

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO AQUÍFERO URUCUIA NA BACIA DO RIO DAS FÊMEAS – BA USANDO RESISTIVIDADE E POLARIZAÇÃO ELÉTRICA INDUZIDA

Vicente Amorim Junior¹ e Olivar A.L. de Lima²

Recebido em 30 novembro, 2006 / Aceito em 25 junho, 2007
Received on November 30, 2006 / Accepted on June 25, 2007

ABSTRACT. Using IP-resistivity soundings it is possible to define the structural geometry and the lithological variability within the Urucua aquifer in the Rio das Fêmeas basin, Bahia. A total of 80 Schlumberger VES, measuring simultaneously the electrical resistivity and the time domain chargeability, were performed within this hydrological basin to a maximum current electrode spacing (AB/2) of 1000 m. Contour maps of the depth to the aquifer substratum, the depth to the phreatic surface, the mean aquifer resistivity ($\bar{\rho}$), and the upper aquifer polarization (m_s) were constructed after the quantitative inversion of the soundings. The aquifer consists of stacked sandstone bodies forming layers of different resistivity overlaying a much more conductive regional shaly substratum. High values of $\bar{\rho}$ and m_s , for the aquifer model suggest it is dominantly composed of shaly sandstones but saturated with very fresh groundwater. The reservoir thickness increases from east to west, ranging from about 100 m in the middle of São Desidério County to more than 450 m at the edge of the Serra Geral scarps. The general groundwater flow is from west to east, except in a small portion near the scarps where it is reversed forming a groundwater divide inside this hydrological basin. The jointly inversion of the IP and resistivity data was useful to reduce geoelectrical ambiguities and to better define the water table depths. The achieved results are of great value for planning a sustainable water exploration program for the region, which is being stressed by an accelerated agricultural development.

Keywords: electrical resistivity, induced polarization, aquifer evaluation.

RESUMO. Usando sondagens de IP-resistividade pudemos definir a geometria estrutural e a variabilidade litológica do aquífero Urucua na bacia do rio das Fêmeas, Bahia. Um total de 80 SEV's Schlumberger foi executado dentro desta bacia hidrológica, medindo-se simultaneamente a resistividade elétrica e a cargaabilidade no domínio do tempo, até um espaçamento máximo entre eletrodos de corrente AB/2 de 1000 m. Após inversão quantitativa das sondagens foram construídos mapas de contorno da profundidade do substrato do aquífero, da profundidade da superfície freática, da resistividade média do aquífero ($\bar{\rho}$), e da polarizabilidade da parte superior do aquífero (m_s). O aquífero consiste de corpos empilhados de arenitos que formam camadas de diferentes resistividades, as quais recobrem um substrato regional argiloso muito mais condutor. Os valores elevados de m_s , sugerem que o aquífero é composto litologicamente de arenitos argilosos saturados com água subterrânea doce. A espessura do reservatório aumenta de leste para oeste, variando de aproximadamente 100 m no centro do município de São Desidério a mais de 450 m na borda da Serra Geral. O fluxo geral da água subterrânea é de oeste para leste, a não ser numa pequena parcela próximo à borda da serra onde ele é invertido e origina um divisor de água subterrânea dentro da bacia hidrológica. A inversão conjunta dos dados de IP e de resistividade foi útil para reduzir ambigüidades geoeletricas e definir melhor a profundidade do nível estático da água subterrânea. Os resultados obtidos são de grande valia para um planejamento sustentável de exploração de água na região, que pode estar sendo super-explorada por um uso agrícola extensivo e acelerado.

Palavras-chave: resistividade elétrica, polarização induzida, avaliação de aquífero.

¹Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal da Bahia, Campus Universitário de Ondina – 40170-290 Salvador, BA, Brasil – E-mail: vaj@cpogg.ufba.br

²Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia, Campus Universitário de Ondina – 40170-290 Salvador, BA, Brasil.
– E-mail: olivar@cpogg.ufba.br

INTRODUÇÃO

O aquífero Urucuia, no Estado da Bahia (Fig. 1), compreende um amplo chapadão de aproximadamente 80.000 km² de extensão, esculpido em terrenos arenosos do Cretáceo Inferior. É constituído por arenitos variados de grãos finos a médios, contendo intercalações de siltitos e folhelhos e, localmente, níveis conglomeráticos. Uma extensa, mas rarefeita rede de drenagem sobre-põe-se a esse chapadão, constituindo a expressão superficial do fluxo hídrico num dos maiores reservatórios de água potável do País (Fig. 2).

O rio das Fêmeas e seus afluentes integram um dos sistemas de correntes conseqüentes e perenes que drenam áreas de chapadas situadas à margem esquerda do rio São Francisco. São rios e riachos estruturalmente controlados, competentes e de padrão de cursos retilíneos e subparalelos, geralmente orientados de WSW para ENE. Através de um balanço centenário do ciclo hidrológico, essa rede de drenagem encontra-se em equilíbrio harmônico com o fluxo regional do aquífero, sendo grandemente alimentada por seus deflúvios subterrâneos.

Nas últimas décadas, todavia, numa ampla extensão do oeste baiano, desenvolve-se um processo acelerado de agricultura mecanizada com irrigação permanente e de grande desperdício de água, principalmente em culturas de soja, café, arroz e algodão, além da extensiva criação pecuária. Tal atividade tem gerado uma exploração excessiva de água, que é tanto captada diretamente nos cursos dos rios, quanto os aquíferos, por meio de poços tubulares profundos. Diversos problemas como a redução de áreas de terras úmidas em planícies de inundação e reduções nos fluxos de rios, com alguns trechos de drenagens secas, já são registrados nessa região.

Embora regionalmente reconhecido como um excelente sistema aquífero, em termos de reservas e da produtividade dos poços, não existem estudos hidrológicos satisfatórios para avaliar a configuração estrutural e hidráulica do sistema aquífero Urucuia, assim como para efetivamente, dimensionar um regime adequado e conservativo para exploração de suas águas. O uso atual, indiscriminado de água na irrigação impõe urgência em se efetuar não só uma avaliação precisa das reservas úteis disponíveis, mas também a definição das alterações hidrológicas que são aceitáveis numa exploração adequada dos recursos hídricos subterrâneos.

Neste trabalho, através da aplicação de técnicas geofísicas elétricas é realizada uma modelagem hidrogeológica regional do aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas, Bahia. O trabalho integra-se ao esforço de cooperação técnico-científica iniciada

em 1998, entre o Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia (CPGG/UFBA) e a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia (SRH/BA), com o objetivo de realizar estudos de avaliação e uso de recursos hídricos em áreas estratégicas do estado. Oitenta sondagens elétricas, de resistividade e polarização induzida no domínio do tempo, foram executadas e interpretadas usando informações geológicas de mais de uma dezena de poços de exploração de água. Com isso, foi possível obter a geometria estrutural do aquífero, definir algumas características litológicas e hidráulicas de seu substrato, assim como caracterizar regionalmente a variabilidade espacial de suas propriedades de armazenamento e de transmissão de água.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

O Chapadão Urucuia é uma região de relevo aplainado com altitudes variando de próximo de 1000 m nas fronteiras baianas com os estados de Goiás e Tocantins, até cerca de 550 m no entorno da planície do rio São Francisco. Na borda ocidental desse extenso planalto localiza-se o divisor regional das águas superficiais das bacias dos rios Tocantins e São Francisco (Fig. 2). Trata-se de uma região de clima tropical quente e úmido, com pluviosidade média crescente de 800 a mais de 1.600 mm, do rio São Francisco para oeste.

O Grupo Urucuia compõe-se de arenitos quartzosos de cores variadas, predominando castanho-avermelhados, róseos e amarelo-esbranquiçados. Possuem granulometria variando de fina a média, são friáveis e limpos, mas muitas vezes contém argilas em suas matrizes e, localmente, aparecem cimentados com material silicoso ou carbonático. Incluem intercalações siltosas e siltico-argilosas e freqüentes níveis conglomeráticos dispersos. Zonas silicificadas são comuns ao longo de fraturas e falhas as quais são registradas em poços a diferentes profundidades. Com base na flora de micro e macrofósseis foi datada como do Cretáceo Inferior (Moutinho da Costa et al., 1976; Ghignone, 1979).

Em geral, em função de estruturas sedimentares internas e do seu conteúdo fossilífero, os sedimentos Urucuia têm sido interpretados como depositados em ambiente continental, inicialmente lacustre, mas passando a fluvial dominante, com expressivas contribuições eólicas (Lima & Leite, 1978; Ghignone, 1979). Essa espessa cobertura de plataforma se formou em resposta à transgressão Albo-aptiana que sucedeu a separação continental da América do Sul da África (Ghignone, 1979). Desse modo, nesse trabalho, o Grupo Urucuia é tratado como um pacote predominantemente arenoso e indiviso.

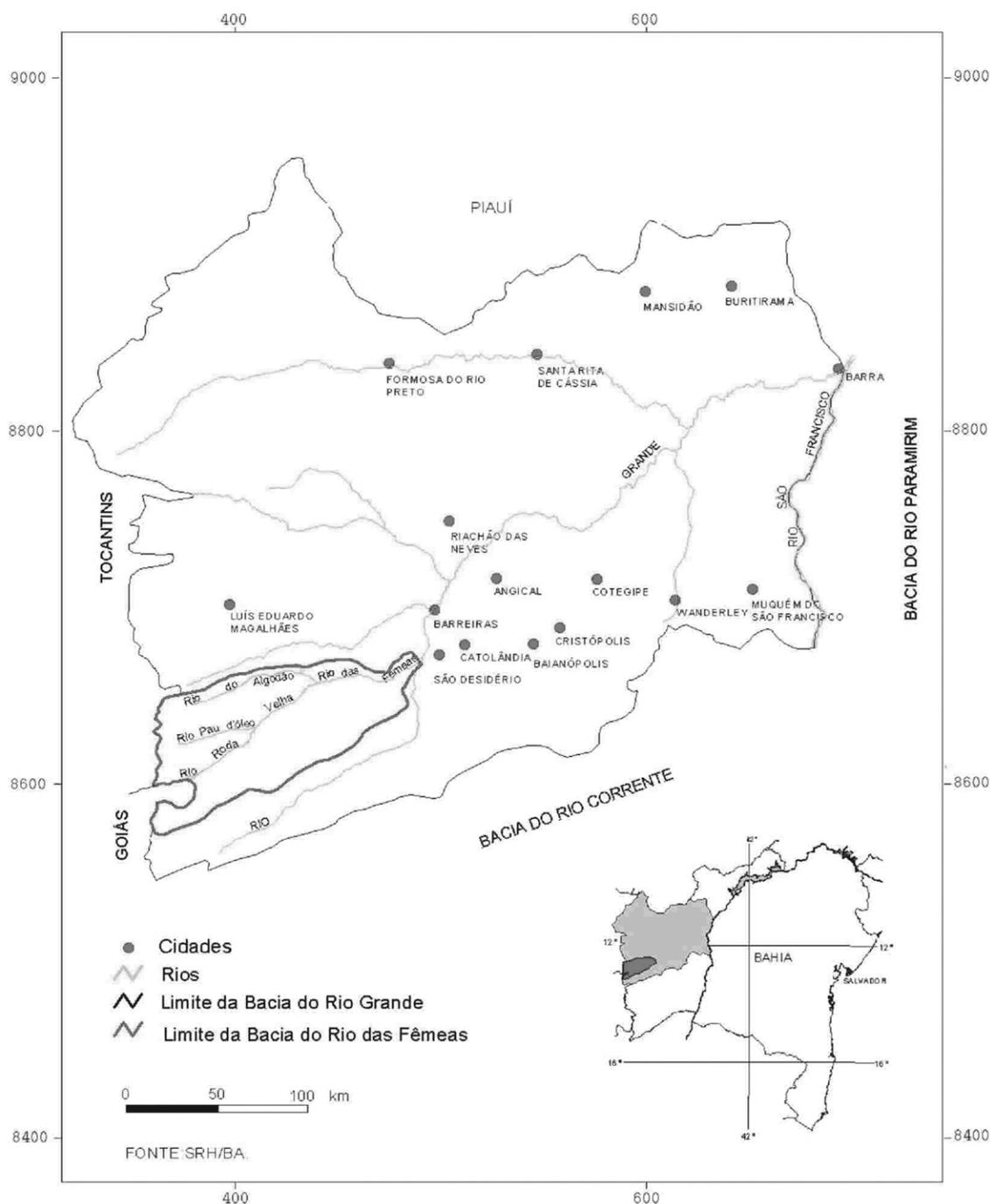


Figura 1 – Mapa de localização da bacia do rio das Fêmeas no Estado da Bahia.

O Grupo Bambuí constitui a maior parte do substrato sobre o qual se depositaram, em discordância angular erosiva, sedimentos clásticos do Grupo Urucuia. Compreende uma espessa seqüência pelítico-carbonática, de idade Proterozóica. Compõe-

se de calcários, calcários dolomíticos, dolomitos, margas, sil-tilitos e argilitos, resultantes de uma sedimentação em mar epicontinental raso, mas de subsidência variável ao longo de toda sua extensão. Foram identificados, nessa seqüência, pelo me-

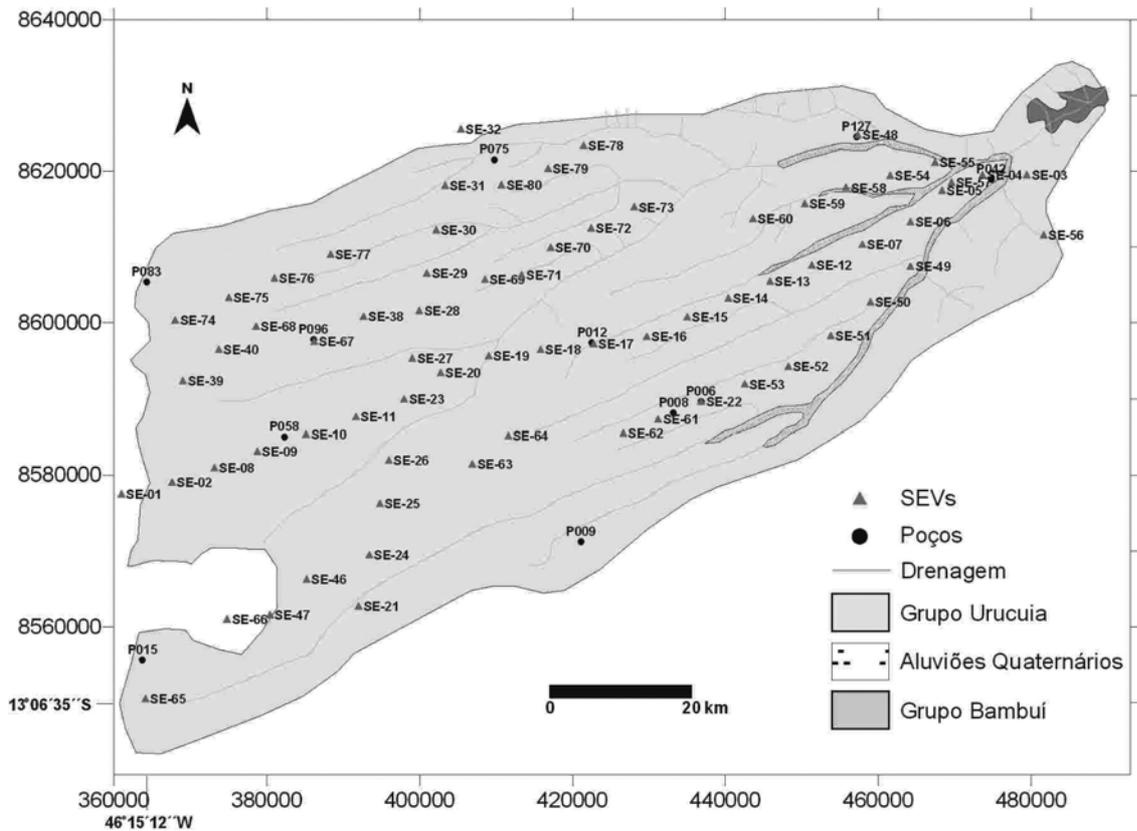


Figura 2 – Mapa geológico da área de estudo mostrando a rede drenagem, os centros das sondagens realizadas e os poços de produção de água.

nos três episódios transgressivos com ciclos regressivos de sedimentação associados (Dardenne, 1978). O ciclo mais superior, representado pela Formação Três Marias, compõe-se de ardósias, siltitos argilosos e arcóseos de cores verde e cinza-esverdeados, contendo pequenas lentes de margas e de calcários. De acordo com dados do Projeto LETOS (Moutinho da Costa, 1976), o substrato do Grupo Urucuia, na bacia do rio Grande, é constituído pela Formação Três Marias.

Embora não se tenha registro de atividades tectônicas expressivas após o Cretáceo, os grandes falhamentos no Grupo Bambuí (alinhados preferencialmente segundo N60-70°E) controlaram marcadamente a evolução estrutural posterior dos depósitos Urucuia. Movimentos de reativação ao longo dessas linhas de fraqueza produziram conjuntos conjugados de falhas e fraturas subverticais, que hoje se expressam na rede de drenagem retilínea em malha retangular, que caracteriza toda essa região (Fig. 2). Algumas falhas e fraturas associadas são reconhecidas no campo pela presença de estruturas cataclásticas e intensa silicificação que geraram verdadeiras muralhas nas escarpas de muitos 'canyons' da região.

CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA

A condução elétrica de uma rocha é basicamente determinada pelo conteúdo e salinidade de seu eletrólito, pelo volume e conectividade de seus espaços vazios e pela proporção de minerais portadores de uma condutividade superficial dispersos na sua matriz de sólidos. Por isso, os métodos elétricos têm obtido amplo sucesso na hidrogeologia e em estudos de poluição subterrânea (Ward, 1990; Lima et al., 1995; Benson et al., 1997).

Os efeitos de polarização elétrica induzida nas rochas sedimentares resultam, principalmente, dos gradientes de concentração de cargas desenvolvidos nos canais porosos, pela ação de fenômenos de filtração por membrana. Normalmente, partículas de minerais de argila capeando paredes e gargantas dos poros atuam como membranas filtradoras de ânions. Desse modo, o uso combinado de resistividade e de polarização induzida é útil não só para definir a geometria estrutural, mas também para estimar a proporção de argilas nos aquíferos, caracterizar a variabilidade espacial de suas propriedades de porosidade e permeabilidade, assim como inferir a qualidade da água armazenada (Loeb, 1976; Lima & Sri Niwas, 2000).

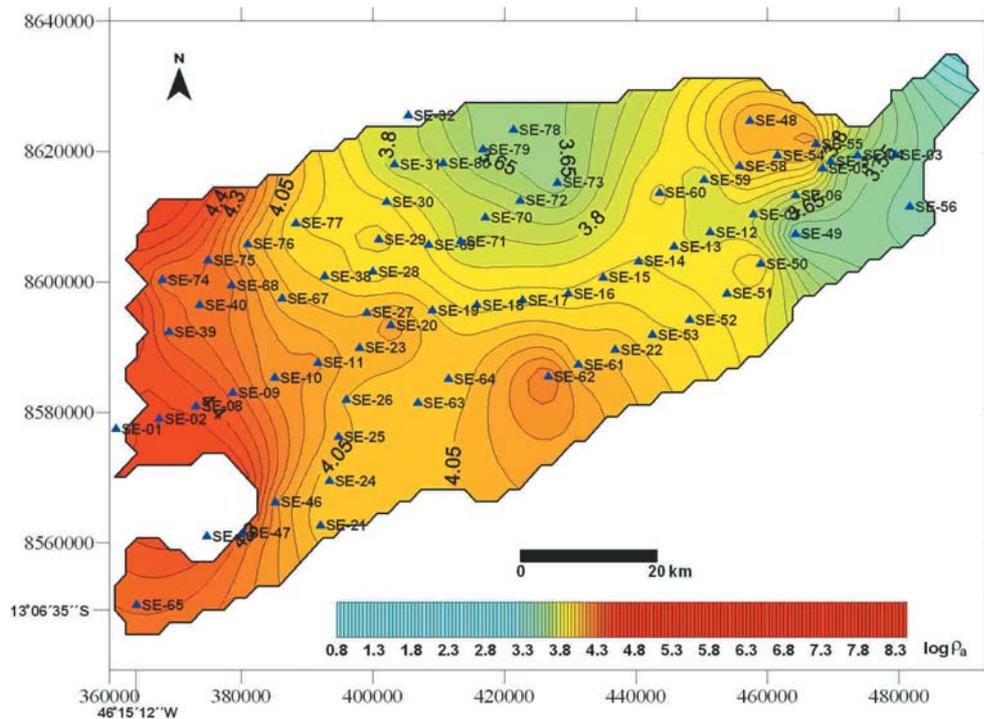


Figura 3 – Mapa da função resistividade aparente observada com espaçamento de eletrodos (AB/2) de 300 m.

Sondagens elétricas de resistividade e polarização induzida (IP) no domínio do tempo foram realizadas em 80 centros selecionados, a maioria deles localizada ao longo das rodovias principais e secundárias, com uma distribuição espacial definida para cobrir, o mais regularmente possível, toda a área da bacia (Fig. 2). Essas sondagens foram executadas com o arranjo Schlumberger, cuja separação máxima dos eletrodos de corrente (AB/2) foi de 1000 m. Os dados foram medidos com um equipamento SYSCAL R-2 fabricado pela Iris Instruments, de propriedade do CPGG/UFBA. O sistema SYSCAL com potência de 250W, é alimentado por uma bateria de 12V, a qual é acoplada a um conversor DC-DC capaz de produzir uma tensão máxima de saída de 800V. Como eletrodos usamos barras de cobre enterradas, no máximo, 50 cm no terreno.

A Figura 3 é um mapa de variação da função resistividade aparente observada para a separação de eletrodos (AB/2) de 300 m. Ela reflete, principalmente, as variações laterais localizadas no corpo do aquífero Urucuia. Os valores de ρ_a , em geral, são muito elevados (acima de 3000 ohm.m) indicando um subsolo de arenitos pouco argilosos e água de saturação de salinidade muito baixa. A resistividade cresce, de modo regular, de leste para oeste, principalmente em resposta a um aprofundamento do nível freático do aquífero nesse sentido. Além disso, a presença

de regiões de contornos locais fechados sugere a existência de contrastes laterais de resistividade, possivelmente associadas à falhas regionais.

Portanto, informações sobre a função ρ_a podem ser usadas, qualitativamente, para reconhecer variações litológicas, de conteúdo de água ou da presença de descontinuidades laterais do tipo falhas.

Mais de uma dezena das 80 sondagens realizadas foi centrada próximo a poços de produção de água para, através dos vínculos de profundidades do nível estático e de algumas interfaces marcantes, auxiliar na redução da ambigüidade da interpretação geológica final. As funções resistividade e cargabilidade aparentes (ρ_a , m_a) foram simultaneamente invertidas usando modelos unidimensionais, e procedimentos de ajuste não-linear por mínimos quadráticos, entre os dados observados e os valores calculados (Vozoff, 1958; Koefoed, 1979).

Um controle sobre a unicidade das interpretações geológicas foi efetuado através da análise de sondagens paramétricas, isto é, sondagens próximas de poços, de perfis litológicos disponíveis. Nas Figuras 4 e 5 é ilustrada a importância do uso de informações 'a priori' no processo da inversão geofísica. Os dados observados (ρ_a , m_a) das sondagens SEV-06, SEV-16 e SEV-19 (Fig. 4) e SEV-47, SEV-52 e SEV-62 (Fig. 5)

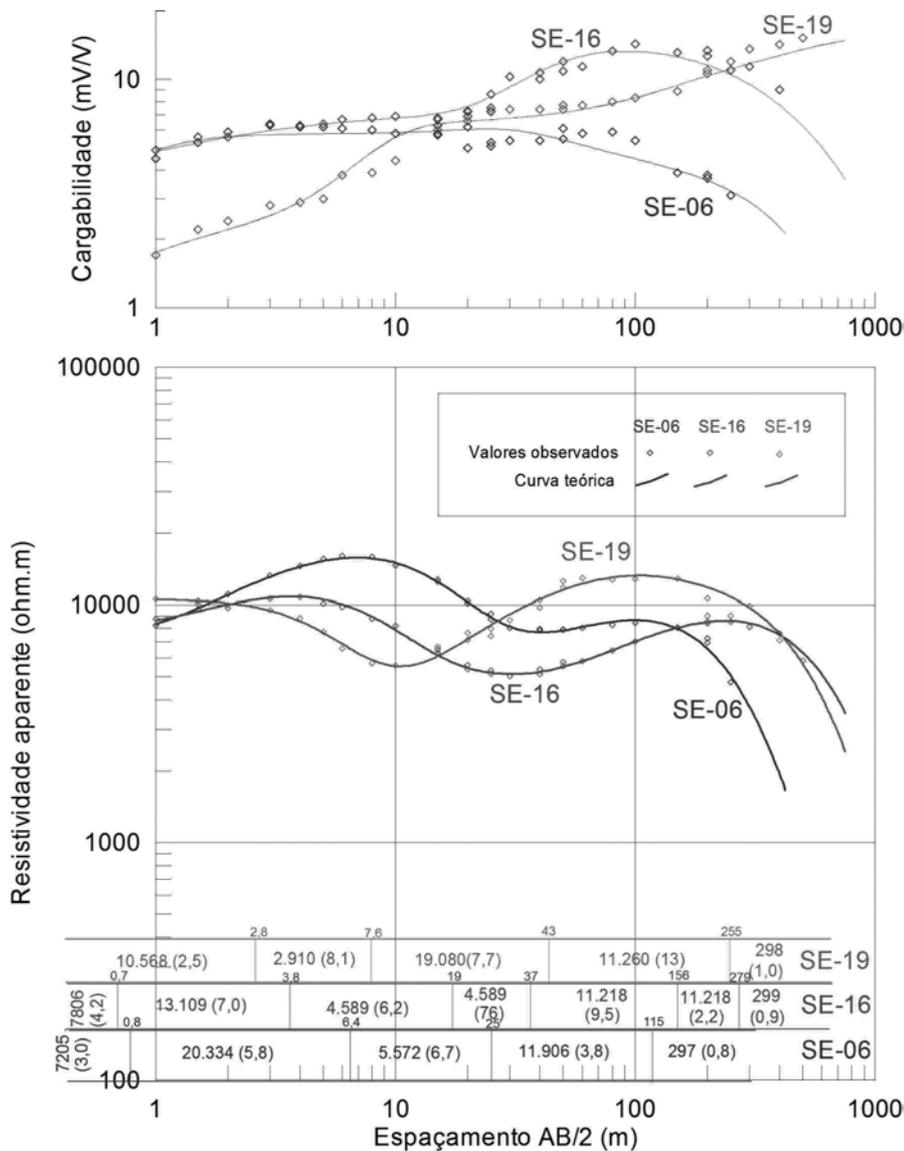


Figura 4 – Curvas de sondagens elétricas representativas exemplificando os procedimentos de ajuste e interpretação dos dados (SEV-06, SEV-16 e SEV-19).

foram ajustados com erros médios quadráticos inferiores a 2,5%, fixando-se as espessuras das camadas, em conformidade com dados dos poços, e ajustando-se os valores de suas resistividade/cargabilidade, até o limite do critério de erro prefixado. Um esquema semelhante foi adotado na inversão das demais sondagens fazendo uso da associação e calibração de modelos entre sondagens elétricas vizinhas.

A grande maioria das curvas de resistividade obtida tem a forma de sela ou de duas colinas com uma depressão intermediária refletindo a natureza predominantemente arenosa do aquífero Urucuia. As colinas correspondem aos pacotes arenosos

mais limpas da formação. Geralmente, a subida inicial tem maior amplitude e representa a zona não-saturada do sistema, que pode alcançar mais de 200 m de extensão vertical. A depressão central relaciona-se a uma queda de resistividade no aquífero, causada por variações locais de porosidade ou de conteúdo de argilas dos arenitos. Todas as sondagens, invariavelmente, mostram ramos terminais descendentes indicando a existência de um substrato regional muito mais condutor, suportando os pacotes arenosos. Os resultados mostrados nas figuras 3 e 4, e o grau médio dos ajustes obtidos garantem a adequação do modelo unidimensional de acamamento horizontal de cada sondagem elétrica.

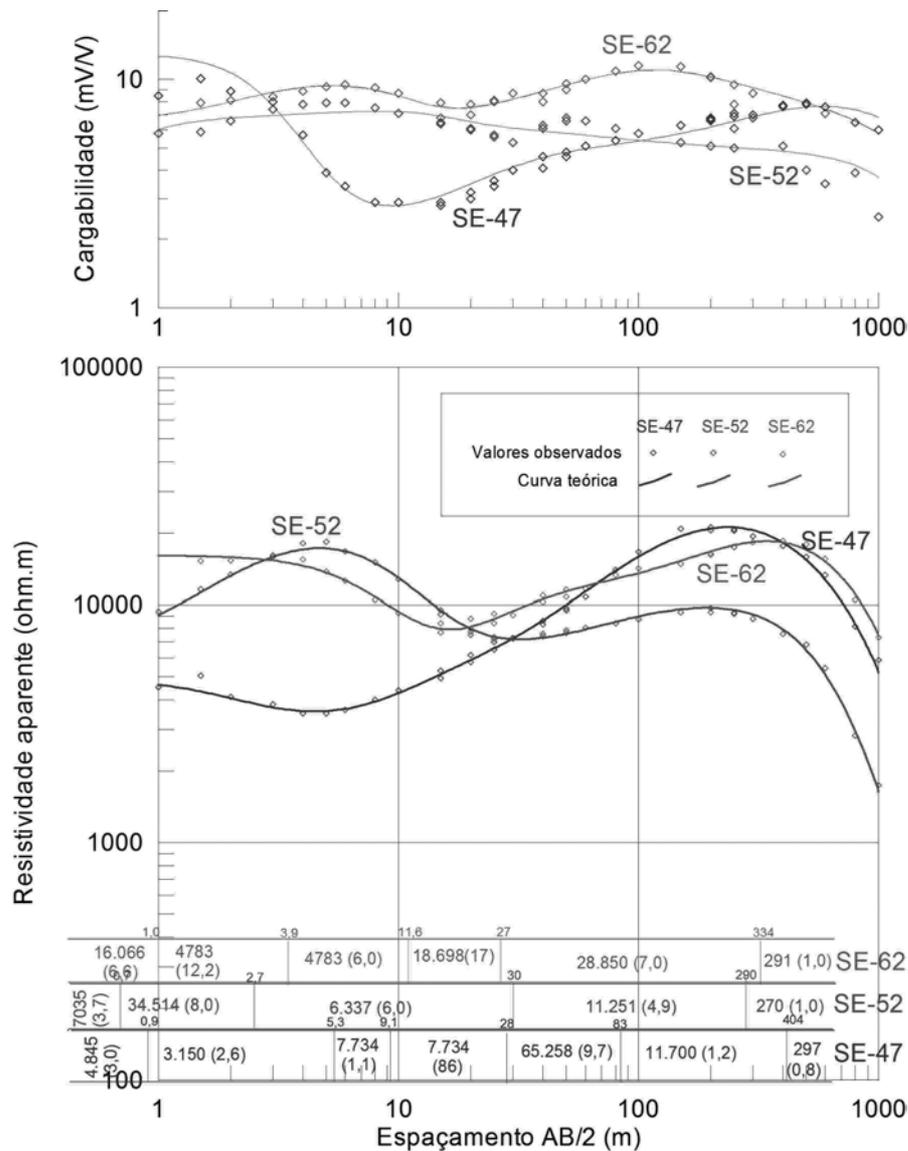


Figura 5 – Curvas de sondagens elétricas representativas exemplificando os procedimentos de ajuste e interpretação dos dados (SEV-47, SEV-52 e SEV-62).

Seções geológicas transversais foram construídas a partir dos dados geoeletricos para mostrar o comportamento estrutural do aquífero, com destaque para a presença de falhas de gravidade. A Figura 6 mostra a seção orientada segundo WSW-ENE, confeccionada a partir dos resultados de 22 sondagens elétricas. Verifica-se que a espessura saturada do aquífero varia de cerca de 450 m nas vizinhanças da escarpa da Serra Geral, a pouco mais de 100 m na extremidade oriental da bacia. O nível freático, por seu turno, acompanha a superfície topográfica e varia de uma profundidade de mais de 200 m para cerca de 12 m na mesma orientação e extensão.

Na Figura 7, onze sondagens elétricas foram usadas para construir a seção SSW-NNE. Nela, as variações de espessura do aquífero e da profundidade do nível estático são menores. As mudanças espaciais na resistividade do aquífero, observadas nos dois perfis, refletem diferenças granulométricas e de conteúdo de argila nos pacotes arenosos e, também, contrastes de porosidade causados por fraturamentos ou silicificação ao longo de zonas de falhas. Os rejeitos de algumas dessas falhas foram estimados por deslocamentos no substrato condutor e situam-se entre 30 e 100 m.

O mapa da Figura 8 ilustra a configuração da topografia do

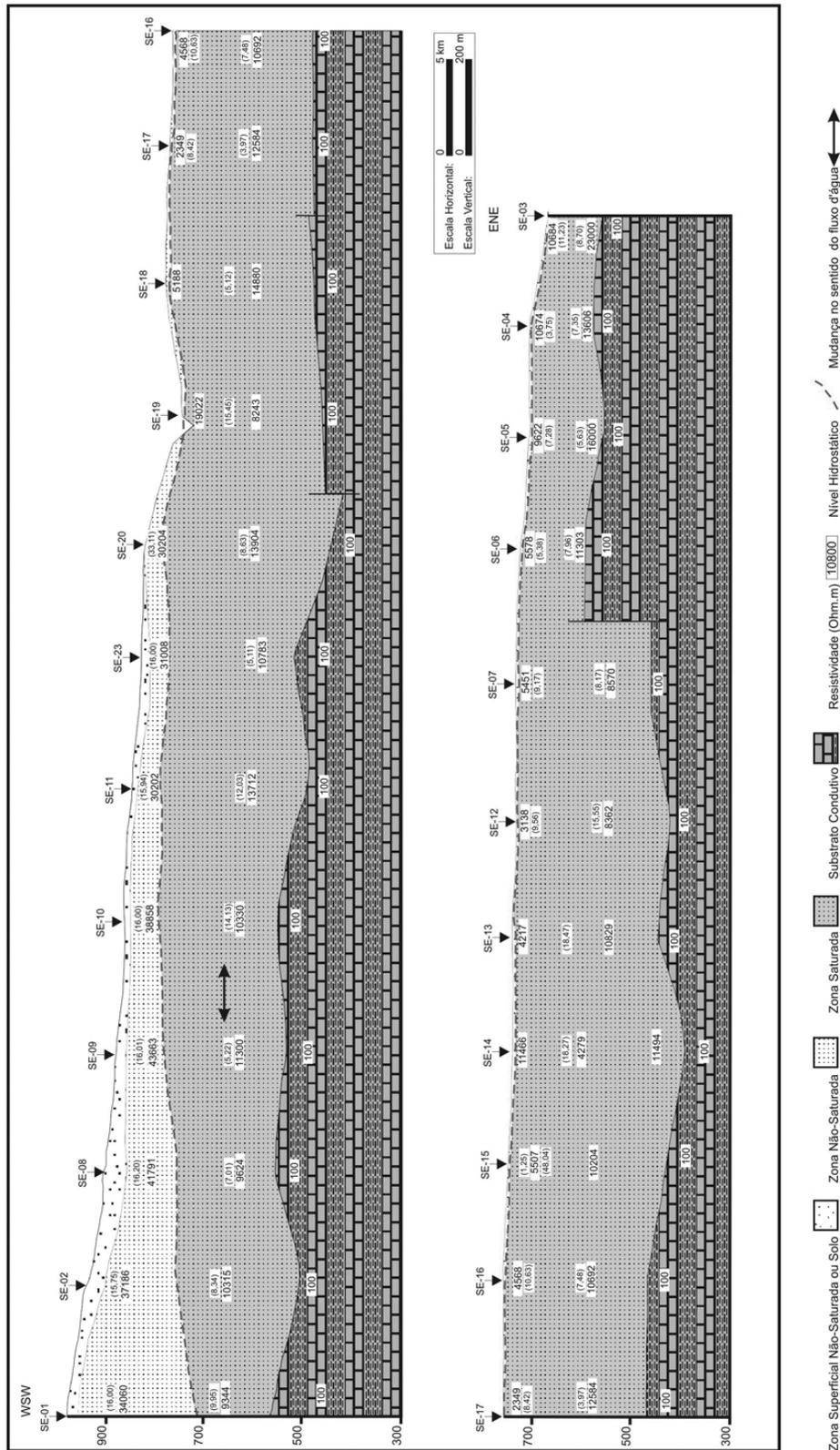


Figura 6 – Seção geológica interpretada de sondagens geofísicas no perfil WSW-ENE.

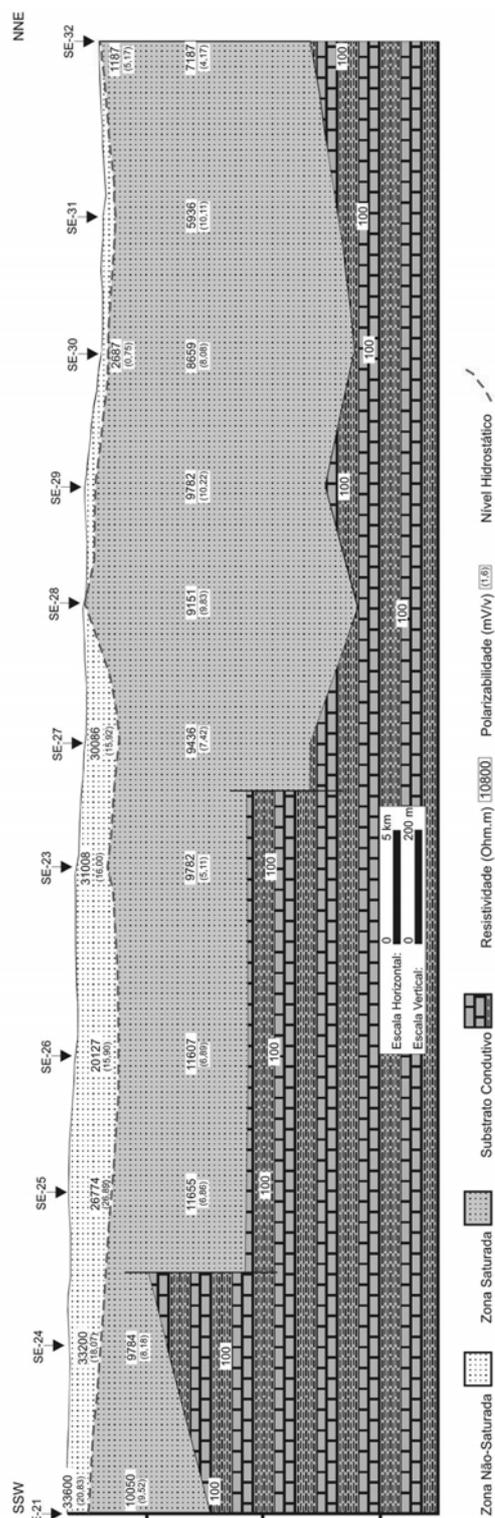


Figura 7 – Seção geológica interpretada de sondagens geofísicas no perfil SSW-NNE.

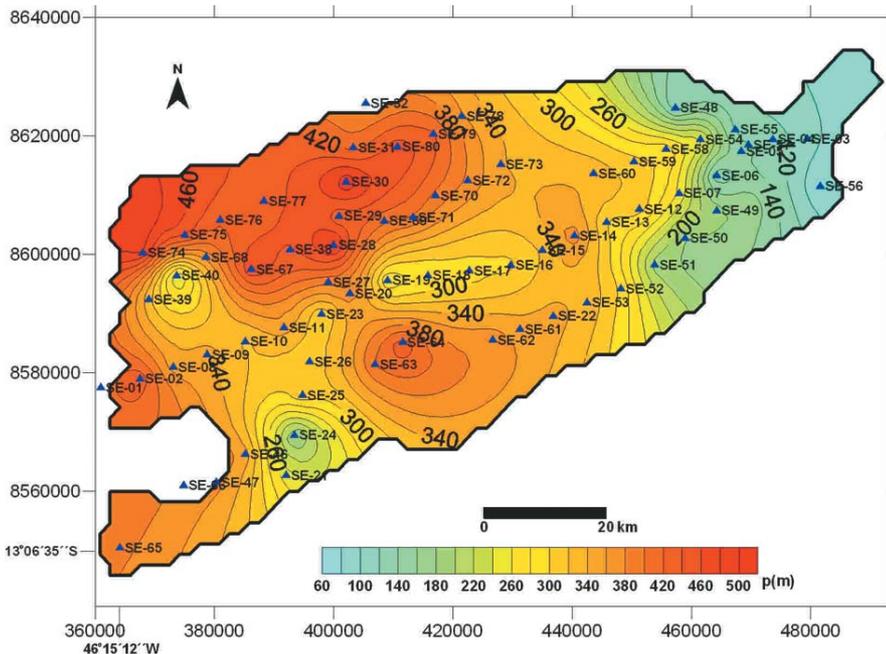


Figura 8 – Mapa de contorno estrutural do substrato do aquífero Urucuiá.

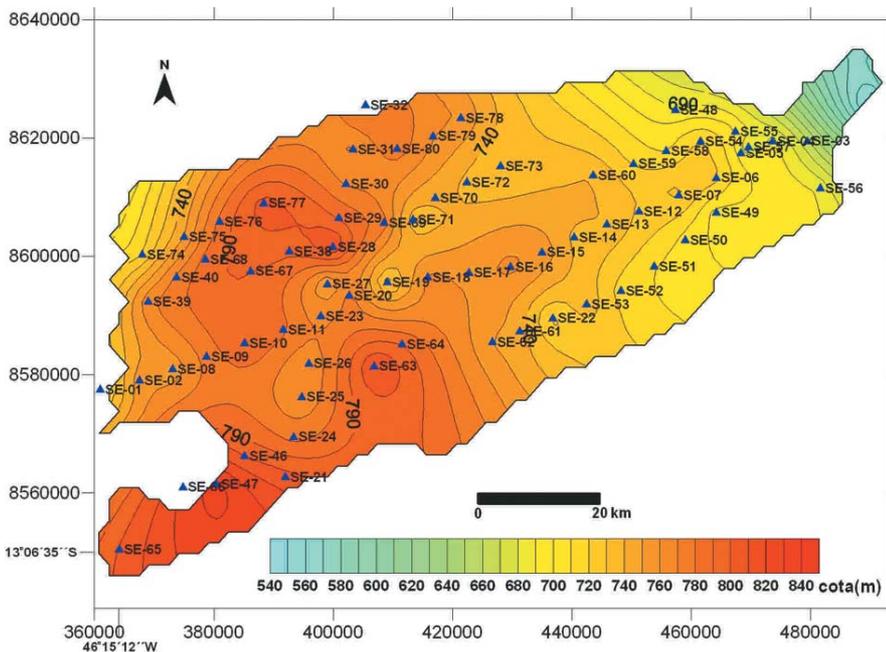


Figura 9 – Mapa de contorno do nível estático ou do topo da zona saturada do aquífero Urucuiá.

substrato condutor do sistema aquífero. Esse substrato condutor semi-infinito é interpretado como representativo da seqüência basal argilosa do Grupo Urucuiá, em adição às margas, calcários e argilitos do Grupo Bambuí. Sua orientação estrutural é a de

uma extensa rampa de caimento geral para ENE, acompanhando o comportamento da superfície topográfica, localmente perturbada por deslocamentos ao longo de falhas. É muito provável que, em grande parte, esse substrato elétrico atue como uma base im-

permeável do aquífero. No Grupo Bambuí, subjacente, infere-se que os aquíferos aí presentes contêm águas salobras, em função do baixo valor da resistividade elétrica definida para o substrato.

A disposição espacial da superfície freática do aquífero está representada no mapa da Figura 9. As linhas equipotenciais do fluxo subterrâneo sugerem um forte relacionamento entre os fluxos superficiais e subterrâneos, na maior parte da bacia do rio das Fêmeas. Todavia, destaca-se a presença de uma zona de divergência, orientada praticamente norte-sul, dividindo o fluxo subterrâneo na bacia em duas partes: (i) uma, de maior extensão, na qual o fluxo se processa em concordância com a drenagem superficial; (ii) outra, localizada do eixo divisor para a escarpa da Serra Geral, na qual o fluxo é oposto, dirigindo as águas subterrâneas para áreas dos estados de Goiás e Tocantins.

As Figuras 10 e 11 apresentam as distribuições espaciais médias da resistividade média $\bar{\rho}$ e da cargabilidade m_s no topo do sistema aquífero. Verifica-se que tanto os valores de $\bar{\rho}$ quanto os de m_s crescem dos bordos para o centro da bacia segundo um padrão consistente. Valores de resistividade média de águas amostradas em alguns poços da região estão sobrepostos aos dados da Figura 10 para mostrar que esse padrão variacional se deve a um sensível aumento do conteúdo de argilas nos arenitos superiores da seqüência e a uma ligeira diminuição na porosidade efetiva do aquífero como um todo.

CONCLUSÕES

Os dados de resistividade e de polarização induzida interpretados nesse trabalho permitiram definir a estrutura regional do aquífero Uruçuia como a de um espesso pacote predominantemente arenoso, disposto na forma de uma dupla cunha, com espessura saturada variando de próximo de 400 m, ao longo do alto subterrâneo divisor, a pouco menos de 100 m na foz do rio das Fêmeas. Esses resultados foram alcançados de forma rápida e a um custo reduzido, com um modelo resultante muito mais efetivo do que o obtido com os dados de mais de 130 poços de produção com penetração parcial no aquífero, catalogados na área.

Os resultados dos modelos geoeletricos interpretados estão bem controlados por informações hidrogeológicas de poços e, eventuais ambigüidades, foram reduzidas pelas grandes espessuras das camadas aquíferas e pelos altos contrastes entre elas e o substrato semi-infinito condutor. O modelo estrutural obtido, em termos de alguns dos mapas apresentados, foi utilizado como base para uma modelagem matemática do fluxo natural de água no aquífero, o qual deverá ser utilizado no planejamento e execução de sua adequada exploração futura.

Os dados combinados de $\bar{\rho}$ e m_s podem ser analisados em termos da porosidade e argilosidade dos arenitos, assim como da salinidade da água subterrânea. Os isocontornos de $\bar{\rho}$ e m_s , nos mapas das Figuras 10 e 11, mostram a existência de três zonas distintas de salinidade: uma faixa central ligeiramente mais salina, aproximadamente delimitada pela BR-020 a oeste e o alinhamento das SEV's 14 e 53 a leste, e duas faixas laterais mais diluídas, que se estendem até os limites laterais norte e sul da bacia.

Além disso, sondagens de IP-resistividade, expandidas até AB/2 máximos de 1000 m, também podem ser empregadas na efetiva exploração do aquífero. O conhecimento prévio da variabilidade litológica vertical e das profundidades do nível estático e do substrato do aquífero são fundamentais para a elaboração mais adequada do projeto e dos detalhes construtivos dos poços de produção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CPGG/UFBA por ter propiciado ambiente e infra-estrutura essencial à realização do trabalho, assim como a SRH-BA pela confiança, apoio financeiro e relacionamento técnico-científico. Ao CNPq pelas bolsas de Mestrado de Vicente Amorim Junior e de Produtividade em Pesquisa de Olivar A.L. Lima.

REFERÊNCIAS

- BENSON AK, PAYNE KL & STUBBEN MA. 1997. Mapping groundwater contamination using DC resistivity and VLF geophysical methods – A case study. *Geophysics*, 62(1): 80–86.
- DARDENNE MA. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. 30º Cong. Bras. Geol., São Paulo, SP. 2: 568–610.
- GHIGNONE JI. 1979. Geologia dos Sedimentos Fanerozóicos do Estado da Bahia. In: *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia, Textos Básicos*, SME/COM, Salvador. v. 1, cap. 3, p. 23–117.
- KOEFOD O. 1979. *Resistivity Sounding Measurements: Geosounding Principles. Methods in Geochemistry and Geophysics*. Elsevier, Amsterdam. 276 pp.
- LIMA OAL, SATO HK & PORSANI MJ. 1995. Imaging industrial contaminant plumes with resistivity techniques. *Jour. Appl. Geophys.*, 34: 93–108.
- LIMA OAL & SRI NIWAS. 2000. Estimation of hydraulic parameters of shaly sandstone aquifers from geoelectrical measurements. *Jour. Hydrol.*, 235: 12–26.
- LIMA EAM & LEITE JF. 1978. Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar Parnaíba: Integração geológico-metalogenética.

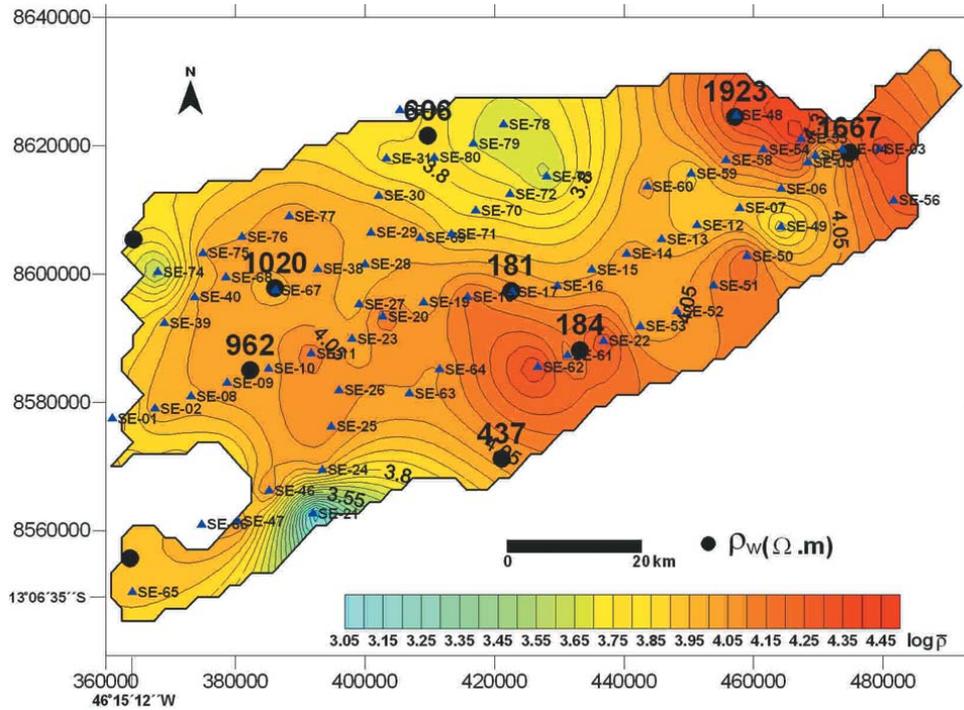


Figura 10 – Mapa de contorno da resistividade média do aquífero Urucuiá.

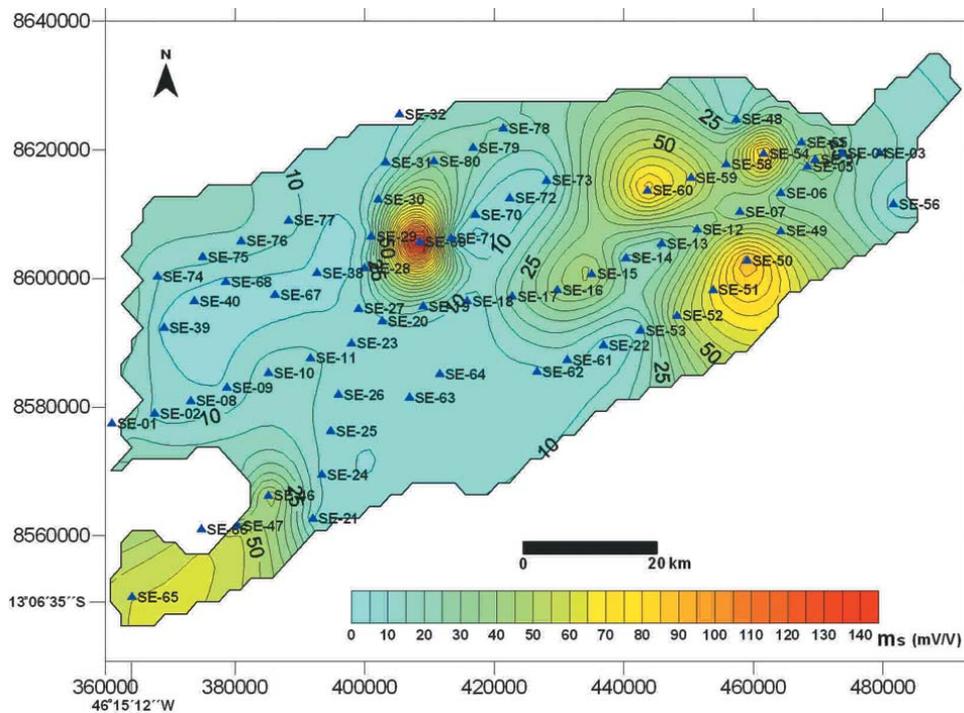


Figura 11 – Mapa de contorno da cargabilidade na parte superior do aquífero Urucuiá.

Rel. DNPM/CPRM, Recife. 16v., 3270 pp.

LOEB J. 1976. Experimental and theoretical aspects of induced polarization: macroscopic and microscopic theories. *Geoexploration Monograph* 7, Berlin. Gebrüder Borntraeger, 254 pp.

MOUTINHO DA COSTA LA, PORTELA ACP, MARCHETTO CML, SANTOS EL, MENEGUETTO G, STEIN JH, BATISTA MB, MOSSMANN R & SILVA WG. 1976. Projeto Leste do Tocantins/Oeste do Rio São Francisco –

LETOS. DNPM/CPRM/PROSPEC, Rel. Final Integrado, Rio de Janeiro, 270 pp.

VOZOFF K. 1958. Numerical resistivity analysis: Horizontal Layers. *Geophysics* 23: 536–556.

WARD SW (Ed.). 1990. *Geotechnical and Environmental Geophysics. Investigation in Geophysics* 5, Soc. Expl. Geophysics. Tulsa. 300 pp.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Vicente Amorim Junior. Graduado em Engenharia de Agrimensura em 2000, na Faculdade de Engenharia de Agrimensura – Bahia. Mestre em Geofísica Aplicada, em 2003 e atualmente doutorando no programa de Pós-graduação em Geofísica Pura e Ambiental da Universidade Federal da Bahia (UFBA) em Salvador, Bahia – Brasil. Tópicos de interesse: aplicação de métodos geofísicos na exploração de água subterrânea, hidrologia isotópica, aerogeofísica e gestão ambiental.

Olivar Antônio Lima de Lima. Graduado em Geologia (1967) e Mestre em Geologia Estrutural (1970) na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Doutor em Geofísica (1979) pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Pós-Doutorado (1989-1990) no Departamento de Engenharia de Petróleo da Universidade do Texas, Austin. Professor Titular da UFBA. Tópicos de interesse: aplicação de métodos geofísicos na exploração de água subterrânea e problemas ambientais, e propriedades físicas das rochas. É sócio da SBGf, SBG e ABAS; e da SEG, EAGE, AGU e SPWLA.