

ESTUDOS HIDRO-ESTRATIGRÁFICOS DA BACIA DO ARARIPE, CEARÁ, UTILIZANDO ELETRORRESISTIVIDADE

José Márcio Lins Marinho¹; Walber Cordeiro²; Sônia Maria Silva Vasconcelos¹ &
Mauro Lisboa Souza³

RESUMO - Este trabalho foi realizado na Bacia Sedimentar do Araripe, no Estado do Ceará, tendo os estudos sido desenvolvidos nos municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Santana do Cariri .

O objetivo deste trabalho foi a utilização da interpretação de dados de eletrorresistividade na tentativa de estabelecer uma correlação entre estes e as colunas hidro-estratigráficas dos diversos blocos do Graben Crato-Juazeiro.

Foram analisadas e re-interpretadas SEVs (Sondagens Elétricas Verticais) executadas anteriormente em outros trabalhos e, como complemento destes, foram realizadas 21 sondagens Schlumberger com AB/2 de 1000 a 2000m.

Na análise e interpretação dos dados das SEVs aplicou-se, nesse trabalho, a técnica de imageamento geolétrico como ferramenta auxiliar dos processos de interpretação/visualização dos estratos geolétricos, tanto em colunas como em seções 2-D, inclusive com a parametrização destas através de dados de poços com perfilagem geofísica.

Conclui-se que a metodologia aqui adotada foi bastante proveitosa na identificação dos sistemas aquíferos da Bacia, como também na delimitação do graben e seus sub-blocos, constituindo-se em uma excelente ferramenta no estudo da hidro-estratigrafia da Bacia do Araripe.

ABSTRACT - This work was carried out in the Araripe Sedimentary Basin, State of the Ceará. The work area comprises parts of the cities of Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha and Santana do Cariri.

The work objective was the use of the interpretation of geo-electrical data to establish a correlation between these and the hydro-stratigraphycs columns of the diverse blocks of the Crato-Juazeiro Graben.

Vertical Electric Soundings (VES) executed previously in other works were analyzed and re-interpreted. As complement of these, it was carried out 21 Schlumberger soundings with AB/2 between 1000 and 2000m.

1 Prof. do Depto. de Geologia da UFC, Campus do Pici, Bloco 912 – Fones: (85) 288.9867 e 288.9875 – Fax: (85) 288. 9874 – e-mail: marinho@ufc.br / smaria@ufc.br

2 Geólogo, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH, Rua Carolina Sucupira, 960 Apto. 302, Aldeota – Fortaleza-Ce, Fone: (85) 261.3425 e-mail: walberc@cogerh.com.br

3 Geólogo, Mestrando do Depto. de Geologia da UFC, Campus do Pici, Bloco 912 – e-mail: souzamlk@bol.com.br.

The technique of geo-electric imaging was used in the analysis and interpretation of the geo-electric data, as auxiliary tool in the interpretation/visualization processes of geo-electric layers, as much in columns as in 2-D sections, also with the parameterization of these through drilled well and electric logging data.

It is concluded that the methodology here adopted was sufficiently beneficial in the identification of the water-bearing systems of the Basin, as well as the delimitation of the Graben and its sub-blocks, one consists in an excellent tool in the study of the hydro-stratigraphy of the Araripe Basin.

Palavras-chave: Eletrorresistividade, Bacia do Araripe, Hidrogeologia, Missão Velha, Nordeste do Brasil

INTRODUÇÃO

Há mais de um século que realizam-se estudos geológicos na Bacia Sedimentar do Araripe. No entanto, somente a partir da década de 70 se deu início o primeiro trabalho envolvendo geofísica, conforme Rand e Manso (1984). Objetivando mineralizações de sulfetos metálicos, o DNPM/CPRM (1978a), através do Projeto Santana, utilizaram o método eletromagnético VLF (Very Low Frequency), o elétrico IP (Indução Polarizada), e perfilagem de poços. Posteriormente a este, o DNPM/CPRM (1978b e 1982) realizaram trabalhos de aeromagnetometria que abrangeram parte da Bacia do Araripe. A partir de então os trabalhos de geofísica na bacia foram intensificados com a utilização da Gravimetria, da Sísmica de Reflexão, da Perfilagem Geofísica e da Eletrorresistividade.

Os principais trabalhos de Gravimetria que constam da literatura são os de Rand (1983), Rand e Manso (1984), Oliveira (1983) e Castro e Castelo Branco (1999). Os trabalhos pioneiros dos três primeiros autores levaram a PETROBRAS a realizar 10 linhas sísmicas de reflexão na Bacia do Araripe para prospecção de petróleo (Seiscon Delta, 1985). Com base nos estudos de sísmica, a PETROBRAS perfurou em 1986 o poço estratigráfico Araripe nº1 (2-AP-1-CE), o qual foi perfilado por Azevedo & Travassos (1986). As linhas sísmicas e a perfuração do poço pioneiro ensejaram muitos trabalhos, dentre eles destacamos os de Ponte e Appi (1990), Ponte (1993) e Ponte e Ponte Filho (1996). Castro e Castelo Branco (1999) acrescentaram mais estações gravimétricas as já existentes e apresentaram uma caracterização atualizada da arquitetura interna da Bacia do Araripe.

Os trabalhos anteriores de Eletrorresistividade de maior destaque são os de Marques et al. (1984) e da CAGECE/PLANAT (1984). O primeiro foi realizado na Chapada do Araripe, no vale do Riacho Gravatá; o segundo está inserido na Sub-Bacia do Cariri, nas cercanias da Cidade de

Juazeiro. Ambos os trabalhos tiveram objetivos hidrogeológicos e ficaram restritos à problemas bem específicos e à áreas pequenas, em relação aos 8000 km² da Bacia do Araripe.

O presente trabalho trata da re-avaliação de estudos geoeletricos anteriores e de um recente levantamento geofísico por eletrorresistividade, o qual compreendeu 21 Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), distribuídas em uma extensa superfície da bacia. Os objetivos principais são de caráter estratigráfico e hidrogeológico, onde a Formação Missão Velha é o alvo central. Secundariamente, procurou-se contribuir para a delimitação do graben Crato-Juazeiro.

Localização da área estudada

A área estudada está localizada no sul do Estado do Ceará a aproximadamente 600 km de Fortaleza, sendo abrangida pela região denominada de Cariri. Os estudos foram desenvolvidos principalmente nos municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Santana do Cariri e sobre os litótipos da Bacia Sedimentar do Araripe, numa área com cerca de 1000 km² (Figura 1).

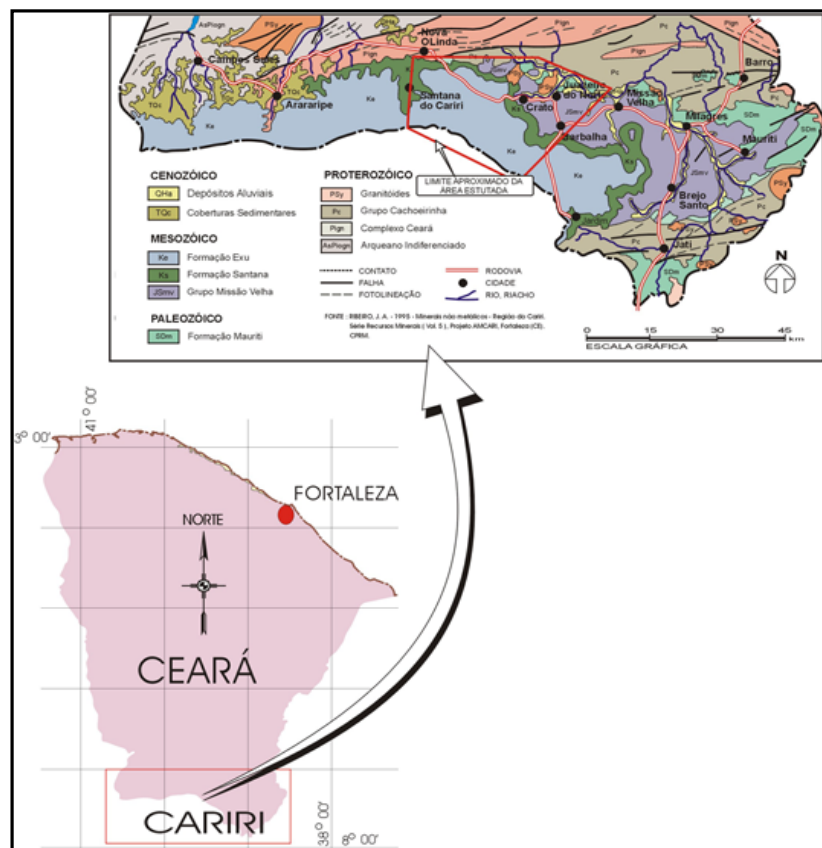


Figura 1 – Localização e geologia da área estudada

ESTRATIGRAFIA E HIDROGEOLOGIA DA BACIA

Na região do Cariri, a formação aquífera mais importante está representada pela Formação Missão Velha, caracterizada por ser constituída de sedimentos arenosos grosseiros, com fraca seleção e intercalações argilosas (Gaspari e Anjos, 1964).

A Bacia Sedimentar do Araripe foi submetida a diversos eventos tectônicos resultando em altos e baixos estruturais (horsts e grabens) que afetaram a deposição original do aquífero. Independentemente da cronologia tectônica, informações até agora obtidas revelam que a Formação Missão Velha sofreu compartimentações bem definidas, bem como variações faciológicas laterais. Além deste aspecto, verifica-se com base nos dados atuais, que a Formação Missão Velha possui possanças diferenciadas, associadas à existência de estruturas e ao contexto deposicional.

Muitos autores propuseram colunas litoestratigráficas para a bacia do Araripe, iniciando-se com Small em 1913 e chegando aos estudos de Ponte & Appi em 1990 (Tabela 1). Neste trabalho foi adotada a coluna litoestratigráfica destes últimos, não só por ser a mais adotada ultimamente, mas também por permitir uma melhor correlação com os litótipos atravessados nas inúmeras perfurações analisadas, pois estes autores basearam seus estudos na análise do poço pioneiro 2-AP-1-CE (Figura 2), mencionado anteriormente.

Tabela 1 – Principais colunas estratigráficas propostas para e Bacia do Araripe (Ponte e Appi, 1990).

SMALL		BEURLEN		GASPARY & ANJOS	PONTE & APPI	
1913		1963		1964	1990	
Série Araripe	Arenito Superior	Fm. Exu		Fm. Feira Nova	Grupo Araripe	Fm. Exu
	Calcáreo de Sant'Ana	Fm. Santana	Mb. Superior	Fm. Santana		Mb. Romualdo
			Mb. Gipsífero			Mb. Ipubi
			Mb. Inferior		Mb. Crato	
	Arenito Inferior	Fm. Missão Velha		Fm. Missão Velha	Gp. Vale do Cariri	Fm. Rio da Batateira
				Fm. Brejo Santo		Fm. Abaiara
Conglom. Basal	Fm. Cariri		Fm. Mauriti	Fm. Missão Velha		Fm. Brejo Santo
				Fm. Mauriti		

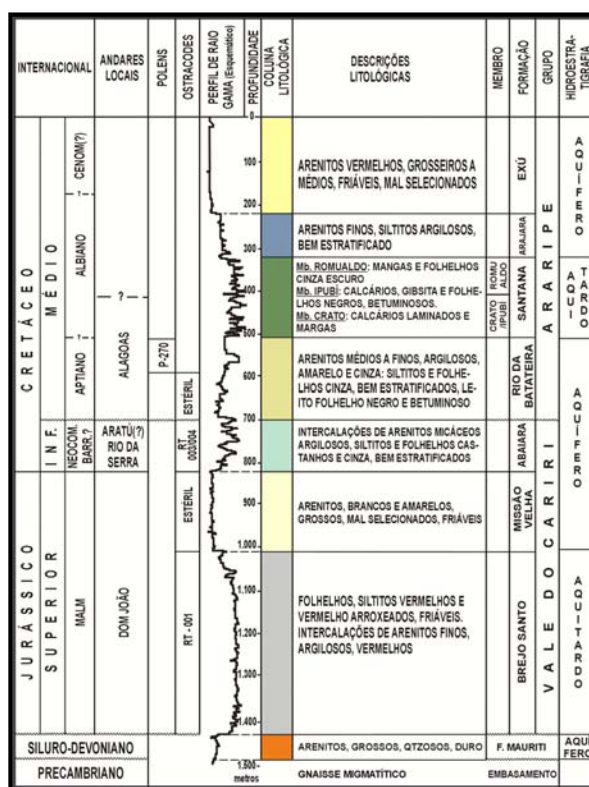


Figura 2 – Coluna lito-estratigráfica de Ponte & Appi (1990), ilustrada pelo poço 2-AP-1-CE.

O LEVANTAMENTO GEOFÍSICO POR ELETRORRESISTIVIDADE

Antecedentes

A respeito de trabalhos geofísicos anteriores por eletrorresistividade na região da bacia do Cariri, destaca-se Marques *et al.* (1984) e CAGECE/PLANAT (1984), em forma de relatórios convencionais; o geofísico R. Roncy de Oliveira, que executou, entre 1992 e 2001, mais de uma centena de outras SEVs na área da Bacia para a locação de poços, nos cedeu gentilmente tais sondagens, as quais estão sendo processadas.

Marques *et al.* (1984) realizou trabalho em uma área a sul do Graben Crato-Juazeiro, nas localidades de Gravatá, Cacimba e Baixa Grande, cobrindo uma faixa de 34 km por 400 m, objetivando a prospecção de água subterrânea nos arenitos da Formação Exu. Tal trabalho foi executado para o NUTEC (Núcleo de Tecnologia do Estado do Ceará). Foram executadas 60 sondagens elétricas verticais (SEVs) com o dispositivo Schlumberger com AB/2 máximo de 400 m ao longo da calha da Falha de Jardim e 41 km de perfis (caminhamentos) elétricos com arranjo Wenner transversais a calha e com 400 m de extensão.

Este trabalho concluiu que ocorre um aquífero descontínuo raso, com espessura média da ordem de 10 m. Também revelou que a parte inferior da Fm. Exu é constituída predominantemente por sedimentos argilosos, de baixa condutividade hidráulica. Sobreposto ao aquífero, a Formação

Exu, em grandes trechos, é formada por arenito duro, por vezes silicificado, que dificulta a construção de poços escavados (cacimbas).

O trabalho realizado pela PLANAT a serviço da CAGECE em 1984, para ampliar a oferta hídrica da Cidade de Juazeiro do Norte, objetivava a investigação das propriedades hidrogeológicas e da geometria da Formação Missão Velha. Este trabalho possibilitou a escolha de áreas de melhor transmissividade para a locação de novos poços e colaborou também no mapeamento de falhamentos que limitam lateralmente a extensão do aquífero.

Foram executadas 47 SEVs com AB/2 máximo de 900m e 5 caminhamentos elétricos com AB/2 de 200m. O trabalho desenvolvido pela PLANAT encontra-se inserido na área do Graben Crato-Juazeiro, mais precisamente em sua porção nordeste e traz informações valiosas do aquífero Missão Velha, destacando-se a seqüência geoeétrica genérica representativa da área correlacionada com a seqüência litológica (Tabela 2).

Tabela 2 - Seqüência geoeétrica correlacionada com a seqüência litológica (CAGECE/ PLANAT, 1984)

Horizonte	Resistência Verdadeira (ohm.m)	Litologia
1	3-2400	Recobrimento vários, em especial aluviões argilosos (resistividades muito baixas) e areias não saturadas.
2	5-20	Nível provável de arenitos argilosos no topo da Formação Missão Velha.
3	60-150	Nível mais arenoso (aquífero) da Formação Missão Velha.
4	5-20	Nível provável de arenitos argilosos e/ou folhelhos na porção média da Formação Missão Velha.
5	80-130	Nível mais arenoso (aquífero) da Formação Missão Velha.
6	5-6	Substrato constituído de folhelhos calcíferos, avermelhados, atribuídos à Formação Brejo Santo.

Características do levantamento

Nas sondagens elétricas verticais Schlumberger, executadas nesse trabalho, foi utilizada uma separação mínima de 2 km e máxima de 4 km entre os eletrodos de corrente AB. O resultado das etapas de campo foi a realização de 21 sondagens elétricas verticais, as quais foram processadas, interpretadas e imageadas conforme metodologia descrita adiante.

Os equipamentos utilizados no levantamento foram: a) Tectrol, modelo TDC 1000/12, para transmissão de corrente e b) DPM Engenharia, modelo PER-80 e ER-300, para recepção de potencial.

Processamento e interpretação dos dados

A metodologia no método de SEV envolve uma seqüência sistemática de coleta de dados em campo e de análise conceitual / computacional desses dados, interpretando-os em forma de estratos geoeletricos horizontais. Os dados calculados de resistividade aparente, para uma determinada localidade, são lançados em um gráfico bilogarítmico, ficando as distâncias $AB/2$ (m) em abscissas e os valores de resistividade aparente ρ_a (ohm.m) no eixo das ordenadas. O posicionamento da SEV, através de GPS (*Global Positioning System*), e a determinação de sua cota, através de um altímetro de precisão, fazem parte da rotina de campo de uma sondagem elétrica vertical.

O processamento de uma Sondagem Elétrica Vertical (SEV) foi realizado nesse trabalho conforme Zohdy (1989). A partir dos dados de campo, elabora-se o arquivo sev.fld, contendo os dados de $AB/2$ e de ρ_a , o qual serve de entrada para o programa ATO (Zohdy e Bisdorf, 1989); esse arquivo é processado nesse programa obtendo-se um arquivo digitalizado (sev.dgt) com seis pontos por ciclo logarítmico.

Atualmente, é crescente a utilização de modelo multicamadas na interpretação de SEVs, por dar resultados mais consistentes e fâcies de serem aplicados (p. exemplo, Zohdy, 1989; Nowroozi *et al.*, 1999). Neste sentido, os arquivos sev.dgt são interpretados pelo Programa Resin, atualizado pelos autores durante o desenvolvimento dos trabalhos, programa este que faz uma interpretação multicamadas similar àquela realizada no programa ATO. Em seguida este modelo pode ser invertido no mesmo programa, com um número desejado de camadas, através da técnica clássica da declividade máxima, utilizando-se o método dos mínimos absolutos (Marinho, 1997).

Imageamento geoeletrico

Os resultados da interpretação de uma SEV são apresentados convencionalmente em forma de gráficos contendo os dados de campo, o modelo com os valores de resistividade impressos e a curva teórica correspondente ao modelo adotado.

Na análise e interpretação dos dados de campo aplicou-se, nesse trabalho, a técnica de imageamento geoeletrico como ferramenta auxiliar dos processos de interpretação/visualização dos estratos geoeletricos (Marinho e Vasconcelos, 2001)

O imageamento de uma coluna geoeletrica foi estendido para o imageamento de uma seção 2-D constituindo-se numa ferramenta para visualização do comportamento estratigráfico, a partir da interpretação das SEVs.

CORRELAÇÃO RESISTIVIDADE, ESTRATIGRAFIA E HIDROGEOLOGIA

As sondagens elétricas foram interpretadas conforme a metodologia mencionada anteriormente, aliada às informações de geologia de superfície, aos dados de poços tubulares e de modelos geoeletricos de trabalhos anteriores.

Do ponto de vista hidrogeológico, utilizamos a seguinte divisão da Bacia do Araripe (DNPM, 1996):

- Sistema aquífero inferior (Formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo)
- Aquicluda Brejo Santo
- Sistema aquífero médio (Formações Missão Velha, Abaiara e Rio da Batateira)
- Aquicluda Santana
- Sistema aquífero superior (Formações Arajara e Exu)

O posicionamento das SEVs, de poços e de seções referidas neste trabalho, pode ser visto através de uma das Figuras 3, 4 e 5.

Sondagens elétricas de aferimento

Aqui, apresentaremos os resultados de interpretação de sondagens elétricas que foram executadas nas proximidades de poços tubulares profundos ou de cacimbas com água, com o intuito de aferir parâmetros geoeletricos, particularmente as resistividades dos estratos elétricos, para que se possa melhor correlacionar os estratos geoeletricos com as camadas definidas na hidroestratigrafia

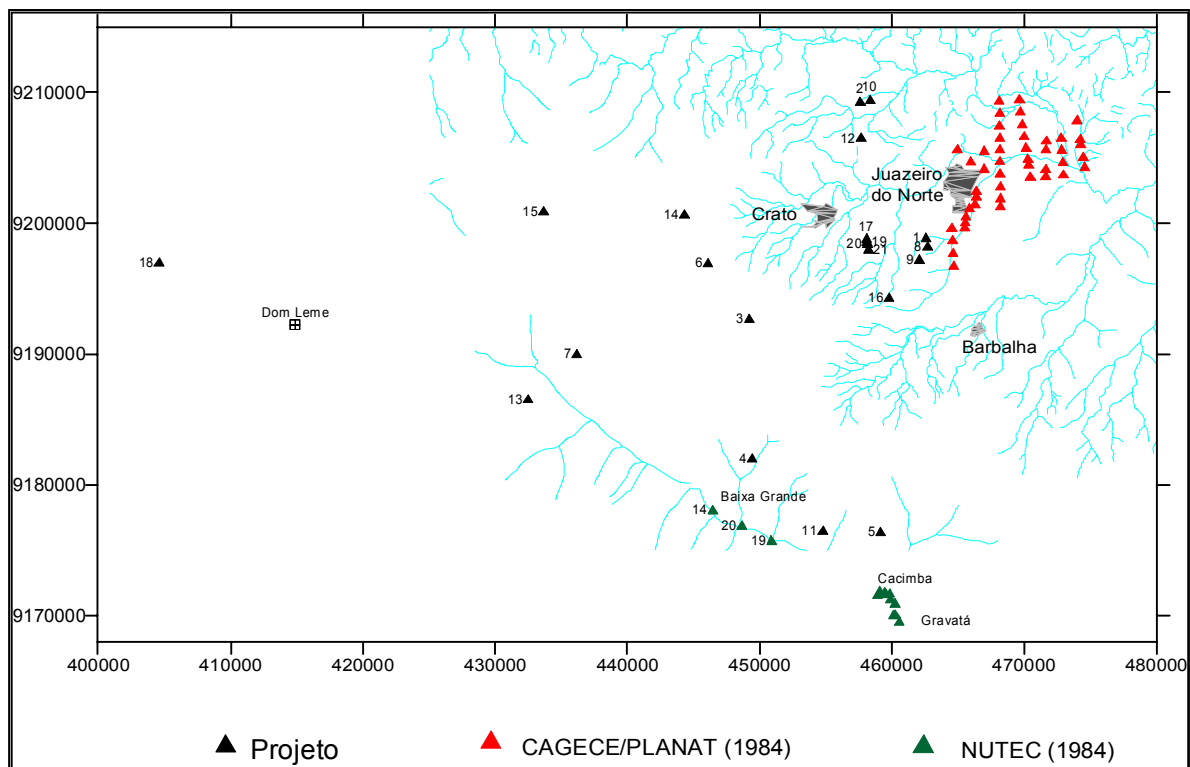


Figura 3 – Mapa geral de localização das SEVs executadas na área estudada.

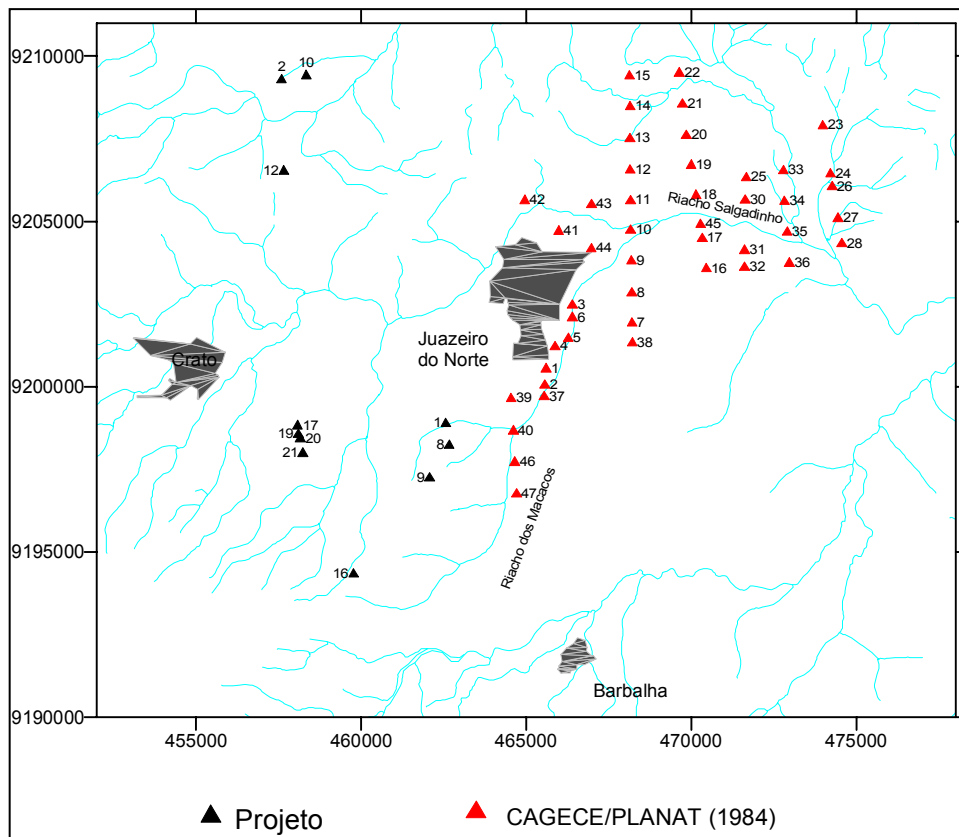


Figura 4 – Mapa detalhado de localização das SEVs executadas na área situada entre Crato, Juazeiro e Barbalha.

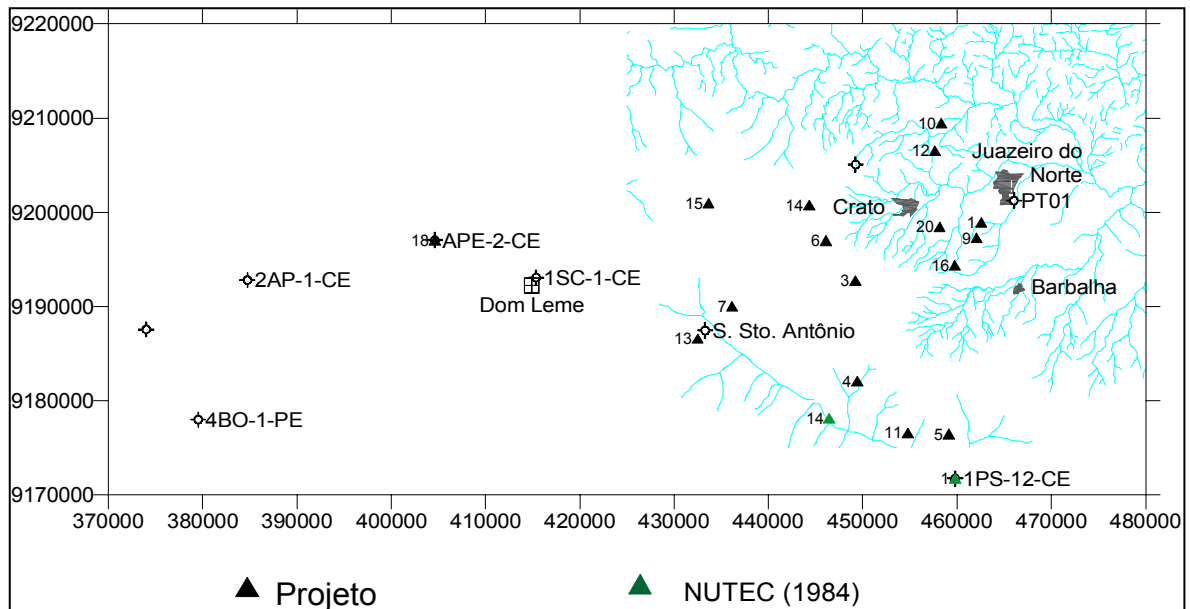


Figura 5 – Mapa de localização de poços tubulares e de sondagens elétricas destacadas.

A sondagem CAGE04 foi realizada próximo ao poço PT01 (Figura 5), o qual foi perfurado para a Cagece em 1976. A re-interpretação dessa sondagem está na Figura 6 (a). A interpretação foi feita de forma livre, sem fixação *a priori* de qualquer parâmetro geoeletrico. A correlação é muito boa tanto com a descrição litológica do poço quanto com a interpretação já feita por Cagece/Planat (1984). Considerando a estratigrafia adotada atualmente, foi possível distinguir as Formações Rio da Batateira (azul) e Abaiara (amarelo), além da Formações Missão Velha (azul) e Brejo Santo (amarelo). Também foi possível se evidenciar um aquífero superficial dentro da Formação Rio da Batateira, aquífero este já mencionado por Gaspari e Anjos (1964). A Formação Abaiara apresenta-se como areno-argilosa em comparação com o caráter argiloso da Formação Brejo Santo e o caráter arenoso da Formação Missão velha. Todas as formações foram evidenciadas na coluna geoeletrica Figura 6 (b).

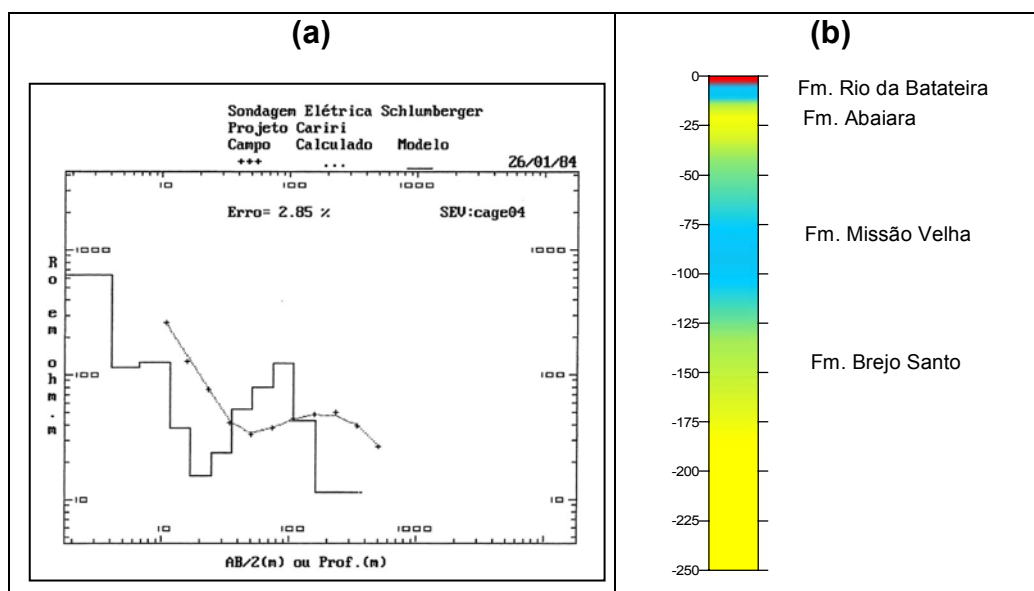


Figura 6 – Sondagem elétrica de aferimento junto ao poço PT-01.
(a) - Re-interpretação da SEV CAGE04. (b) Coluna geoeletrica da CAGE 04.

A sondagem NUT01 foi realizada em 1984 junto ao poço tubular 1-PS-12 CE (Figura 5), o qual foi perfurado em 1978, pela CPRM. Este furo, localizado em Cacimba, Município de Jardim – CE, atravessou 106m de arenito da Formação Exu, 43m de folhelhos escuros da Formação Arajara, 95m de sedimentos finos e evaporíticos da Formação Santana, 86m de arenito da Formação Rio da Batateira e 44m de filitos bandeados do embasamento cristalino. O poço foi perfurado para prospecção mineral abaixo da Formação Exu, mas não atravessou aquíferos, portanto é seco. Deve-se ressaltar que os arenitos diretamente sobrepostos ao embasamento cristalino foram descritos como pertencentes à Fm. Mauriti. A interpretação como Rio da Batateira deve-se aos estudos de sísmica de reflexão conforme Pontes e Pontes Filho (1996).

A Figura 7 (a) traz a interpretação da curva NUT01. A abertura máxima de AB/2 foi de 400m e a profundidade investigada foi inferior à 200m; neste sentido, a investigação elétrica não atravessou todo pacote sedimentar, trazendo informações muito limitadas. A parte bem investigada foi a Fm. Exu como se observa na coluna geolétrica (Figura 7 (b)) que mostra a passagem dos estratos arenosos muito resistivos da Formação Exu (em vermelho) e para os estratos condutivos (em amarelo) das formações subjacentes (Arajara e Santana).

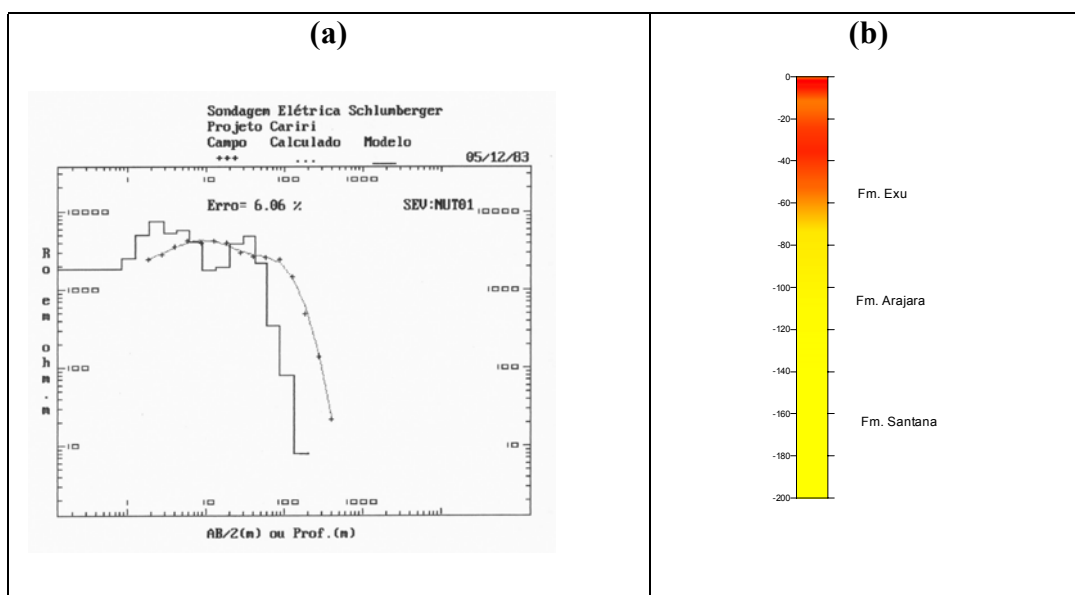


Figura 7 – Sondagem elétrica de aferimento junto ao poço 1-PS-12
(a) - Re-interpretação da SEV NUT01 (b) Coluna geolétrica da NUT01.

Neste trabalho executado pelo NUTEC, em 1983/1984, que abrangeu as localidades de Gravatá, Cacimba e Baixa Grande, foram feitas diversas sondagens elétricas nas proximidades de poços escavados (cacimbas). Uma delas é a sondagem NUT14, situada em uma região onde se constata a presença de um aquífero raso (Figura 3). A interpretação dessa SEV é apresentada na Figura 8 (a). Observe no imageamento dessa sondagem a presença de uma camada aquífera, a qual é intermediária entre o arenito superior muito resistivo (seco) e a base impermeável composta pela Fm. Arajara. A parte final ascendente da curva foi interpretada como relacionada à Fm. Santana mais resistiva (Figura 8 (b)).

Durante os trabalhos complementares, a título de parametrização, foi executada uma sondagem elétrica (SEV 18) no dia 20 de abril de 2002 ao lado do poço tubular profundo PP-2-CE (APE-2-CE), perfurado pela Constroli Projetos e Construções Ltda., em 2000, na Serra do Cruzeiro, Município de Santana do Cariri, para a Secretaria de recursos Hídricos do Estado do Ceará. O posicionamento da SEV e do poço estão nas Figuras 3 e 5.

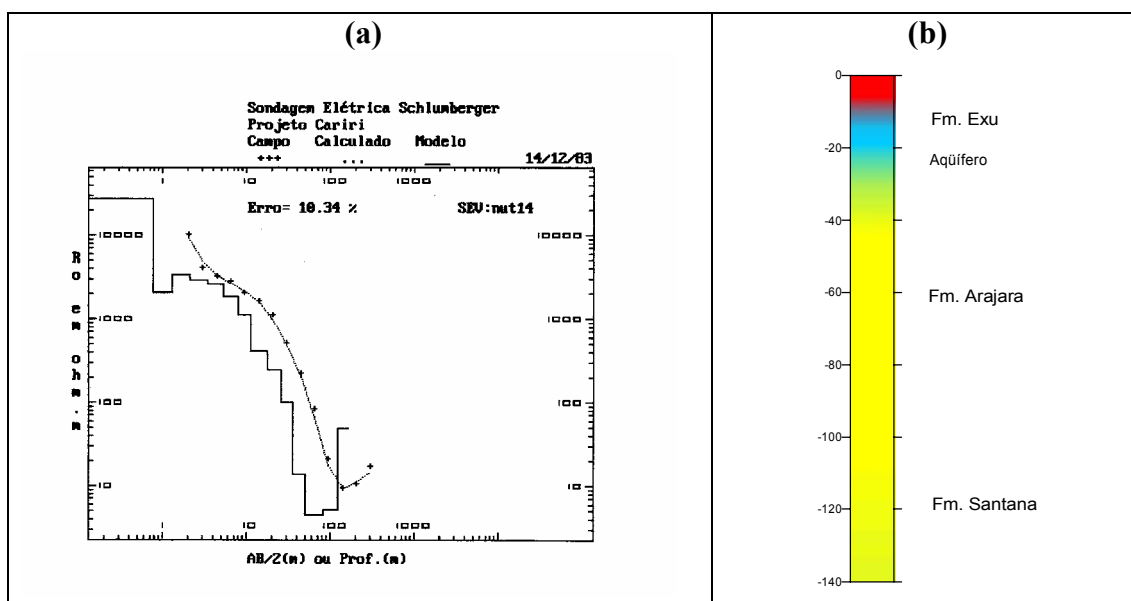


Figura 8 – (a) - Sondagem elétrica de aferimento junto a uma cacimba com água, na localidade de Baixa Grande, Jardim. Nessa região, o aquífero raso ocorre sotoposto ao Arenito Exu, tendo em sua base a Fm. Arajara impermeável. (b) Coluna geolétrica da SEV nut14. Note a zona aquífera (azul) abaixo dos arenitos secos da Formação Exu (vermelho).

Embora este poço esteja visivelmente fora da área do Graben Crato-Juazeiro, é o mais próximo da área em estudo e o que mais tinha informações tais como: relatórios técnicos construtivos, descrição detalhada das litologias atravessadas, testes de vazão e principalmente todos os relatórios da perfilagem com sua interpretação, o que ajudou sobremaneira na definição de um modelo de interpretação para as sondagens de grande profundidade executadas sobre os arenitos da Fm. Exu no topo da Chapada do Araripe.

Para a determinação do modelo geolétrico foram utilizados os dados do perfil litoestratigráfico do Relatório dos Poços Pioneiros (SOHIDRA, 2001) interpretado com o auxílio dos dados da perfilagem da Perfil Master. As informações do Relatório e da perfilagem são conflitantes quanto à definição das Formações, portanto, tornou-se necessária a adoção de uma interpretação mista na qual a cada uma das formações descritas foi atribuído o valor médio da resistividade obtido na perfilagem (Tabela 3).

Tabela 3 – Coluna litoestratigráfica do poço APE-2-CE e suas resistividades

INTERVALO (m)	FORMAÇÃO	RESISTIVIDADE ($\Omega.m$)
0 – 308	Formação Exu	10000
308 – 399	Formação Arajara	10
399 – 525	Formação Santana	15
525 – 584	Formação Rio da Batateira	20
584 – 617	Formação Abaiara	30
617 – 723	Formação Missão Velha	25
723 – 902	Formação Brejo Santo	10

A interpretação dessa sondagem é apresentada na Figura 9 (a) e a coluna geoeétrica gerada pelo modelo na Figura 9 (b).

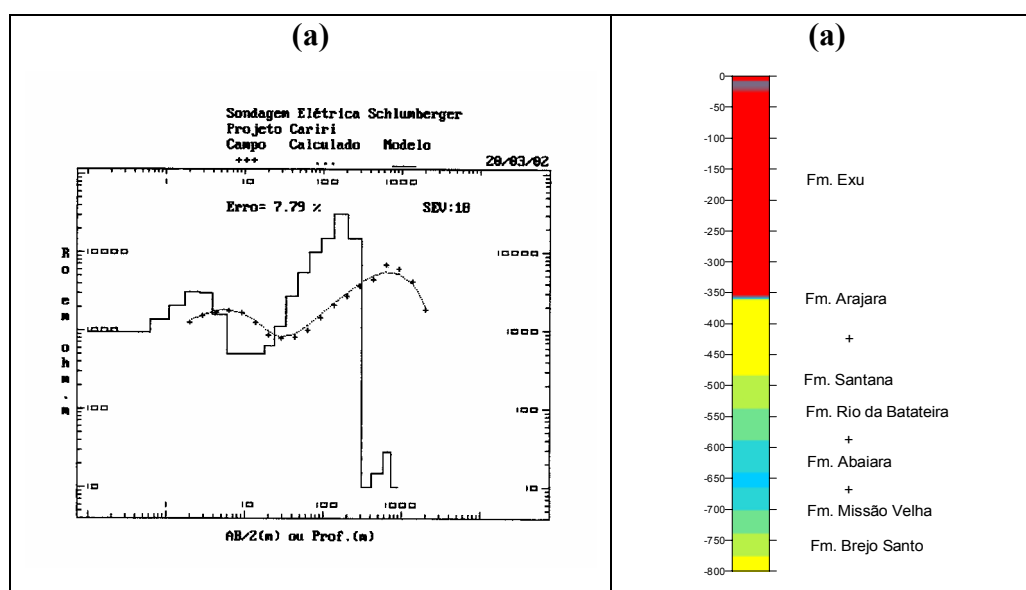


Figura 9 – (a) Sondagem elétrica de aferimento junto ao poço APE-2-CE, na localidade de Serra do Cruzeiro, com Prof. 902m, NE 453m e ND 500m para uma vazão de 75m³/h, (b) Coluna geoeétrica da SEV 18. Note a zona aquífera principal (azul) entre a Fm. Santana e a Fm. Brejo Santo.

Sondagens elétricas típicas

Serão apresentadas agora as interpretações de sondagens elétricas características dos três sistemas aquíferos da Bacia do Araripe. A sondagem SEV12 (ver posição na Figura 4), característica do sistema aquífero inferior, juntamente com sua interpretação e imageamento, é mostrada na Figura 10. A curva da SEV12 apresenta uma delgada cobertura sobre a Formação Brejo Santo onde se observa a presença de um aquífero raso. O ramo ascendente da curva denota a

presença da Formação Mauriti e do substrato cristalino, onde não temos informações hidrogeológicas.

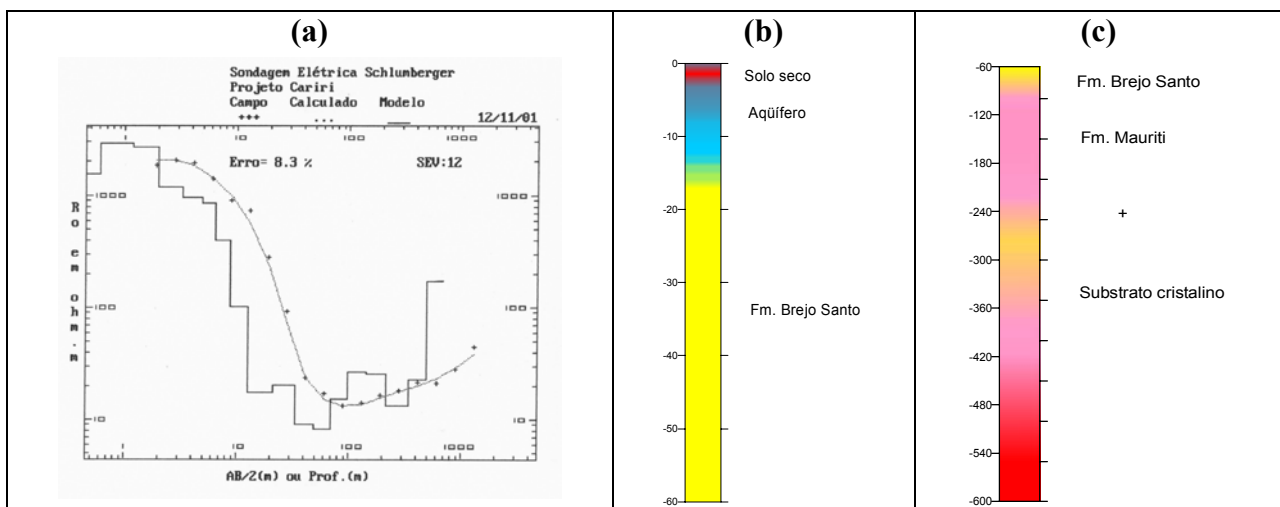


Figura 10 – Esta SEV foi executada sobre uma cobertura delgada do sistema aquífero médio e confirma o limite do graben a noroeste do Crato. (a) Curva e interpretação multicamadas. (b) Imageamento até 60m de profundidade e (c) Imageamento além de 60m.

Uma sondagem elétrica típica do sistema aquífero médio é a CAGE04, já mostrada anteriormente na Figura 6. Uma outra sondagem típica desse sistema aquífero é a CAGE37. Esta, juntamente com as sondagens CAGE39, CAGE40, CAGE46 e CAGE 47 (ver Figura 4), definiram uma zona preferencial de captação no trabalho de Cagece/Planat (1984). Uma bateria de poços foi perfurada para a Cagece nessa zona em 1885 (Lagoa Seca, Juazeiro do Norte); dentre os poços destacamos: PT09, PT13, PT15 e PT16. Na Figura 12 apresentamos a interpretação da sondagem CAGE37. Observe que existe uma boa correlação entre o modelo geológico imageado e a estratigrafia adotada. Na Fm. Rio da Batateira, pode-se distinguir a parte superior resistiva seca e a parte inferior saturada (aquífero superficial). A Fm. Brejo Santo, tendo caráter tipicamente argiloso, sugere que a Fm. Abaiara seja areno-argilosa. A Fm. Missão Velha, aquífero em destaque, foi bem identificado na interpretação.

As duas figuras seguintes mostram duas sondagens típicas do sistema aquífero superior, executadas sobre a Chapada do Araripe. São elas as sondagens SEV03 e SEV07 (ver Figura 3), distanciadas cerca de 13km uma da outra. A Figura 13 mostra a interpretação da SEV03, onde o imageamento estima a espessura da Fm. Exu em 400m. A Figura 14 mostra a interpretação da SEV07; a espessura da Fm. Exu está estimada em 200m. Para ambas, em uma interpretação convencional, o pacote sedimentar que vem abaixo do arenito Exu não pode ser distinguido. O substrato cristalino não foi atingido. No entanto, as formações geológicas abaixo da Fm. Exu foram estimadas na SEV07 devido aos conhecimentos das espessuras obtidas com a coluna litológica do

poço da Serra de Santo Antônio e dos valores de resistividade das formações da perfilagem do poço APE-2-CE.

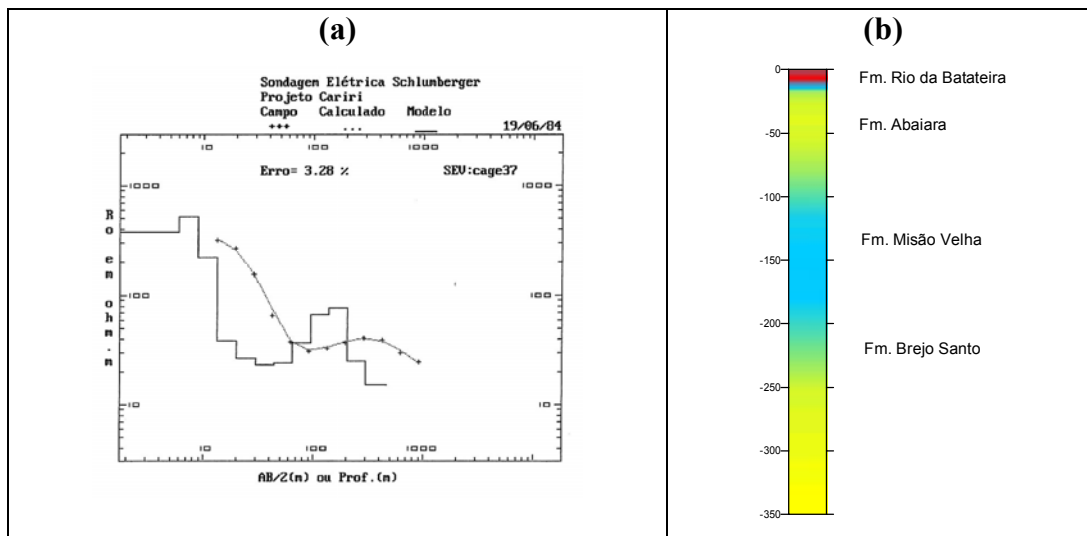


Figura 12 (a) e (b) – Sondagem elétrica típica do sistema aquífero médio. Foi uma das SEVs que indicaram a bateria de poços a sudeste de Juazeiro (Cagece/Planat, 1984).

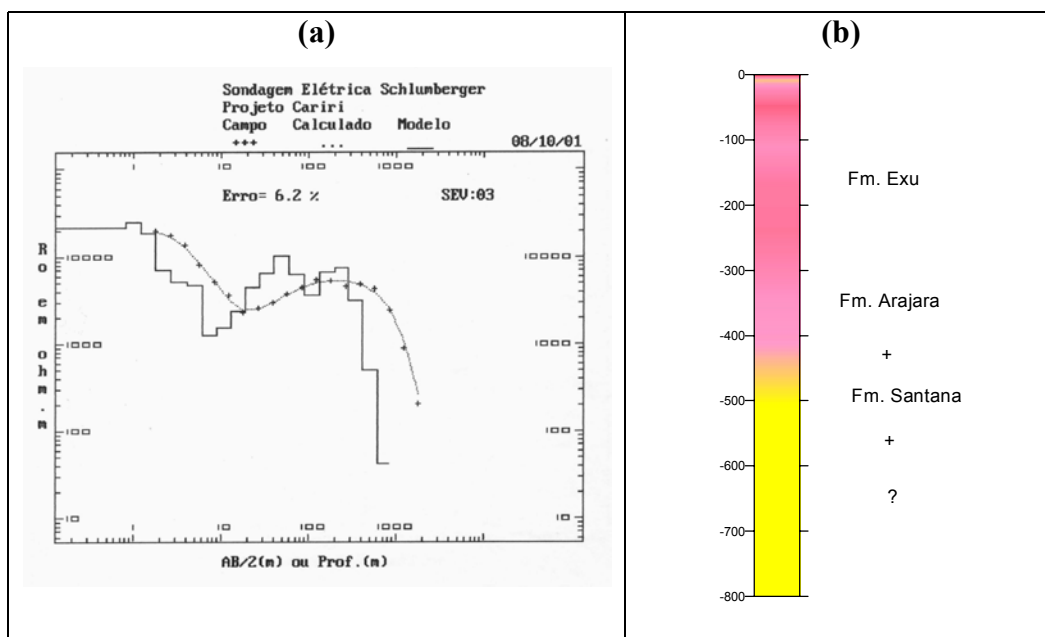


Figura 13 (a) e (b) – Sondagem elétrica típica na Chapada do Araripe. Distingue-se bem a Fm. Exu, mas não foi possível diferenciar as demais formações da Bacia do Araripe. A espessura investigada do pacote sedimentar é da ordem de 800m.

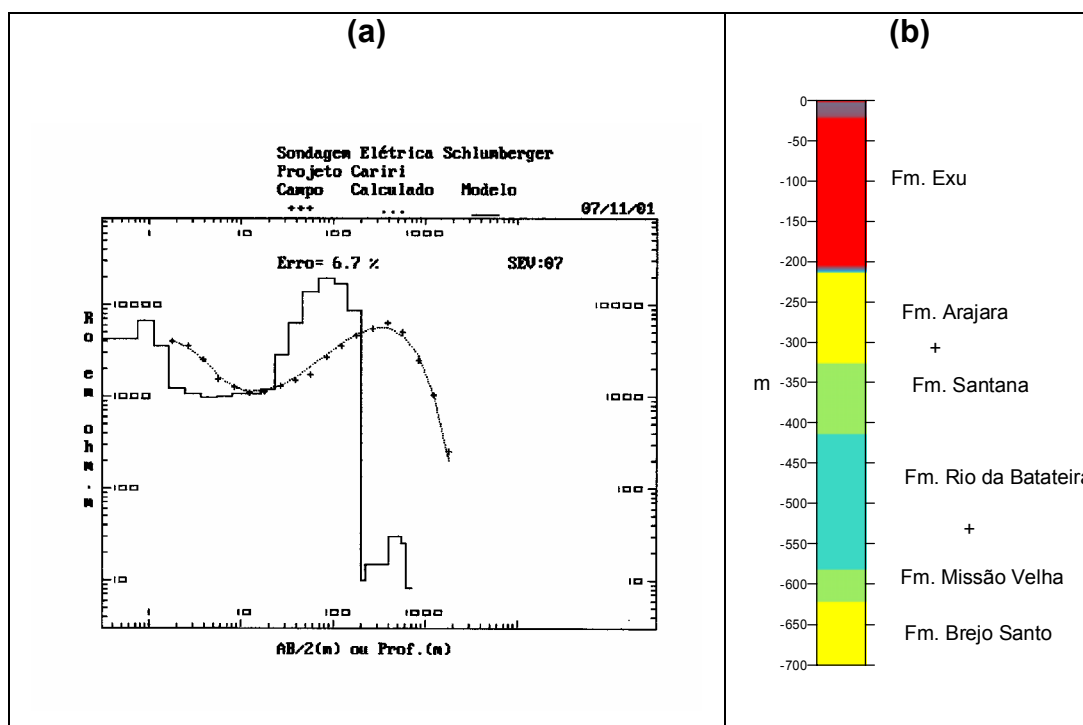


Figura 14 (a) e (b) – Outra SEV típica sobre a Chapada do Araripe. Note que existe diferença na interpretação do pacote sedimentar basal com relação a interpretação da SEV03 (Figura anterior), pois aqui foi utilizada informação *a priori*.

Seções geolétricas características

A Figura 15 mostra o imageamento de uma secção geolétrica, a partir das sondagens elétricas CAGE21 e CAGE20 (Cagece/Planat, 1984), seção esta localizada a nordeste da cidade de Juazeiro do Norte (Figura 4). Esta seção ilustra bem a correlação da estratigrafia geolétrica com a hidroestratigrafia do sistema aquífero médio, em sua porção mais rasa ou pouco espessa. De cima para baixo, a interpretação dada para esta é a que se segue. A sondagem foi realizada sobre a Fm. Rio da Batateira, cujo capeamento é muito resistivo (em cor vermelha) e se encontra bastante erodida (muito delgada); abaixo desse capeamento vem uma camada (em cor azul) que corresponde ao aquífero superficial, pertencente ainda à Formação Rio da Batateira. Em seguida vem uma camada delgada (em cor amarela) que corresponde a Fm. Abaiara, provavelmente de composição areno-argilosa. Em seguida vem a Fm. Missão Velha (em cor azul), com espessura da ordem de 150m; observe que abaixo da sondagem CAGE21 aparece uma intercação areno-argilosa na Fm. Missão Velha. Finalmente, o substrato argiloso corresponde à Fm. Brejo Santo.

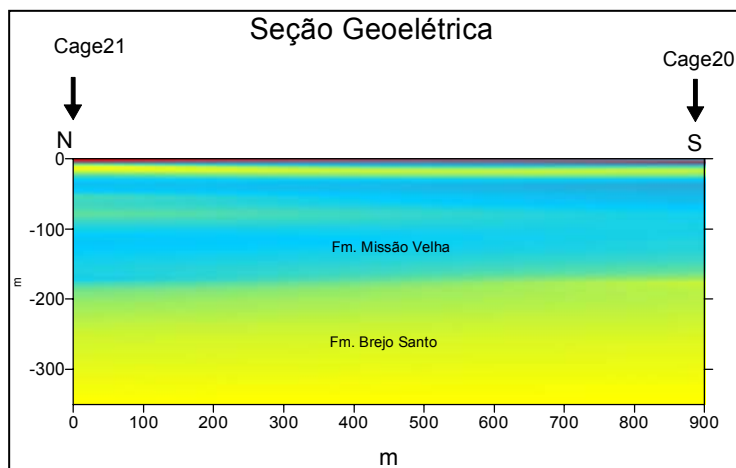


Figura 15 – Mostra uma seção geométrica característica do sistema aquífero médio pouco espesso (Sub-bacia do Cariri). As tonalidades em azul identificam os meios aquíferos. Acima da Fm. Missão Velha identificamos a Fm. Abaiara (em amarelo).

A seção geométrica a seguir foi imageada a partir das SEVs 01 e 08, executadas sobre o bloco leste do Graben aqui denominado de Bloco do Juazeiro, em sua porção mais profunda (sudoeste) onde as Formações que compõem o aquífero médio atingem espessuras superiores aos 600m. Neste Bloco, as espessuras das Formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha variam dos poucos 180m na Cage20 (Figura 15) no extremo nordeste aos mais de 600m em sua porção sudoeste (Figura 16), onde as Formações Rio da Batateira e Abaiara, têm juntas espessura em torno dos 300m na SEV 08.

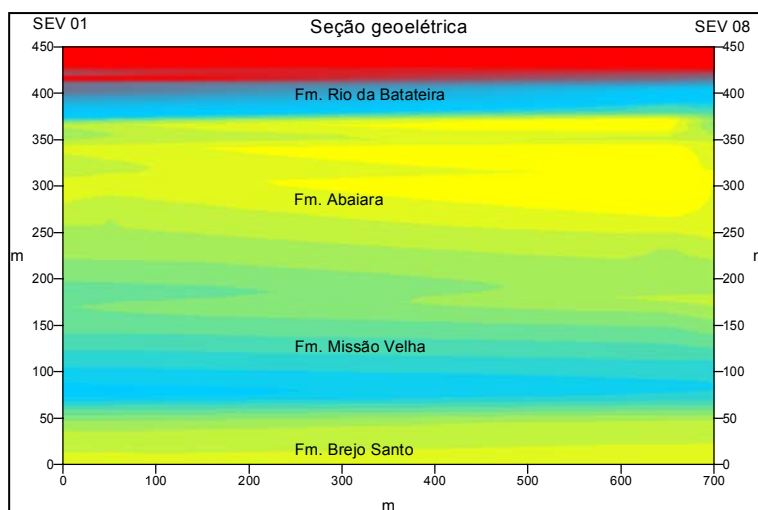


Figura 16 – Seção geométrica característica do sistema aquífero médio na parte mais profunda do bloco leste do graben. As tonalidades em azul identificam os meios aquíferos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos estudos realizados conclui-se que:

- a) As seções geoeletricas para a Sub-Bacia do Cariri estão bem correlacionadas com a Geologia/Estratigrafia estabelecida e com os dados dos poços tubulares disponíveis;
- b) A análise da perfilagem geofísica do poço APE-2-CE foi muito útil na interpretação da SEV18 realizada próximo ao mesmo, obtendo-se um detalhamento do pacote sedimentar abaixo da Formação Exu, resultado este que pode ser utilizado como informação *a priori* na interpretação de outras SEVs na Chapada;
- c) A metodologia aqui adotada foi bastante proveitosa na identificação dos sistemas aquíferos da Bacia, como também na delimitação do graben e seus sub-blocos, constituiu-se em uma excelente ferramenta no estudo da hidro-estratigrafia da Bacia do Araripe.

Por outro lado recomenda-se que:

- a) Futuras SEVs na Chapada tenham abertura de AB/2 de 3000 a 5000m para que se atinja o substrato cristalino, aumentando substancialmente as possibilidades de interpretação mais completa do pacote sedimentar;
- b) Seja feita uma análise das perfilagens geofísicas dos poços da Bacia, com o intuito de se determinar parâmetros geoeletricos e hidrodinâmicos das formações geológicas atravessadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos COGERH e ao consórcio GOLDER Associates/PIVOT pelo apoio dado à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo e Travassos Petróleo S.A., 1986. Perfil composto do poço 2-AP-1-CE (Araripe). Escala 1:1000. São Paulo. Inédito.
- CAGECE/PLANAT, 1984. Captação de Juazeiro do Norte: Estudo geofísico por eletrorresistividade. Relatório técnico, 153 p.
- Castro, D.L. de e Castelo Branco, R.M.G., 1999. Caracterização da arquitetura interna das Bacias do Vale do Cariri (NE do Brasil) com base em modelagem gravimétrica 3-D: Revista Bras. de Geofísica, 17, 129-144.
- DNPM, 1996. Projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Recife, DNPM, 103 p.
- DNPM/CPRM, 1978a. Projeto Santana. Relatório final da etapa II, 94 p.

- DNPM/CPRM, 1978b. Projeto Integração Geológica-Geofísica. Cariris Velhos. Relatório final, V. II.
- DNPM/CPRM, 1982. Projeto Borda Leste da Bacia do Maranhão. Relatório final.
- Gaspar, J. e Anjos, N.da F.R. dos, 1964. Estudo hidrogeológico de Juazeiro do Norte, Ceará. Recife, SUDENE/DRN. Série Hidrogeológica nº 3, 25 p.
- 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, Salvador, 170p.
- Marinho, J.M.L. e 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, p. 100:103.
- Marques, A.A., Macedo, I.P., Marinho, J.M.L. e Oliveira, R.R. de, 1984. Eletrorresistividade aplicada à prospecção de água subterrânea na Chapada do Araripe-Ce. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza. Anais 2 do III Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, V. 2, p. 269-284.
- Nowroozi, A. A., Horrocks, S. B., Henderson, P., 1999. Saltwater intrusion into the freshwater aquifer in the eastern shore of Virginia: a reconnaissance electrical resistivity survey: *Journal of Applied Geophysics*, 42, 1-22.
- Oliveira, E. de, 1983. A Chapada do Araripe e sua representação pela gravimetria. PETROBRAS/CENPES /SEMEPO, Relatório Interno, Rio de Janeiro.
- Ponte, F.C., 1993. Interpretação geológica de linhas de reflexão sísmica na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Rio Claro. DNPM/CNPq. Inédito.
- Ponte, F.C. e Appi, C.J., 1990. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal. Anais..., São Paulo: SBG, V. 1, p. 211-226.
- Ponte, C.P. e Ponte Filho, F.C., 1996. Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe. DNPM, Recife, 68 p.
- Rand, H.M., 1983. Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe. Relatório interno. Recife. UFPE, 11p.
- Rand, H.M. e Manso, V. de A.V., 1984. Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. Anais..., SBG, V. 4, p. 2011-2016.
- Seiscon Delta United Canada LTD., 1985. Sismogramas das linhas sísmicas 141-RL-01 a 141-RL-10. Áreas da Chapada do Araripe e Vale do Cariri, Estados do Ceará e Pernambuco. Calgary. Inédito.
- SOHIDRA, 2001. Relatório dos poços pioneiros. Relatório Interno, Fortaleza-CE.

- Zohdy, A.A.R., 1989. A new method for the 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 curves in Quickbasic 4.0, U.S.G.S., Open-File Report 89-137.