



PROSPECÇÃO GEOFÍSICA PARA IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS AQUÍFERAS NA FORMAÇÃO CODÓ EM JACUNDÁ/PA

GEOPHYSICAL PROSPECT ON THE IDENTIFICATION OF AQUIFER ZONES FROM CODÓ FORMATIONS IN JACUNDÁ/PA

Marcelo Fernandes Mendes¹, José Geraldo Das Virgens Alves²,
Marcos Welby Correa Silva³

Artigo recebido em: 12/08/2013 e aceito para publicação em: 29/03/2014.

Abstract: The Jacundá city has a public water system supply in its infancy. From the source surface it is not perennial, small flow and serves less than 20% of the population. Open and shallow tube wells are sources of particular use, limited and seasonal. However, the flow of two deep wells, built in the city, gave evidence that alternative underground water could be a good solution for the local supply. This fact gave rise to a geophysical study to determine the deeper strata permeable. We used six vertical electrical sounding, whose interpretations were guided by a geophysical logging run in a hole. As a result, the models of VES's packets identified two distinct layers resistivity: A package higher, more resistive a total thickness less than 30 meters, was associated with the Itapecuru formation which, is predominantly sandy hydrogeological and weak. And the other, a substrate of low resistivity, it was assumed corresponding to the Codó Formation shales. The hydrogeological potential of this second package is in the shale interbedded sandstone, which may mean the solution for the management of water supply in the city.

Keywords: Applied geophysics. VES. Well Logging. Jacundá. Itapecuru. Codó-PA.

Resumo: A cidade de Jacundá tem um sistema de abastecimento público de água 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 fontes de uso particular, restrito e sazonal. No entanto, a vazão de dois poços tubulares profundos, construídos na cidade, apontam para uma alternativa de abastecimento por água subterrânea, o que poderia ser uma boa solução para o abastecimento local. Esse fato justificou um estudo geofísico para determinação das seções aquíferas mais profundas. Foram utilizadas 6 sondagens elétricas verticais, cuja interpretação foi guiada por uma perfilagem geofísica executada em uma perfuração. Como resultado, os modelos das SEV's identificaram dois pacotes de estratos distintos em resistividade: pacote superior, resistivo, de espessura total menor que 30 metros, associado à Formação Itapecuru, o qual, embora predominantemente arenoso, possui baixa potencialidade hidrogeológica na área estudada. O segundo, representando um substrato de baixa resistividade, assumiu-se correspondente aos folhelhos da Formação Codó. O potencial hidrogeológico desse segundo pacote está nas intercalações de arenito no folhelho, o que pode significar a solução para a gestão do abastecimento de água na cidade.

Palavras-chave: Geofísica aplicada. SEV. Perfilagem geofísica. Jacundá. Itapecuru. Codó.

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 possui, o siste-

ma é incipiente e de atendimento parcial. Nessas localidades, geralmente, o abastecimento é feito direto da fonte para a rede de distribuição, mesmo sendo estas fontes de natureza superficial.

Na sede do município de Jacundá, no Estado do Pará, o sistema de distribuição de água é feito a partir de fonte superficial, sendo a água, bombeada direto para a rede e atende apenas a

¹ Bacharel em Geofísica e Mestrando em Geofísica pelo Programa de Pós-Graduação em Geofísica (PPGF) da Universidade Federal do Pará (mafegeo@globo.com).

² Universidade Federal do Pará (jgvalves.geof@gmail.com).

³ Universidade Federal do Pará (welbysilva@gmail.com).

área central da cidade, cerca de 20% da área urbana. O fornecimento é intermitente causado pela turbidez, outros materiais em suspensão na água, vazão e problemas operacionais.

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

Em Jacundá/PA, a formação Itapecuru corresponde à cobertura sedimentar que não ultrapassa 30 m de profundidade. Nesse pacote, somente poços cacimbas ou escavados por ferramentas manuais e tubulares rasos são usados para abastecimento restritos às residências. Além disso, esses poços promovem uma pequena oferta de água sazonal, pois secam durante o período de estiagem. Por isso, em termos hidrogeológicos, a formação Itapecuru em Jacundá/PA não oferece potencial hídrico para o abastecimento em grande escala.

Observou-se que dois poços tubulares perfurados na cidade tinham profundidade maior que cem metros. Um deles foi visitado durante o teste de bombeamento. Com base em descrições litológicas das amostras de calha, esses poços captam água de rochas da Formação Codó, provavelmente de sequência de arenitos fraturados intercalados em um grande pacote de folhelho. O teste comprovou que o poço era capaz de fornecer vazão de 10 m³/h, o suficiente para abastecer em média 100 famílias por dia para bombeamento de 10h/dia. Segundo os perfuradores, o poço foi revestido nos primeiros 60 m e após esta profundidade não foi necessário o revestimento, pois a

camada de arenito é suficientemente resistente e fisicamente íntegra.

Considerando a oferta insuficiente, sazonal e de alto risco de poluição da água superficial, o baixo potencial hídrico 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 horizonte 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.

Portanto, a definição dessa interface foi o principal objetivo deste trabalho e as metodologias utilizadas foram Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Perfilagem geofísica de poço.

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 longitude de 49°06'59" a oeste. 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), conforme visualizado na 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.

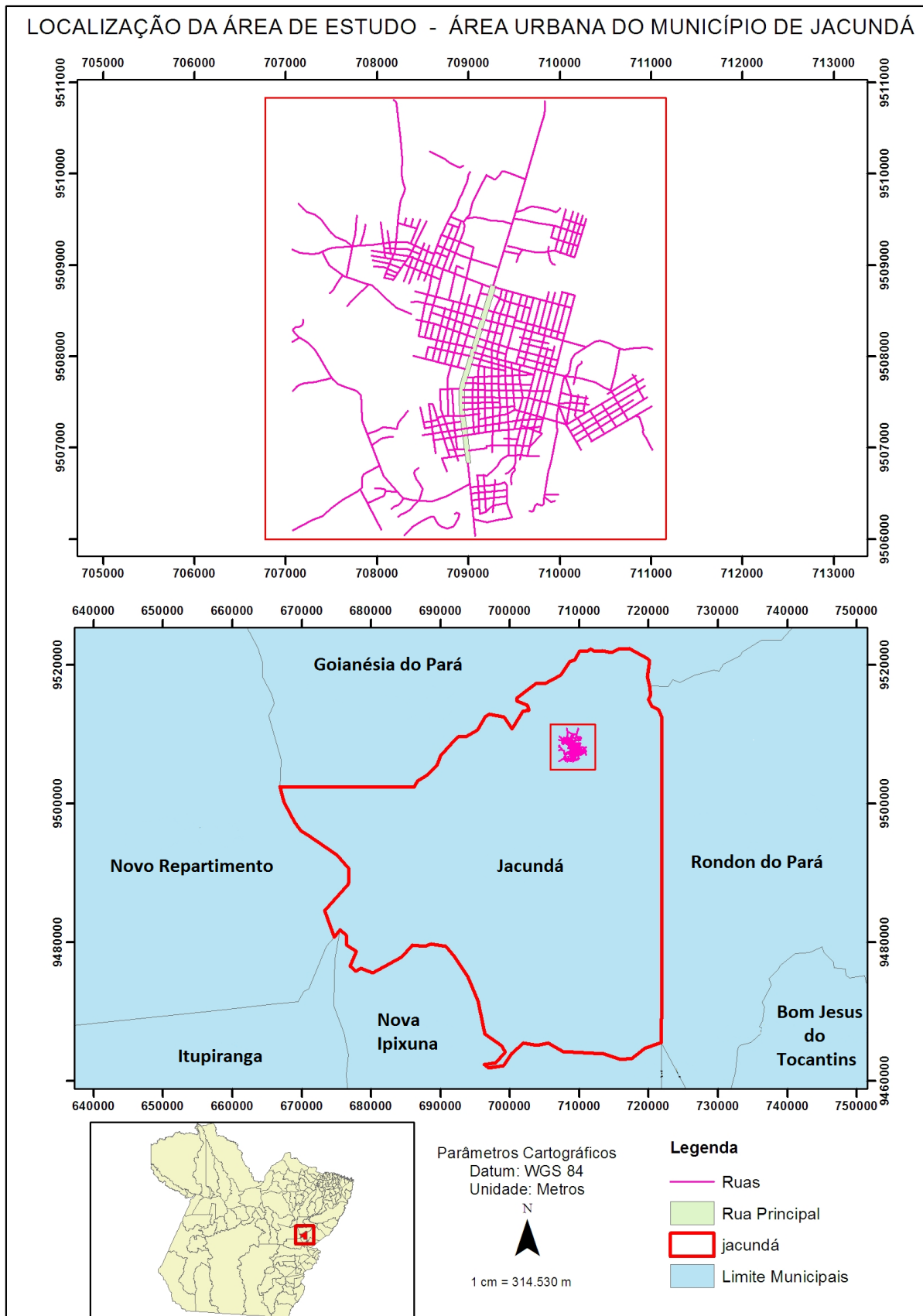


Figura 1 - Mapa de localização do município de Jacundá - PA.

Figure 1 - Location map of Jacundá – PA city.

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 600.000 km², abrangendo partes dos estados do Pará, Maranhão, Tocantins, Piauí, Ceará e Goiás, com origem relacionada aos eventos termotectônicos do ciclo Brasileiro-Panafricano, com uma espessura da coluna sedimentar total da ordem de 3.500 m (CAPUTO et al, 2005).

A Bacia do Parnaíba desenvolveu-se sobre um embasamento continental durante o estágio de estabilização da plataforma sul-americana (ALMEIDA e CARNEIRO, 2004). A origem ou subsidência inicial da Bacia do Parnaíba, segundo esses autores, 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 e 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 silicificação na parte superior (ROSSETTI, 2001). 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 op.cit.), correspondem a seis ciclos deposicionais atribuídos a sistemas de vales estuarinos incisos.

Os depósitos mostram uma natureza transgressiva, e o litotipo mais frequente 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 et al., 2001).

Na Formação Codó, folhelhos, calcários, siltitos, gipsita/anidrita e arenito são os principais litotipos e são frequentes níveis de sílex e estromatólito. Os sedimentos aptianos representativos deste período são folhelhos negros, evaporitos e calcários lacustres que interdigitam-se aos arenitos flúvio-deltaicos da Formação Grajaú (ROSSETTI e 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 e PIAZZA, 1978; LIMA e LEITE, 1978; MESNER e WOOLDRIDGE, 1962, 1964a, 1964b; REZENDE e 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 interdistributaria, lobos de suspensão e canal distributário (PAZ e ROSSETTI, 2001; ROSSETTI, 2001).

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 público no interior do Estado do Maranhão e na cidade de São Luís. Nesta cidade, o aquífero Itapecuru apresenta predominantemente águas carbonatadas-cloretadas

com predominância do tipo sódica (SOUSA, 2000).

Na Bacia do Parnaíba podem ser considerados, 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 m, produzindo vazões de algumas até muitas dezenas de m³/h (média em torno de 20 m³/h). As águas são geralmente de boa qualidade e sem restrições de uso, com exceção das do aquífero Codó, que se apresentam, muitas vezes, com altos índices de dureza. (PEDROSA e CAETANO, 2002).

No entanto, na cidade de Jacundá, a Formação Itapecuru constitui apenas a cobertura, embora com sedimentos predominantemente arenosos, mas com espessura de até 30 m, portanto, não representa um aquífero em potencial.

METODOLOGIA

O levantamento geofísico na área urbana do município de Jacundá (Figura 2) totalizou 6 SEV's e uma perfilagem. As SEV's foram adquiridas com o resistivímetro *Geotest* e processadas pelo software *SEV*, desenvolvidos no Laboratório de Instrumentação Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. A perfilagem geofísica foi executada com um perfilador da *Robertson Geologging Limited* com o guincho de 300 m, pertencente ao mesmo laboratório.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As SEV's 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 ohm.m e 600 ohm.m, as resistividades da segunda camada variam entre 443 ohm.m e 1603 ohm.m e as resistividades da terceira camada variam entre 18 ohm.m e 200 ohm.m. A Figura 3 apresenta as seis SEV's, todas executadas com o arranjo Schlumberger, abertura de eletrodos de corrente (AB/2) de 55 a 130 m.

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

Dentro do Projeto RIMAS (Rede 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 com o poço aberto, foi realizada uma perfilagem para definição dos aquíferos, bem como a análise química da água deste poço. A figura 6 mostra a perfilagem, com registros de Raio gama (RG), Potencial espontâneo (SP), Resistência (SPR), Resistividade curta (Rshn) e Resistividade longa (Rlon) desde 22.5 m (nível da lama) até 75 m de profundidade.

No registro RG, desde o início e até 29 m, a amplitude varia suavemente entre 25 API e 35 API, correspondendo a um trecho arenoso, com três passagens em argila que elevam a amplitude para até 62 API. Após 29 m, a amplitude varia entre 50 API e 87 API, comportando-se como uma zona de alta argilosidade, com rápidas oscilações para menos. Considerando a descrição das amostras de calha, tais registros são compatíveis a um pacote de folhelho, com intercalações de arenitos e siltitos.

Os registros de resistividade elétrica, Rshn e Rlon, mostram uma transição, caindo de valores maiores que 100 ohm.m para valores entre 20 e 40 ohm.m, até os 33 m de profundidade. Depois, a resistividade continua diminuindo ficando oscilando em torno de 10 ohm.m, abaixo de 40 m. Isto corresponde ao comportamento das curvas de SEV, que apresentam um ramo crescente, com um máximo e, depois, um ramo descendente com resistividade aparente perto dos 10 ohm.m.

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.

Todas as SEV's apresentadas nas figuras 7 e 8 possuem modelo de 5 camadas, conseqüentes 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 ohm.m e 56 ohm.m,

seguido por um substrato de resistividade igual a 6 ohm.m.



Figura 2 - Mapa de localização do Levantamento Geofísico
Figure 2 - Location map of the Geophysical Survey

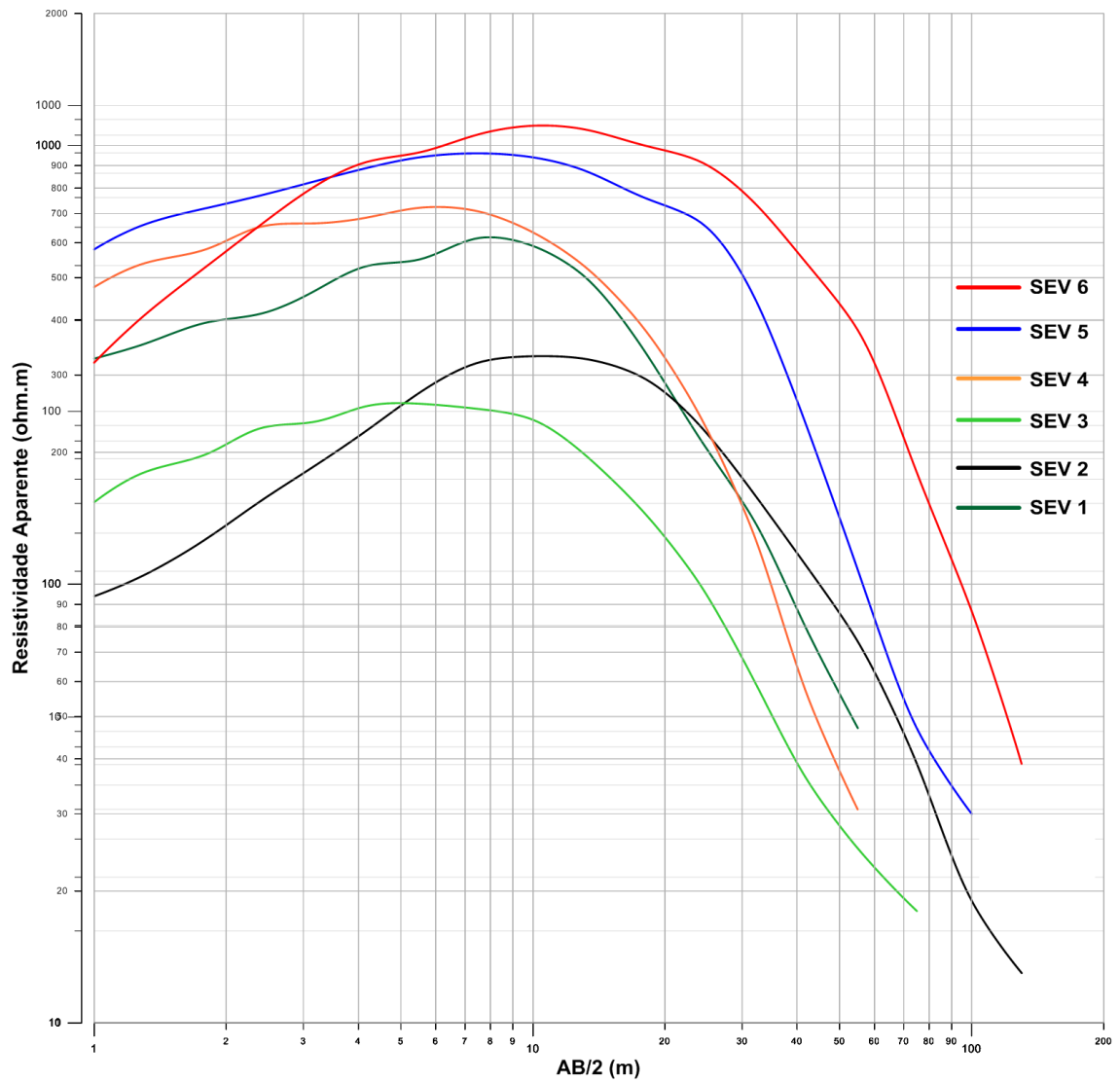


Figura 3 - Gráfico contendo todas SEVs
Figure 3 - Graphic containing all VES

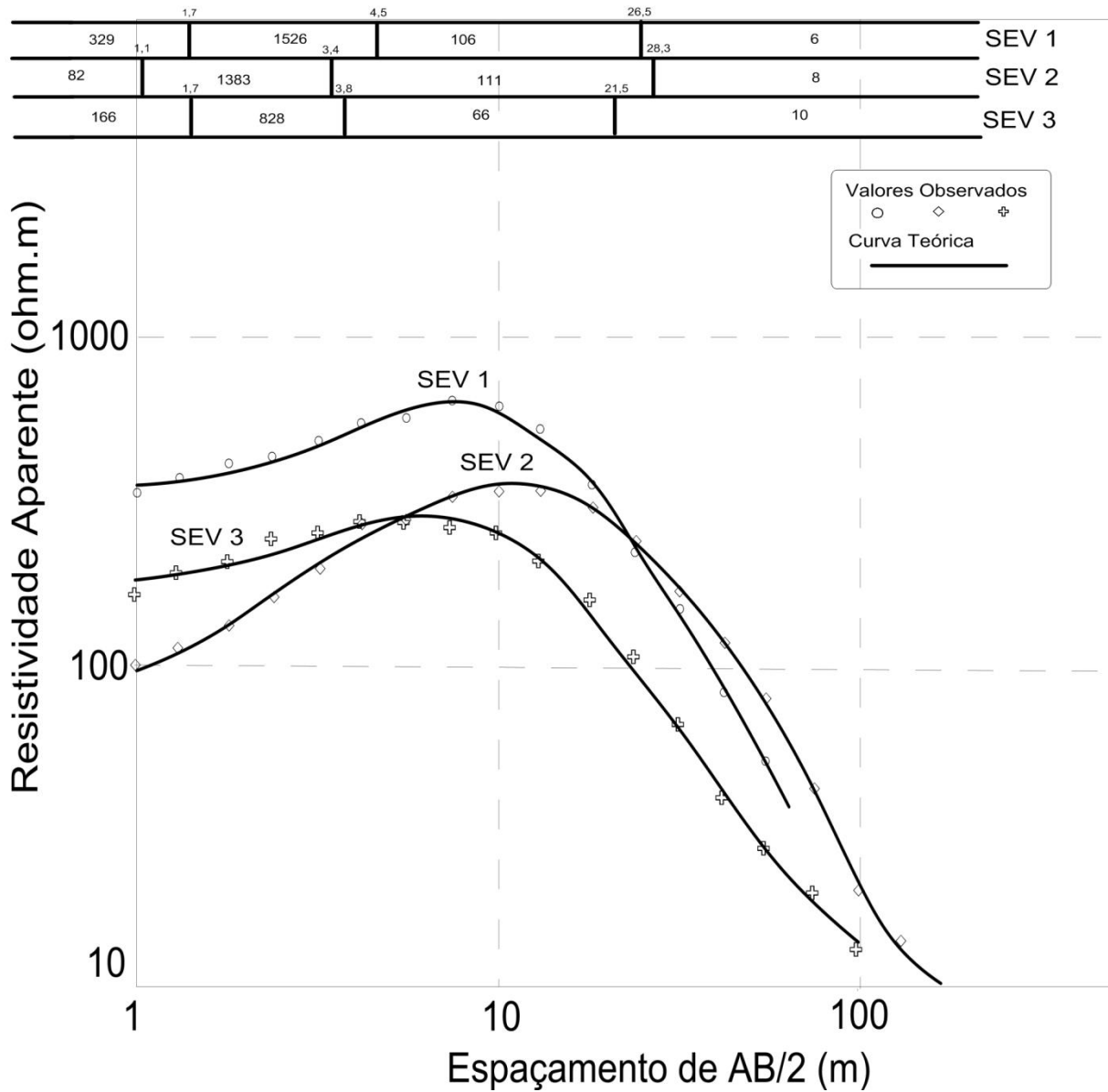


Figura 4 - Modelos de SEVs 1,2 e 3 com 3 e 4 camadas
Figure 4 - VES models 1,2 and 3 with 3 and 4 layers

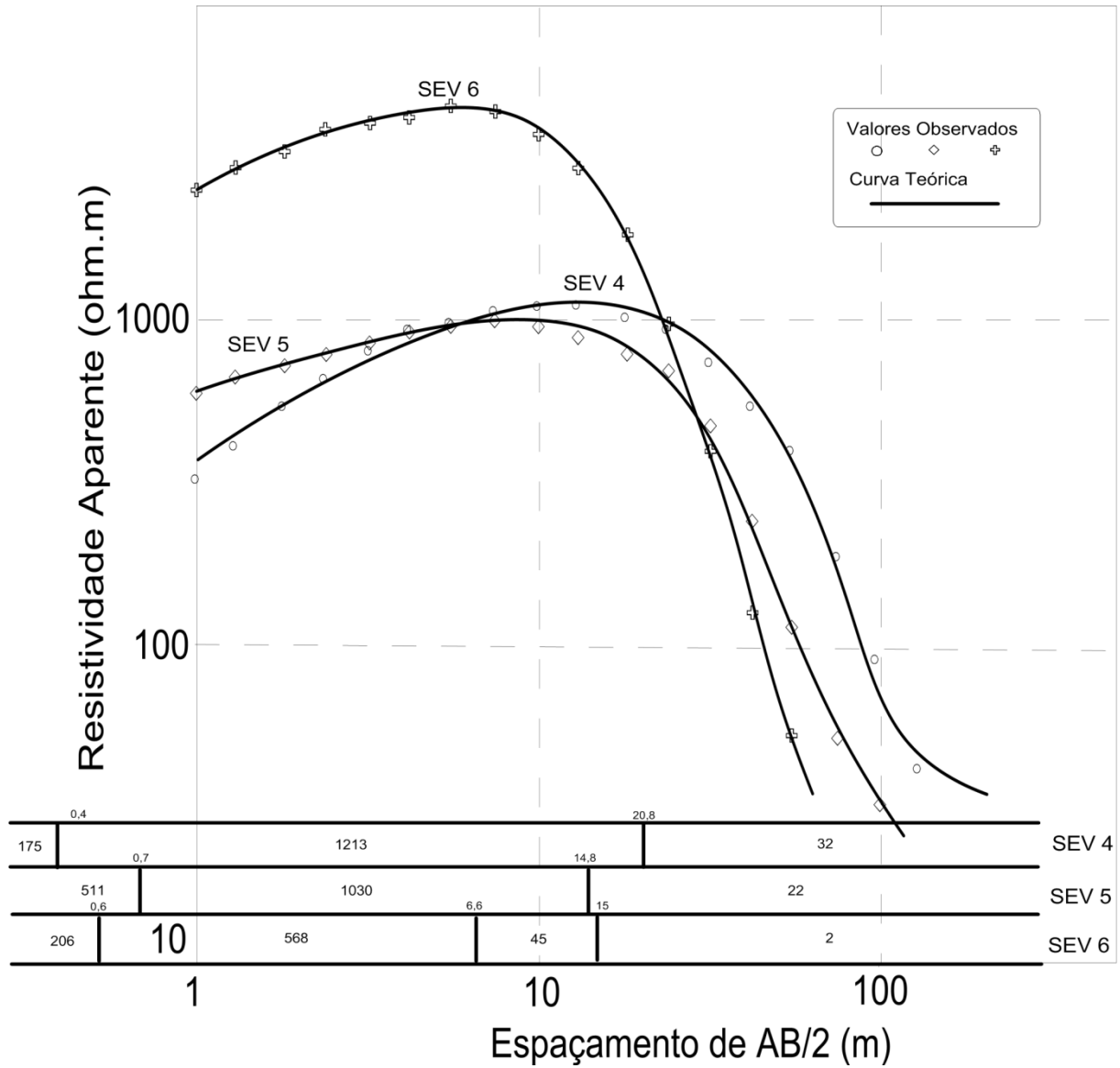


Figura 5 - Modelos de SEVs 4,5 e 6 com 3 e 4 camadas

Figure 5 - VES models 4,5 and 6 with 3 and 4 layers

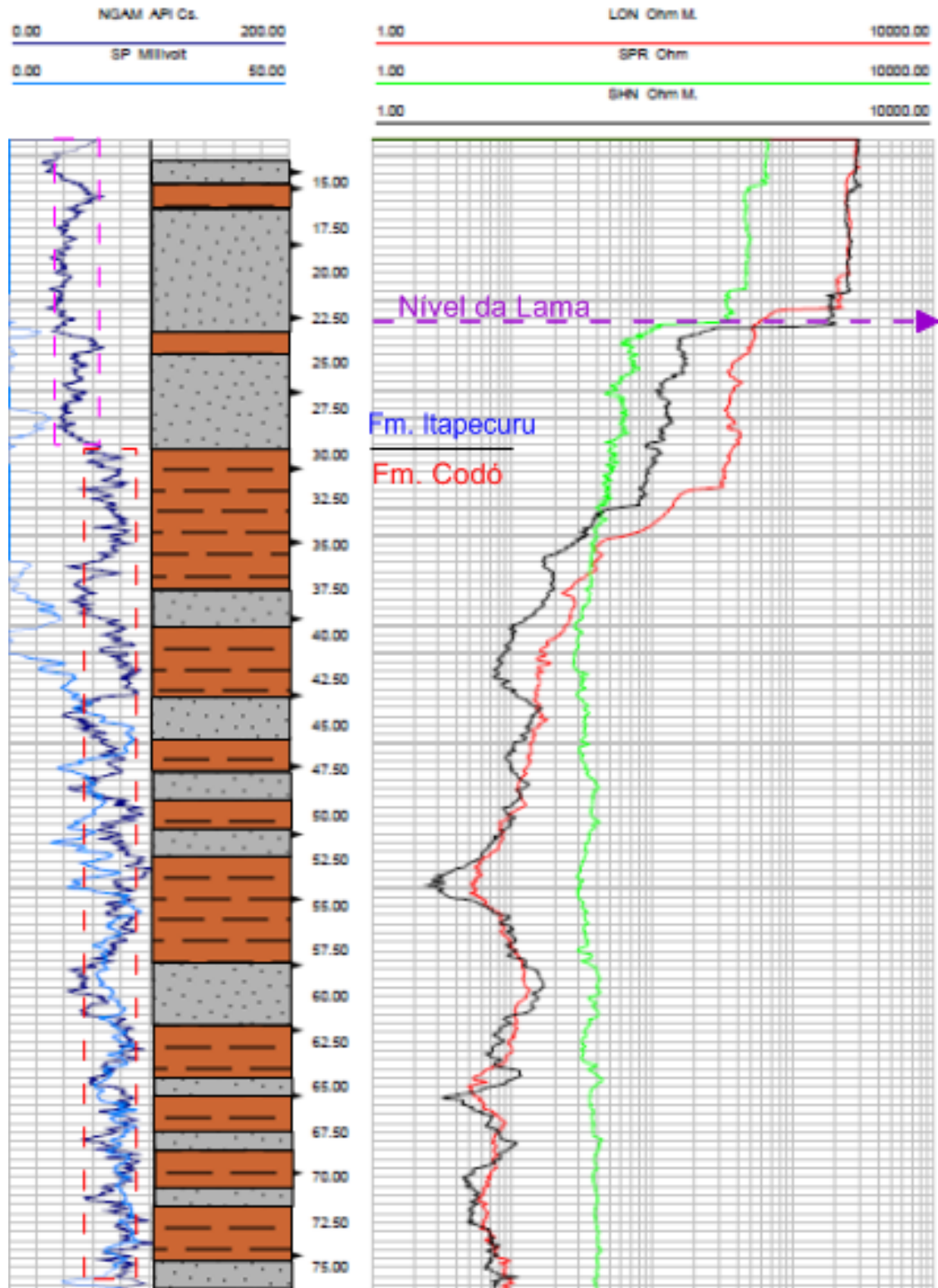


Figura 6 - Interpretação da Perfilagem Geofísica no poço RIMAS-CPRM
Figure 6 - Interpretation of the Geophysical Well Loggin in the borehole RIMAS-CPRM

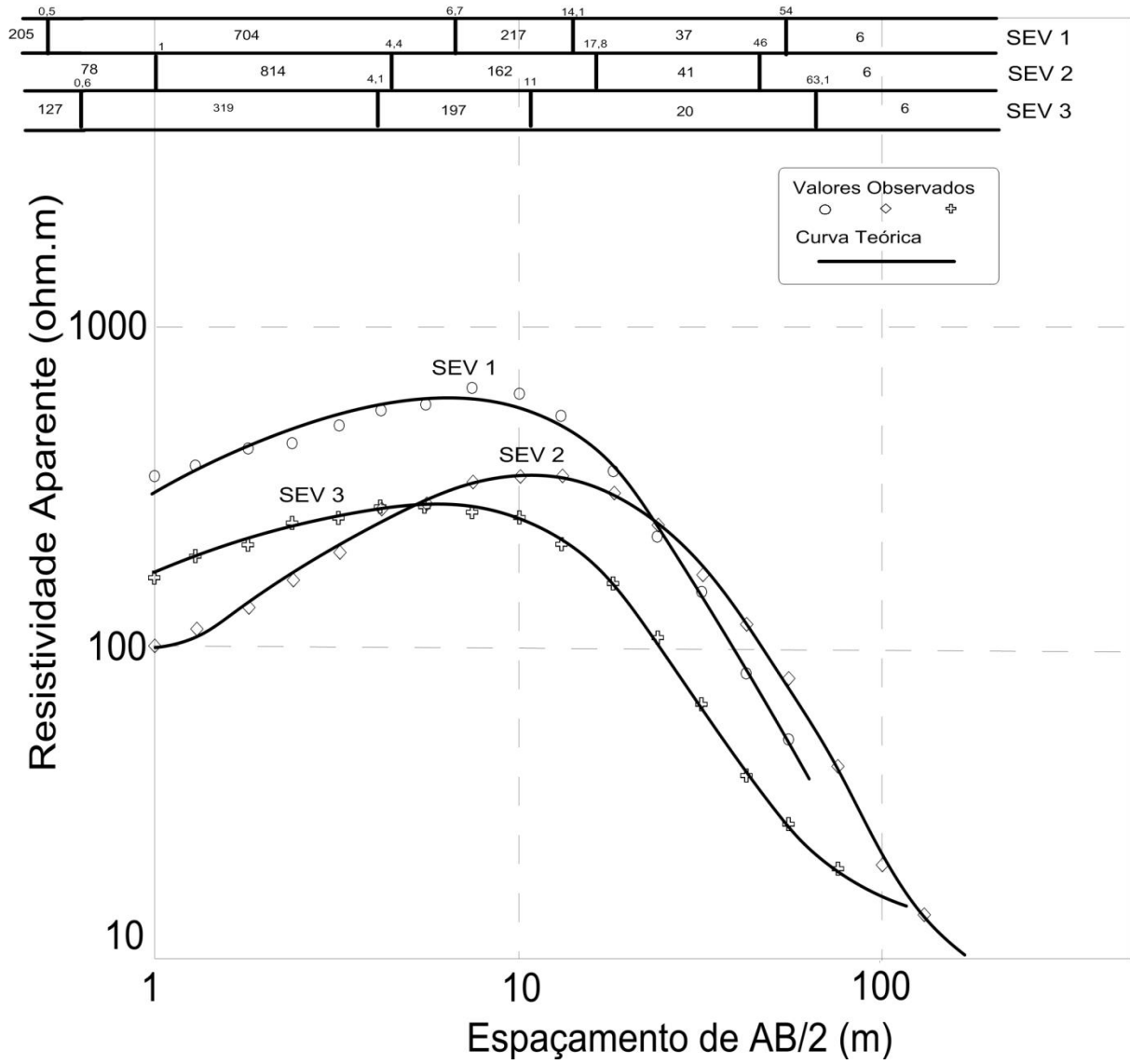


Figura 7 - Modelo de SEV's 1,2 e 3 com 5 camadas
Figure 7 - Model of VES 1,2 and 3 with 5 layers

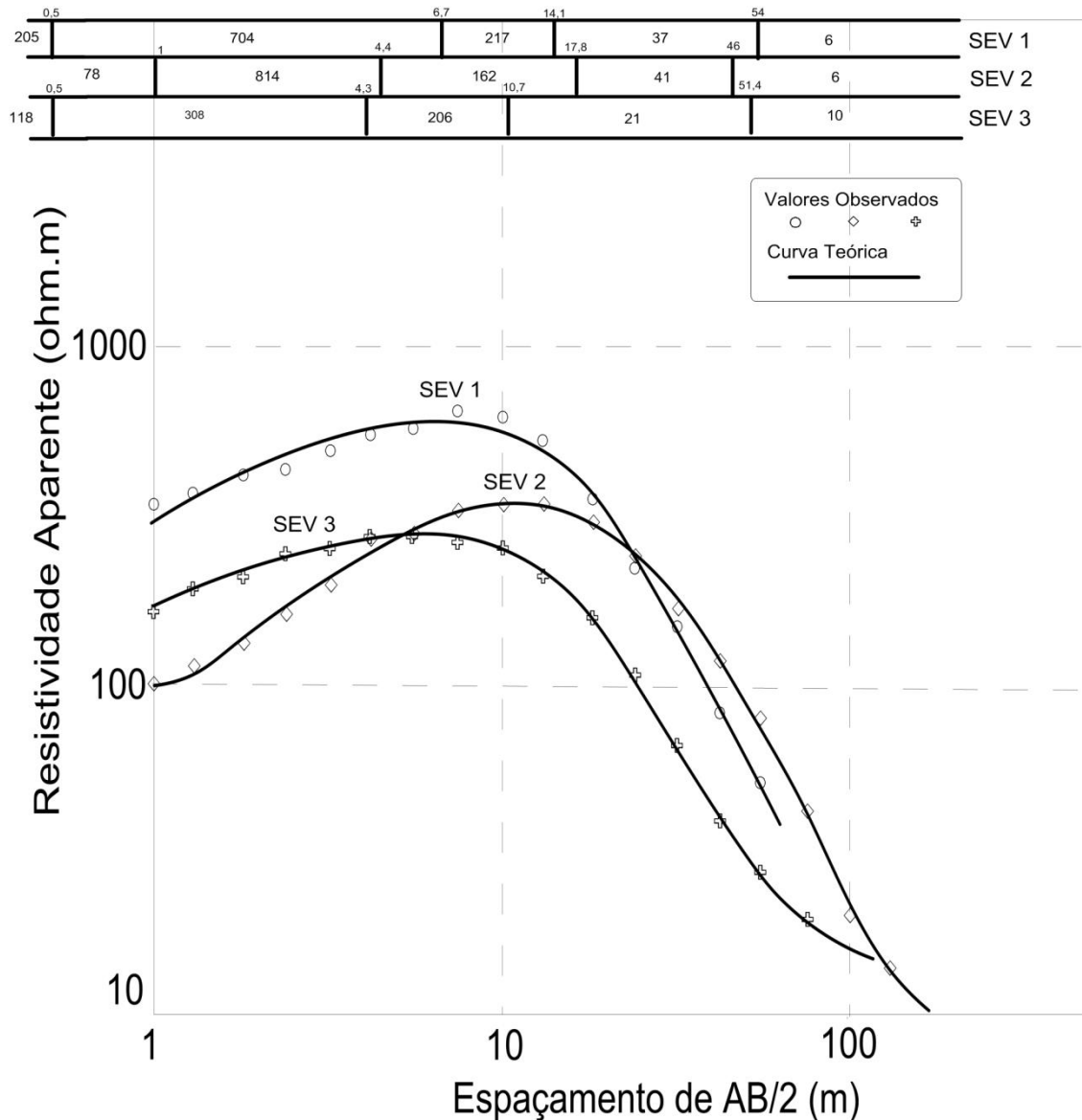


Figura 8 - Modelo de SEV's 1,2 e 3 com 5 camadas
Figure 8 - Model 1,2 and 3 of VES with 5 layers

Dos modelos de cinco camadas obtidos para as SEV's, 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. Desse modo, a interface da terceira para a quarta camada corresponde ao contato das Formações Itapecuru e Codó.

A quarta camada é a porção do pacote de folhelho da Formação Codó que contém as intercalações de arenito, onde a água está acumulada. Com espessura variando de 30 a 65 m, é justamente esta quarta camada que se pode considerar como o aquífero da área.

O produto das SEV's com a perfilagem pode ser visualizado na seção geolétrica representada pelas figuras 9 e 10, 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 geolétrica 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 9 - Mapa com as SEV's correlacionadas
Figure 9 - Map with VES correlated

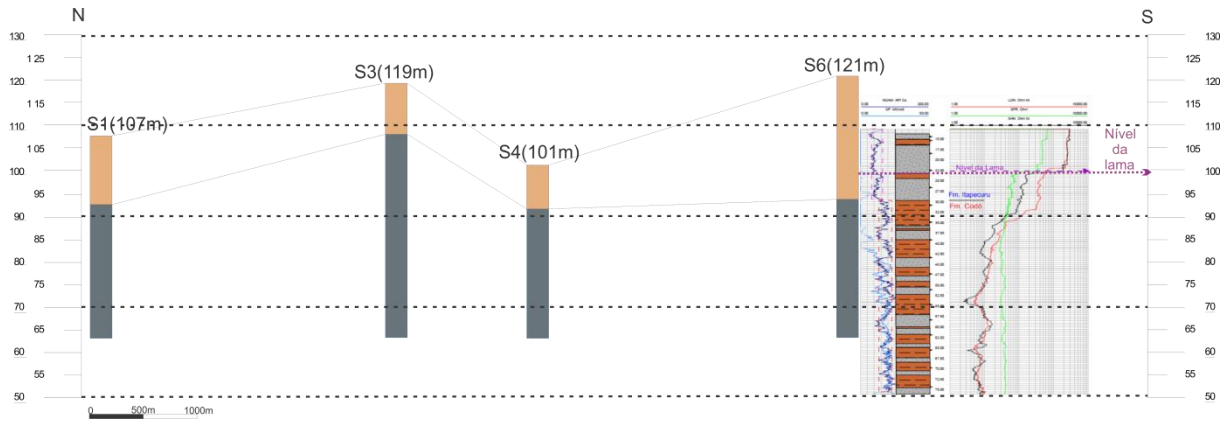


Figura 10 - Seção geolétrica correlacionada à perfilagem
Figure 10 - Geoelectric section correlated to well logging

O mapa de contorno mostrado na figura 11 representa a profundidade do topo da Formação Codó. Vê-se ao centro do mapa, a região de menor profundidade, mínimo de 8 m, em azul, ou seja, onde o topo da Formação Codó estará mais próximo da superfície. E é ao sul da cidade que o topo da Formação Codó está mais profundo, em vermelho, com máxi-

mo de 26 m.

A figura 12 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 m.

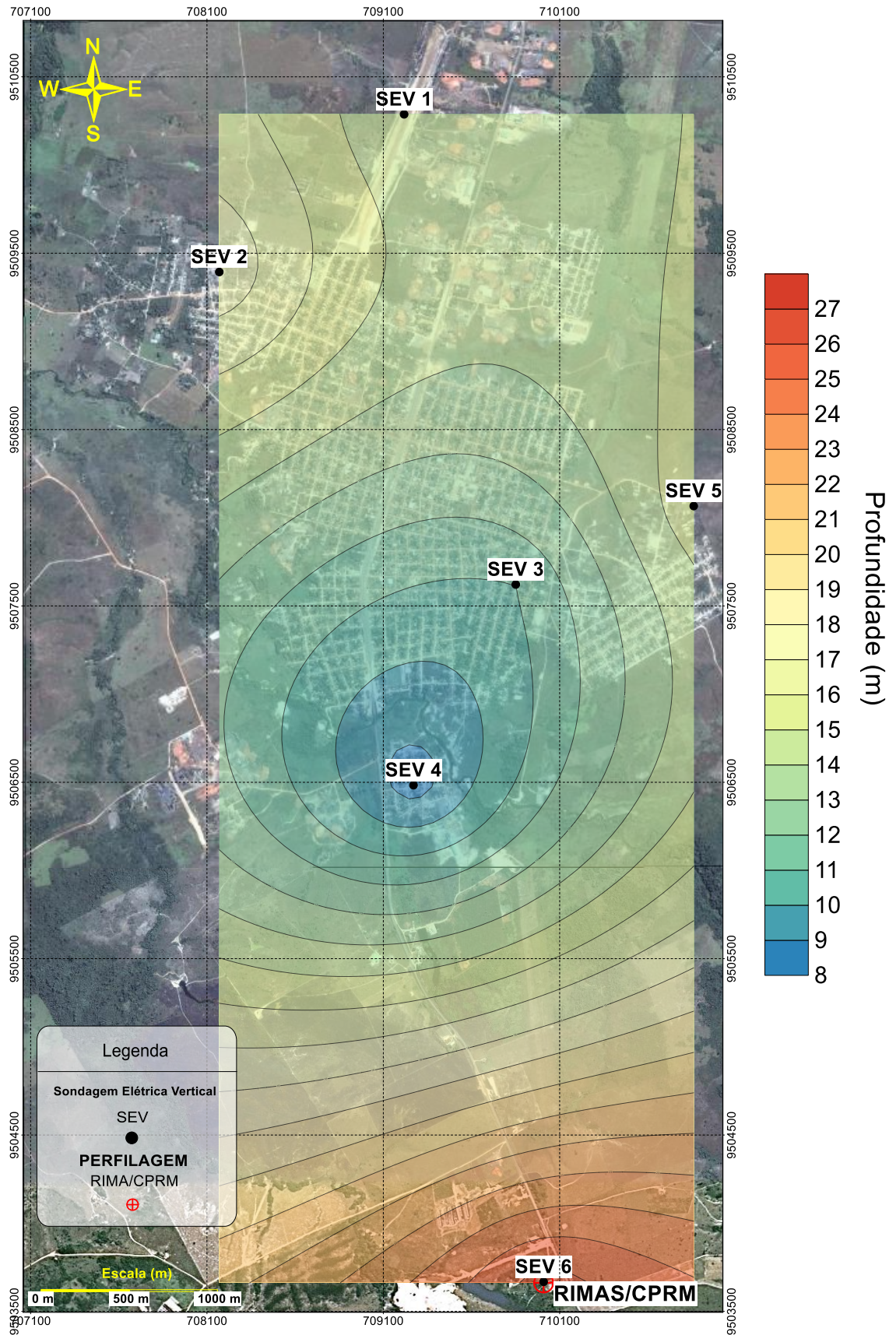


Figura 11 - Mapa do topo da Formação Codó
Figure 11 - Map of the top of the Codó Formation

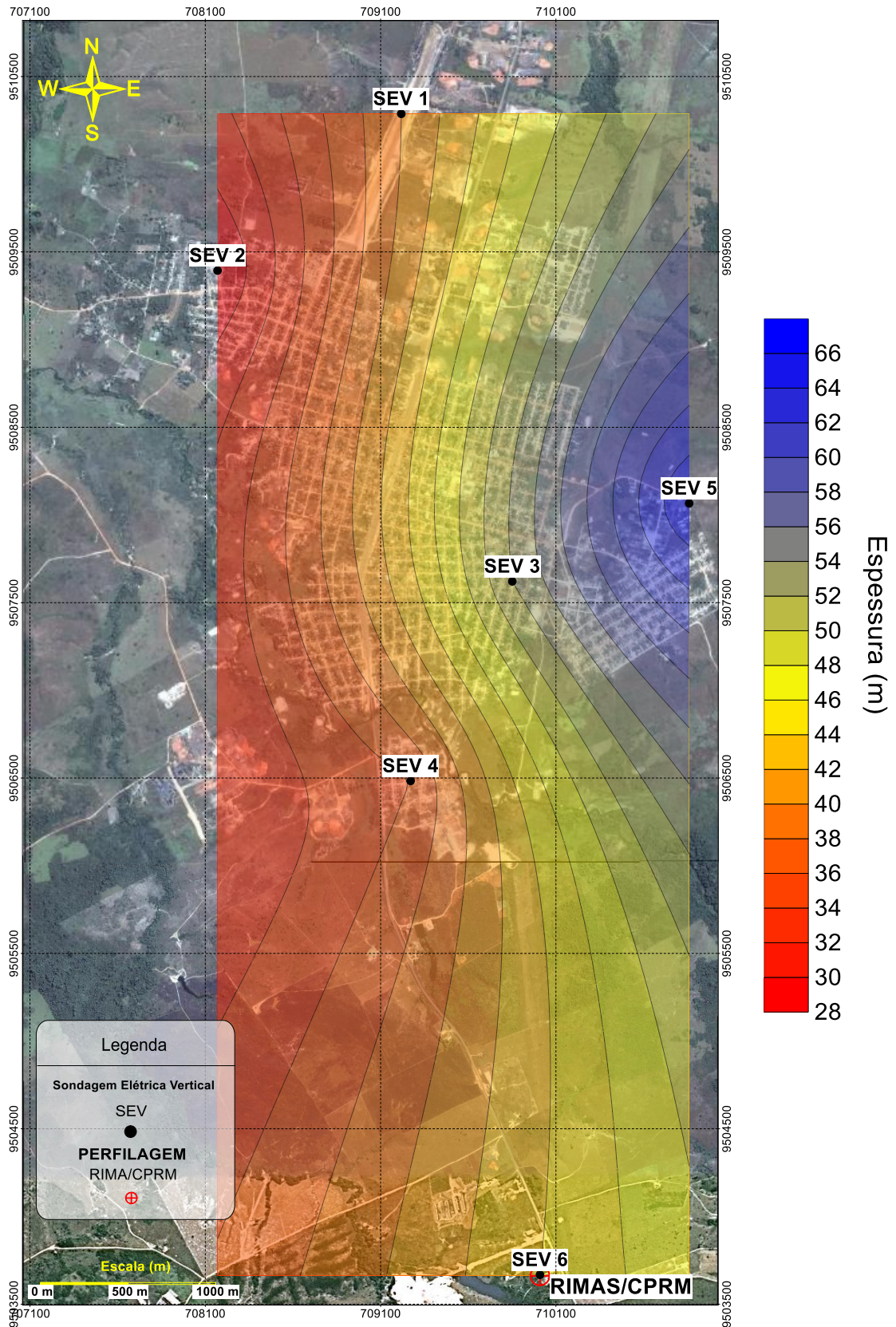


Figura 12 - Mapa de isópachas da quarta camada – Aquífero
 Figure 12 - Isopach map of the fourth layer – Aquifer

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Preliminarmente, as SEV's foram interpretadas com modelos de 3 e 4 camadas e, depois,

a perfilagem do poço CPRM/RIMAS foi usada como guia, fornecendo mais detalhes nas espes-

suras das camadas e, com isso, foram gerados modelos mais refinados de 5 camadas.

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 está relacionada com a interface das formações Itapecuru e Codó, considerando que o topo da Formação Codó é o topo do folhelho.

Na perfilagem, pelo registro RG, 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 e 26,5 m para a área estudada,

correspondentes às três primeiras camadas. A quarta camada, com valores de resistividades variando entre 11 ohm.m e 56 ohm.m e espessuras entre 28 e 66 m, deve corresponder à porção do folhelho com as intercalações arenosas.

Portanto, os poços devem ser projetados para retirar água da quarta camada. Isto porque, pelas SEV's, abaixo da quarta camada o substrato, pouco resistivo, deve corresponder à continuação do pacote de folhelho, o que pode ser constatado na perfilagem, após os 75 m. A figura 12 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, neste caso, o folhelho seja carbonático, segundo a análise de água feita no poço adjacente a SEV 6, a dureza da água está dentro dos padrões exigidos pelo ministério da saúde (Brasil, 2011).

REFERÊNCIAS

- ADAMS, B.; FOSTER, S. S. D. Land-surface zoning for 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.
- BRASIL, Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 12 dez, 2011. Disponível <<http://www.in.gov.br>>, Acesso em: 19 mar, 2014.
- 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 oleogênico da Formação Codó. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.21, n.1, p. 3–16. 1978.
- LIMA, E.A.A.; LEITE, J.F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba**. Recife: Integração Geológica-Metalogenética, DNPM/CPRM, 1978. 437p. (Relatório).
- MESNER, J.C.; WOOLDRIDGE, L.C.P. **Maranhão basin study revision**. Belem: Petrobras, 1962. (Relatório, 205).
- MESNER, J.C.; WOOLDRIDGE, L.C.P. Estratigrafia das bacias paleozoica e cretacea do Maranhão. **Boletim Técnico Petrobras**, Rio de Janeiro, v.7, n.2, p. 137–164. 1964a.
- MESNER, J.C.; WOOLDRIDGE, L.C.P. Maranhão paleozoic basin and cretaceous coastal basins, north Brazil. **Bulletin American Association Petroleum Geologists**, Tulsa, n. 48, p.1475–1512. 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.
- 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**. Belém, Museu Paraense Emílio 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.
- ROSSETTI D.F.; TRUCKENBRODT W. Revisão estratigráfica para os depósitos do albiano-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**. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção 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 Emílio 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.