



Bacia Costeira do Rio Cauípe, Caucaia, Ceará: Levantamentos Geométrico e Hidrogeológico

José Márcio Lins Marinho^a & Sônia Maria Silva Vasconcelos^a

Recebido em 21 de Abril de 2003 / Aceito em 21 de julho de 2003

Resumo

Trinta e nove Sondagens Elétricas Verticais (SEV) foram executadas e vinte oito pontos de água tiveram seus locais investigados para condutividade elétrica e nível estático na região costeira da Bacia Hidrográfica do Rio Cauípe, no município de Caucaia - CE, compreendendo cerca de 103 km². Os resultados da interpretação integrada dos dados geométricos e hidrogeológicos revelaram que ocorre na área um aquífero freático superficial, composto por diferentes litologias, que incluem desde o manto de intemperismo sobre o substrato gnáissico-migmatítico, até sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras e areia de dunas. As espessuras saturadas variam de quase zero, a sul da área, até cerca de 35 m nas encostas do vale e na planície litorânea. Um forte gradiente no mapa de condutividade, com valores variando de 400 a 1000 Ω S/cm, sugere uma divisão das contribuições hidrogeológicas dos domínios sedimentar, do lado litorâneo, e cristalino, do lado interior. O mapa potenciométrico revela que existe um paleovale e que a lagoa do Banana encontra-se em um alto potenciométrico. Embora os solos da área estudada sejam arenosos, o que facilita a infiltração da água das precipitações, as possibilidades hidrogeológicas no seu domínio sedimentar são restritas.

Palavras-Chaves: Levantamento Geométrico; Hidrogeologia; Bacia Costeira; Cauípe - CE

Abstract

A total of 39 Vertical Electric Soundings (VES) were carried out and 28 water points have been obtained to investigate the electric conductivities and static levels in an up to 103 km² coastal area of the Cauípe River Basin, Ceará State, NE Brazil. Geoelectrical and hydrogeologic data revealed a superficial unconfined aquifer, which is composed of different lithologies, including decomposed gnaissic-migmatitic substratum, sandy-clayey sediments of the Barreiras Formation and aeolian sand of dunes. The saturated thickness varies from almost zero, in the south of the area, to about 35 m in the hillsides of the valley and in the coastal plain. A strong gradient in the conductivity map, with values varying from 400 to 1000 Ω S/cm, suggests a transition zone from the sedimentary domain, on the coastal side, to the fissured domain, on the interior side. The head contour map reveals a paleo-valley and suggests that the Banana's Lake stays in a high of hydraulic head. In spite of the soils in the studied area be sandy facilitating the infiltration of rainwater, the groundwater resources in its sedimentary domain are, however, limited.

Keywords: Geoelectrical survey; Hydrogeology; Coastal basin; Cauípe - CE

^aDepartamento de Geologia/CC/UFC, Bloco 912 - Campus Universitário do Pici - Fortaleza (CE)
 Tel.: (85) 288 - 9867, Fax: (85) 288-98-74E-mail: marinho@ufc.br; smaria@ufc.br

1. Introdução

Na última década, as atividades turísticas e de agricultura cresceram muito na zona costeira cearense, sendo a água subterrânea um fator importante na expansão destas atividades. O presente estudo faz parte de uma pesquisa sistemática dos recursos hídricos subterrâneos das bacias hidrográficas do litoral do Estado do Ceará. A área escolhida é a bacia do rio Cauípe, situada na porção nordeste do estado, limitando-se a norte pelo Oceano Atlântico (Fig. 1). Ela está inserida na região metropolitana de Fortaleza e perfaz uma área de 103 km² do município de Caucaia.

A metodologia adotada neste trabalho inclui estudos geofísicos por eletrorresistividade, através de Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), e hidrogeológicos, conduzidos por levantamento de pontos d'água e medidas da condutividade elétrica. Os objetivos são o estabelecimento da superfície potencial do aquífero livre e a estimativa da potencialidade da água subterrânea como uma possível fonte de abastecimento doméstico, para agricultura e outros usos.

2. Fisiografia, Geologia e Hidrogeologia

A principal via de acesso à área de estudo é a rodovia estadual CE-085, denominada Estruturante ou Sol Poente, que cruza a área na direção E-W (Fig. 2). A partir de Fortaleza, nessa via, o acesso à área dista cerca de 40 km. Uma estrada litorânea, não pavimentada, une a praia do Cumbuco ao porto do Pecém, passando pelo rio Cauípe. Outras estradas carroçáveis dão acesso a maior parte da área.

O relevo da região estudada é relativamente suave, com elevação média em torno de 40 m acima do nível do mar. A planície litorânea, com cotas abaixo de 10 m, é estreita, com largura normalmente inferior a 1 km. Segue-se o cordão de dunas móveis paralelo à linha de costa. Esse cordão, que é a expressão topográfica de maior destaque, com cotas da ordem de 70 m, é interrompido no vale do rio Cauípe.

A parte central da área é drenada pelo rio Cauípe, tendo como principais afluentes os riachos dos Matões e Coité. O rio Cauípe é barrado naturalmente a 3 km da praia, pelas dunas, formando o Lagamar do Cauípe, área de proteção ambiental.

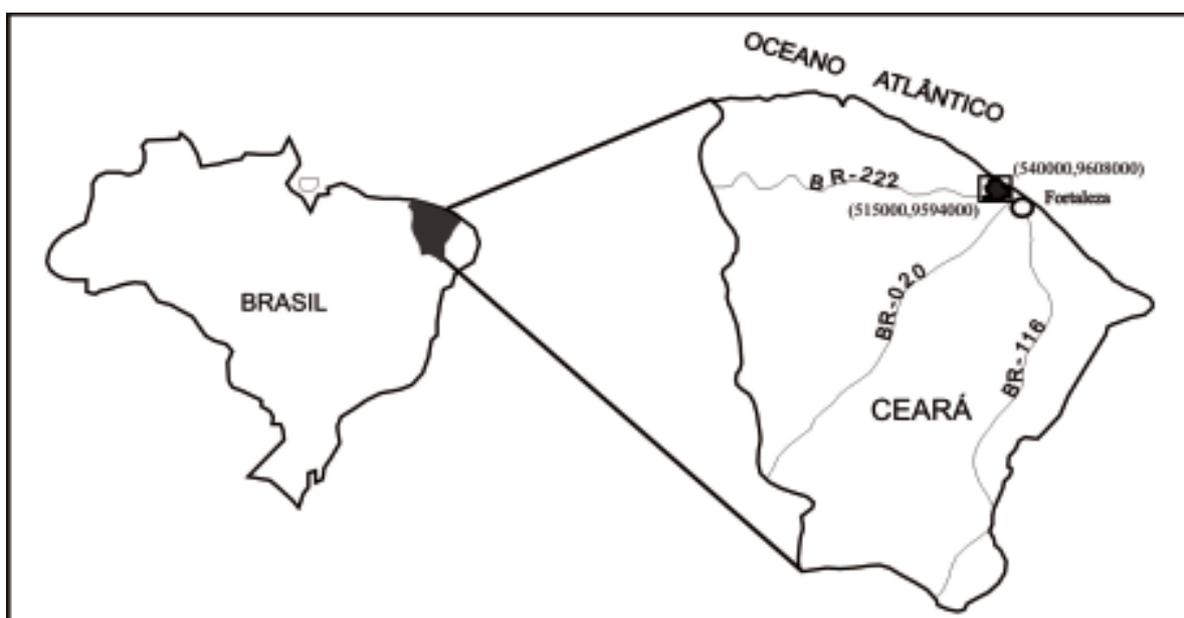


Fig. 1. Localização da área de estudo.

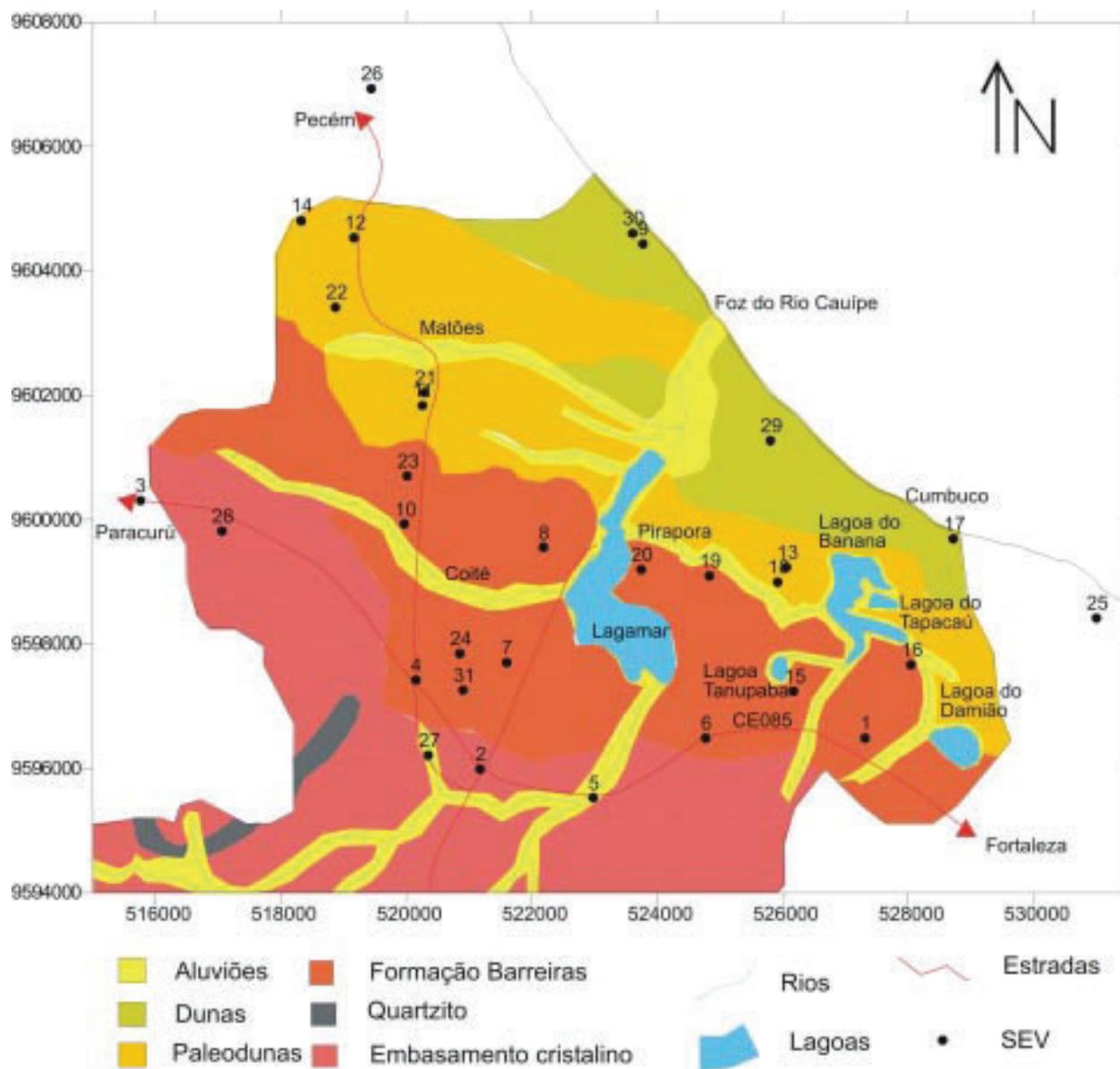


Fig. 2. Mapa geológico simplificado da área de estudo (adaptado de DNPM, 1998), com a localização das principais vias de acesso e posicionamento das SEVs.

O lado sudeste da área é caracterizado pela presença de lagoas, destacando-se as lagoas do Banana, do Tapacaú, do Damião e Tanupaba. Três riachos têm seus cursos d'água direcionados para a lagoa do Banana. Esta, por sua vez, quando cheia, drena para o Lagamar do Cauípe, através do riacho Pirapora.

Geologicamente, a área é caracterizada por um substrato cristalino com coberturas sedimentares cenozóicas (Fig. 2). O embasamento cristalino é formado fundamentalmente por

rochas do complexo gnáissico-migmatítico. Já a cobertura inclui depósitos colúvio-eluviais, rochas da Formação Barreiras, dunas e aluviões (Brandão, 1994 e 1995; DNPM, 1998).

O domínio hidrogeológico cristalino se relaciona às rochas pré-cambrianas, onde o armazenamento de água se dá em fendas e fraturas, constituindo o que se denomina de aquífero fissural. Um manto de intemperismo ocorre na área estudada sobre os terrenos cristalinos, particularmente no vale do rio Cauípe

e suas encostas, formando uma delgada camada com porosidade primária evidenciada.

A Formação Barreiras é composta por sedimentos areno-argilosos e argilo-arenosos, inconsolidados ou pouco consolidados, distribuídos como uma faixa, de largura variável, que acompanha a linha de costa. Sua espessura também é variável, geralmente, uma consequência do paleo-relevo do substrato cristalino, mas sua espessura é comumente inferior a 40 m na costa cearense. Na área estudada, a faixa litorânea é uma planície, onde não afloram sedimentos da Formação Barreiras.

A parte superior da Formação Barreiras é comumente arenosa e sua exploração é alta, apesar de suas condições hidrogeológicas restritas, com vazões geralmente abaixo de 3 m³/h. Além de sua exploração direta, é importante também sua exploração em sistemas mistos, através de poços que atinjam a interface Barreiras/cristalino e dunas/Barreiras.

As dunas, aqui tratadas, incluem os sedimentos de praia, as dunas fixas e móveis e paleodunas. Sua forma de ocorrência é caracterizada por formarem cordões quase contínuos ao longo da costa e paralelos a ela. São depósitos inconsolidados de origem eólica, constituídos por areias finas e médias, bem classificadas.

O aquífero dunas é superficial, pouco espesso, recebendo recarga diretamente das chuvas. Por esta razão, este aquífero é intensamente explorado na região através de poços rasos.

Os depósitos aluvionares se restringem à calha do rio Cauípe e de seus afluentes. Constituem-se de sedimentos detríticos de deposição fluvial, com grande variação granulométrica, que vai de cascalho a areia e argila.

De modo geral, os aquíferos aluvionares da área representam fontes alternativas de abastecimento restrito de água, além de atuarem como zona de recarga para os aquíferos fissurais e da Formação Barreiras.

Quarenta e três poços tubulares foram registrados na área investigada (Tab. 1), onde os

aquíferos foram preliminarmente classificados em fissural (39) e sedimentar (4), conforme CPRM (1999). A profundidade dos poços varia normalmente entre 15 e 60 m. E as vazões informadas para onze dos poços ficaram entre 600 e 3000 L/h.

Excepcionalmente, um poço em aquífero fissural (ponto d'água 3 da Tab. 1) apresentou vazão de 13200 L/h, e água com condutividade elétrica de 728 μ S/cm. Em visita ao local, denominado Itapará, verificou-se que o substrato aflorante é quartzito.

Na área estudada, o índice pluviométrico médio anual situa-se no patamar de 1200 a 1400 mm e as temperaturas na faixa de 26 a 32°C. A relativamente alta precipitação anual, aliada a uma cobertura predominantemente arenosa, garante uma boa recarga para os aquíferos.

3. Levantamento por Eletrorresistividade

3.1. Características do levantamento

Trinta e nove sondagens elétricas verticais (SEV) Schlumberger foram executadas na área de estudo (Fig. 2), com o espaçamento de eletrodos de corrente (AB/2) máximo variando normalmente de 100 a 300 m. A SEV 30 foi excepcionalmente executada com AB/2 máximo igual a 1 km. As sondagens estão distribuídas em uma malha irregular, abrangendo os vários ambientes geológicos. O número de SEVs é suficiente, considerando-se o caráter regional do levantamento.

Um resistivímetro modelo PER-80, fabricado pela DPM Engenharia, com sede em Fortaleza, foi utilizado na aquisição dos dados. O transmissor de corrente contínua tem uma potência máxima de 250 W. O receptor tem alta impedância de entrada (20 Mohm) e a medida é digital, com fundos de escala de 20 V, 2 V e 200 mV.

As localizações geográficas das SEVs foram obtidas com um GPS Garmin 12 e suas cotas foram estimadas com base em carta da SUDENE (Folha Fortaleza) e nas referências de nível de levantamentos gravimétricos (Castro & Castelo Branco, 1999).

Tab. 1. Pontos d'água situados na Bacia do Rio Cauípe (CPRM, 1999).

Nº de Ordem	Nº do Censo	UTM		Q (L/h)	Cond. Elet. (mS/cm)	STD (mg/L)	Aquífero
		E-W	N-S				
1	2687	524747	9594186	-	3520	2288	Fissural
2	32692	521383	9594383	70-0	2370	1541	Fissural
3	2724	518806	9598891	13200	728	473	Fissural
4	2725	519285	9598438	-	1888	1227	Fissural
5	2726	519153	9598310	-	1612	1048	Fissural
6	2728	519640	9598350	600	872	567	Fissural
7	2729	518605	9604805	-	217	141	Fissural
8	2730	519124	9604440	1000	371	241	Fissural
9	2731	519916	9603048	-	296	192	Fissural
10	2748	522324	9596706	-	615	400	Fissural
11	2749	522686	9597319	-	1389	903	Fissural
12	2750	522742	9597204	-	625	406	Fissural
13	2752	522446	9597396	-	416	270	Fissural
14	2753	522875	9597487	-	353	229	Fissural
15	2754	521598	9598355	-	547	356	Fissural
16	2757	521551	9598865	-	1301	846	Fissural
17	2810	519902	9596900	1200	803	522	Fissural
18	2811	519861	9597087	3000	820	533	Fissural
19	2812	520287	9597713	-	473	307	Fissural
20	2868	527138	9597352	-	306	199	Fissural
21	2891	519778	9603120	-	128	83	Fissural
22	2898	526368	9596229	-	3120	2028	Fissural
23	2930	530780	9594800	-	3900	2535	Fissural
24	2931	530977	9594963	-	1981	1288	Fissural
25	2933	529795	9594422	-	902	586	Fissural
26	2934	529029	9595029	-	890	579	Fissural
27	2935	529798	9595740	-	129	84	Fissural
28	2952	529898	9594137	-	1083	704	Fissural
29	2961	527132	9598610	3000	430	280	Fissural
30	2962	527174	9598712	1800	238	155	Fissural
31	2963	527550	9599350	2800	790	514	Fissural
32	2964	526229	9598816	1000	429	279	Fissural
33	2965	526413	9597402	-	4250	2763	Fissural
34	2966	525275	9597982	-	2590	1684	Fissural
35	2967	524064	9597464	-	176	114	Fissural
36	2969	528612	9594994	-	1495	972	Fissural
37	2970	527135	9595900	-	2580	1677	Fissural
38	2972	520067	9597501	-	231	150	Fissural
39	3025	526194	9598459	-	130	85	Sedimentar
40	3026	526108	9598247	-	140	91	Sedimentar
41	3027	526294	9598236	-	159	103	Sedimentar
42	3039	517384	9598644	-	373	242	Fissural
43	11785	515413	9600949	1200	640	416	Sedimentar

3.2. Processamento e interpretação dos dados

Cada curva de campo Schlumberger, que é segmentada, foi processada e transformada em uma curva contínua, digitalizada com 6 pontos por década logarítmica, e, em seguida, invertida com base na metodologia desenvolvida por Zohdy (1989) e Zohdy & Bisdorf (1989). O resultado dessa interpretação é um modelo multicamada, no qual o número de camadas é igual ao número de pontos da curva digitalizada.

A partir do modelo multicamadas, fez-se uma redução do número de camadas compatível com a geologia disponível, obtendo-se assim estimativas iniciais das resistividades e das espessuras das várias camadas geoeletricas. Estas estimativas foram posteriormente usadas como modelos iniciais para uma interpretação final com o programa de computador Resel, o qual utiliza os dados originais de campo, incluindo as distâncias MN (Marinho, 1997). Com tal programa, tanto se realiza a modelagem da curva através do ajuste automático dos parâmetros do modelo geofísico, sendo utilizado o método estatístico dos mínimos absolutos, através da técnica da regressão em cadeia (Inman, 1975; Rijo *et al.*, 1977; Marinho & Lima, 1997; Marinho, 1997).

3.3. Sondagens elétricas típicas

A classificação das SEVs está mostrada na Tab. 2. Desta, se conclui que 16 SEVs são do tipo QH, 8 do tipo KH, 6 do tipo H, 6 do tipo KQH e 3 são de outros tipos. As curvas do tipo H ocorrem tipicamente sobre terrenos cristalinos, onde a rocha sã está muito rasa. Já as curvas dos tipos QH, KQH e KH são características de terrenos com cobertura sedimentar ou onde o manto de intemperismo cristalino é mais desenvolvido, imprimindo um caráter poroso à cobertura.

Para a SEV 30, do tipo KQH, o substrato foi interpretado como rocha alcalina. Esta interpretação foi resultado da correlação dessa curva com outras realizadas sobre pedreiras de rocha alcalina. Sem expressão topográfica, tais ocorrências estão localizadas no município de São Gonçalo, fora da área de estudo.

Os resultados da interpretação automática obtidos com o programa Resel para as SEVs 37, 34 e 15 são apresentados nas Figs. 3, 4 e 5, respectivamente. A SEV 37 foi executada em local próximo à alteração de rochas do complexo gnáissico-migmatítico (segunda camada, intemperizada).

A SEV 34 (Fig. 4) foi executada na planície litorânea sobre areias de duna. A interpretação dessa sondagem revelou uma camada geoeletrica a 5,8 m de profundidade com resistividade de 143,5 ohm.m e espessura de 33,5 m, que é a mais promissora, como aquífero, de todas executadas na planície litorânea investigada. E a SEV 15 (Fig. 5), próxima à lagoa de Tanupaba, apresenta uma cobertura com 48 m de espessura. O nível estático foi interpretado a 5 m de profundidade.

3.4. Seção geoeletrica

Os modelos multicamadas, obtidos na interpretação das SEVs 32, 40, 41, 42 e 43 através do programa ATO (Zohdy & Bisdorf, 1989), foram correlacionados lateralmente para obtenção de uma seção situada a cerca de 200 m da linha de praia, a noroeste da praia do Cumbuco, tendo como referência a SEV32. Afora esta, as outras SEVs não constam da Fig. 2, tendo em vista que foram realizadas com o objetivo específico de elaborar a seção.

O local compreende areias de duna sobrepostas a sedimentos inconsolidados areno-argilosos depositados sobre o embasamento gnáissico. Próximo à seção, ocorre uma cacimba com nível estático a 2 m de profundidade, cuja água tem uma condutividade elétrica de 525 \square S/m (ponto d'água 10 da Tab. 3).

Para construção tanto de coluna quanto de seção geoeletrica, os valores de resistividade dos modelos multicamadas e seus posicionamentos foram colocados em um arquivo XYZ, entrada para o programa *Surfer v.8.0 da Golden Software*, onde os resultados finais foram obtidos através de roteiro elaborado por Marinho & Vasconcelos (2001). Como exemplo, apresenta-se na Fig. 6 a interpretação multicamadas da SEV 40 e a representação de sua coluna geoeletrica com a descrição lito-estratigráfica estabelecida.

Tab. 2. Classificação das SEVs e resultados de suas interpretações (Marinho & Vasconcelos, 2000).

SEV	Classificação	UTM		Cota (m)	Cota do topo do emb. crist. (m)	Esp.sat. (m)
		E-W	N-S			
1	QH	527313	9596485	30	7,3	20,0
2	H	521177	9595988	14	10,0	3,2
3	QH	515765	9600307	31	-1,4	22,3
4	QH	520153	9597421	36	0,6	21,4
5	H	522977	9595531	10	2,8	6,6
6	QH	524773	9596485	16	1,6	11,9
7	H	521601	9597703	22	17,1	3,5
8	KQH	522185	9599556	29	4,7	15,4
9	KH	523772	9604434	6	-	-
10	QH	519969	9599932	34	-18,4	39,1
11	QH	520257	9601837	32	-	-
12	KQH	519164	9604534	40	-18,0	46,2
13	KH	526058	9599235	26	0,1	15,6
14	KQH	518325	9604805	34	-13,1	35,7
15	KH	526173	9597242	37	-11,4	43,4
16	KQH	528042	9597667	40	11,5	21,8
17	QH	528718	9599692	6	-24,9	29,0
18	KQH	525920	9598996	27	3,3	21,0
19	KH	524832	9599097	20	1,2	16,0
20	H	523745	9599198	19	-8,2	21,6
21	QH	520290	9602042	31	-13,4	26,1
22	QH	518870	9603415	35	8,0	18,0
23	KQH	520012	9600704	35	2,8	18,5
24	QH	520855	9597847	29	-4,5	28,7
25	QH	531001	9598418	9	-15,4	21,4
26	QH	519439	9606930	25	-11,0	33,9
27	H	520350	9596210	16	14,7	1,0
28	QHA	517063	9599818	42	-18,6	39,5
29	QH	525805	9601272	5	-	-
30	QHK	523608	9604604	7	-38,5	40,0
31	KH	520907	9597259	25	2,7	17,9
32	QH	525458	9601618	5	-20,9	24,8
33	QH	524060	9601640	21	-0,6	15,2
34	QH	524020	9603578	15	-24,3	33,5
35	KH	523161	9601325	32	-0,3	26,7
36	HKH	522420	9596906	14	0,8	6,4
37	H	521937	9598831	26	10,3	13,9
38	KH	522464	9597411	16	9,7	5,5
39	KH	522120	9600006	33	9,1	17,8

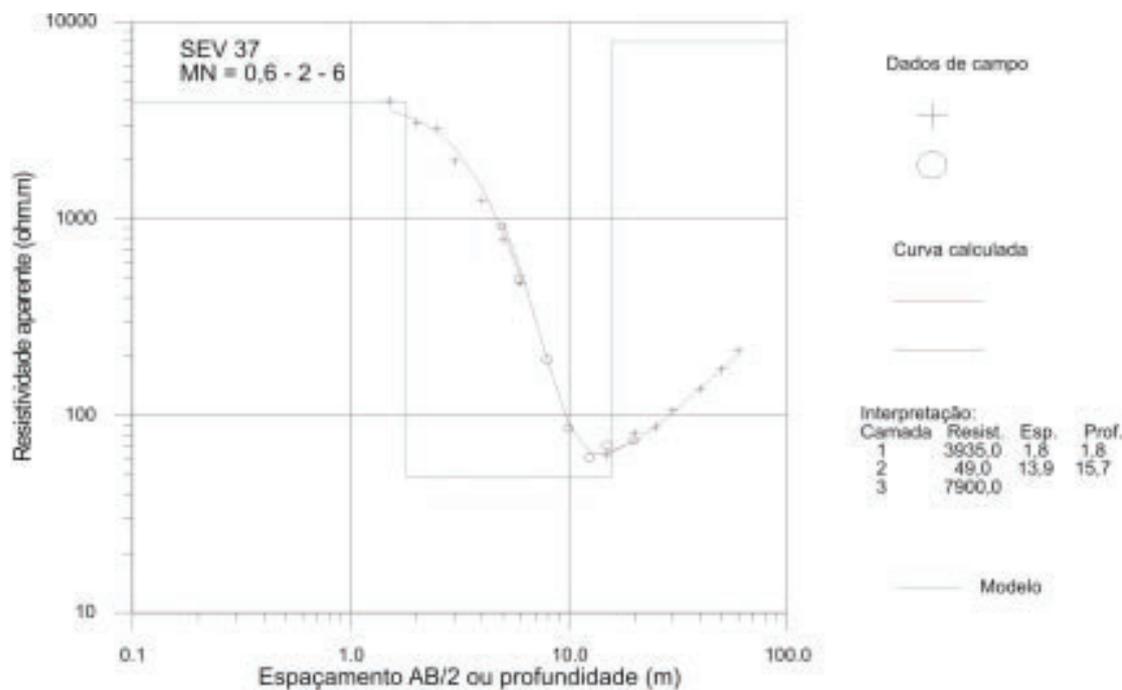


Fig. 3. Interpretação da SEV 37, onde a rocha sã está à cerca de 15,7 m de profundidade. A segunda camada é o aquífero, definida como uma cobertura sobre o substrato gnáissico.

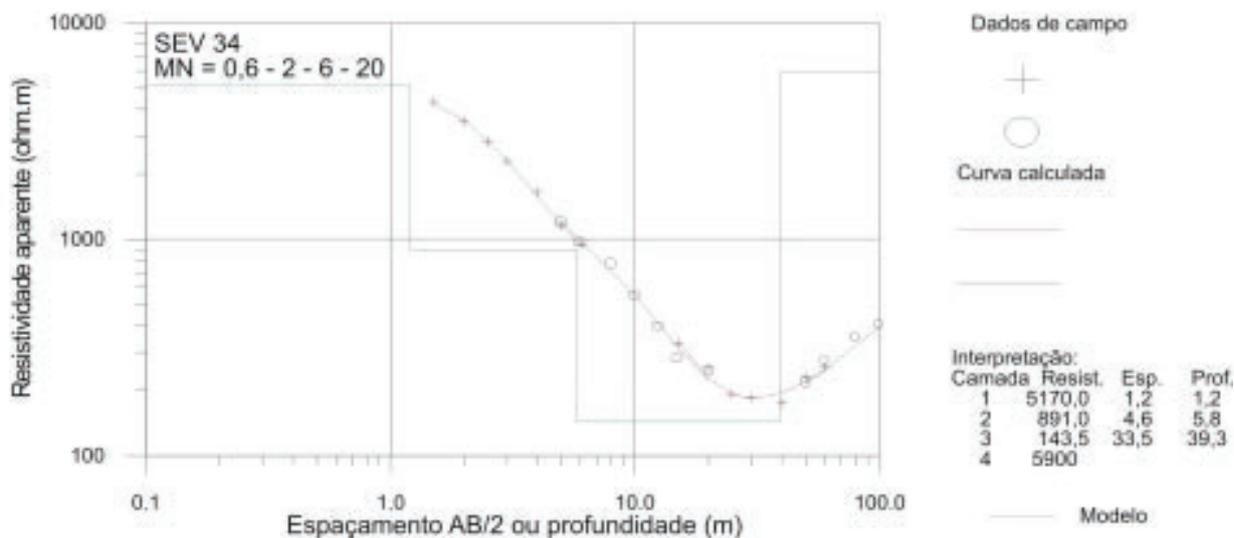


Fig. 4. Interpretação de SEV sobre areias de duna da planície costeira. O intervalo de 5,8 a 39 m de profundidade foi interpretado como aquífero dunas sobre o embasamento cristalino resistivo.

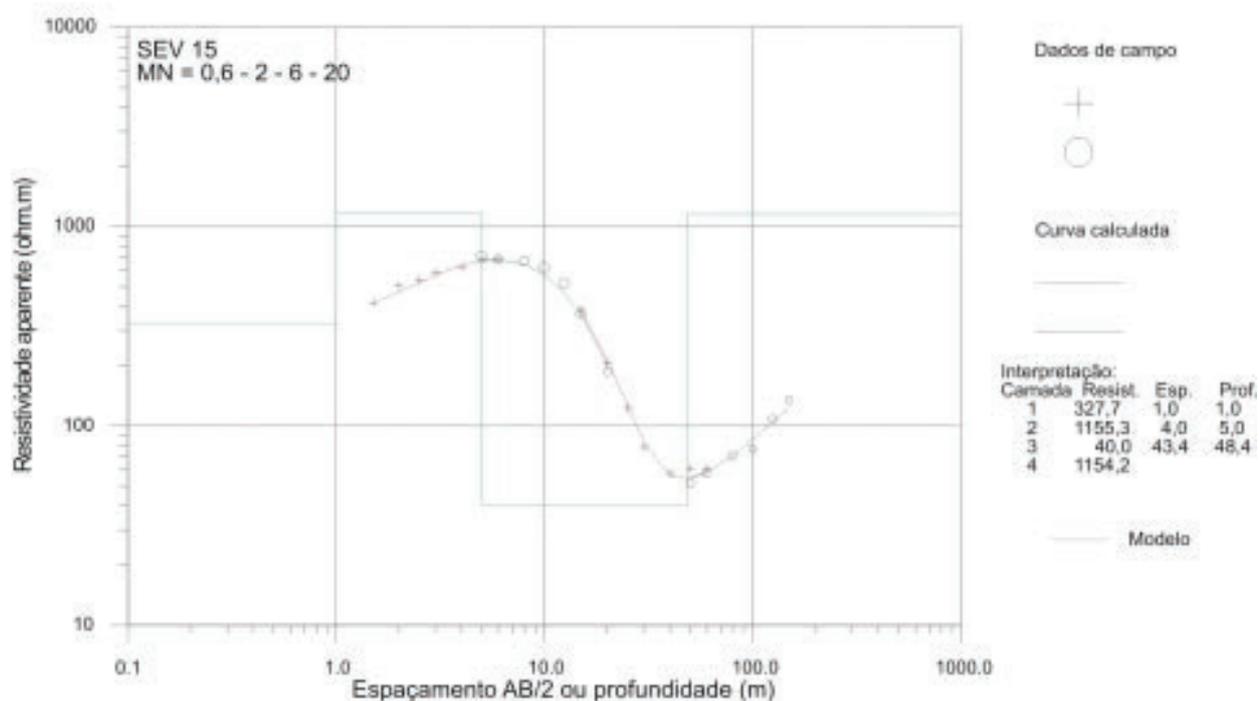


Fig. 5. Interpretação de SEV sobre sedimentos da Formação Barreiras e manto de decomposição do cristalino. O nível estático foi estimado a 5 m de profundidade.

A seção geométrica é mostrada na Fig. 7. Observa-se a identificação nítida do nível freático superficial. Também sugere que a captação de água subterrânea seja feita preferencialmente entre as SEVs 42 e 43, onde encontra-se material arenoso até a cota aproximada de 35m abaixo do nível do mar. Abaixo dessa cota, inicia-se rochas do substrato cristalino com restrita possibilidade hidrogeológica.

3.5. O mapa do topo do cristalino

Com base na interpretação das SEVs, obteve-se, em cada local de sondagem, a cota, referenciada ao nível do mar, do topo do cristalino e a espessura da zona saturada. Estes resultados constam da Tab. 2. As sondagens 9, 11 e 29 apresentam muito ruído devido a presença de heterogeneidades laterais e foram interpretadas apenas qualitativamente.

O mapa de contorno da morfologia do cristalino é apresentado na Fig. 8. As cotas variam de 10 m a sul até -35 m no litoral. A morfologia do cristalino exibe a calha drenada pelo rio

Cauípe. Um pequeno baixo morfológico é observado a oeste da área, em torno da sondagem 28. O mapa evidencia uma superfície suave do substrato cristalino.

4. Levantamento Hidrogeológico

Vinte e oito medidas de nível estático e de condutividade elétrica foram feitas em cacimbas e poços (Tab. 3). O nível estático foi medido com um medidor convencional. As medidas de condutividade *in situ* foram feitas com o condutivímetro modelo HI 9033, fabricado pela Hanna Instruments, com leituras digitais e fundos de escala de 199,9 \square S/cm, 1999 \square S/cm, 19,99 \square S/cm e 199,9 \square S/cm.

Utilizando-se as 28 medidas do nível estático (Tab. 3), foi elaborado o mapa potenciométrico, onde estão indicadas as linhas do fluxo subterrâneo (Fig. 9). O número de pontos d'água foi considerado suficiente devido ao comportamento naturalmente monótono da superfície piezométrica. Os níveis estáticos sobre

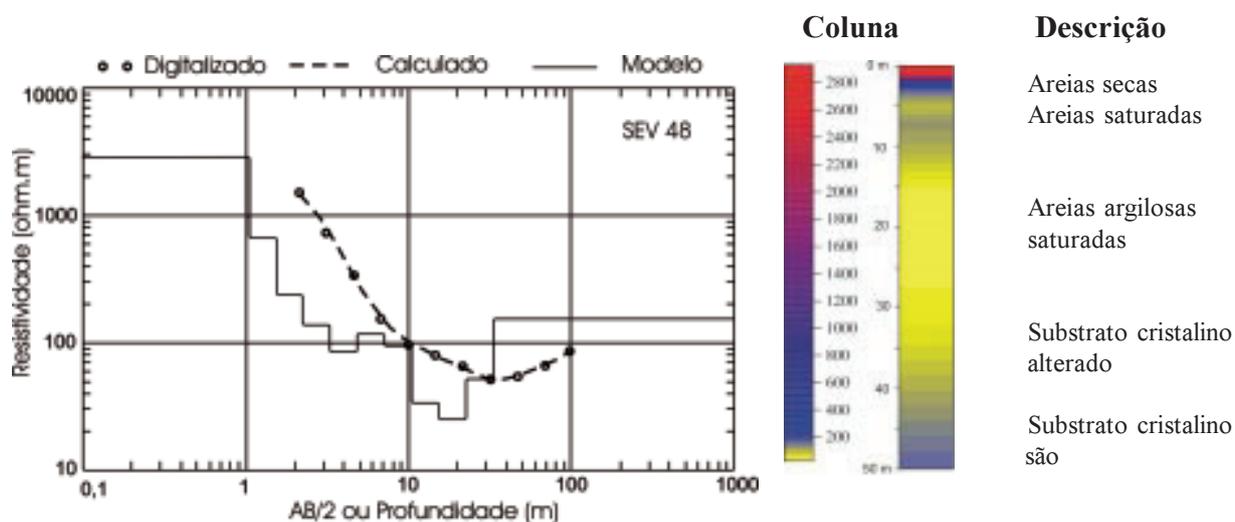


Fig. 6. Interpretação da SEV 40. À esquerda, o modelo multicamadas e à direita, a coluna geoeletrica definida pelo modelo com a correspondente descrição geológica.

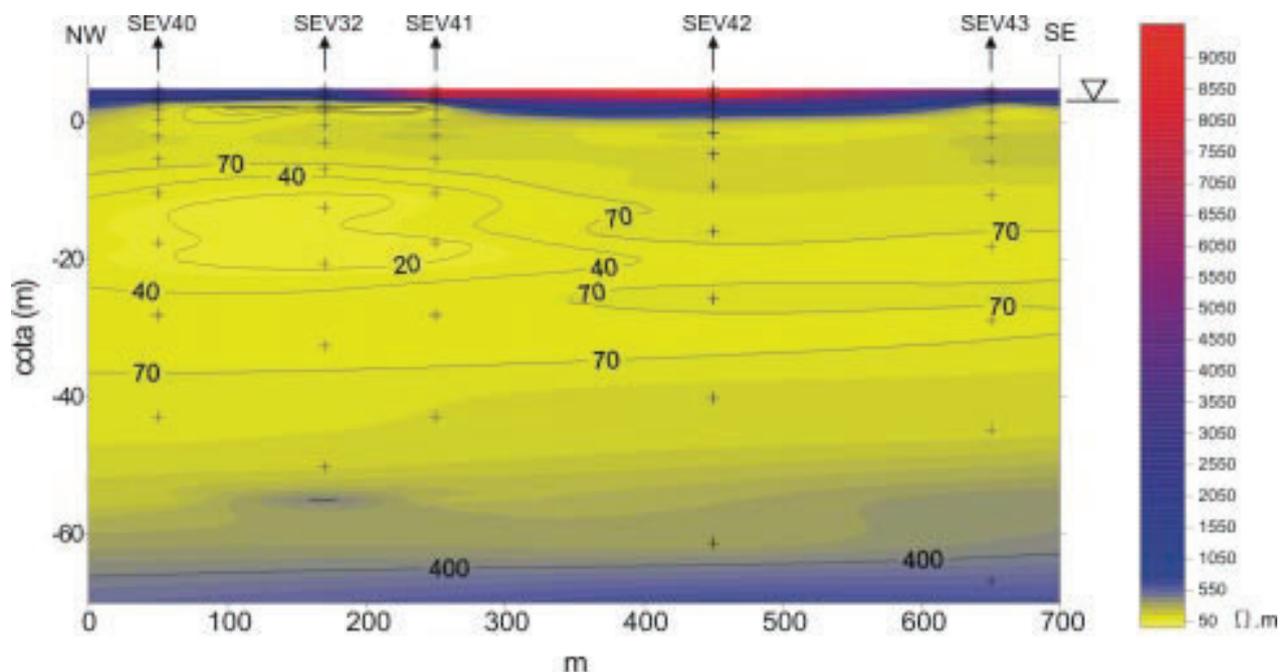


Fig. 7. Seção geoeletrica. A tonalidade amarela define a zona saturada em água. A base da cor azul na parte superior da seção marca o nível freático. A tonalidade azul na parte inferior mostra a passagem para o substrato cristalino, onde a isolinha 400 indica a presença da rocha sã.

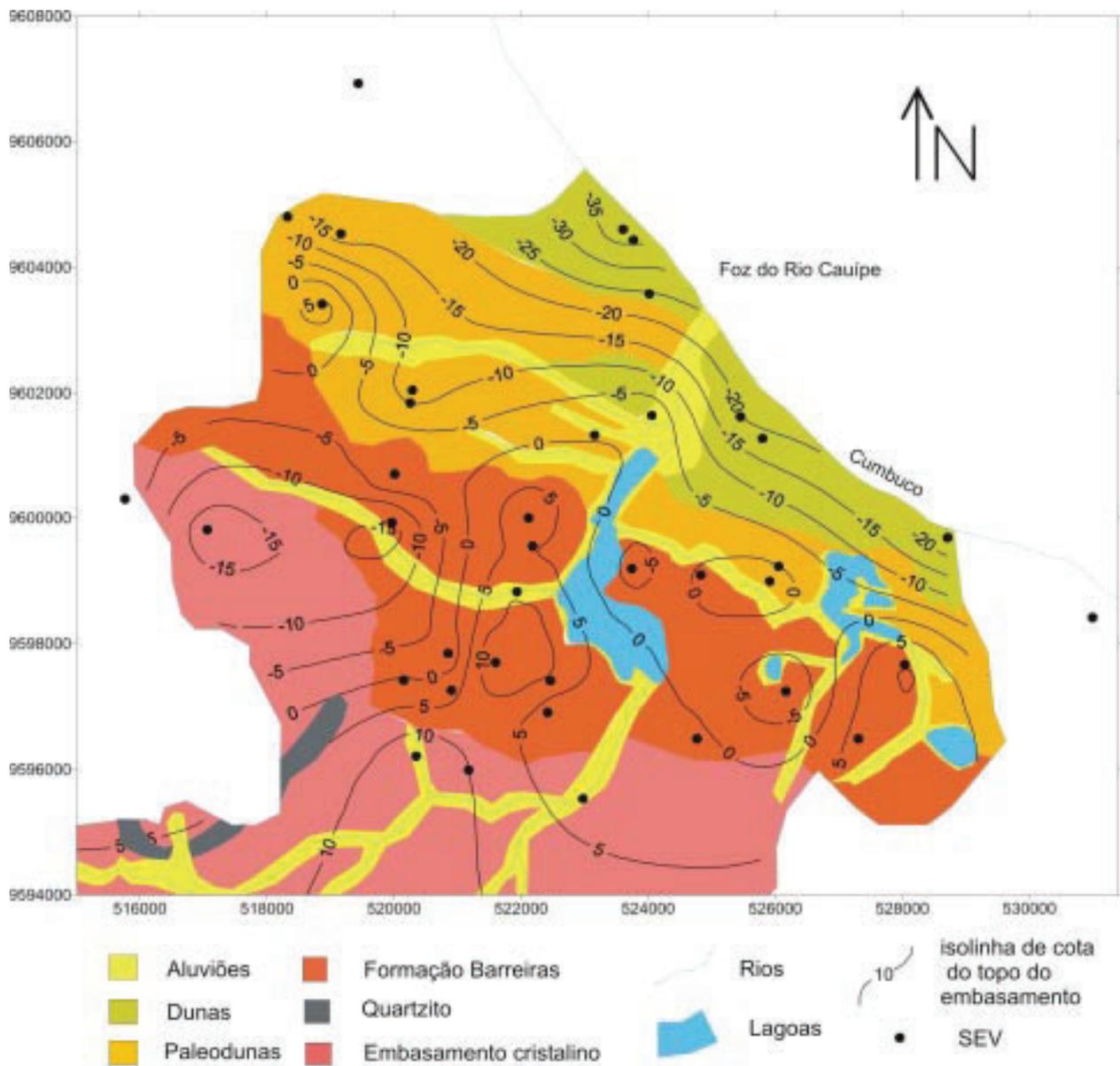


Fig. 8. Mapa da morfologia do topo do substrato cristalino, referenciada ao nível do mar. Intervalo de contorno de 5m.

o manto de intemperismo do terreno cristalino e sobre terrenos sedimentares (Formação Barreiras, aluviões e dunas) são bem correlacionáveis, de modo que o mapa potenciométrico reflete, no geral, os contornos esperados para o vale.

As cargas hidráulicas variam de 30 a 40 m nas encostas até 5 m em pontos da planície litorânea. As isolinhas de 15 m delimitam bem a calha do vale. Note-se que, da parte central da área até o litoral, o leito do rio Cauípe está deslocado para oeste em relação à calha

potenciométrica. Duas outras situações chamam a atenção nesse mapa. A primeira diz respeito ao alto potenciométrico centrado na lagoa do Banana. A segunda, de menor relevância, é referente a um pequeno baixo potenciométrico em torno da localidade de Pitombeira (ponto d'água 7 da Tab. 3).

Com base em 70 medidas de condutividade elétrica (Tab. 1 e 3), foi elaborado o mapa de condutividade elétrica mostrado na Fig. 10.

Tab. 3. Dados do levantamento hidrogeológico (Marinho & Vasconcelos, 2000).

Nº	UTM		LOCALIDADE	Cota (m)	NE (m)	Potencial (m)	Cond. (mS/cm)	Tipo de captação
	E-W	N-S						
1	516253	9600030	Tabuba	36	5,01	30,99	148	cacimba
2	519850	9598016	Fazenda Vitória	34	5,49	28,51	217	cacimba
3	520118	9600137	Estrada dos Matões	30	10,37	19,63	820	cacimba
4	520324	9602500	Estrada dos Matões	30	4,41	25,59	163	cacimba
5	519165	9604425	Baixo das Carnaúbas	40	5,01	34,99	150	cacimba
6	518550	9607163	Pousada dos Ventos	32	9,50	22,50	275	cacimba
7	522415	9596942	Pitombeira	12	10,52	1,48	395	cacimba
8	521735	9598866	Lagamar	25	3,23	21,77	900	cacimba
9	524226	9601446	Cristalina	20	0,50	19,50	389	cacimba
10	526205	9601300	Praia	2	2,00	0,00	525	cacimba
11	529940	9599083	Pous. Dunas do Cumbuco	12	3,80	8,20	189	poço
12	527873	9598965	Lagoa do Banana	51	4,50	46,50	320	poço
13	527886	9597788	Lagoa do Banana	41	3,60	37,40	154	cacimba
14	527623	9598165	Lagoa do Banana	44	3,44	40,56	129	cacimba
15	525927	9597210	Lagoa do Tanupaba	35	4,89	30,11	185	cacimba
16	522932	9595134	Fazenda Durango	14	5,00	9,00	18400	poço
17	526467	9597479	Tapuio	35	4,30	30,70	263	cacimba
18	525916	9598407	Lot. Porto Seguro	28	1,03	26,97	129	cacimba
19	525169	9599033	Igreja pentecostal	20	4,10	15,90	206	cacimba
20	526395	9599212	Caraúbas	29	2,05	26,95	360	cacimba
21	525330	9599288	Caraúbas	20	7,03	12,97	98	cacimba
22	524504	9599164	Pirapora	20	6,38	13,62	94	cacimba
23	523454	9598876	Lagamar-Ponta da Ilha	21	5,91	15,09	193	cacimba
24	525188	9599308	Caraúbas	24	7,10	16,90	-	cacimba
25	526818	9599525	Lagoa do Banana	30	0,47	29,53	444	cacimba
26	520596	9597376	Caipirão	30	6,77	23,23	150	cacimba
27	521047	9596992	Abençoado	22	2,9	19,10	728	cacimba
28	521447	9598854	Alto na Est. das Pedras	25	7,56	17,44	418	cacimba

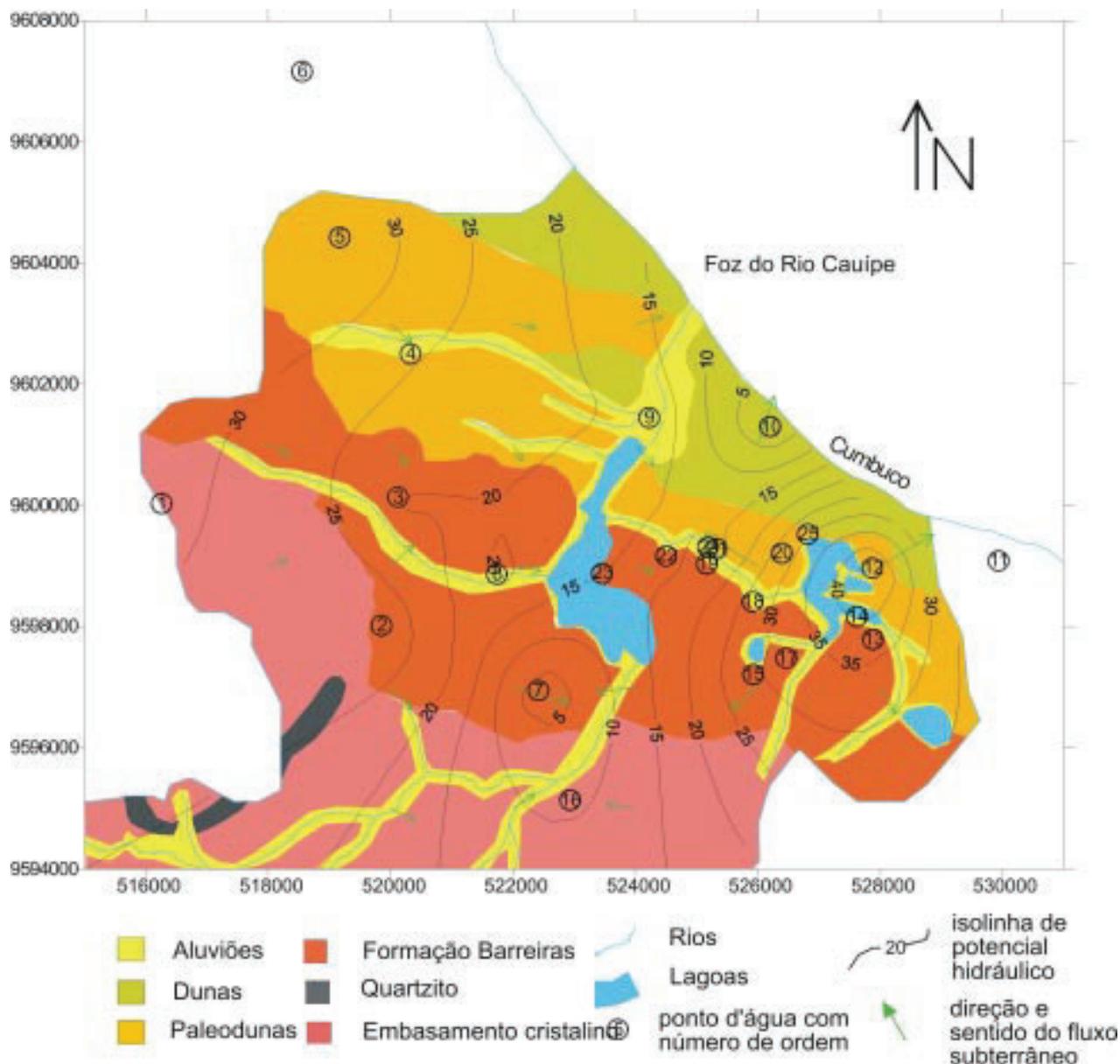


Fig. 9. Mapa potenciométrico e linhas de fluxo das águas subterrâneas, mostrando os pontos d'água utilizados. Intervalo de contorno de 5 m. Observe a indicação de um paleovale na parte central da área entre as isolinhas de 15 m.

Os valores decrescem de 8000 \square S/cm, no extremo sul da área, de domínio hidrogeológico tipicamente cristalino, até 200 \square S/cm em diversos locais da cobertura sedimentar evidente. Um forte gradiente com variação de 400 a 1000 \square S/cm sugere uma separação entre os domínios hidrogeológicos cristalino e sedimentar. Apenas duas medidas de condutividade foram

disponibilizadas próximas à linha de praia, uma com valor 535 \square S/cm e outra com valor 189 \square S/cm já fora da bacia (pontos d'água 10 e 11 na Tab. 3), de modo que pouco se pode afirmar sobre o comportamento da condutividade ao longo das praias, mesmo considerando-se o caráter regional do mapa.

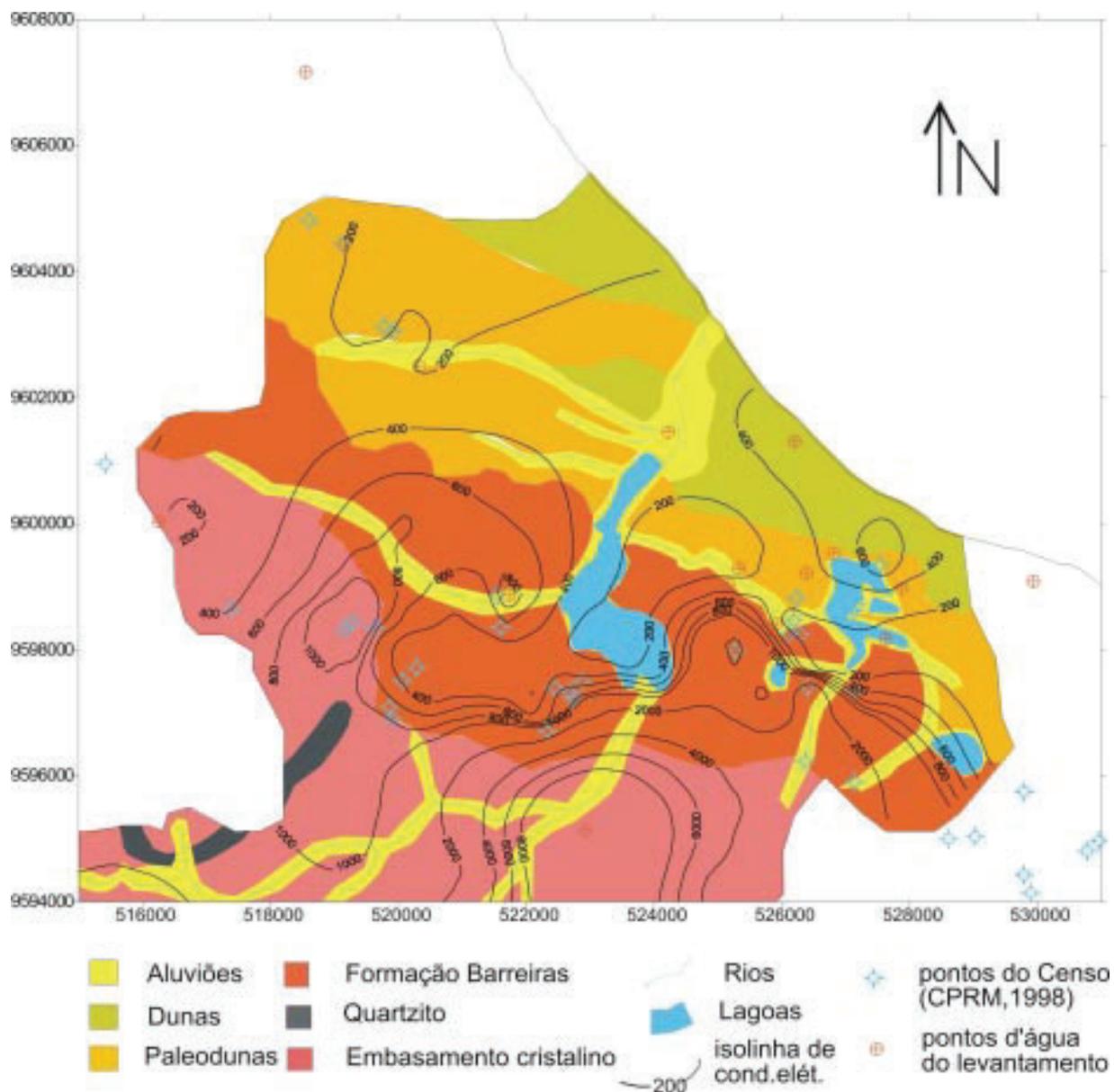


Fig. 10. Mapa de condutividade elétrica. Foram utilizados dois intervalos de contorno, até 1000 \square S/cm intervalos de 200 \square S/cm e acima intervalos de 1000 \square S/cm. Note o forte gradiente na parte central que indica a separação entre os domínios hidrogeológicos sedimentar e cristalino.

5. Discussão e conclusões

Os estudos geofísicos e hidrogeológicos aqui realizados conduziram a uma delimitação da zona aquífera, de seu fluxo subterrâneo e da qualidade química das águas subterrâneas da área ao nível da escala de estudo.

O aquífero livre varia em espessura dependendo da morfologia do substrato cristalino

são, que foi identificada como suave. As espessuras saturadas variam de quase nula ao sul da área, por exemplo, ao longo de trechos da rodovia CE-085, até cerca de 40 m, nas encostas do vale, por exemplo, nos locais das SEVs 15 e 28 (Fig. 2). Na planície litorânea essas espessuras estão em média entre 20 e 30 m. As profundidades deste aquífero variam de 0,5 a 10,5 m.

Assumindo-se que abaixo de 1000 \square S/cm

(equivalente a 650 mg/L de sólidos totais dissolvidos) as águas têm qualidade química para uso humano, o estudo mostra que as águas da cobertura sedimentar porosa estão, no geral, nessa faixa. Acima desse limite predominam as águas do aquífero fissural, tendo o ponto d'água 16 (Tab. 3), na Fazenda Durango, atingido, excepcionalmente, o valor de 18.400 \square S/cm.

No lado oeste da Praia do Cumbuco, o ponto d'água 10 (Tab. 3) apresentou a condutividade de 525 \square S/cm, que é um valor relativamente alto se comparado aos demais valores encontrados na zona costeira. Valores acima desse foram observados em pontos ao norte da lagoa do Banana. Esses valores podem estar influenciados pela contribuição do aquífero fissural ou podem estar indicando a presença de um ambiente lagunar recoberto por dunas.

O sistema aquífero freático da área pode ser classificado como único. O mapa potenciométrico e o fluxo atestam isso (Fig. 9). O aquífero dunas é, reconhecidamente, o mais importante aquífero presente na zona costeira do Estado do Ceará, sendo também o mais distinguido na área de estudo.

O manto de intemperismo sobre terrenos cristalinos, com possibilidade hidrogeológica reduzida, é identificado no vale do rio Cauípe, por exemplo, nas SEVs 5 e 37, respectivamente, na CE-085 e na fazenda Coité (Fig. 2 e 3). Nas encostas do vale, o manto de intemperismo foi detectado nas SEVs 7, 24, 31, no Loteamento Planalto Cauípe, e em material de várias cacimbas.

Com relação à Formação Barreiras, esta é pouco caracterizada e comumente confundida com o manto de intemperismo sobre o embasamento resistivo. Nos locais das SEVs 15 e 28 (Fig. 2 e 5), pelas espessuras obtidas e pelo formato das curvas, o aquífero Barreiras tem presença expressiva.

O mapa potenciométrico (Fig. 9) revela dois fatos importantes: a) a existência de um paleovale do rio Cauípe na parte central da área, o qual está deslocado para leste; o mapa do topo do substrato cristalino (Fig. 8) corrobora esta afirmativa; e b) a lagoa do Banana está no divisor de águas das bacias do Cauípe e Juá. Portanto,

sendo uma área de recarga, deve merecer maior atenção no que se refere à proteção contra poluição.

Nos locais das SEVs 9 e 30 (Fig. 2), o substrato cristalino foi interpretado como sendo constituído por rochas vulcânicas, cuja potencialidade hidrogeológica merece ser investigada.

Com relação às potencialidades hidrogeológicas da área concluímos que: a) as possibilidades de exploração de água subterrânea são limitadas, sendo o aquífero dunas o mais promissor; e b) a identificação de zonas fraturadas, onde ocorre a cobertura sedimentar, pode conduzir a exploração mista dos aquíferos sedimentar e fissural, com aumento de vazão, mas podendo ocorrer um acréscimo de salinidade pela contribuição do aquífero fissural.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), através do Convênio CNPq-FUNCAP-FCPC, pelo apoio financeiro a esta pesquisa. Também somos agradecidos ao Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR) do DEGEO/UFC pelo apoio logístico a várias atividades desta pesquisa.

Referências bibliográficas

- Brandão, R.L., 1994, Mapa geológico da região metropolitana de Fortaleza. Escala 1:100000. Texto Explicativo, CPRM/ REFO, Fortaleza, 27p.
- Brandão, R.L., 1995, Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza, Série Ord. Territ., v.1, CPRM, Fortaleza, 87 p.
- Castro, D.L. & Castelo Branco, R.M.G., 1999, Contribuição da Gravimetria na Prospecção de Água Subterrânea no Litoral Norte do Ceará, Brasil. 6th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Exp. Abst., Rio de Janeiro, SBGf00699, 4p.

- CPRM/REFO, 1999, Atlas dos recursos hídricos subterrâneos do Ceará, CD-ROM.
- DNPM, 1998, Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Fortaleza. Série Difusão Tecnológica, Nº 7, 192p.
- Inmam, J.R., 1975, Resistivity inversion with Ridge Regression. *Geophysics*, **40**: 1088-1108.
- Marinho, J.M.L. & Lima, O.A.L., 1997, Características hidráulicas de aquíferos na região de Acaraú-Itarema, Ceará, usando sondagens de eletrorresistividade. 5th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Exp. Abst., São Paulo, **1**: 445-448.
- Marinho, J.M.L., 1997, Inversões de sondagens de eletrorresistividade com aplicação ao estudo de aquíferos clásticos na região Itarema-Acaraú, Ceará. Tese de Doutorado, UFBA, Salvador, 170p.
- Marinho, J.M.L. & Vasconcelos, S.M.S., 2000, Estudos geoeletricos/hidrogeológicos da zona costeira da bacia do Rio Cauípe, Caucaia, Ceará, Brasil. I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas (CD-ABAS174), Fortaleza, 19 p.
- Marinho, J.M.L. & Vasconcelos, S.M.S., 2001, Imageamento geoeletrico de colunas e secções de modelos 1-D utilizando técnicas geostatísticas. 7th International Congress of the Brazilian Geophysical Society (CD-7CISBGf/TS24), Salvador, 100-103.
- Rijo, L., Pelton, W.H., Feitosa, E.C. & Ward, S.H., 1977, Interpretation of apparent resistivity data from Apodi Valley, Rio Grande do Norte, Brazil. *Geophysics*, **42**: 811-822.
- Zohdy, A.A.R., 1989, A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves. *Geophysics* **54**: 245-253.
- Zohdy, A.A.R. & Bisdorf, R.J., 1989, Programs for the automatic processing and interpretation of Schlumberger sounding curves in QuickBasic 4.0, USGS, Open-File Report, A&B, 89-137.