades aquíferas, foi adotada a nomenclatura 'sistema aquífero Dunas/Barreiras'.

A partir dos perfis litológicos de poços totalmente penetrantes no sistema aquífero Dunas/Barreiras, foram elaborados os seguintes mapas temáticos:

- Espessura total (EBa): representa a espessura desde o topo até a base do sistema aquífero Dunas/Barreiras;
- Espessura saturada (ESa): representa a espessura saturada do sistema aquífero Dunas/Barreiras;
- Espessura saturada efetiva (ESe): é a espessura saturada total do sistema aquífero, excluindo-se os níveis com argila.

Para a interpolação dos dados, foi utilizado o método de 'kriging', sendo efetuadas algumas edições nas isolinhas resultantes. Na Tabela 1, são apresentados os dados utilizados para a elaboração dos mapas temáticos das diferentes espessuras.

A partir da integração dos dados de espessura saturada e efetiva, verifica-se que o setor localizado na extremidade SE, no bairro de Redinha, apresenta as maiores espessuras saturadas e efetivas do sistema Dunas/Barreiras.

Entre os três mapas analisados do aquífero (EBa, ESa e ESe), verifica-se que a espessura do sistema Dunas/Barreiras (Figura 2) é a variável que apresenta uma maior uniformidade, ou seja, não são constatadas diferenças anômalas representativas nos valores de espessura total.

O mapa de espessura saturada efetiva (Figura 3A) apresenta maior heterogeneidade na continuidade dos isovalores, na região oeste da área, entre os bairros de Nossa Senhora da Apresentação e Golandin. Esta configuração diferenciada, em relação ao mapa de espessura total (Figura 2) e espessura saturada (Figura 3B), está provavelmente relacionada com as heterogeneidades dos níveis argilosos presentes nessas unidades litoestratigráficas.

A diferença das configurações nas espessuras dos mapas apresentados evidencia a heterogeneidade do sistema Dunas/Barreiras, proporcionando uma variação nos dados, principalmente pela presença dos níveis com argila. A base do sistema aquífero Dunas/Barreiras é limitada por rochas carbonáticas.

A análise dos parâmetros hidrodinâmicos foi baseada em dados de trabalhos anteriores. O estudo desenvolvido por Melo (1998) resumiu dados históricos da determinação dos parâmetros hidrodinâmicos da zona norte de Natal (Tabela 2). Os parâmetros hidrodinâmicos médios determinados por Melo (1998) são: transmissividade de  $8,56 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s; condutividade hidráulica de  $1,74 \times 10^{-4}$  m/s; espessura média saturada de 71,7 m.

Tabela 1. Sumarização das informações dos perfis litológicos localizados no sistema Dunas/Barreiras utilizados na elaboração da espessura penetrada (profundidade do poço), espessura total, espessura saturada e espessura saturada efetiva. Meridiano central UTM, -33°; zona 25M.

(Continua)

Poço	UTM-N (m)	UTM-E (m)	Espessura penetrada (m)	Espessura total (m)	Espessura saturada (m)	Espessura saturada efetiva (m)
0586	9362458	250307	67,0	64,0	43,0	22,0
0600	9363140	251318	90,0	84,0	54,35	31,0
0720	9365444	246094	66,0	53,0	22,1	19,0
0584	9363700	250101	69,0	67,5	57,46	41,46
0148	9363726	250501	72,0	70,0	56,0	38,0
0597	9366022	247951	60,0	59,0	36,0	32,0
0598	9362980	247442	78,0	-	47,0	34,0
0599	9362378	247295	82,0	81,0	44,83	24,83
0601	9362726	248052	78,0	76,0	47,0	25,0
0603	9366580	251203	52,0	52,0	42,5	29,5
0607	9365640	251257	64,0	58,0	52,5	40,5
0627	9365140	252574	91,0	91,0	63,6	49,6
0628	9365214	251922	94,0	91,0	52,75	37,0
0629	9365839	252630	85,0	-	59,37	43,37
0596	9365056	247695	56,66	-	39,84	14,66
0595	9362696	247266	78,0	77,0	43,5	25,5
0594	9365388	247545	60,0	59,0	43,28	23,78
0592	9365881	247647	58,5	58,0	38,5	32,0
0591	9365152	247344	53,0	-	40,2	23,7
0582	9363750	249420	75,0	74,0	58,72	23,72
0269	9365594	246644	90,0	-	60,0	27,0
0262	9365286	246428	75,0	-	53,0	30,0
0626	9366294	249569	54,0	54,0	22,6	14,6
0625	9365846	248948	57,0	57,0	38,0	22,0
0620	9366500	250403	61,29	60,0	33,23	21,23
0614	9366085	250798	74,0	73,0	41,0	22,0
0593	9367242	249613	62,0	61,0	43,0	27,0
0590	9367462	249243	58,0	57,0	42,0	35,0
0589	9367696	249002	56,0	55,0	40,77	33,77
0588	9366464	248206	65,0	64,0	40,0	21,0
0587	9366428	248605	66,0	65,0	37,0	25,0
0605	9363095	252202	99,55	99,0	63,46	49,46
41GRM	9368520	249747	52,0	-	44,22	41,22



Tabela 1.

(Conclusão)

Poço	UTM-N (m)	UTM-E (m)	Espessura penetrada (m)	Espessura total (m)	Espessura saturada (m)	Espessura saturada efetiva (m)
PZ-UFRN	9368304	250065	56,0	55,0	51,26	39,26
P-278	9368439	247661	100	57,0	34,0	19,0
PZ-7	9368439	247661	30,0	28,0	26,18	22,0

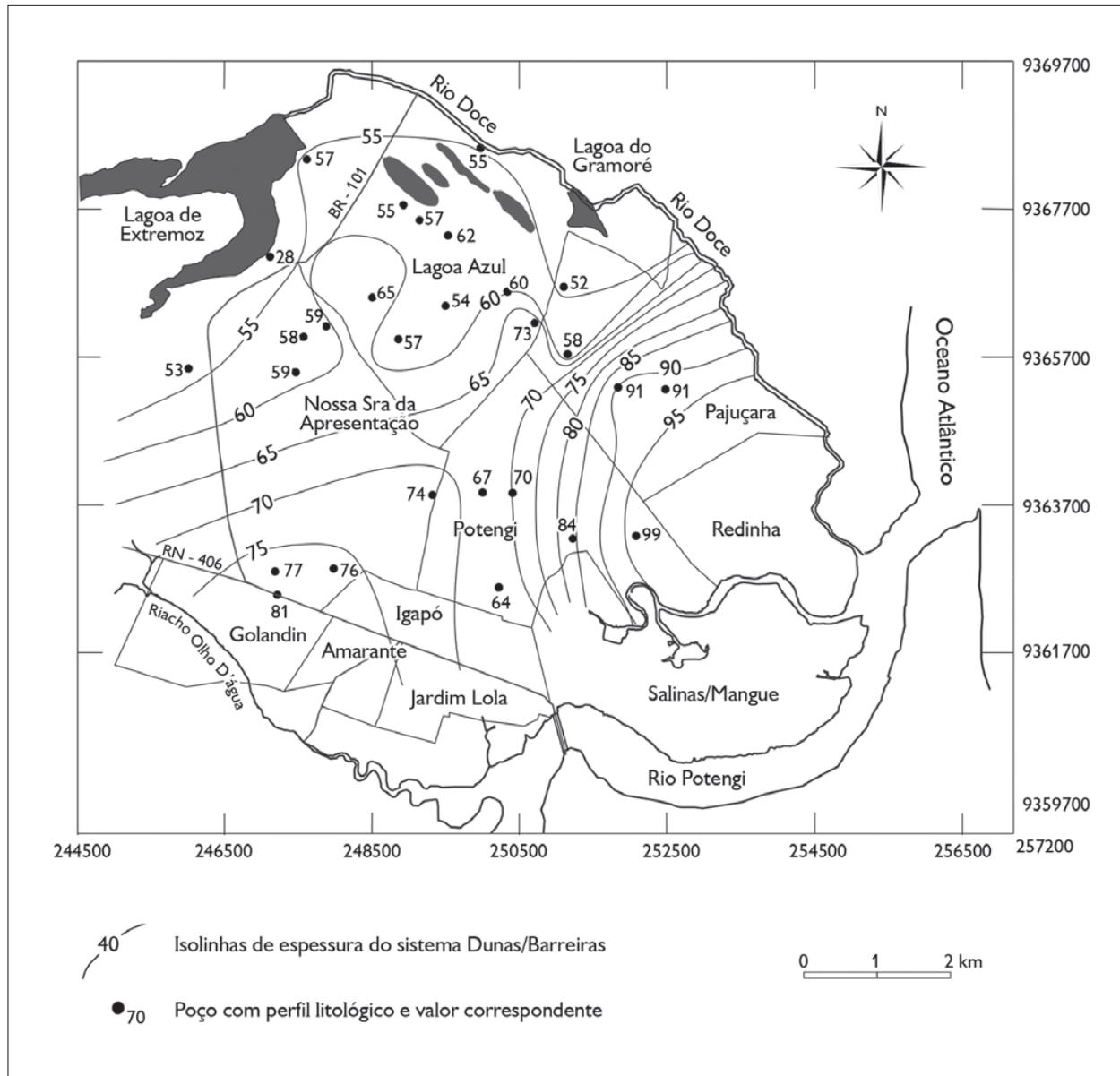


Figura 2. Mapa de espessura total do sistema aquífero Dunas/Barreiras na zona norte de Natal, Rio Grande Norte.

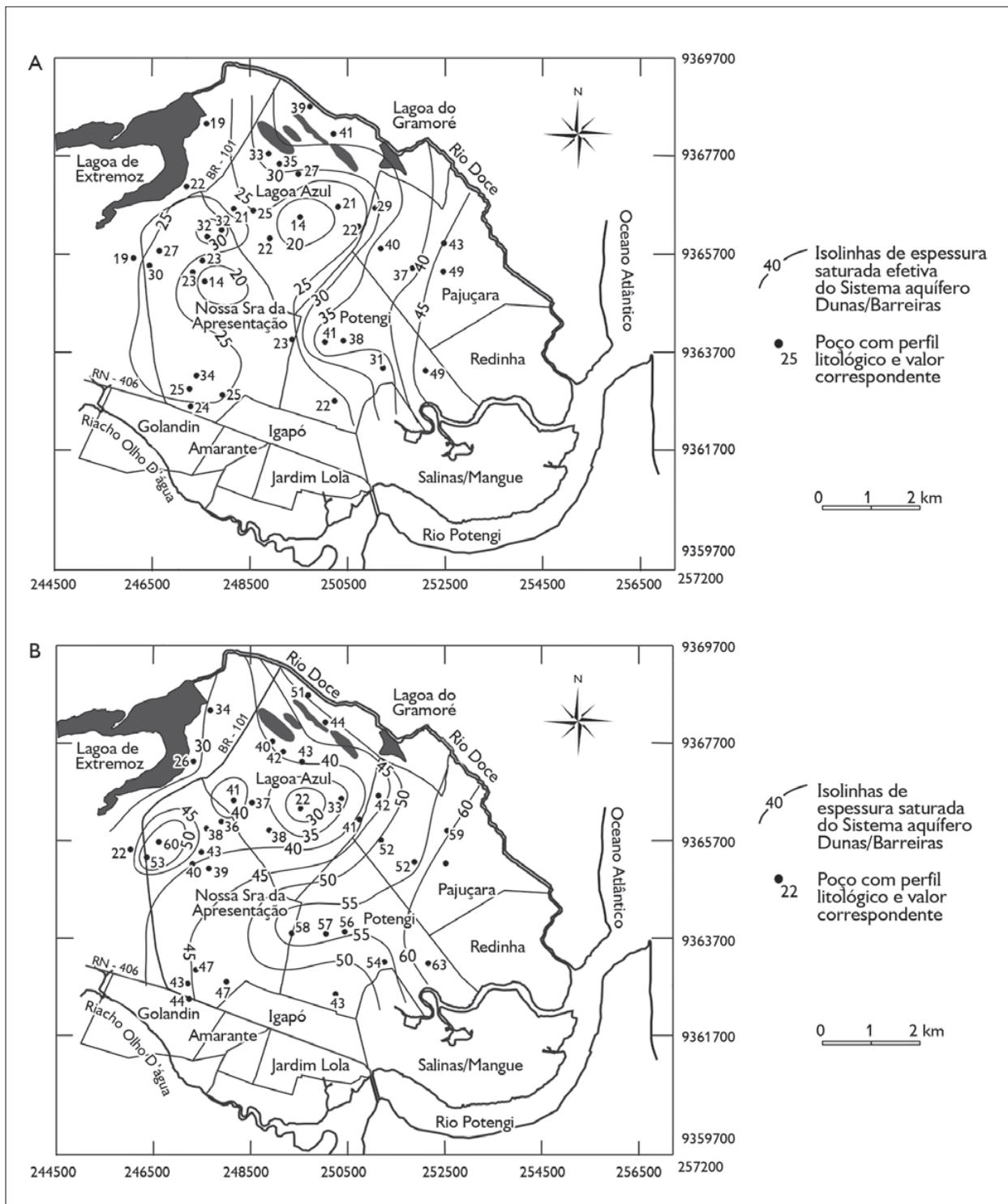


Figura 3. A) Mapa de espessura saturada efetiva; B) espessura saturada total do sistema aquífero Dunas/Barreiras na zona norte de Natal, Rio Grande do Norte.

Tabela 2. Parâmetros hidrodinâmicos do sistema Aquífero/Dunas Barreiras na zona norte de Natal, Rio Grande do Norte (Melo, 1998). Legendas: \* = poços localizados na frente de escoamento norte; T = transmissividade; K = condutividade hidráulica; b = espessura saturada média; Sy = porosidade efetiva.

Poço	Bateria de poços	Local	Parâmetros hidrodinâmicos			
			T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	b (m)	Sy
21*	Redinha	Pajuçara	$1,05 \times 10^{-3}$	$1,90 \times 10^{-5}$	55,0	-
23	Parque dos Coqueiros	Extremoz	$3,70 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-4}$	36,00	-
37*	Nova Natal	-	$1,31 \times 10^{-3}$	$4,60 \times 10^{-5}$	28,00	-
11*	Pajuçara/Gramoré	Pajuçara	$3,00 \times 10^{-2}$	$6,80 \times 10^{-4}$	44,00	0,10
61	Guararapes têxtil	Pólo industrial	$5,17 \times 10^{-3}$	$2,25 \times 10^{-4}$	23,00	-
63	Guararapes têxtil	Pólo industrial	$4,17 \times 10^{-3}$	$1,60 \times 10^{-4}$	26,00	-
64	Guararapes têxtil	Pólo industrial	$4,10 \times 10^{-3}$	$1,80 \times 10^{-4}$	23,00	-
65	Guararapes têxtil	Pólo industrial	$8,50 \times 10^{-3}$	$2,10 \times 10^{-4}$	37,00	-
72	Vicunha	Pólo industrial	$5,30 \times 10^{-3}$	$9,60 \times 10^{-5}$	55,90	-
73	Vicunha	Pólo industrial	$6,40 \times 10^{-3}$	$1,27 \times 10^{-4}$	50,40	-
74	Vicunha	Pólo industrial	$8,20 \times 10^{-3}$	$1,57 \times 10^{-4}$	52,70	-
75	Vicunha	Pólo industrial	$6,80 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-4}$	52,90	-
76	Vicunha	Pólo industrial	$7,50 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-4}$	57,50	-
77	Vicunha	Pólo industrial	$1,20 \times 10^{-3}$	$2,10 \times 10^{-4}$	59,50	-
94*	Nova Natal	Nova Natal	$3,50 \times 10^{-2}$	$1,40 \times 10^{-3}$	24,70	0,10
Média geral			$8,56 \times 10^{-3}$	$1,74 \times 10^{-4}$	41,7	0,10

## CONFIGURAÇÃO DAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Feitosa *et al.* (2002), discutindo as relações estratigráficas e estruturais da bacia Potiguar, citam como as principais feições estruturais no litoral leste dos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba os altos de Touros, Pititinga/Maxaranguape, Ceará-Mirim (no extremo norte) e Mamanguape (no extremo sul). O alto de Mamanguape provavelmente representa a estrutura mais antiga da região, que teria servido como uma barreira ao avanço da sedimentação clástica continental procedente do sul, sendo considerado possivelmente como o limite norte do aquífero Beberibe.

A definição da estrutura geológica poderá adicionar informações quanto ao comportamento das águas subterrâneas, bem como sugerir a origem dos cursos de água de superfície e a existência de determinadas lagoas, ou seja, determinar a interação entre águas superficiais e águas

subterrâneas. A costa leste do estado do Rio Grande do Norte é controlada por alguns falhamentos com direções NE-SW e NW-SE, caracterizadas por movimentos transcorrentes e normais (Bezerra & Vita-Finzi, 2000; Nogueira *et al.*, 2006).

Os vales dos rios Jacu, Trairi, Potengi e Jundiá são controlados por estruturas do tipo Graben (Nogueira *et al.*, 2006; Salim *et al.*, 1974). Lucena *et al.* (2002, 2006), Pereira *et al.* (2003) e Lucena (2005) apresentam o fator estrutural responsável pela conexão hidráulica na lagoa do Bonfim (litoral leste do estado do Rio Grande do Norte) com as águas subterrâneas, sendo também responsável pelo aumento brusco do aquífero Barreiras. Diniz Filho & Barroso (2002) identificaram na bacia hidrográfica do rio Ceará-Mirim, que fica na extremidade norte da área, a ocorrência de diversos falhamentos, gerando soerguimento e abatimento de blocos.

A atualização do conhecimento litoestratigráfico da área estudada foi baseada em atividades de campo e interpretação de perfis litológicos de poços. Foi verificado que, de um modo geral, a área é representada basicamente por sedimentos arenosos capeando o Grupo Barreiras, caracterizados e diferenciados de acordo com a presença de lentes argilosas em profundidade. O mapa com as unidades litoestratigráficas é apresentado nas Figuras 4A e 4B, juntamente com as direções das seções geológicas realizadas a partir da descrição de perfis de poços. Verifica-se a predominância, na área de estudo, de coberturas arenosas do Grupo Barreiras. Esta unidade litoestratigráfica é resultante do intemperismo dos sedimentos do Grupo Barreiras, associados ao transporte de sedimentos eólicos.

A partir das análises das descrições dos perfis litológicos dos poços, foi possível identificar duas unidades que se diferenciam em decorrência da presença de argila, caracterizando localmente o sistema aquífero Dunas/Barreiras:

- Cobertura arenosa com ausência de intercalações de argila: ocorre em superfície, na forma de areias e, à medida que aumenta a profundidade, apresenta um maior grau de compactação dos sedimentos. Os mesmos são representados basicamente por arenitos finos a grossos, encontrados nas proximidades da lagoa de Extremoz (faixa sul da lagoa) e na faixa leste da área, nas proximidades do rio Doce;

- Cobertura arenosa com intercalações de argila em profundidade: é representada em profundidade por arenitos com intercalações argilosas de até 12 m de espessura. Esta unidade está em contato com todas as demais da área de estudo, possuindo a maior representatividade espacial.

Por meio das seções geológicas (Figura 5), é possível observar uma provável tectônica atuante na área de estudo, sendo evidenciada na calha do rio Potengi (seções C-C'; D-D') e na área da lagoa de Extremoz, no curso do rio Guajiru (A-A'). Observam-se também as espessuras variáveis dos níveis argilosos e as irregularidades do nível da basal do sistema aquífero Dunas/Barreiras.

A partir da integração das unidades litoestratigráficas com as informações da estruturação geológica local e regional, foi verificado que a provável atividade tectônica na zona norte de Natal está evidenciada na periferia da área de estudo, como, por exemplo, na borda sul pelo graben do rio Potengi, e na borda norte pelos falhamentos que ocorrem próximo à lagoa de Extremoz, no curso do rio Guajiru.

O processo de retrabalhamento dos estratos geológicos na área de estudo faz com que a diferenciação das unidades litoestratigráficas esteja relacionada à presença de lentes argilosas em profundidade. Com essa diferenciação, somente os arenitos dos setores noroeste e leste não possuem intercalações de argilas. Os demais setores apresentam-se com tais intercalações, propiciando, provavelmente, isolamentos hidráulicos parciais dos aquíferos, em decorrência da espessura dessas lentes argilosas. As discontinuidades existentes, decorrentes provavelmente das variações de paleorelevo, e o sistema deposicional podem influenciar em alguns setores a formação de um processo de semiconfinamento hidráulico.

## DIREÇÕES DE FLUXOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A caracterização da direção de fluxo das águas subterrâneas representa uma informação que deve estar ligada a uma data correspondente, pois dependendo das condições hidrogeológicas do aquífero e atividades antrópicas, as direções de fluxo podem sofrer mudanças, principalmente em áreas urbanas que possuem muitos poços, gerando interferência de cones de rebaixamento.

Na elaboração do mapa de fluxo das águas subterrâneas, são utilizadas basicamente informações da cota topográfica do terreno em que o poço se encontra localizado e medições de nível estático do poço, em um mesmo período de tempo. Após a obtenção dos dados, são elaboradas as curvas de isovalores considerando os atributos da área, tais como litologia, rede de drenagem e reservatórios de água, entre outros fatores que possam interferir nas condições naturais do meio subterrâneo.



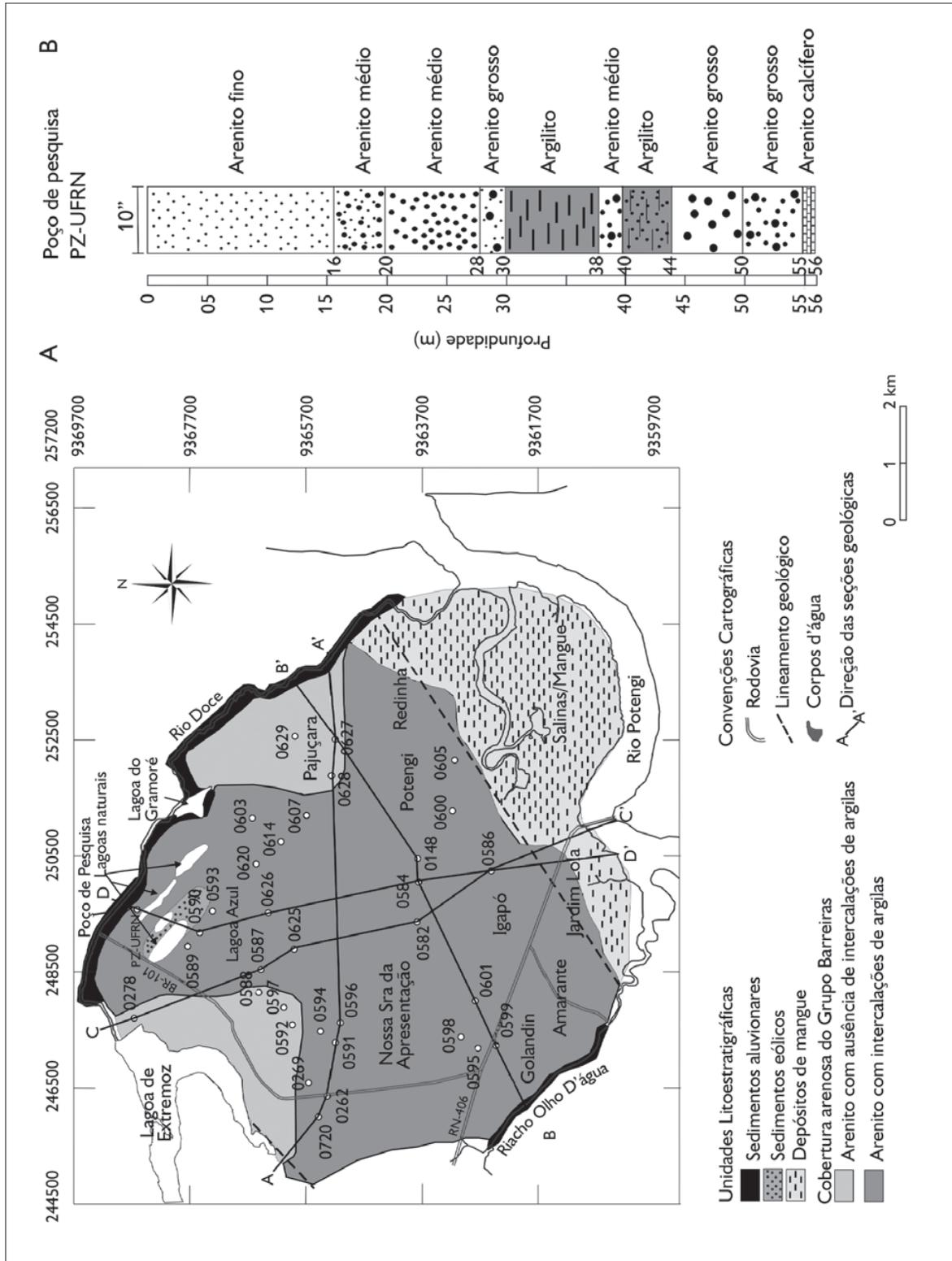


Figura 4. A) Mapa das unidades litoestratigráficas da zona norte da cidade de Natal, Rio Grande do Norte, com a localização das seções geológicas mostradas na Figura 5 e localização dos poços utilizados na confecção das seções; B) poço de pesquisa com descrição litológica simplificada.

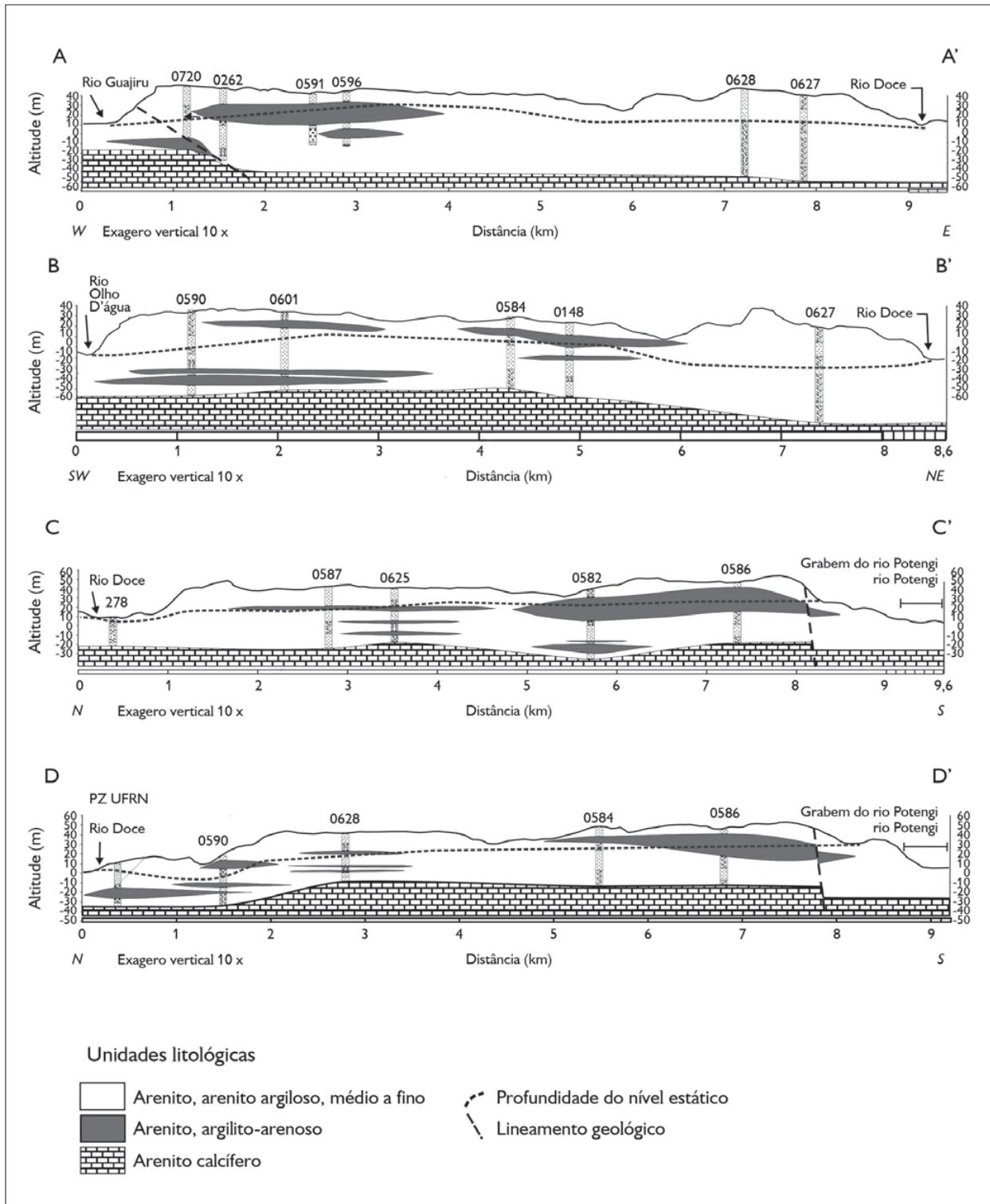


Figura 5. Seções geológicas na zona norte de Natal, Rio Grande do Norte.



A análise do fluxo das águas subterrâneas na área estudada foi realizada a partir de mapas potenciométricos elaborados com dados de 1997 (Melo, 1998) e 2008, sendo apresentados respectivamente nas Figuras 6A e 6B.

### Fluxo das águas subterrâneas no mês de abril do ano de 1997

Na Figura 6A, é apresentado o mapa elaborado por Melo (1998), no qual se verifica a existência de uma divergência no fluxo de águas subterrâneas a partir do bairro de Nossa Senhora da Apresentação, onde as curvas potenciométricas se alongam no sentido oeste para leste. Considera-se este ponto como o provável divisor de fluxo das águas subterrâneas (Figura 6A). As cargas hidráulicas variam de 5 m (nas imediações do rio Doce) até 30 m (na parte central da área). Na região, entre o bairro Lagoa Azul e Pajuçara, ocorre uma convergência de fluxo de águas subterrâneas, provavelmente decorrente da exploração de águas subterrâneas por poços.

Os menores gradientes estão situados na parte central dos bairros Lagoa Azul e Pajuçara, com valores de 0,28%, e os maiores gradientes de cargas hidráulicas ocorrem na zona de convergência de fluxo, entre os bairros Lagoa Azul e Pajuçara, com gradiente de 3,5%.

### Fluxo das águas subterrâneas no mês de março do ano de 2008

Observam-se gradientes que variam de 0,0034 (0,34%) no setor norte, no bairro Lagoa Azul, até 0,0187 (1,8%) no setor sul, no bairro Igapó (Figura 6B). As curvas equipotenciais variam de 30 m, na parte central, até 10 m, na periferia da área. As cargas hidráulicas inferiores a 10 m são encontradas nas proximidades dos cursos d'água de superfície. A definição do divisor de águas subterrâneas é semelhante ao que é apresentado no mapa potenciométrico do ano 1997. O traçado da linha divisória das frentes de escoamento ocorre de leste até a parte central no bairro Nossa Senhora da Apresentação, de forma retilínea. Após este trecho central, a linha divisória apresenta uma pequena curvatura para norte.

## AVALIAÇÃO DA VAZÃO DE ESCOAMENTO NATURAL

A vazão de escoamento natural (VEN), ou frente de escoamento subterrâneo, representa o volume drenado de água subterrânea em função de um ano hidrológico, em uma determinada data. Para o cálculo da VEN, é necessário ter como base o mapa potenciométrico da área e valores de parâmetros hidrodinâmicos, como condutividade hidráulica, espessura do aquífero, gradiente hidráulico e extensão da frente de escoamento considerada. O cálculo da VEN pode ser obtido a partir da equação 1:

$$VEN = T \times i \times L \quad \text{Equação 1}$$

Onde: T = transmissividade ( $L^2T^{-1}$ ); i = gradiente hidráulico (adimensional); e L = comprimento da frente de escoamento (L).

A área de estudo possui duas frentes de escoamento subterrâneo, sendo os cálculos realizados de modo independente entre si. A vazão de escoamento natural (VEN) foi calculada considerando o mapa potenciométrico do ano 2008, apresentado na Figura 6B:

- Frente de escoamento norte: as águas subterrâneas direcionam-se para o rio Guajiru, lagoa de Extremoz e rio Doce, com parâmetros médios de transmissividade (T) igual a  $1,68 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , e condutividade hidráulica (K) de  $5,34 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ . Foi escolhido o intervalo entre as equipotenciais de 20 e 25, no qual o gradiente varia de 0,0058 (0,58%) a 0,011 (1,1%), com média de 0,0084 (0,84%). A frente de escoamento possui uma extensão de 4.373 m. No cálculo da vazão de escoamento natural é utilizada a equação 1, sendo obtido o valor total de  $19,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Este valor apresenta-se inferior à vazão do rio Doce, calculada em  $36 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  (Vasconcelos, 2010). A diferença dos valores pode ser justificada por meio de três fatores: (a) ocorrência de fluxo de base da lagoa de Extremoz; (b) contribuição das águas subterrâneas no domínio da

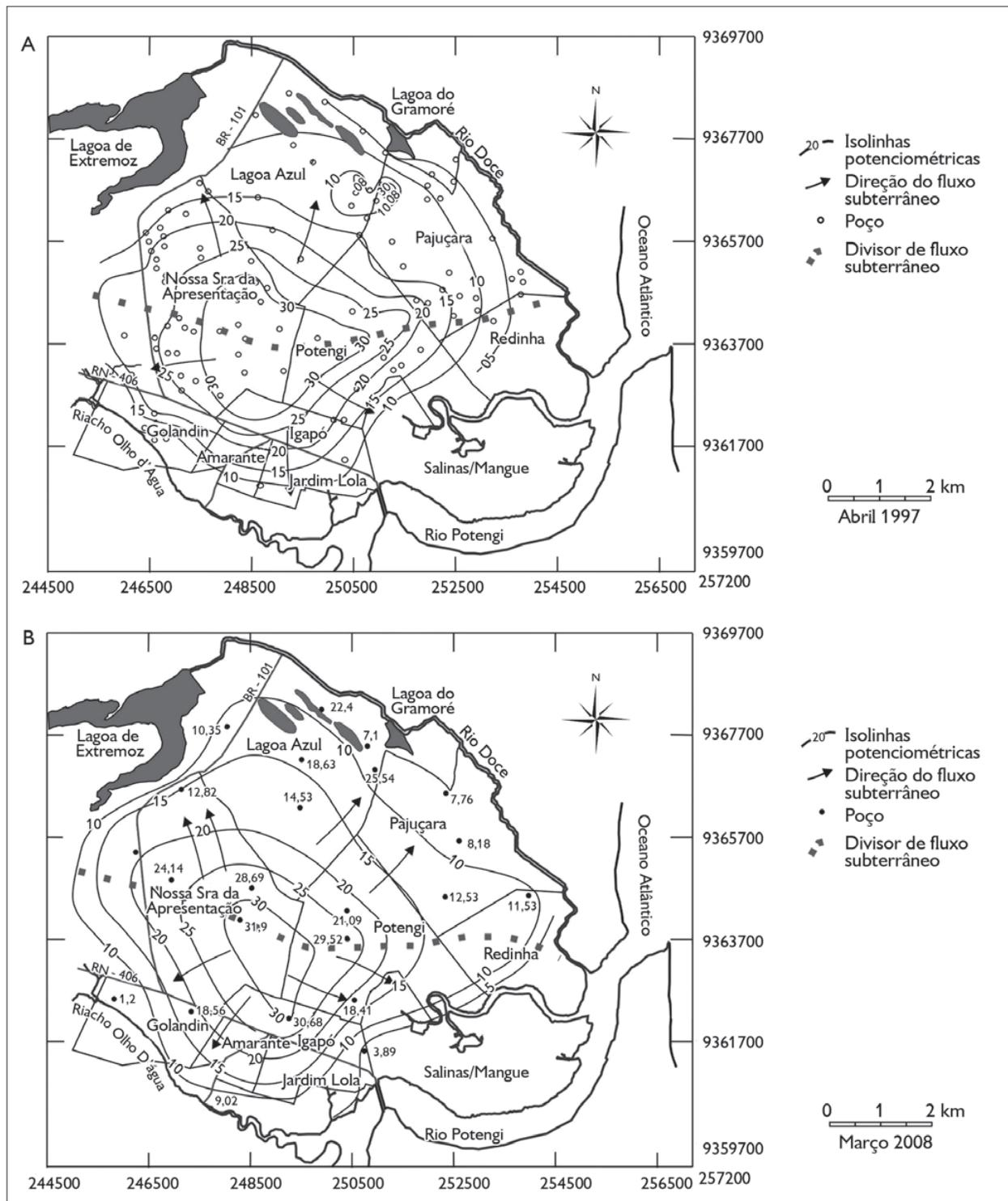


Figura 6. Mapa potenciométrico da zona norte de Natal, Rio Grande do Norte, com direções de fluxo das águas subterrâneas: A) abril de 1997 (Melo, 1998, com modificações); B) março de 2008 (Vasconcelos, 2010).

margem norte do rio; (c) registro de vazão pontual em relação ao ciclo hidrológico da área;

- Frente de escoamento sul: as águas subterrâneas alimentam o riacho Olho d'Água e o rio Potengi, com parâmetros médios de transmissividade (T) de  $5,54 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , e condutividade hidráulica (K) de  $1,72 \times 10^4 \text{ m/s}$ . Foi escolhido o intervalo entre as equipotenciais de 20 e 25, no qual o gradiente varia de 0,0092 (0,92%) a 0,016 (1,6%), tendo uma média de 0,0252 (2,52%). A extensão da frente de escoamento é de 6.136 m, sendo obtida uma vazão de escoamento natural de  $27,01 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

A partir de uma análise comparativa dos mapas potenciométricos elaborados, foi verificado, de um modo geral, que não ocorrem diferenças significativas na direção de fluxo das águas subterrâneas, expondo um sistema hidrogeológico em equilíbrio no que se refere às condições de carga hidráulica, mesmo com todos os processos antrópicos.

## CONCLUSÕES

A integração dos dados obtidos foi suficiente para identificar os prováveis processos tectônicos ocorridos na área de estudo, bem como determinar o condicionamento geológico. Foi verificado que a área é delimitada por lineamentos geológicos capazes de ser reconhecidos por meio da integração dos perfis geológicos dos poços.

As direções de fluxos das águas subterrâneas mostraram-se em equilíbrio, comparando-se os mapas potenciométricos do ano de 1997 com os do ano de 2008, ou seja, possuem a mesma configuração das cargas potenciométricas, mesmo com as atividades antrópicas ocorridas, como ocupação urbana, indústrias e captação de águas subterrâneas para o abastecimento geral.

Os resultados apresentados podem subsidiar trabalhos futuros, principalmente quando complementados com as aquisições de novos perfis de poços, que poderão ser direcionados para as áreas limítrofes, como a faixa leste, após o rio Doce.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande Norte (UFRN); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro fornecido para o desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- BEZERRA, F. H. R. & C. VITA-FINZI, 2000. How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. **Geology** 28(7): 591-594.
- COSTA, W. D., 1970. **Estudo hidrogeológico de Natal/RN**. CONTEGE/CAERN, Recife.
- DINIZ FILHO, J. B. & T. T. BARROSO, 2002. Controle geológico no potencial do Aquífero Barreiras - baixo curso do Ceará Mirim-RN. **Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas** 12: 1-12.
- FEITOSA, E. C., F. A. C. FEITOSA & H. M. P. LIRA, 2002. Relações estratigráficas e estruturais entre a bacia Potiguar e a bacia costeira PE/PB/RN – uma hipótese de trabalho. **Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas** 12: 1-12.
- LUCENA, L. R. F., 2005. **Implicação da compartimentação estrutural no Aquífero Barreiras na área da Bacia do Rio Pirangi-RN**. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- LUCENA, L. R. F. O., E. F. ROSA FILHO & E. C. HINDI, 2002. Fator estrutural atuante na conexão hidráulica subterrânea entre o Sistema Lacustre do Bonfim e a Bacia do Rio Pirangi, litoral leste do Rio Grande do Norte. **Revista Águas Subterrâneas** (16): 85-95.
- LUCENA, L. R. F., E. F. ROSA FILHO & E. C. HINDI, 2006. O controle estrutural no aquífero Barreiras - área da Bacia do Rio Pirangi-RN. **Águas Subterrâneas** 20(1): 83-98.
- LUCENA, L. R. F., J. G. OLIVEIRA JR., W. E. MEDEIROS & M. A. QUEIROZ, 2013. The potential of the Barreiras Aquifer in the Lower Course of the Doce River, Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil – integration of hydrogeological and geophysical data. **Revista Brasileira de Geofísica** 31(1): 43-57.
- MELO, J. G., 1998. **Avaliação de riscos de contaminação e proteção das águas subterrâneas – Zona Norte de Natal, RN**. Relatório Interno. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN)/Divisão de Hidrogeologia, Natal.

MELO, J. G., E. C. FEITOSA & E. R. SILVA, 1988. **Pesquisa hidrogeológica do Complexo Lagunar do Bonfim**: 1º Relatório de Acompanhamento. SÉRHID/RN – UFRN/FUNPEC, Natal.

NATAL, 2007. Prefeitura Municipal de Natal. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Anuário Natal, 2006**: 1-300. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo-Natal (RN)/Departamento de Informação, Pesquisa e Estatística, Natal.

NOGUEIRA, F. C. C., F. H. R. BEZERRA & D. L. CASTRO, 2006. Deformação rúptil em depósitos da Formação Barreiras na porção leste da Bacia Potiguar. **Geologia USP. Série Científica** 6(2): 51-59.

PEREIRA, R., J. A. GUIMARÃES JUNIOR & G. C. SILVA JUNIOR, 2003. Estado da arte da Bacia Hidrogeológica do Sistema Lacustre Bonfim - RN, Nordeste do Brasil. **Águas Subterrâneas** 17: 41-47.

SALIM, J., M. S. LIMA & J. M. MABESOONE, 1974. Vales estruturais no litoral leste do Rio Grande do Norte. **Atas do Simpósio de Geologia do Nordeste** 6: 41-47.

VASCONCELOS, M. B., 2010. **Análise integrada dos efeitos da expansão urbana nas águas subterrâneas como suporte a gestão dos recursos hídricos da Zona Norte de Natal – RN**: 1-150. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

