



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOFÍSICA

MARCELO FERNANDES MENDES

**PROSPECÇÃO GEOFÍSICA PARA DELIMITAÇÃO DO CONTATO DAS
FORMAÇÕES ITAPECURU E CODÓ NO MUNICÍPIO DE JACUNDÁ-PA**

BELÉM - PARÁ
Janeiro - 2012

MARCELO FERNANDES MENDES

**PROSPECÇÃO GEOFÍSICA PARA DELIMITAÇÃO DO CONTATO DAS
FORMAÇÕES ITAPECURU E CODÓ NO MUNICÍPIO DE JACUNDÁ-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências
da Universidade Federal do Pará - UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção do grau
de bacharel em geofísica.

Orientador: Prof. MSc. José Geraldo das Virgens
Alves

BELÉM

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

M538p Mendes, Marcelo Fernandes

Prospecção geofísica para delimitação do contato das formações Itapecuru e Codó no município de Jacundá-PA / Marcelo Fernandes Mendes; Orientador: José Geraldo das Virgens Alves – 2012

46 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geofísica, Belém, 2012.

1. Geofísica aplicada. 2. SEV. 3. Perfilagem. 4. Jacundá. 5. Itapecuru. 6. Codó. I. Alves, José Geraldo das Virgens, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20^a ed.: 551.098115

MARCELO FERNANDES MENDES

**PROSPECÇÃO GEOFÍSICA PARA DELIMITAÇÃO DO CONTATO DAS
FORMAÇÕES ITAPECURU E CODÓ NO MUNICÍPIO DE JACUNDÁ-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências
da Universidade Federal do Pará - UFPa, em
cumprimento às exigências para obtenção do grau
de bacharel em geofísica.

Data de aprovação: 17/01/2012

Conceito: EXCELENTE.

Banca Examinadora:

Prof. José Geraldo das Virgens Alves – Orientador
Mestre em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Prof. Cicero Roberto Teixeira Regis
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Prof. Cristiano Mendel Martins
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará

*A minha família,
eterna gratidão.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela dádiva da vida e a Nossa Senhora de Nazaré por sua intercessão nos momentos em que precisei.

A minha família que sempre me apoiou nesta caminhada desde a infância, por isso faço questão de compartilhar com eles minha vitória.

Ao meu orientador, professor MSc. José Geraldo das Virgens Alves, por todo apoio e paciência durante o curso, em especial no desenvolvimento deste trabalho.

À prefeitura de Jacundá pelo apoio logístico dado para a realização deste trabalho.

À CPRM - Serviço Geológico do Brasil, nas pessoas dos Geólogos Manoel Imbiriba Júnior – pela concessão dos dados do poço de monitoramento do Projeto RIMAS construído em Jacundá, os quais foram de fundamental importância para a realização deste trabalho.

À banca examinadora nas pessoas do Prof. Dr. Cicero Regis e Prof. Dr. Cristiano Mendel.

Ao Professor Leonardo Borghi, da UFRJ, pela ajuda no material fornecido para o desenvolvimento do trabalho.

A turma de 2007, ao Paulo Magalhães (técnico em geofísica) e aos amigos de universidade Clístenes Catete, Alex Raiol e Anderlon Andrade que muito ajudaram na aquisição e processamento do trabalho durante a disciplina Grupo de Trabalho II.

Aos motoristas Haroldo, Carlos Alberto Dias e Amaro por ter sempre nos conduzido com segurança pelas estradas e zelado por nossas vidas, nas idas e vindas das atividades de campo.

A turma de 2006 pelos momentos compartilhados em sala de aula, em particular a rapaziada que fez surgir o grupo com o codinome “Gelofísica” pelos momentos de descontração nos bares da cidade.

As secretárias Benildes Lopes, Lucibela Soares e Ana Paiva Pelo apoio nos momentos necessários.

A todos meus amigos de ensino médio da escola Madre Celeste que juntos caminhamos até minha entrada na universidade.

*“É melhor atirar-se à luta em busca de dias melhores,
mesmo correndo o risco de perder tudo,
do que permanecer estático,
como os pobres de espírito,
que não lutam, mas também não vencem,
que não conhecem a dor da derrota,
nem a glória de ressurgir dos escombros.
esses pobres de espírito,
ao final de sua jornada na Terra
não agradecem a Deus por terem vivido,
mas desculpam-se perante ele,
por terem apenas passado pela vida.”*

Bob Marley

RESUMO

A sede do Município de Jacundá, Leste do Estado do Pará, tem um sistema de abastecimento público de água ainda incipiente, a partir de fonte superficial não perene, de pequena vazão e que atende menos de 20% da população. Poços abertos e tubulares rasos são a principal fonte, mas de uso particular, restrito e sazonal. A vazão de dois poços tubulares profundos, construídos na cidade, deu indícios de que a alternativa por esta fonte poderia se constituir numa boa opção de solução para o abastecimento local. A cidade de Jacundá está assentada na borda da Bacia Sedimentar do Parnaíba. No local, a cobertura é constituída de sedimentos não consolidados e rochas da Formação Itapecuru, sobrepostos a rochas da Formação Codó. Embora seja conhecida como tendo bons aquíferos, a Formação Itapecuru que constitui a cobertura no Município de Jacundá, tem pequena espessura e, assim, seu potencial hídrico é fraco e sazonal. A Formação Codó, de permeabilidade restrita, apresenta no local um grande pacote de folhelho, mas, com boa sequência de intercalações de arenitos, podendo ser um aquífero para o local. Poços perfurados na cidade que alcançaram as intercalações de arenitos no pacote de folhelho tiveram vazões em média de $10\text{m}^3/\text{h}$. Esse fato deu razão para este estudo geofísico para determinação do topo da Formação Codó, visando contribuir para planejamento da gestão de abastecimento público de água na cidade. Foram utilizadas 6 sondagens elétricas verticais e uma perfilagem geofísica corrida em um poço. As seis SEV's tiveram uma interpretação preliminar. E, o detalhamento dos estratos oferecidos pela perfilagem serviu de guia para ampliar a interpretação da SEV 6 adjacente ao poço perfilado. O modelo obtido da SEV 6 foi introduzido na interpretação das outras cinco sondagens, gerando modelos mais representativos da subsuperfície do local. Como resultado, este trabalho oferece o mapeamento do contato da Formação Itapecuru com a Formação Codó na área da Sede do Município, indicando a fronteira superior da zona com potencial hídrico que pode significar a solução para a gestão do abastecimento de água na cidade de Jacundá.

Palavras-Chave: Geofísica aplicada. SEV. Perfilagem. Jacundá. Itapecuru. Codó.

ABSTRACT

The city of Jacundá, east of Pará State, has an incipient public water supply system, from few flow seasoned superficial source, that provides less than 20% of the population. Tubular shallow and open wells are the most used sources for private, limited and seasonal use. The flow from two deep tubular wells, drilled in Jacundá City, indicates this source as a good alternative for the solution for the local water supply. The city of Jacundá is seated on the edge of Parnaíba Sedimentary Basin. On the local, the coverage is constituted of non consolidated sediments and rocks of Itapecuru Formation, superimposed on the rocks of Codó Formation. Although having good aquifers, the Itapecuru Formation that constitute the coverage in Jacundá city it has little thickness and then its hydric potential is weak and seasonal. The Codó Formation, has restrict permeability and a thick packet of shale, but a good intercalation of sandstone. It means that this formation can be supply aquifer for the local. Wells drilled in the city that reach the sandstone intercalation had a flow in the meaning of $10\text{m}^3/\text{h}$. This fact gave reason for this geophysical study, determinating the top of Codó Formation, aiming to contribute for the planning and management of the public water supply in the city. It was utilized six Vertical Electric Sounding and one Well Log. The six VES had a preliminary interpretation. And, the detailing of the offered *strata* by the Well Log served to clarify the VES number 6, adjacent to the drilled well. The obtained model of VES number 6 was introduced in the interpretation of the other five VES, generating more representative models of the subsurface of the local. As a result, this study offer the mapping of the contact between Itapecuru and Codó Formations on the city of Jacundá, pointing the superior edge of the zone with good hydric potential which can mean the solution for the water supply management in the city of Jacundá.

Keywords: Applied Geophysics, VES, Well Logging, Jacundá, Itapecuru, Codó.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização do município de Jacundá - PA.....	14
Figura 2 - Arranjo Schlumberger.	21
Figura 3 - Arranjo Wenner.	21
Figura 4 - Arranjo Dipolo-Dipolo.	22
Figura 5 - Arranjo Bipolo-Bipolo.	22
Figura 6 - Gráfico contendo todas SEVs.	27
Figura 7 - Mapa de localização do Levantamento Geofísico.....	28
Figura 8 - Modelos de SEVs com 3 e 4 camadas.	29
Figura 9 - Interpretação da Perfilagem Geofísica no poço RIMAS-CPRM.	31
Figura 10 - Modelo de SEVs com 5 camadas.	32
Figura 11 - Mapa com as SEV's correlacionadas.....	34
Figura 12 - Seção geoeletrica correlacionada a perfilagem.	35
Figura 13 - Mapa do topo da Formação Codó.....	37
Figura 14 - Mapa de isópacas da quarta camada - Aquífero	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	LOCALIZAÇÃO E ACESSO	13
3	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	15
3.1	HIDROGEOLOGIA	17
4	MÉTODOS GEOFÍSICOS	18
4.1	MÉTODO DA ELETORRESISTIVIDADE	18
4.2	PERFILAGEM GEOFÍSICA	22
4.2.1	Perfil de raios gama.....	23
4.2.2	Perfil de potencial espontâneo (sp)	24
4.2.3	Perfil de resistência elétrica	24
5	LEVANTAMENTO GEOFÍSICO	26
5.1	SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL.....	26
5.1	SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS COM 3 E 4 CAMADAS.....	29
5.2	PERFILAGEM NO POÇO RIMAS/CPRM.....	30
5.3	SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS COM 5 CAMADAS	32
5.4	SEÇÃO GEOELÉTRICA CORRELACIONADA A PERFILAGEM.....	33
5.5	MAPA DE CONTOURNO DO TOPO DA FORMAÇÃO CODÓ	36
5.6	MAPA DE CONTOURNO DAS ISÓPACAS DA QUARTA CAMADA	36
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	39
	REFERÊNCIAS.....	40
	ANEXO A: PERFILAGEM GEOFÍSICA NO POÇO RIMAS/CPRM.....	43
	ANEXO B: ANÁLISE QUÍMICA DA ÁGUA	46

1 INTRODUÇÃO

Um dos fortes indicadores do subdesenvolvimento é a qualidade da água distribuída à população. No Brasil, o índice de saneamento e abastecimento público de água nas regiões urbanas limita-se a apenas partes das grandes cidades. A maioria das vilas e pequenas cidades não possuem um sistema de captação, tratamento e distribuição de água, ou quando tem, o sistema é incipiente e de atendimento parcial. Nessas localidades, geralmente, o abastecimento é feito direto da fonte para a rede de distribuição, mesmo sendo a fonte superficial.

Na sede do município de Jacundá, PA o sistema de distribuição de água é feito a partir de fonte superficial (Rio Arraia) bombeada direto para a rede e atende apenas a área central da cidade, cerca de 20% da área urbana. O fornecimento é intermitente causado pela turbidez, materiais em suspensão na água, vazão do igarapé e problemas operacionais.

A cidade de Jacundá, localizada na região sudeste do Pará, está assentada na borda da Bacia Sedimentar do Parnaíba, tendo na cobertura depósitos recentes nas drenagens e sedimentos e rochas da Formação Itapecuru, que se sobrepõe as rochas da Formação Codó.

Em termos hidrogeológicos, a espessura da cobertura é menor que 30 metros e não oferece, portanto, potencial hídrico para o abastecimento em grande escala por água subterrânea, a partir da Formação Itapecuru, de onde somente poços abertos e tubulares rasos são usados para abastecimento de residências. Mesmo assim, esses poços tem oferta de água sazonal, pois secam durante o período de estiagem. Os corpos de água superficial são de vazão insuficiente e de comportamento sazonal, não oferecendo também potencial hídrico para o abastecimento público de água.

Observou-se que dois poços tubulares perfurados na cidade tinham profundidade maior que cem metros. Um deles foi visitado durante o teste de bombeamento. Perfurado durante segundo descrição litológica das amostras de calha, esses poços captam água de rochas da Formação Codó, provavelmente de sequência de arenitos fraturados intercalados em um pacote de folhelho. O teste comprovou que o poço era capaz de fornecer 10 m^3 de água por hora, o suficiente

para abastecer em média 10 famílias por dia. Segundo os perfuradores, o poço foi encamisado nos primeiros 60 metros e após esta profundidade não foi necessário o revestimento, pois a camada de arenito é suficientemente resistente o que impede o desmoronamento interno do poço.

Considerando a oferta insuficiente, sazonal e de alto risco de poluição da água superficial, a pequena espessura da Formação Itapecuru e a vazão oferecida pelos poços que alcançaram a Formação Codó, deduziu-se que a interface Formação Itapecuru / Formação Codó seria um parâmetro de grande importância hidrogeológica para a região, uma vez que seu conhecimento é fundamental para o planejamento de perfuração de poços visando a captação de água subterrânea para o abastecimento regular da população através dessa fonte.

Portanto, a definição dessa interface foi o principal objetivo deste trabalho e as metodologias utilizadas foram Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Perfilagem geofísica realizada no poço RIMA/CPRM.

Preliminarmente, as SEVs foram interpretadas com modelos de 3 e 4 camadas e, depois, a perfilagem do poço CPRM foi usada como guia, gerando modelos de 5 e 6 camadas.

A correlação dos modelos finais das sondagens gerou a proposta aqui apresentada como topografia da interface entre as Formações Itapecuru e Codó para a região.

A perfilagem do poço mostra que o aquífero do local é constituído por um conjunto de camadas decimétricas de arenitos e siltitos fraturados intercaladas em um grande pacote de folhelho.

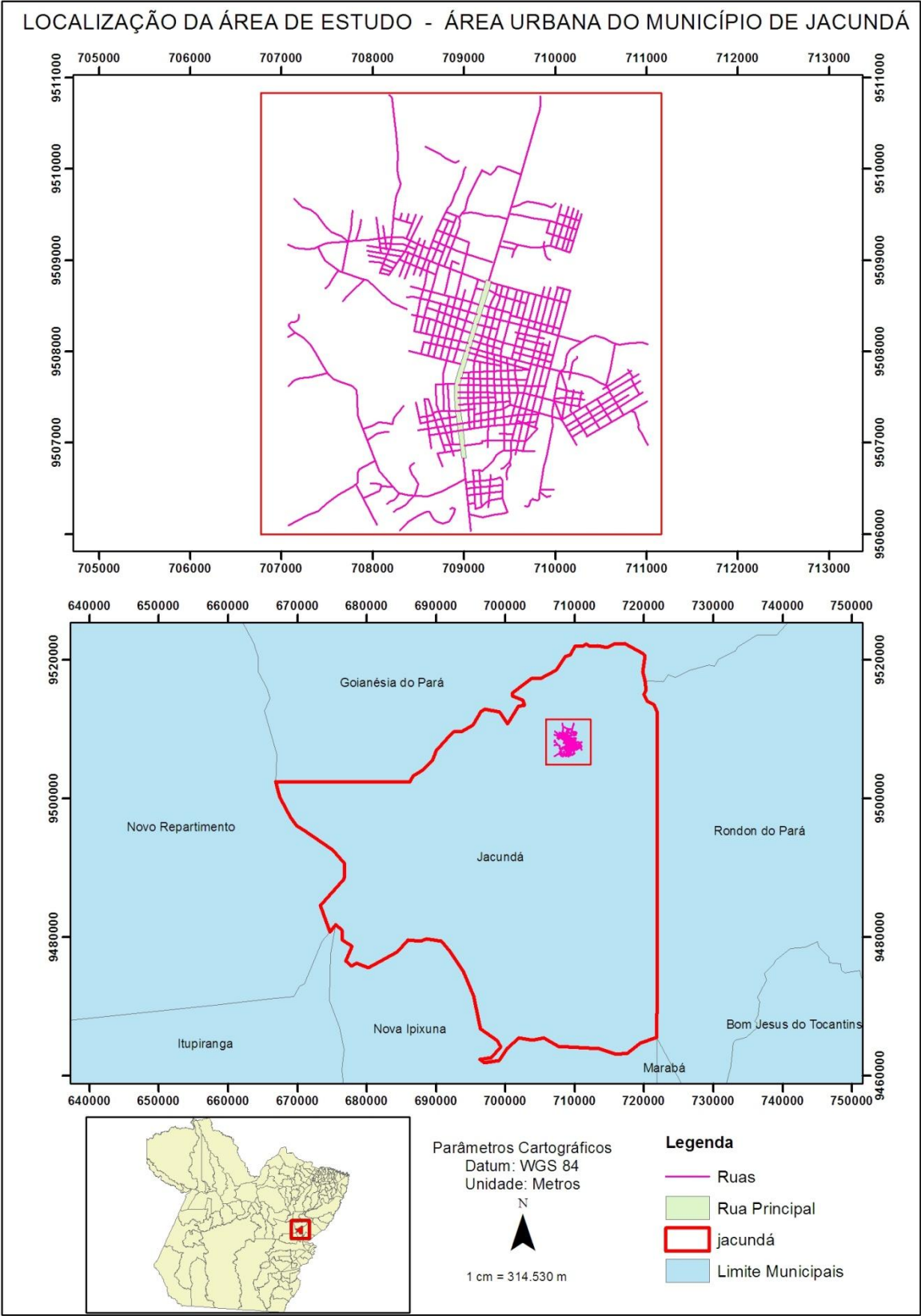
Assim, o projeto de poços em Jacundá deve ultrapassar a Formação Itapecuru e avançar no mínimo 80 metros da Formação Codó, aproveitando máximo de camadas de arenito.

2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O município de Jacundá, unidade autônoma desde 1961, pertence à mesorregião do sudeste paraense e a microrregião de Tucuruí. Geograficamente, a sede municipal localiza-se a uma latitude de 04°27'03" ao sul e uma longitude de 49°06'59" a oeste de Greenwich. Jacundá faz fronteira com os seguintes municípios: Goianésia do Pará (ao Norte), Rondon do Pará (a leste), Nova Ipixuna (ao sul) e Novo Repartimento (a oeste) (Figura 1).

Partindo de Belém, por terra, percorrem-se os 10 primeiros quilômetros da BR 316 até a Alça Viária, depois mais 74 km até o município de Mojú e, por fim, de 450 km pela PA-150 até a sede municipal de Jacundá.

Figura 1: Mapa de localização do município de Jacundá - PA.



Fonte: Do Autor

3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Nos textos geológicos mais antigos, a Bacia do Parnaíba é identificada pelos nomes Bacia do Maranhão, do Piauí-Maranhão ou do meio-norte. A Bacia do Parnaíba ocupa uma área de cerca de 600.000km², abrangendo partes dos estados do Pará, Maranhão, Tocantins, Piauí, Ceará e Goiás, com origem relacionada aos eventos termotectônicos do ciclo Brasileiro-Panafricano, no depocentro, a espessura total de suas rochas atinge cerca de 3.500 m (CAPUTO, 2005).

A Bacia do Parnaíba desenvolveu-se sobre um embasamento continental durante o estágio de estabilização da plataforma sul-americana (ALMEIDA; CARNEIRO, 2004). A origem ou subsidência inicial da Bacia do Parnaíba provavelmente deve estar ligada às deformações e eventos térmicos fini- e pós-orogênicos do Ciclo Brasileiro ou ao estágio de transição da plataforma.

O embasamento originado no final do proterozóico constitui-se de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Segundo Oliveira e Mohriak (2003), estruturas grabeniformes são interpretadas (com base em dados de sísmica, gravimetria e magnetometria) no substrato da Bacia do Parnaíba.

A sedimentação cretácea nesta bacia se processou em caráter restrito, quando o mar ingressou sobre a porção norte da Bacia do Parnaíba, possivelmente, pela região da Bacia de Barreirinhas, a partir do Atlântico Equatorial, estendendo-se por uma grande área. Esta sedimentação limitou-se sobre a porção norte da Bacia do Parnaíba e à áreas adjacentes no nordeste do Brasil (ALMEIDA; CARNEIRO, op.cit.).

Na região que está localizada o município de Jacundá, local onde está inserida a pesquisa, ocorre como principais unidades do cretáceo a Formação Itapecuru e a Formação Codó.

A Formação Itapecuru é constituída por arenitos finos, avermelhados, róseos, cinza – argilosos, geralmente com estratificação horizontal e ocasionalmente cruzada, com abundante silisificação na parte superior. Intercalam-se leitos de siltitos e folhelhos cinza – esverdeados e avermelhados. Os estratos arenosos e pelíticos da Formação Itapecuru, de idade Mesoalbio-Neocretáceo, segundo Rossetti (2001), correspondem a seis ciclos deposicionais atribuídos a sistemas de vales estuarinos incisos.

Os depósitos mostram uma natureza transgressiva, e o litotipo mais freqüente é formado de arenitos variegados, finos, friáveis, com estruturas diversas, como, por exemplo, estratificações cruzadas swaley, hummocky, acanalada, tabular, mud-couplets e escorregamento de massa. Pelitos e arenitos conglomeráticos ocorrem, mas subordinadamente (ANAISSE JUNIOR 2001).

Na Formação Codó, folhelhos, calcários, siltitos, gipsita/anidrita e arenito são os principais litotipos e são frequentes níveis de sílex e estromatolito. Os sedimentos aptianos representativos deste período são folhelhos negros, evaporitos e calcários lacustres que interdigitam-se aos arenitos flúvio-deltaicos da Formação Grajaú (ROSSETTI; TRUCKENBRODT, 1997).

De um modo geral, a Formação Codó pode ser dividida em três ciclos deposicionais, segundo interpretações de superfície e subsuperfície: o primeiro ciclo representa uma transgressão marinha culminando com ciclos evaporíticos, sugerindo uma posterior regressão ou estabelecimento de mar restrito; o segundo e terceiro ciclos evidenciam uma nova ingressão marinha culminando com estabelecimento de condições paludais em planície de maré (FERNANDES; PIAZZA, 1978; LIMA; LEITE, 1978; MESNER; WOOLDRIDGE, 1962, 1964a, b; REZENDE; PAMPLONA, 1970).

Em análise estratigráfica e faciológica na região de Codó, Estado do Maranhão, a dividiu em duas sucessões sedimentares: inferior, composta de folhelhos negros betuminosos gradando para calcários e evaporitos; superior, consistindo de intercalações de pelitos e arenito de colorações vermelho chocolate e esverdeado, calcário esbranquiçado e acinzentado. Aos estudos faciológicos da primeira sucessão foram interpretados três associações de fácies: (1) lago central; (2) lago transicional; (3) lago marginal. Na sequência superior foram interpretados ambientes deposicionais correspondentes a *shoreface* superior, laguna/baía interdistributária, lobos de suspensão e canal distributário (PAZ; ROSSETTI, 2001; ROSSETTI, 2001;).

3.1 HIDROGEOLOGIA

O sistema aquífero Itapecuru ocupa o topo da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Aflora nos estados do Maranhão e Pará, apresentando grande área de recarga, com 204.979 km². É utilizado na pecuária e no abastecimento humano no interior do Estado do Maranhão e para abastecimento doméstico na cidade de São Luís. Nesta cidade, o Itapecuru apresenta predominantemente águas carbonatadas-cloretadas com predominância do tipo sódica (SOUSA, 2000).

A Bacia do Parnaíba conta com uma espessura total superior a 2.000 metros. Levando em consideração o relevo da região maranhense, marcada por topografias elevadas, torna-se problemática a captação dos principais sistemas aquíferos (Cabeças, Serra Grande e Poti-Piauí), devido aos níveis d'água profundos. Aqui, podem ser considerados para efeito de perfurações para água, os seguintes aquíferos: Corda-Motuca (Jc, PTRm), Codó (Kco), parcialmente, e Itapecuru (Ki). Os poços perfurados nestes aquíferos apresentam profundidades variando de 100 a 400 metros, produzindo vazões de algumas até muitas dezenas de m³/h (média em torno de 20 m³/h). As águas são geralmente de boa qualidade química, com exceção das do aquífero Codó, que se apresentam, muitas vezes, com altos índices de dureza. (CAETANO E PEDROSA, 2002).

Na cidade de Jacundá, PA, a Formação Itapecuru constitui a cobertura com sedimentos predominantemente arenosos e espessura menor que 35 metros, portanto, não representa um aquífero em potencial. E, com o fato dos dois poços perfurados que oferecem vazão em torno de 10m³/h, a partir de arenitos intercalados no folhelho da Formação Codó, a alternativa de aquífero na Formação Codó pode representar uma solução para o abastecimento de água na cidade.

4 MÉTODOS GEOFÍSICOS

Para o trabalho proposto foram utilizados métodos geofísicos de eletrorresistividade (SEV) e Perfilagem Geofísica de Poço, devido seus baixos custos e resultados expressivos em pesquisas hidrogeológicas. A seguir apresentam-se as fundamentações teóricas dos métodos em questão.

4.1 MÉTODO DA ELETORRESISTIVIDADE

O método da eletrorresistividade consiste basicamente em injetar corrente contínua (ou de baixa frequência) ao solo através de dois contatos galvânicos chamados eletrodos de corrente, estes são comumente denominados de eletrodos A e B pela literatura, e medir a diferença de potencial através de mais dois contatos galvânicos denominados de eletrodos M e N ou também chamados de eletrodos de potencial.

Este método está fundamentalmente baseado na lei de Ohm. Ao conhecermos a corrente contínua I injetada na superfície, a diferença de potencial ΔV e das disposições dos contatos A, B, M e N poderemos calcular os valores de resistividade ρ dos materiais em subsuperfície. Se o meio fosse homogêneo e isotrópico, a resistividade poderia ser calculada pela fórmula abaixo:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} k \text{ (}\Omega \cdot \text{m)} \quad (1)$$

Onde k é o fator geométrico e depende estreitamente da disposição dos eletrodos em superfície, podendo ser calculado pela equação seguinte:

$$K = \frac{6,28}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \text{ (m)} \quad (2)$$

Num meio homogêneo basta realizar apenas uma medida para se conhecer sua resistividade. No entanto, os ambientes geológicos são heterogêneos, pois apresentam variação vertical e lateral de resistividade, devido a acamamentos geológicos ou variação lateral de litologia respectivamente. Sendo o meio geológico heterogêneo, os valores de resistividade calculados não correspondem aos valores reais de resistividades, embora exista relação entre ambos. O que pode ser calculado é o valor de resistividade aparente (ρ_a) do meio através da equação (1) acima apresentada.

Tanto na variação lateral quanto na variação vertical da resistividade em subsuperfície, o método da eletrorresistividade pode ser utilizado. No primeiro caso este procedimento é chamado de Sondagem Elétrica Vertical e no segundo de Perfilagem Elétrica Horizontal ou Caminhamento Elétrico (ORELLANA, 1972).

Na sondagem elétrica vertical (SEV), os eletrodos de corrente são afastados gradativamente em relação ao ponto central a fim de se obter as medidas de resistividade aparente (ρ_a), pois quanto maior a abertura destes eletrodos maior a profundidade de investigação. Este procedimento é utilizado principalmente na pesquisa de água subterrânea e geotécnica (LUIZ & SILVA, 1983).

Já o Caminhamento Elétrico (CE), as medidas de resistividade aparente (ρ_a) são realizadas ao longo de perfis, deslocando-se lateralmente os quatro eletrodos (A, B,M,N) sem alterar seus espaçamentos. Devido à distância dos eletrodos permanecer a mesma durante o levantamento, é possível investigarmos a variação lateral de resistividade em subsuperfície a uma profundidade praticamente constante. O CE é bastante empregado na detecção de contatos geológicos, zonas mineralizadas, mudança de fácies, plumas de contaminação, na área criminalísticas a detecção de túneis e na Perfilagem Geofísica de Poço.

Na eletrorresistividade, a injeção de corrente ao solo e a medição do potencial pode ser desenvolvida com diversos tipos de arranjos de eletrodos. Dentre os arranjos mais utilizados podemos citar quatro: Schlumberger, Wenner, Dipolo-Dipolo, Bipolo-Bipolo.

O arranjo Schlumberger é também de quatro eletrodos em linha reta, simetricamente em relação ao centro, sendo que a distância entre os dois eletrodos de corrente podem ser bem maior que a distância entre os dois eletrodos de potencial (Figura 2).

O arranjo Wenner, quatro eletrodos são dispostos em linha, simetricamente em relação ao centro, com espaçamentos iguais entre eletrodos adjacentes; $AM=MN=NB$. Os dois eletrodos de potencial ficam sempre entre os dois eletrodos de corrente (Figura 3).

Na configuração Dipolo-Dipolo os pares de eletrodos AB e MN podem ser dispostos em diversas orientações. Dentre as mais utilizadas, os dois pares de eletrodos são alinhados, sendo que as distâncias de AB e MN devem ser muito pequenas se comparadas à distância que separa seus centros. Em geral, a distância dos eletrodos de um dos dipolos é igual ou menor a 1/5 da distância de separa os centros dos dois dipolos (Figura 4).

A configuração Bipolo-Bipolo é uma variação do arranjo Dipolo-dipolo na qual as distâncias AB e MN são da mesma ordem de grandeza da distância que separa seus centros, de forma que cada par de eletrodos não mais se comporta como um dipolo (LUIZ E SILVA, 1983) (Figura 5).

Para os arranjos Schlumberger (K_s), Wenner (K_w), Dipolo-Dipolo (K_D) e Bipolo-Bipolo (K_B) os fatores geométricos são respectivamente:

$$K_s = \pi (a^2/b - b/4) \quad (3)$$

Sendo $a = AB/2$ e b a distância entre os dois eletrodos de potencial;

$$K_w = 2 \pi a \cdot \quad (4)$$

Sendo $a = AB/3$;

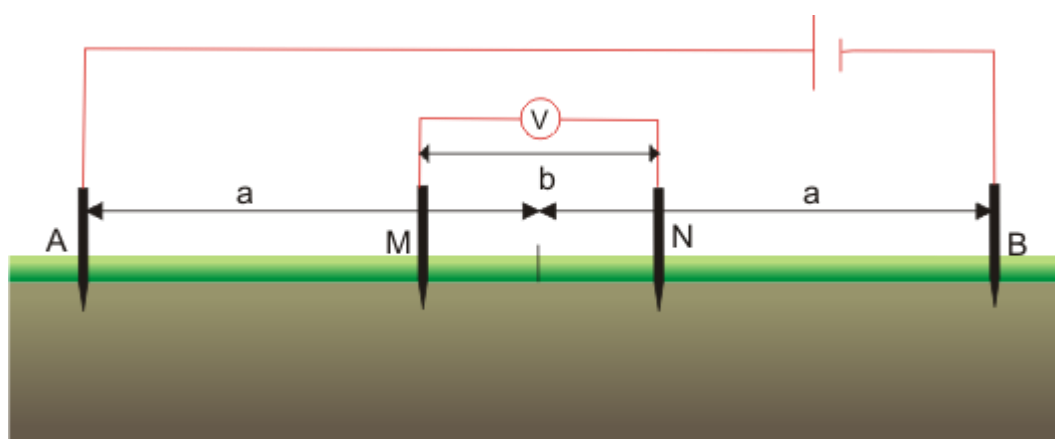
$$K_D = \pi (a^3/b^2 - a) \quad (5)$$

Sendo a o espaçamento entre o centro dos eletrodos AB e MN e b o espaçamento entre os eletrodos AB, tomado igual à separação entre os eletrodos MN (Luiz & Silva, 1983);

$$K_B = \pi a n(n+1)(n+2) \quad (6)$$

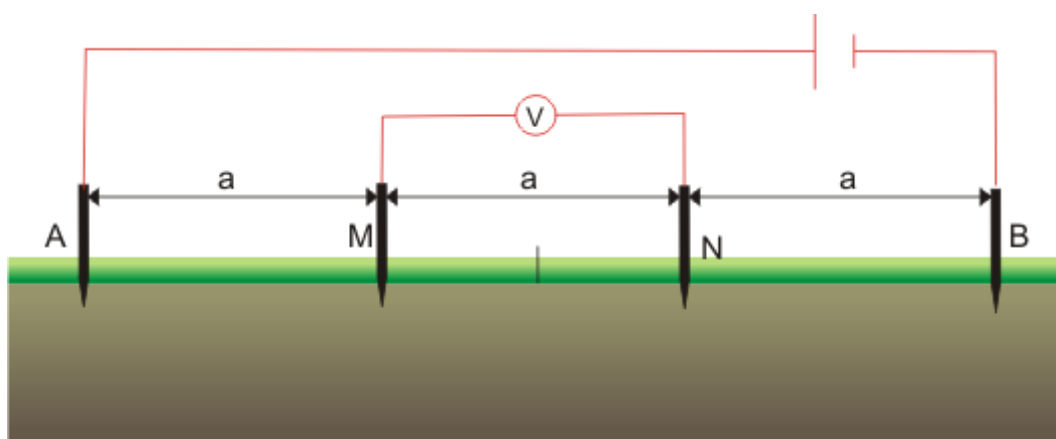
Sendo a , neste caso, a separação entre AB e MN e n um número inteiro relacionado com o afastamento entre os pares de eletrodos, assim quanto maior o valor de n , maior a profundidade de investigação. Nesse arranjo, diversos valores para n geram além da distribuição vertical de resistividade, a distribuição lateral de resistividade também, permitindo então uma imagem de subsuperfície.

Figura 2: Arranjo Schlumberger.



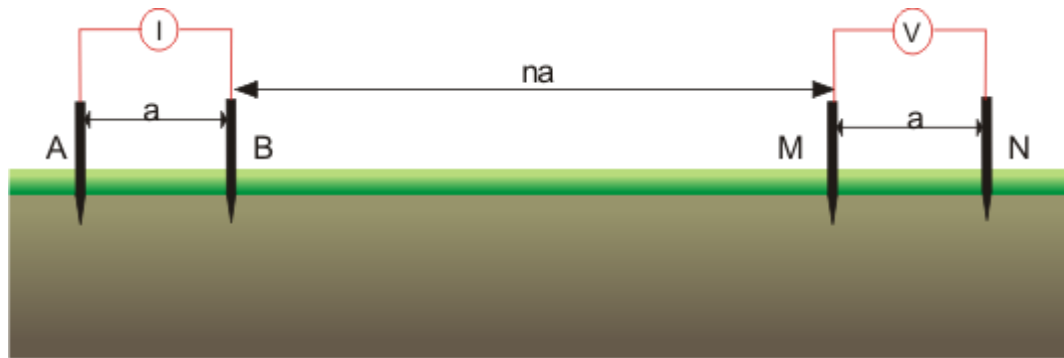
Fonte: Do Autor

Figura 3: Arranjo Wenner.



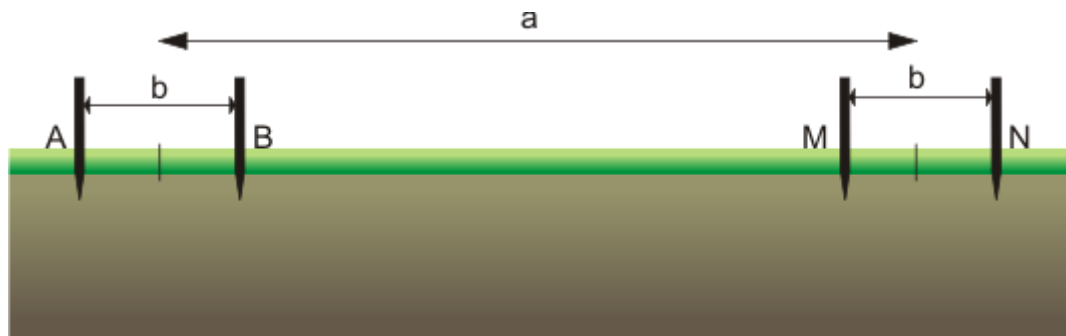
Fonte: Do Autor

Figura 4: Arranjo Dipolo-Dipolo.



Fonte: Do Autor

Figura 5: Arranjo Bipolo-Bipolo.



Fonte: Do Autor

4.2 PERFILAGEM GEOFÍSICA

A perfilagem geofísica de poços consiste essencialmente no estudo das variações com a profundidade de certos parâmetros físicos das formações geológicas atravessadas pela perfuração.

A medição dos parâmetros petrofísicos é feita através de modernas ferramentas, compostas de diversos sensores num movimento ascensional, constante e uniforme, no interior do poço, assim chamadas de “sondas ou ferramentas de perfilagem”. Os sensores emitem, a depender do tipo, corrente elétrica, som ou radioatividade para as rochas e captam sinais de volta dessas mesmas rochas. Estes sinais sobem para a superfície, através dos condutores do

cabo, para processamento. Na superfície, dentro da unidade laboratório, existem painéis dotados de complexos circuitos eletro-eletrônicos de aquisição, medição, conversão e registro dos sinais provenientes dos sensores (NERY, 2004).

Os registros de perfilagem fornecem informações muito importantes sobre a estratigrafia das camadas, além de permitirem uma avaliação da porosidade e permeabilidade dos aquíferos, sendo estas de importante valia para a prospecção de água subterrânea.

A perfilagem de poço também é muito importante para a estimativa das mudanças litológicas com a profundidade, pois são mais precisas que as fornecidas pela perfuração.

4.2.1 Perfil de raios gama

A radiação gama interage com as rochas de diversas formas, no entanto a mais importante delas, para a perfilagem geofísica, é o espalhamento inelástico, conhecido como Efeito Compton. O perfil de radiação gama pode ser utilizado como um indicador tanto quantitativo quanto qualitativo do conteúdo argiloso presente nas rochas, desde que a sua radioatividade dependa exclusivamente do teor de argilomineral presente na rocha.

Com perfil de raios gama é possível diferenciarmos os folhelhos e/ou argilas dos demais tipos litológicos. Uma característica importante na aquisição do perfil de raio gama é que podem ser adquiridos em poços já revertidos, os raios gama de nível energético médio perdem apenas a metade de sua intensidade ao atravessar um tubo de meia polegada de aço. Como o perfil de raios gama diferencia folhelho ou argila, podemos utilizá-lo como um indicador do teor de folhelho ou argilosidade da rocha (VSHGR) calculado pela fórmula abaixo.

$$VSH = \frac{IGR}{A - (A-1).IGR} \quad (7)$$

Sendo que para calcularmos a argilosidade da rocha é necessário sabermos antes o índice de radioatividade obtido pela fórmula seguinte.

$$IGR = \frac{GR_{Lido} - GR_{Mínimo}}{GR_{Máximo} - GR_{Mínimo}} \quad (8)$$

4.2.2 Perfil de potencial espontâneo (sp)

O perfil SP é um potencial eletroquímico que é adquirido basicamente quando uma camada permeável (areia ou arenito) está concordante com outra camada impermeável (argila). A medida deste perfil é obtida com um eletrodo dentro do poço e outro na superfície, a unidade usada no SP é o milivolt em relação a profundidade em metros. Os pacotes de argila produzem valores de SP muito invariantes tendenciando a seguir uma linha reta denominada de “linha de folhelho”. As rochas capazes de armazenar água produzem deflexões em relação a linha de folhelho que variam tanto para esquerda quanto para direita a depender salinidade relativa do filtrado da lama para a água da formação, se o filtrado for mais salgado que a água intersticial a deflexão é para direita e para esquerda quando a água intersticial for mais salgada que o filtrado. O potencial espontâneo é bastante usado para correlacionar estratos, determinar espessuras de camadas, identificar zonas permeáveis, bem como identificação de água salgada.

4.2.3 Perfil de resistência elétrica

O perfil de resistência elétrica registra os valores de resistência das camadas geológicas em relação a profundidade, ou seja, ela mede a capacidade que uma rocha tem de conduzir eletricidade. As medidas são obtidas com um eletrodo no interior do poço e outro em superfície, o registro é feito de modo contínuo e sua unidade é em ohm.

A interpretação das medidas adquiridas é basicamente qualitativa, visto que com o sistema usado não pode-se obter valores absolutos de resistividade, isto é,

com os valores medidos podemos apenas ter uma ideia se uma camada é mais ou menos resistiva que outra.

Como as argilas possuem valores de resistividade baixos em relação as areias e arenitos, os altos valores no perfil de resistência podem estar relacionados em geral com a areia, já os baixos valores de resistência com as argilas. Os valores que diferem dos valores característicos dos arenitos podem significar a presença de zonas argilosas ou /uma variação na salinidade da água presente na areia ou no arenito. Os valores de resistência elétrica das camadas são muito importantes para delimitação de aquíferos (topo e base), portanto sua espessura, bem como a presença de argilas e salinidade da água.

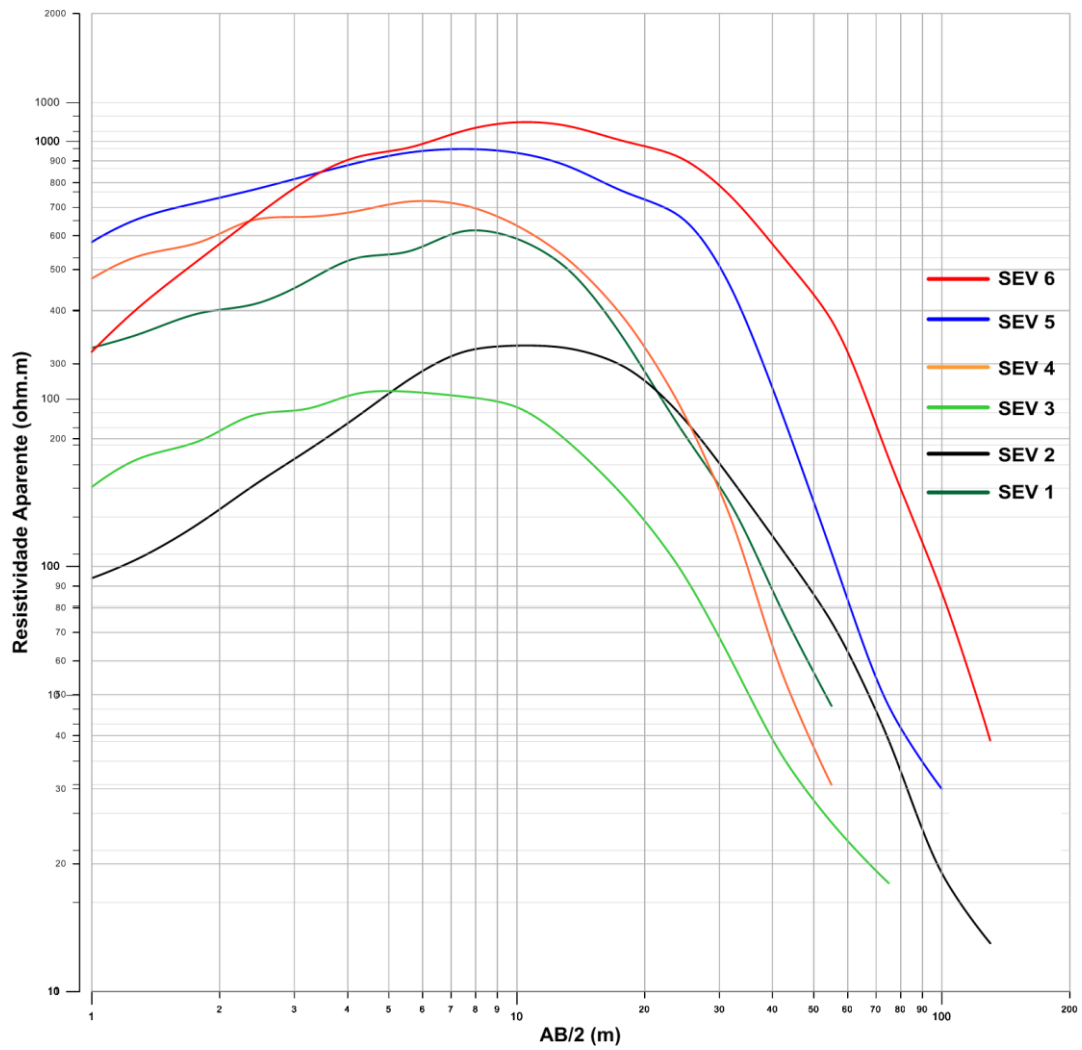
5 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

Os levantamentos geofísicos foram obtidos no município de Jacundá em três oportunidades, totalizando 11 SEVs (algumas descartadas, ficando apenas 6) e uma Perfilagem, na primeira oportunidade foram adquiridas as SEVs da área urbana, na segunda a perfilagem e, finalmente, a SEV 6 localizada ao lado do poço (RIMAS/CPRM) (Figura 7).

5.1 SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL

As SEV's (Figura 6) possuem um mesmo padrão. São curvas do tipo K, com três camadas ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$), continuando com comportamento descendente para uma quarta ou ainda quinta camada, apresentando o máximo na resistividade da segunda camada. A resistividade da primeira camada varia entre 90 e 600 ohm.m, as resistividades da segunda camada variam entre 443 e 1603 ohm.m e as resistividades da terceira camada variam entre 18 e 200 ohm.m.

Figura 6 - Gráfico contendo todas SEVs.



Fonte: Do Autor

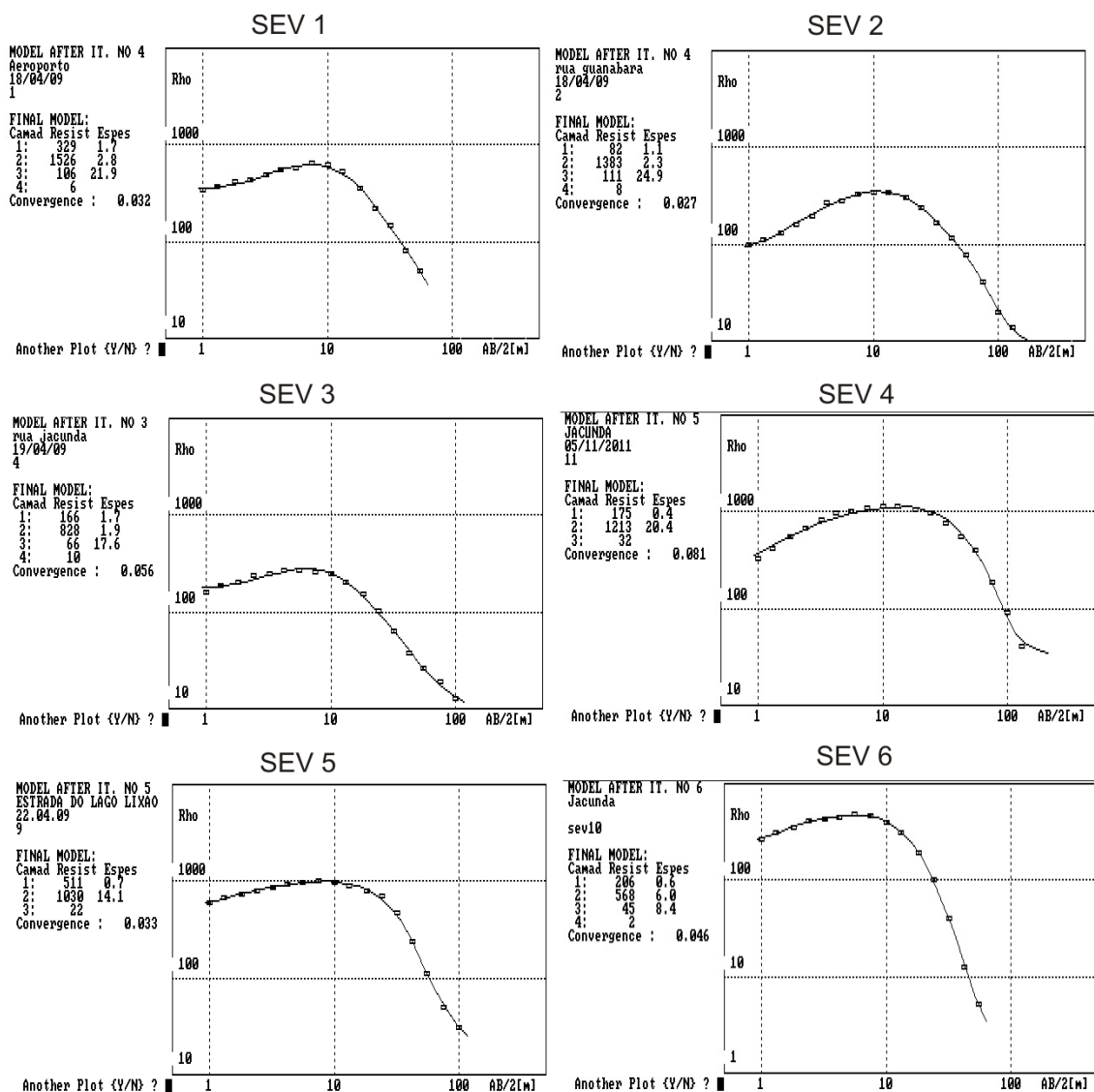
Figura 7: Mapa de localização do Levantamento Geofísico.



5.1 SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS COM 3 E 4 CAMADAS

Foram realizadas 11 Sondagens, das quais seis SEV's foram selecionadas para este trabalho, por apresentarem melhor qualidade. A Figura 8 apresenta as seis SEV's escolhidas. Todas no arranjo Schlumberger, abertura de eletrodos de corrente (AB/2) de 55 a 130 metros. As curvas têm um mesmo padrão e são do tipo K ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$). Iniciam em um solo resistivo, passando para uma camada ainda mais resistiva, onde a curva apresenta seu máximo e, depois, descendo para um ambiente de baixos valores de resistividade.

Figura 8: Modelos de SEVs com 3 e 4 camadas.



Fonte: Do Autor

Preliminarmente, foi feita uma interpretação de acordo com o padrão das curvas, gerando modelos de 3 e 4 camadas, apresentadas na figura 8. Dos modelos obtidos nota-se que a porção resistiva tem pequena espessura, menor que 7 metros nas SEV's 1, 2, 3 e 4 e mais espessa na SEV 5 (15 m) e SEV 6 (20m) sobre um substrato de baixa resistividade.

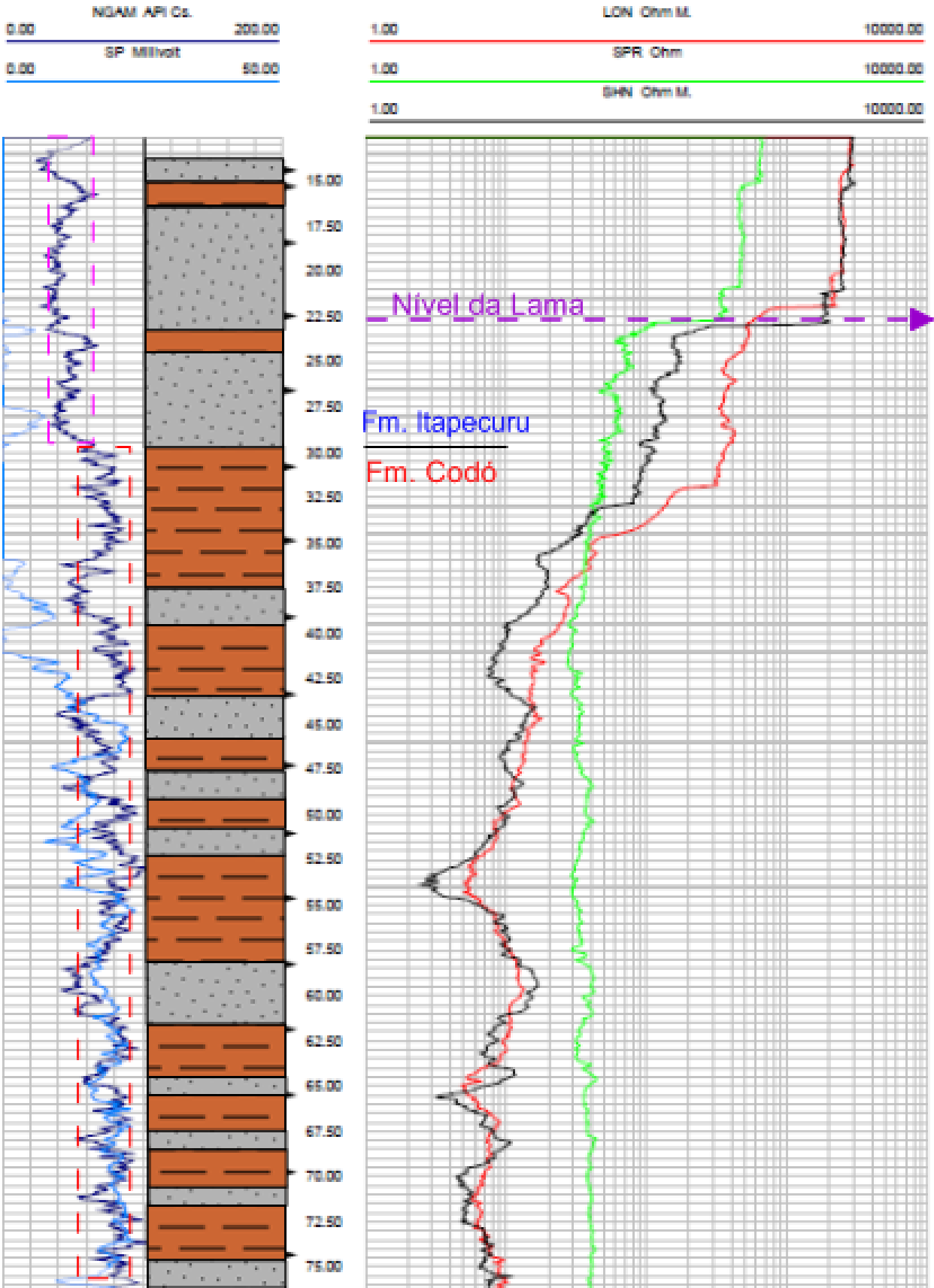
5.2 PERFILAGEM NO POÇO RIMAS/CPRM

Dentro do Projeto RIMAS (Rede Nacional Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas), a CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) construiu um poço (denominado pelo trabalho por RIMAS/CPRM) para monitoramento em Jacundá. Ainda no furo aberto, foi realizada uma perfilagem para definição dos aquíferos. A figura 9 mostra a perfilagem, com registros de RG, SP, SPR, Rshn e Rlon desde 22.5m (nível da lama) até 175 metros de profundidade. Apresenta-se a seguir, uma análise da perfilagem até 75 metros.

No registro RG, desde o início e até 29 m, a amplitude varia suavemente entre 25 e 35 API, correspondendo a um trecho arenoso, com três passagens em argila que elevam a amplitude para até 62 API. Abaixo, varia entre 50 e 87 API, seguindo na média o valor máximo com rápidas oscilações para menos, comportando-se como uma zona de alta argilosidade. Pelas amostras, trata-se de um pacote de folhelho, com intercalações de arenitos e siltitos.

Os registros SPR, Rshn e Rlon mostram uma transição de valores resistivos (<100 ohm, 100 ohm.m, 22.5m) para, a partir de 35 metros, valores de 50 ohm em SPR e em torno de 10 ohm.m com variações para menos em Rshn e Rlon. Aí, também, há dois pacotes sendo o superior (acima de 35m) bem mais resistivo.

Figura 9: Interpretação da Perfilagem Geofísica no poço RIMAS-CPRM.

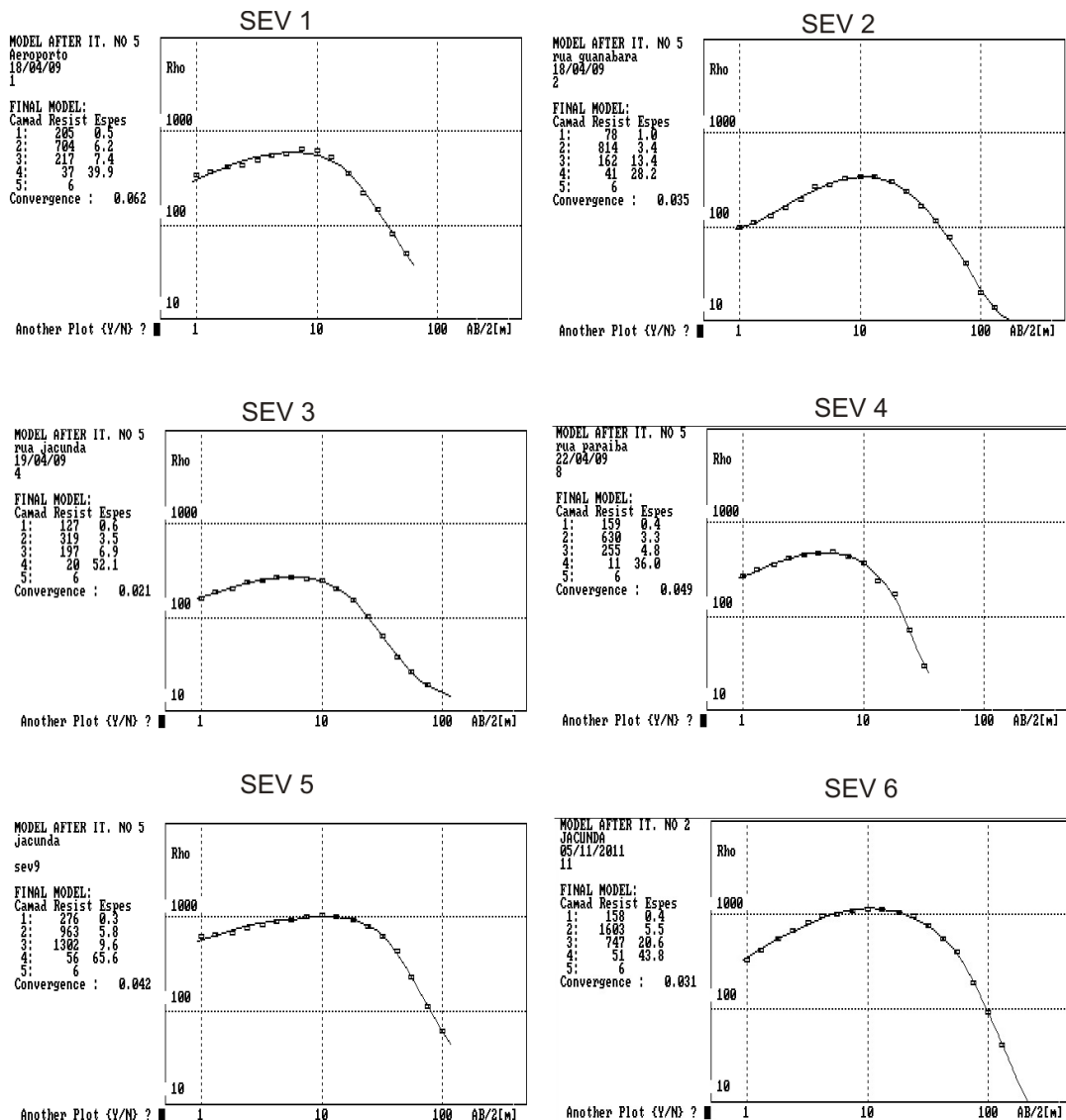


Fonte: Perfilagem CPRM

5.3 SONDAgens ELÉTRICAS VERTICAIS COM 5 CAMADAS

Após ser feita a perfilagem no poço RIMAS/CPRM, foi feita também uma sondagem elétrica vertical (denominada SEV 6) ao lado do poço. Esta SEV repetiu o padrão das outras anteriores e foi também interpretada segundo seu tipo de curva. Em seguida, baseando-se na interpretação da perfilagem, a SEV 6 foi interpretada com maior detalhamento, gerando um modelo de cinco camadas. Esse modelo foi aplicado para a reinterpretação das demais SEV's, gerando os novos e definitivos modelos assumidos neste trabalho.

Figura 10: Modelo de SEVs com 5 camadas.



Fonte: Do Autor

Todas as SEV's apresentadas na figura 10 possuem modelo de 5 camadas, consequentes do detalhamento fornecido pela perfilagem. Nos modelos, a resistividade da primeira camada varia de 78 ohm.m (SEV 2) a 276 ohm.m (SEV 5). Esse valor tende a aumentar em todas elas, alcançando um máximo nas curvas correspondentes a resistividade da segunda camada de até 1.603 ohm.m (SEV 6). Após os máximos, o decaimento indica o contanto com uma zona de baixa resistividade, começando por uma camada com resistividade entre 11 e 56 ohm.m, seguido por um substrato de resistividade igual a 6 ohm.m.

A profundidade de investigação alcançada pelas SEV's varia entre 45 e 80m. Pode-se inferir que as três primeiras camadas correspondem aos estratos da Formação Itapecuru e que as quarta e quinta camadas, devido aos baixos valores de suas resistividades, devem estar relacionadas com o pacote de folhelho da formação Codó, primeiro com uma seção, a quarta camada, contendo as intercalações de arenito. Esta camada tem espessura variando entre 30-65 m, sendo essa a dimensão do pacote que se pode considerar com o aquífero da área.

Portanto o topo do folhelho é o topo da Formação Codó e é assumido como sendo o topo da quarta camada.

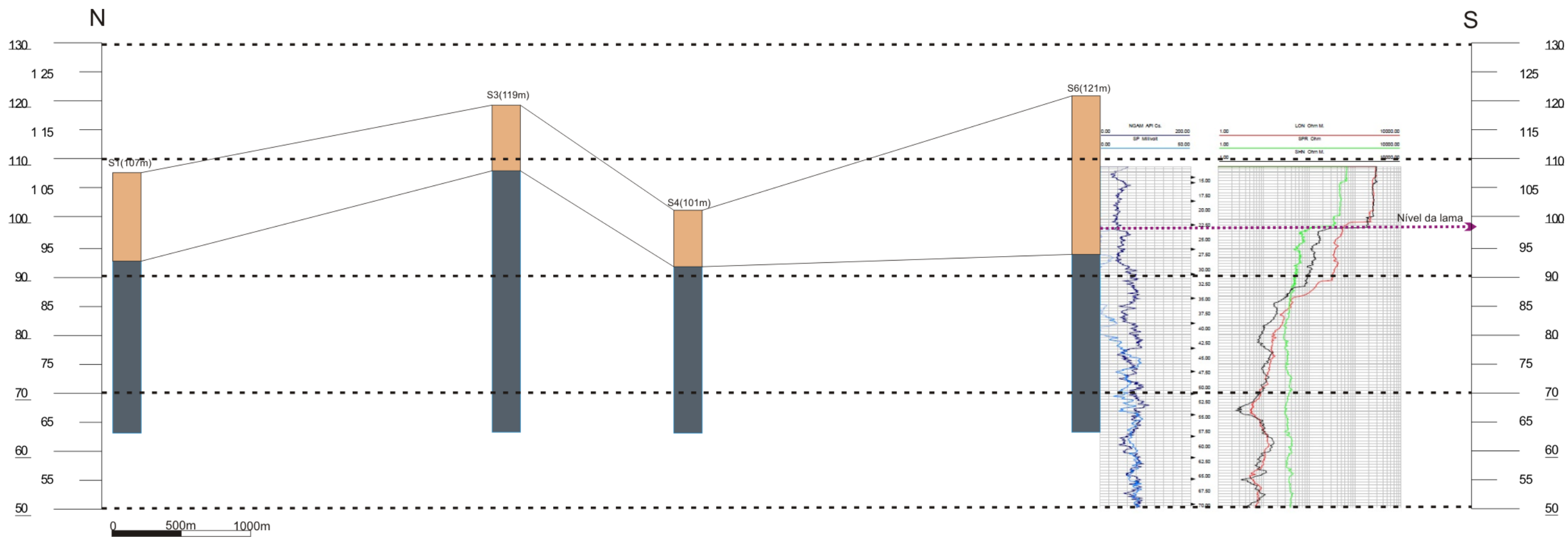
5.4 SEÇÃO GEOELÉTRICA CORRELACIONADA A PERFILAGEM

O produto das SEV's com a perfilagem pode ser visualizado na seção geoeletrica representada pelas figuras 11 e 12, que correlaciona as SEV's 1, 3, 4 e 6 com a perfilagem geofísica, formando uma seção norte-sul. A zona superior (salmon) da seção geoeletrica corresponde a soma das espessuras das três primeiras camadas das SEV's, relacionadas a sedimentos da Formação Itapecuru, enquanto que a zona inferior (cinza), menos resistiva, tem início a partir da quarta camada, onde está presente o espesso pacote de folhelho com intercalações de arenito (capazes de armazenar água) pertencentes a Formação Codó, sendo, portanto, a partir da quarta camada o aquífero sugerido para região.

Figura 11: Mapa com as SEV's correlacionadas.



Figura 12: Seção geoeletrica correlacionada a perfilagem.



Fonte: Do Autor

5.5 MAPA DE CONTORNO DO TOPO DA FORMAÇÃO CODÓ

O mapa de contorno mostrado na figura 13 representa a profundidade do topo da Formação Codó. Vê-se ao centro do mapa, a região de menor espessura da camada de sedimentos da Formação Itapecuru em azul, ou seja, onde o topo da Formação Codó estará mais próximo da superfície. Já na região em que predomina a cor vermelha (sul da cidade) é a região em que o topo da Formação Codó está mais profundo, visto que apresenta uma camada mais espessa da Formação Itapecuru.

5.6 MAPA DECONTORNO DAS ISÓPACAS DA QUARTA CAMADA

A figura 14 mostra a espessura da quarta camada sobre a região estudada. Observa-se que há um aumento gradual de oeste para leste da espessura dessa camada, indicando as melhores posições para perfuração de poços, onde a espessura é maior que 35 metros.

Figura 13: Mapa do topo da Formação Codó.

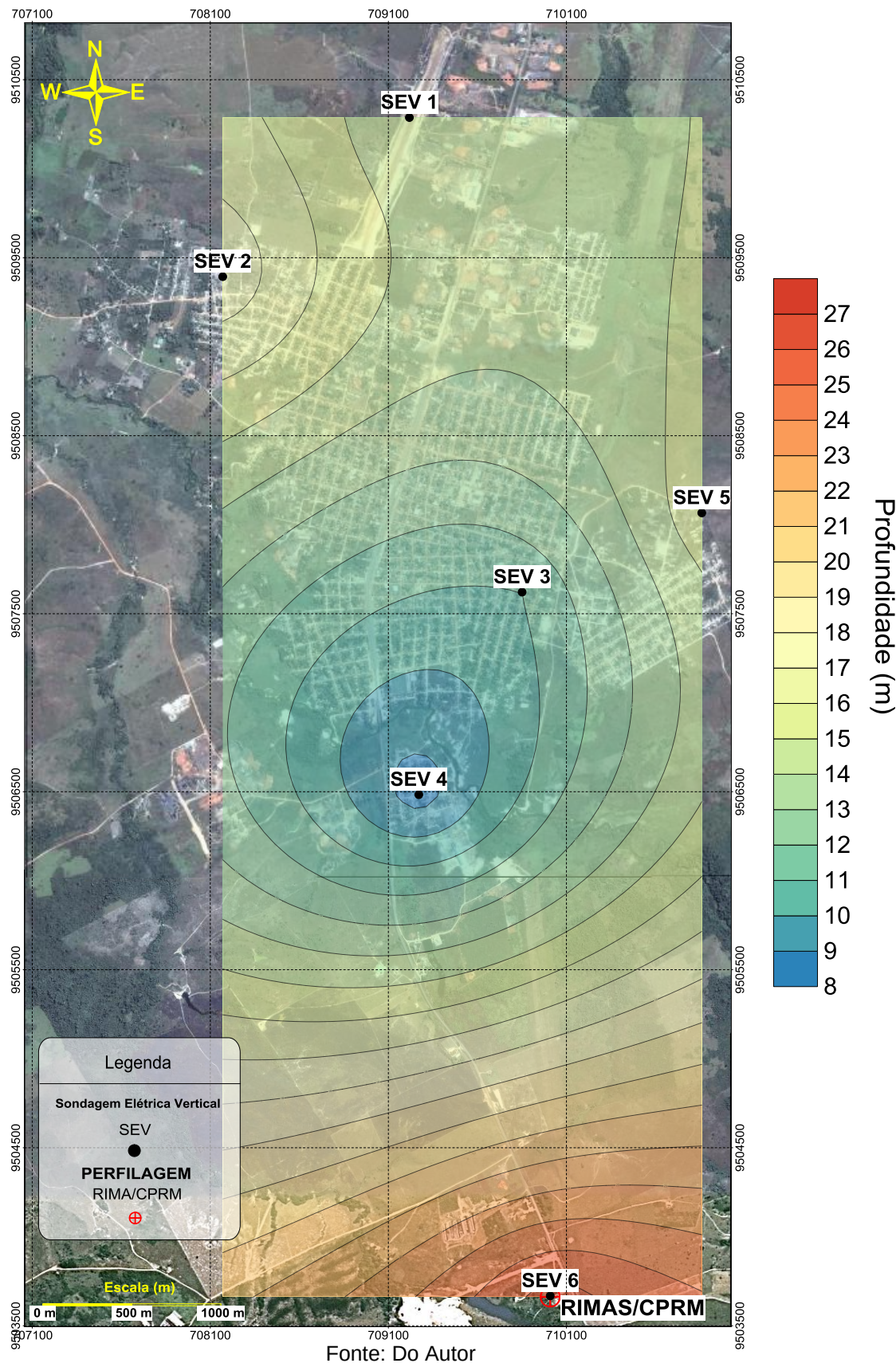
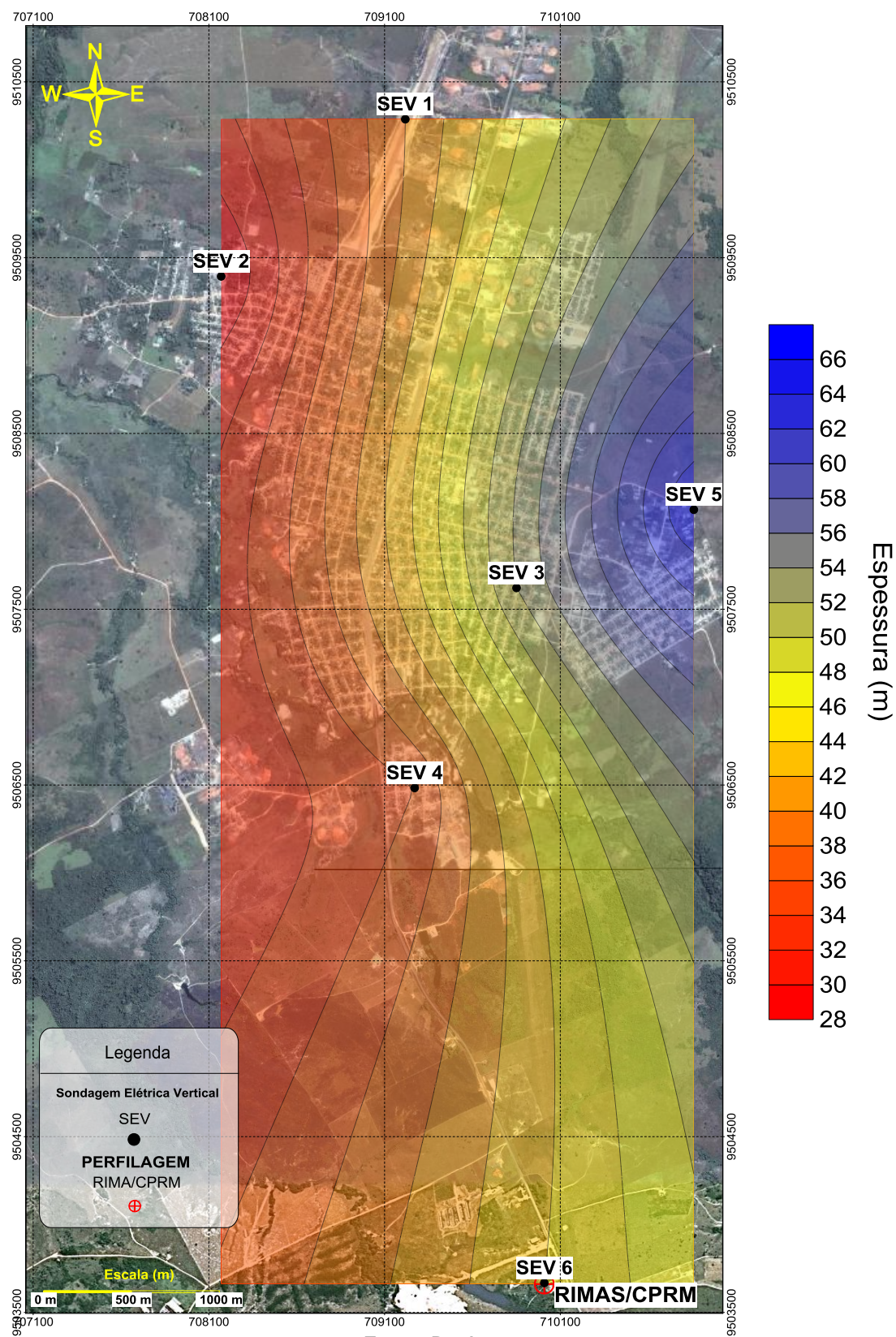


Figura 14: Mapa de isópacas da quarta camada - Aquífero



6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com o resultado do estudo, a interpretação das sondagens revelou dois pacotes distintos; um mais raso, correspondente ao ramo de resistividade crescente e, outro abaixo, correspondente ao ramo descendente indo para um substrato de resistividade menor que 10 ohm.m. Portanto, a transição do pacote resistivo para o condutivo deve estar relacionada com a interface das formações Itapecuru e Codó, considerando que o topo da Formação Codó é o topo do folhelho.

Na perfilagem, o topo do folhelho ocorre aos 29 m e foi possível identificar as várias intercalações de arenitos no grande pacote de folhelho. Com esses detalhes retirados da perfilagem e aplicados às SEV's, os modelos finais estimam a variação do topo da Formação Codó entre 8,5 m e 26,5 m para a região, correspondentes às três primeiras camadas. A quarta camada deve corresponder à porção do folhelho com as intercalações arenosas, com valores de resistividades variando entre 11 e 56 ohm.m e espessuras entre 28 e 66 m.

Portanto, os poços devem ser projetados para retirar água a partir da quarta camada e principalmente dela. Isto porque, pelas SEV's, abaixo da quarta camada o substrato, pouco resistivo, deve corresponder à uma continuidade do folhelho, o que pode ser constatado na perfilagem, após os 75 metros (Anexo A). A figura 14 mostra o mapa de contorno de isópacas da quarta camada, indicando a porção leste da área estudada como a mais indicada para a perfuração de poços.

Embora o folhelho seja carbonático, segundo a análise de água feita no poço adjacente a SEV 6 (Anexo B), a dureza da água está dentro dos padrões exigidos pelo ministério da saúde (Portaria MS-518/2004).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Org.). **Geologia do continente sul-americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p.43-58.
- ANAISSE JÚNIOR, J.; TRUCKENBRODT, W.; ROSSETTI, D. F. Fácies de um sistema estuarino-lagunar no Grupo Itapecuru, Área de Açailândia – MA, Bacia do Grajaú. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). **O cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. p.119-150.
- CAPUTO, M.V.; IANNUZZI, R. ; FONSECA, V.M.M. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Parnaíba. **Fundação Paleontológica Phoenix**, v.7, n. 81, p. 1–6. 2005. Disponível: <<http://www.phenix.org.br>>. Acesso em 02/12/2011
- FERNANDES, G.; PIAZZA, H.D. O Potencial oleogenítico da Formação Codó. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.21, n.1, p. 3–16. 1978.
- GIRÃO NERY, G. **Apostila perfilagem geofísica**. Salvador: Hydrolog serviços de perfilagem Ltda., 2004. Cap. 2
- LIMA, E.A.A.; LEITE, J.F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba**. Recife: Integração Geologica-Metalogenetica, DNPM/CPRM, 1978. 437p. (Relatório).
- LUIZ, J.G; SILVA, L.M. da C. **Curso de geofísica de prospecção**. Belém, UFPa. Centro de Geociências, 1983. 263 p. (Apostila)
- MESNER, J.C.; WOOLDRIDGE, L.C.P. **Maranhao basin study revision**. Belem: Petrobras, 1962. (Relatorio, 205).
- MESNER, J.C.; WOOLDRIDGE, L.C.P. Estratigrafia das bacias paleozoica e cretacea do Maranhao. **Boletim Técnico Petrobras**, Rio de Janeiro, v.7, n.2, p. 137–164. 1964a.
- MESNER, J.C.; WOOLDRIDGE, L.C.P. Maranhao paleozoic basin and cretaceous costal basins, north Brazil. **Bulletin American Association Petroleum Geologists**, Tulsa, n. 48, p1475–1512. 1964b.
- OLIVEIRA, D. C.; MOHRIAK, W. U. Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag Basin, Northeastern Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, Guildford, v. 20, p. 351-383. 2003.
- ORELLANA, E. **Prospeccion geoelectrica en corriente continua**. Madrid: Paraninfo, 1972. 523 p.

PAZ, J.D.S.; ROSSETTI, D.F. Reconstrução paleoambiental da Formação Codó(Aptiano), borda leste da Bacia do Grajaú, MA. In: ROSSETTI, D.F.; GOES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. (Eds.). **O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**. Belem, Museu Paraense Emilio Goeldi, Colecao Friedrich Katzer, 2001. p. 77–100.

PEDROSA, C. A.; CAETANO, F. A. **Águas subterrâneas**. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2002. 50p. (Relatório)

RESENDE, W.M. de; PAMPLONA, H.R.P. Estudo do desenvolvimento do Arco Ferrer-Urbano Santos. **Boletim Técnico Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1/2, p. 5–14. 1970.

REYNOLDS, J. M. **An Introduction to applied and environmental geophysics**. Inglaterra: John Wiley & Sons. 1997. 796p.

ROSSETTI D.F.; TRUCKENBRODT W. Revisão estratigráfica para os depósitos do albio-terciário inferior na Bacia de São Luís (MA). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra, 9: 29-41. 1997.

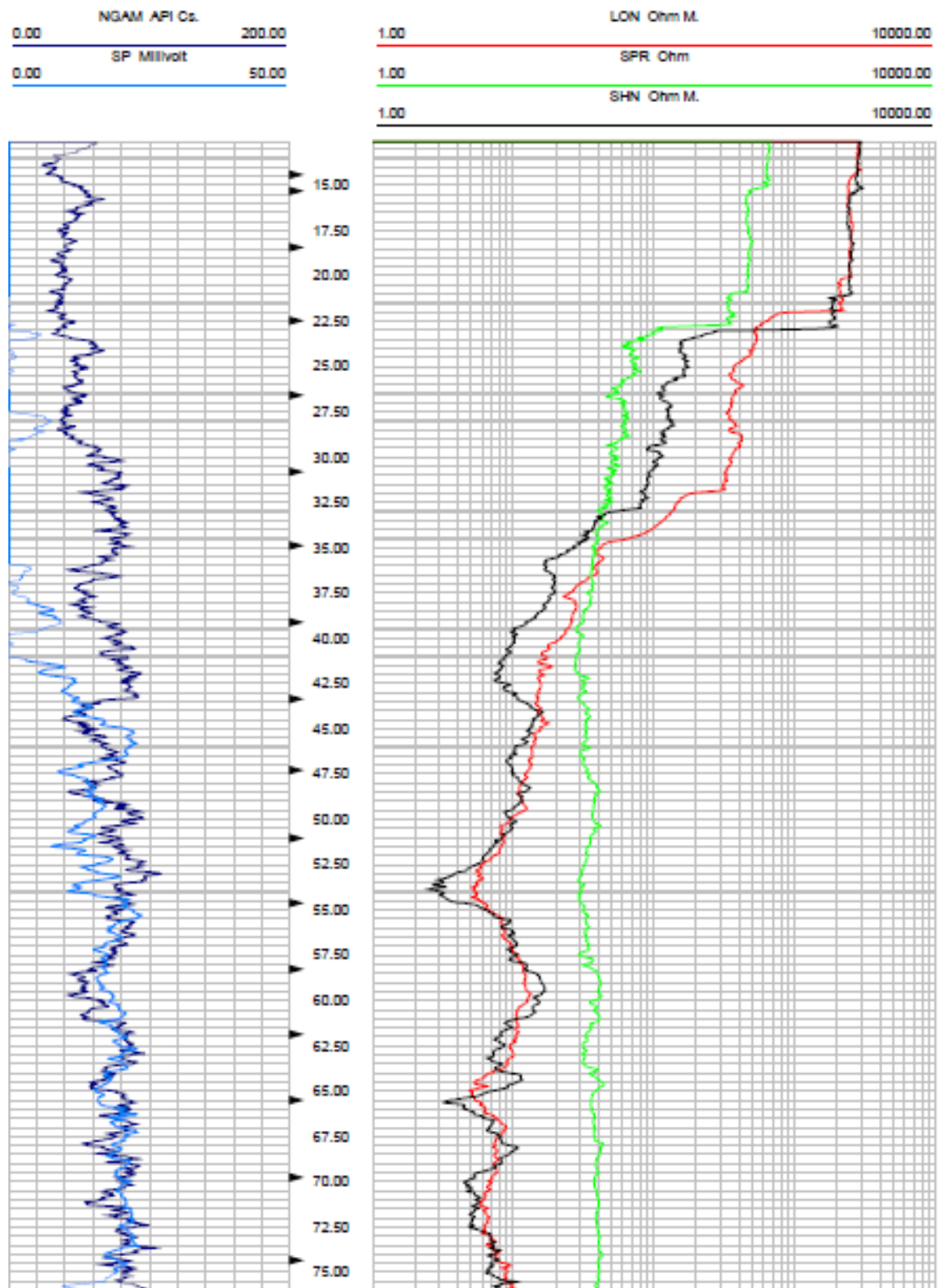
ROSSETTI, D.F.; GOES, A.M.; ARAI, M. A passagem Aptiano-Albiano na Bacia do Grajaú. In: ROSSETTI, D.F.; GOES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. (eds.). **O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**. Belem, Museu Paraense Emilio Goeldi, Colecao Friedrich Katzer, p. 101–117. 2001.

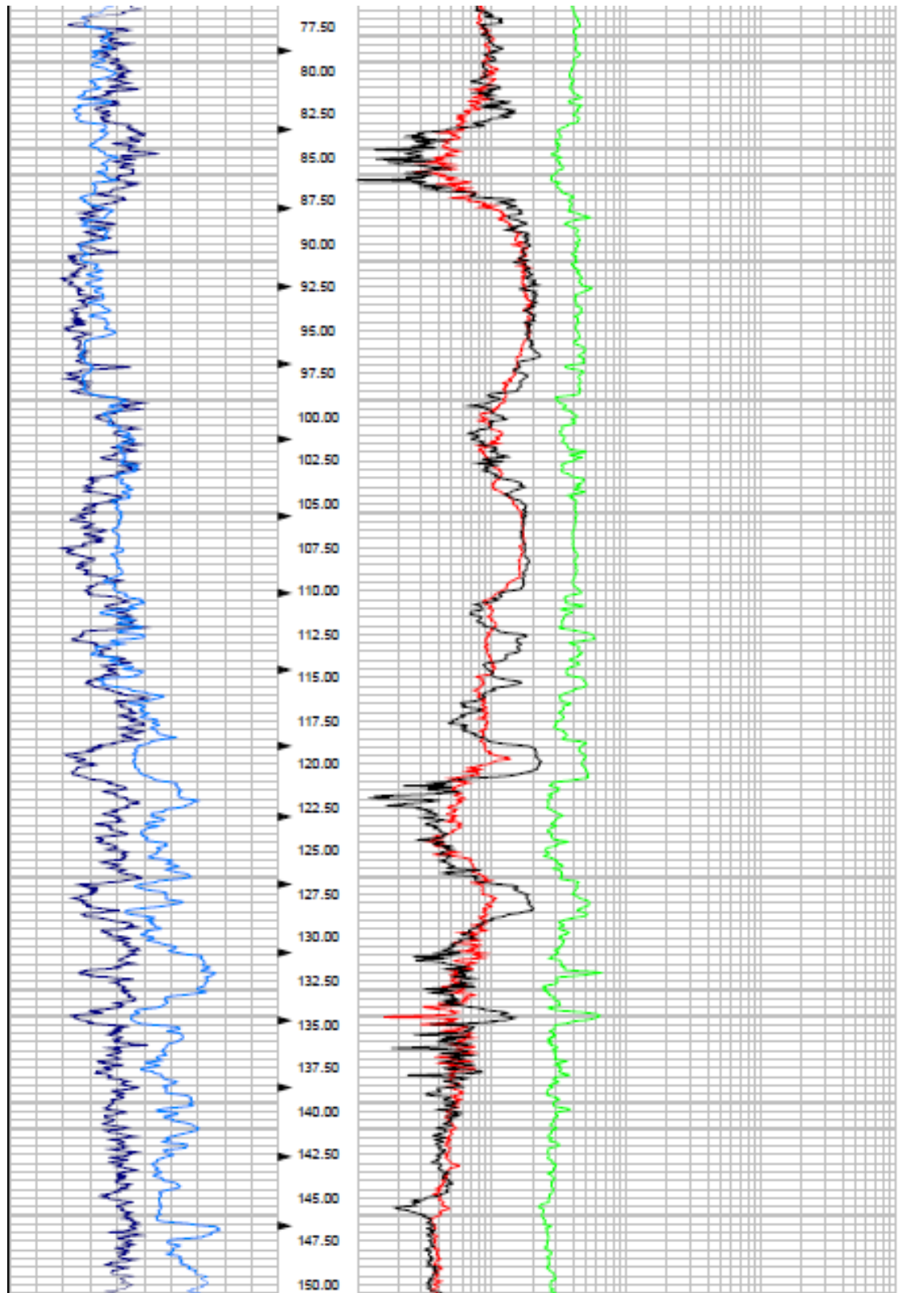
ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; SANTOS JUNIOR, A. E. Clima do cretáceo no meio-norte brasileiro. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). **O cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi, 2001. p. 67-76.

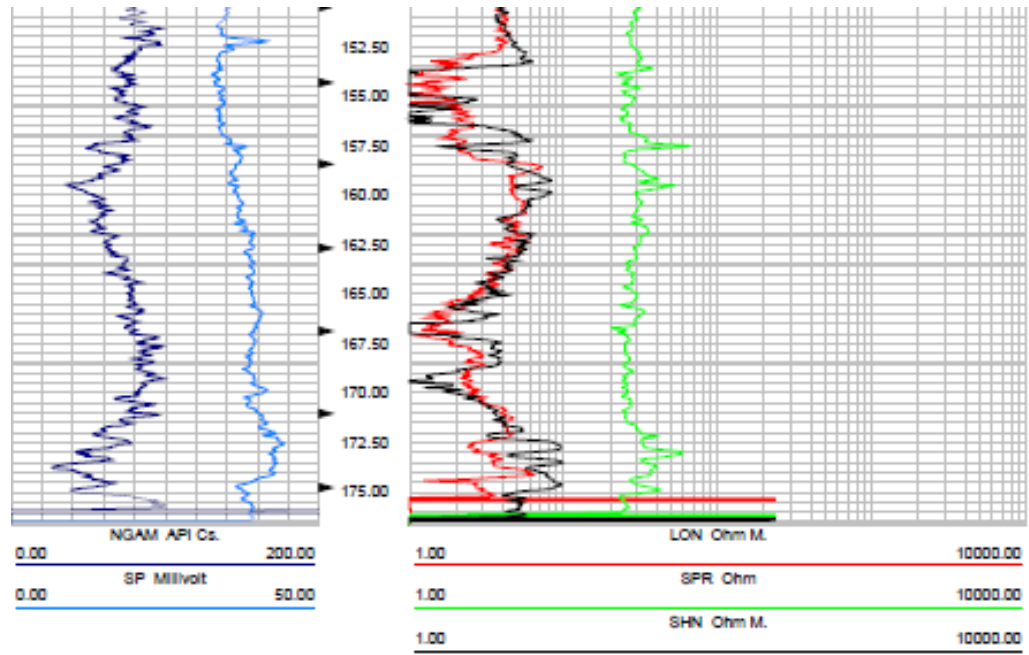
SOUSA, S.B. Sistema aquífero da Ilha do Maranhão (MA). In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, e CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., 2000 Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. 1 CD-ROM.

ANEXOS

ANEXO A: PERFILAGEM GEOFÍSICA NO POÇO RIMAS/CPRM.







Depth: 12.00 m Date: 26 Aug 2011 Time: 21:39:22 File: "C:\WinLogger\Data\UACUNDA-CPRM.LOG"

ANEXO B: ANÁLISE QUÍMICA DA ÁGUA.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
LABORATÓRIO DE HIDROQUÍMICA

INTERESSADO: CPRM (RIMAS)

REFERÊNCIA DA AMOSTRA: Água de poço (poço 04)

LOCAL DA COLETA: Município de Jacundá dia 12/09/11

DATA DE ENTRADA: 16/09/11

DATA DE SAÍDA: 20/11/11

RESULTADO ANALÍTICO

PARÂMETROS	AMOSTRA
STD (mg/L)	301
Alcalinidade Total (mg/L CaCO ₃)	193
Cor (PtCo APHA)	164
Turbidez (UNT)	28,5
Resíduo Total (mg/L)	306
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	75
Sódio (mg/L Na)	38,5
Potássio (mg/L K)	4,0
Cálcio (mg/L Ca)	6,8
Magnésio (mg/L Mg)	3,2
Cloreto (mg/L Cl ⁻)	4,5
Sulfato (mg/L SO ₄ ²⁻)	0,6

Métodos: Foram utilizados métodos clássicos para a análise qualitativa/quantitativa dos seguintes parâmetros: STD, alcalinidade, cor, turbidez, resíduo total, dureza total. A concentração dos principais cátions e ânions foi determinada por cromatografia líquida iônica.

Leila M.M. Hanna
Técnica

Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa
Chefe do Laboratório