



Estudo geofísico do aquífero Recôncavo na bacia do rio Capivara, Bahia, Brasil

Susana Silva Cavalcanti*, CPGG/UFBA, Brasil
Olivar Antônio Lima de Lima, CPGG/UFBA, Brasil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The hydrogeological features of the Recôncavo aquifer system, in the Capivara river basin were studied through the analysis of 64 deep vertical electrical soundings together with geophysical logs of 14 wells drilled for water exploration in the area. The one dimensional inversion of the SEVs, constrained by well log data, were useful to delineate the structural configuration and the petrophysical variability of the regional, phreatic aquifer in the area from the surface to 450m in depth. Such results can be used to optimize the water exploration in the basin.

Introdução

A água é um bem essencial e indispensável à vida. Por isso o uso racional e a gestão sustentável dos recursos hídricos assumem uma importância estratégica e envolvem uma correta avaliação da disponibilidade dos mesmos em cada região do planeta.

A bacia sedimentar do Recôncavo, no Estado da Bahia, apresenta diversos reservatórios aquíferos de importância (BAHIA, 1996). Ela faz parte de uma fossa tectônica assimétrica, Eocretácea, que foi preenchida por uma espessa seqüência clástica continental. A parte superior desta seqüência, que constitui o sistema aquífero Recôncavo, compreende depósitos flúvio-lacustres de arenitos, folhelhos e siltitos, das formações São Sebastião, Marizal e Barreiras, com mais de 2.000m de espessura (Lima, 1995).

Neste trabalho, é apresentada uma síntese atual sobre as condições geológicas e hidrogeológicas do sistema aquífero Recôncavo, especificamente na área das bacias hidrográficas dos rios Capivara Grande e Capivara Pequena. Esta síntese foi elaborada a partir da análise integrada de perfis geofísicos de poços e de sondagens elétricas verticais (SEVs). A combinação de técnicas geológicas e geofísicas de poço e de superfície possibilitou definir a geometria e as variações petrofísicas espaciais nas formações areno-argilosas, bem como identificar e mapear a estrutura dos principais horizontes aquíferos na área, da superfície até cerca de 450m de profundidade.

Os dados geofísicos e geológicos são integrados e avaliados quantitativamente por meio de mapas e perfis geológicos transversais. Como resultado, obteve-se a

configuração estrutural do aquífero e o mapeamento da variabilidade lateral em suas propriedades hidráulicas.

Caracterização da área

A área das bacias dos rios Capivara Grande e Capivara Pequena, afluentes do rio Jacuípe, situa-se nos municípios de Camaçari e Dias D'Ávila, Região Metropolitana de Salvador (RMS), Bahia. A RMS compreende dois domínios geotectônicos distintos: (i) O Alto Cristalino de Salvador e (ii) A Bacia Sedimentar do Recôncavo, que se estende a oeste e a noroeste do Alto de Salvador.

O Alto Cristalino de Salvador é um bloco estrutural elevado do embasamento que contém as rochas poli-metamorfisadas mais antigas da crosta terrestre baiana, representando o núcleo do chamado Cráton do São Francisco (Almeida, 1977). A Bacia Sedimentar do Recôncavo é a parte sul do rifte intracontinental abortado, Recôncavo-Tucano-Jatobá, desenvolvido juntamente ao estiramento crustal que resultou no quebramento do Gondwana e originou a abertura do Oceano Atlântico Sul, em um período entre o Eocretáceo e o Aptiano (Lima, 1999).

Sobrepostos aos sedimentos da Bacia do Recôncavo e ao embasamento cristalino ocorrem os depósitos de leques aluviais terciários da Formação Barreiras, a qual culmina, no Plioceno, o pacote sedimentar da fossa baiana.

Na área de estudo, ocorrem os sedimentos das formações Barreiras e Marizal, discordantemente sobrepostos à Formação São Sebastião. Além delas ocorrem, localmente, delgadas coberturas aluviais recentes (Figura 1).

De acordo com Lima (1999), dois sistemas aquíferos existem na RMS: (i) o sistema aquífero do Alto de Salvador, constituído pelo embasamento fraturado, a zona intemperizada de solo e os depósitos sedimentares da Formação Barreiras e da planície costeira quaternária; e (ii) o sistema aquífero Recôncavo, representado pelas formações Barreiras, Marizal e São Sebastião.

Métodos geofísicos

As propriedades elétricas das rochas estão diretamente relacionadas com propriedades físicas que afetam a distribuição de correntes ou a propagação de campos eletromagnéticos nelas. São importantes os seguintes fatores: a natureza intergranular do meio expressa por sua porosidade; a presença ou não de argila e/ou fraturas que alterarão sua permeabilidade; e o índice de saturação de água nos poros.

De um modo geral, as rochas cristalinas são resistentes à passagem de correntes elétricas, mas a condução pode

ocorrer ao longo de falhas e fraturas preenchidas por fluidos eletrolíticos. Nas formações sedimentares porosas, o grau de saturação e a natureza dos eletrólitos presentes nos poros governam sua resistividade (Ward, 1990).

O método elétrico foi aplicado, neste trabalho, por meio da técnica de SEV, usando o arranjo Schlumberger de eletrodos até espaçamentos máximos de $AB/2$ de 1.000m. Procurou-se distribuir esses centros o mais regularmente possível, de modo a cobrir toda a extensão da bacia selecionada.

Os perfis geofísicos de poços estudados compreendem perfis radioativos gama natural (GR), de resistividades aparentes, de potencial espontâneo (SP) e acústico em 14 poços de exploração de água subterrânea. Foram utilizados também perfis litológicos de 29 poços da região.

Resultados

A Figura 2 mostra os limites da área estudada, as falhas geológicas, a localização dos poços e dos centros das SEVs utilizados neste trabalho, bem como as direções dos perfis geofísico-geológicos construídos. As SEVs obtidas apresentam curvas de resistividade aparente bem comportadas e compatíveis com modelos de camadas horizontais sendo facilmente interpretadas considerando meios unidimensionais.

Os resultados das inversões das SEVs podem ser simplificados para modelos de 3 ou 4 camadas: (1) camada superficial não saturada; (2) o componente aquífero livre; e (3) a Seqüência Argilosa Superior (SAS) de Lima (1999), representando o substrato semi-permeável desse aquífero. A existência de uma quarta camada está associada com as variações no conteúdo de argila nos arenitos, a ocorrência de lentes de argila ou com o aparecimento da Seqüência Argilosa Média (SAM) de Lima (1999). As seqüências argilosas caracterizam-se por baixa resistividade, $10\Omega.m$, típica de folhelhos na bacia. No aquífero, os valores de resistividade estão na faixa de 220 a $1.850\Omega.m$, indicando variação litológica típica da Formação São Sebastião, arenitos com diferentes conteúdos de argila.

Dois perfis geológicos transversais foram construídos a partir de resultados interpretados das SEVs (Figura 3) e de correlações entre os resultados das SEVs e os dados litológicos e geofísicos de poços (Figura 4). A camada superior do perfil A-A', entre o nível saturado e a superfície do terreno, possui variações nas resistividades que podem ser atribuídas tanto a diferença de argilosidade nas camadas arenosas superficiais, como a mudança do índice de saturação com a profundidade devido ao período do dia em que foi realizado cada ensaio ou a ocorrência de chuvas durante a execução da SEVs. A interpretação desta zona não saturada resultou em diversas camadas com pequenas espessuras apresentando variações abruptas nos valores de resistividade. Na camada intermediária, têm-se os arenitos saturados com água doce, com resistividades variando de 220 a $1.850\Omega.m$. Esse sistema aquífero livre tem espessura variada de cerca de 250 a 450m. Isto,

aproximadamente, define o intervalo de profundidade ótima para perfuração de poços na área.

No perfil B-B', observam-se alguns níveis argilosos, indicados por baixos valores de resistividade $23\Omega.m$, intercalados nos arenitos. Estas lentes de argila, distribuídas no pacote predominantemente arenoso que recobre a Seqüência Argilosa Superior (SAS) de Lima (1999), alcançam 30m de espessura e podem produzir condição de confinamento localizado, num sistema aquífero múltiplo, mas com um importante componente freático. O bloco soerguido localizado entre as falhas de Parafuso e de Jorrinho é bastante explorado como se visualiza na Figura 2. Nesta região, a SAS está mais elevada, reduzindo a seção aquífera no aquífero freático para 90m de espessura. Evidencia-se, neste trecho, outra camada argilosa, interpretada como sendo a Seqüência Argilosa Média (SAM) de Lima (1999). A ocorrência desta camada argilosa pode tornar o fluxo hidráulico parcialmente confinado. O mergulho natural da formação, associado aos sistemas de falhas gravitacionais, resulta num confinamento bastante irregular. Neste perfil, o aquífero livre apresenta espessuras da ordem de 250 a 350m e valores de resistividade variando de 274 a $1.030\Omega.m$. Este perfil atravessa parte da zona alagada da bacia do rio Capivara que é de difícil acesso, o que impossibilitou a execução das SEVs neste trecho.

Em ambos os perfis, as SEVs terminam com valores baixos de resistividade, $10\Omega.m$, indicando a presença de um substrato condutivo dominado por folhelhos de extensão regional, que foi interpretado como sendo a Seqüência Argilosa Superior (SAS) de Lima (1999). Usando dados geológicos das perfurações e as SEVs realizadas na área, determinou-se a conformação geométrica dos horizontes aquíferos, assim como se delineou a topografia do topo da seqüência predominantemente argilosa que constitui um marco regional no zoneamento hidrogeológico do sistema aquífero Recôncavo.

A heterogeneidade da formação proporciona a ocorrência de efeitos de confinamento local também devido à presença de pequenas lentes impermeáveis e semipermeáveis, sem continuidade lateral a nível regional. A interpretação das sondagens elétricas possibilitou a determinação da profundidade do nível saturado (0 a 50m), a espessura do aquífero e do topo da seqüência de folhelhos que constitui a base do aquífero livre na área de estudo. A espessura da camada de arenitos aumenta na direção das bordas para o centro da área estudada, onde estão as calhas dos rios Capivara Grande e Capivara Pequena. Desta forma, pode-se confirmar que o fluxo da água subterrânea ocorre no sentido de alimentar a corrente de água superficial.

Com base nesses resultados, usando mapas geológicos elaborados pela Petrobrás (escalas 1:100.000 e 1:50.000) e mapas topográficos da Conder na escala 1:25.000, sintetizou-se a informação geológica disponível na forma do mapa da Figura 5. Na mesma figura, podem ser visualizadas as falhas de Jorrinho, de Parafuso e um trecho da Falha de Salvador, os limites interiores da bacia hidrográfica do rio Capivara e os contornos do topo da seqüência de folhelhos que constitui a base do

aquífero freático estudado. A Falha de Jorinho teve seu prolongamento para o norte estabelecido com base nos estudos geofísicos discutidos neste trabalho.

A Figura 6 mostra mais claramente a topografia da seqüência de folhelho da base. Sua conformação é de uma grande bacia com uma pequena elevação no centro, que pode ser comparada a uma sela de cavalo. Na área de estudo, o sistema aquífero Recôncavo é livre até a profundidade investigada de 450m. A presença de esparsos níveis de folhelhos encontrados em algumas SEVs e em perfis de poços podem, localmente, fazer esse sistema se comportar como parcialmente confinado.

A variabilidade lateral nas propriedades hidráulicas do sistema aquífero Recôncavo na área pode ser inferida a partir das variações observadas na resistividade elétrica da formação. As áreas com resistividades mais elevadas indicam a presença de arenitos limpos e as zonas com resistividades mais baixas representam os arenitos mais argilosos. Os padrões de distribuição da resistividade com a profundidade observados nos perfis de poços também refletem variações litológicas nos corpos de arenitos e confirmam os dados interpretados das SEVs.

Os perfis geofísicos de poços foram utilizados para auxiliar a interpretação das sondagens elétricas na caracterização geológico-estrutural do aquífero, bem como para calcular alguns parâmetros petrofísicos do aquífero como a porosidade. A Figura 7 mostra os dados e a interpretação do perfil denominado amb7. A coluna que representa a porosidade calculada no perfil sônico (ϕ_s) obedece a equação

$$\phi_s = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \quad (1)$$

onde $\Delta t_f = 55\mu\text{s}/\text{pé}$ é o tempo de trânsito através da parte fluida, Δt é o tempo lido no perfil sônico e $\Delta t_{ma} = 189\mu\text{s}/\text{pé}$ é o tempo de trânsito na matriz da rocha.

Conclusões

A execução e interpretação de 64 sondagens elétricas verticais profundas e a análise conjunta de 14 perfis geofísicos de poços exploratórios de água possibilitou o melhor conhecimento e a representação das condições hidrogeológicas do aquífero Recôncavo na área da bacia hidrográfica do rio Capivara, nos municípios de Camaçari e Dias D'Ávila, Bahia.

O modelo geohidrológico definido para o sistema Recôncavo na área estudada consiste de um aquífero freático na forma de uma ampla bacia com bordos de base inclinados e com espessura variando de 90 até 450m. Entre as falhas de Parafuso e de Jorinho, tem-se um aquífero semiconfinado devido a elevação das seqüências de folhelho SAS e SAM de Lima (1999). Dois horizontes aquíferos são distinguidos aí: (i) um superior freático composto de arenitos superpostos da Formação São Sebastião; e (ii) um inferior semiconfinado, compreendendo a porção arenosa entre a SAS e a SAM.

A configuração estrutural e geométrica das falhas de Salvador, de Parafuso e de Jorinho foi bem demonstrada nos resultados das SEVs. A aplicação do método da eletrorresistividade na caracterização hidrogeológica efetuada teve baixo custo, maior rapidez e nenhum impacto ambiental, se comparado aos métodos invasivos de investigação de subsuperfície. Os resultados obtidos ratificam a adequação dos métodos elétricos em estudos hidrológicos, constituindo-se uma importante ferramenta para definição de áreas mais propícias a exploração de recursos hídricos subterrâneos.

A profundidade da SAS situa-se entre 350 e 450m e define o intervalo de exploração do aquífero na área. Os arenitos que compõem este aquífero possuem resistividades elétricas que variam lateralmente em função do conteúdo de argila presente nos mesmos, numa faixa entre 220 e 1.800 Ω .m. Portanto, tanto a porosidade quanto a permeabilidade do sistema também variam lateralmente. O substrato condutivo que constitui a base do sistema aquífero estudado apresenta valores de resistividade elétrica da ordem de 10 Ω .m.

A falha regional de Jorinho justapõe lateralmente arenitos argilosos sugerindo que seu comportamento hidráulico seja de uma zona permeável e que haja boa continuidade do fluxo subterrâneo. O modelo hidrogeológico estabelecido pode ser usado para simular diferentes cenários de exploração do aquífero estudado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de doutorado de Susana Silva Cavalcanti e de Produtividade em Pesquisa de Olivar Antônio Lima de Lima.

Referências

- Almeida, F. F. M.**, 1977, O Craton do São Francisco, Rev. Bras. Geol., 7:349-364.
- BAHIA**, 1996, Plano Diretor de Recursos Hídricos. Bacias Hidrográficas do Recôncavo Norte e Inhambupe: Documento síntese, Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação, Salvador.
- Lima, O. A. L.**, 1995, Water saturation and permeability from resistivity, dielectric, and porosity logs, Geophysics, 60:1756-1764.
- Lima, O. A. L.**, 1999, Caracterização hidráulica e padrões de poluição no aquífero Recôncavo na região de Camaçari - Dias D'Ávila, Tese Prof. Titular, Universidade Federal da Bahia.
- Ward, S. H.**, 1990, Resistivity and induced polarization methods, In: S. H. Ward, ed., Geotechnical and Environmental Geophysics, vol. 5, pp. 147-189, Society of Exploration Geophysicists.

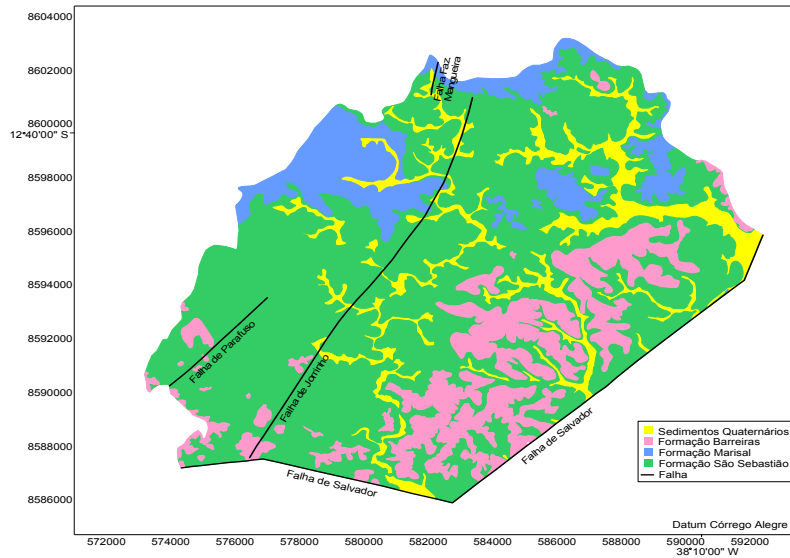


Figura 1: Mapa geológico da área de estudo.

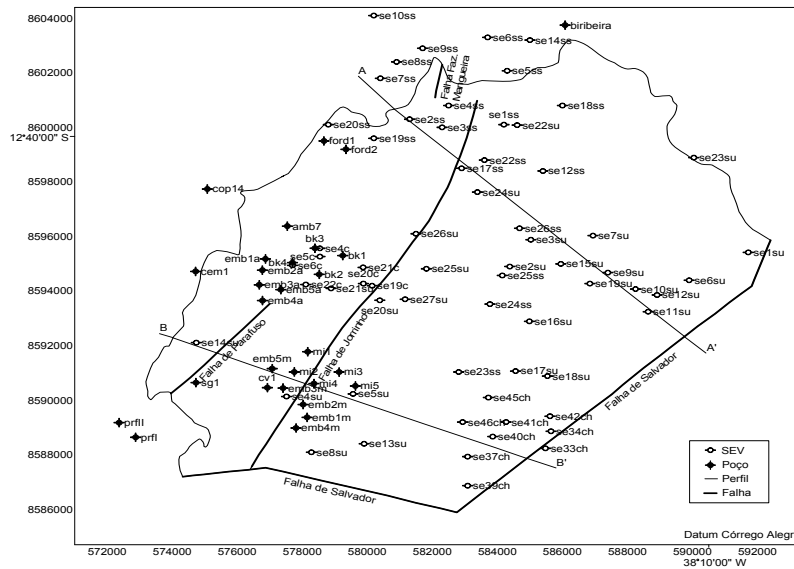


Figura 2: Limite da área de estudo, falhas geológicas, direção dos perfis e localização dos centros das SEVs e dos poços.

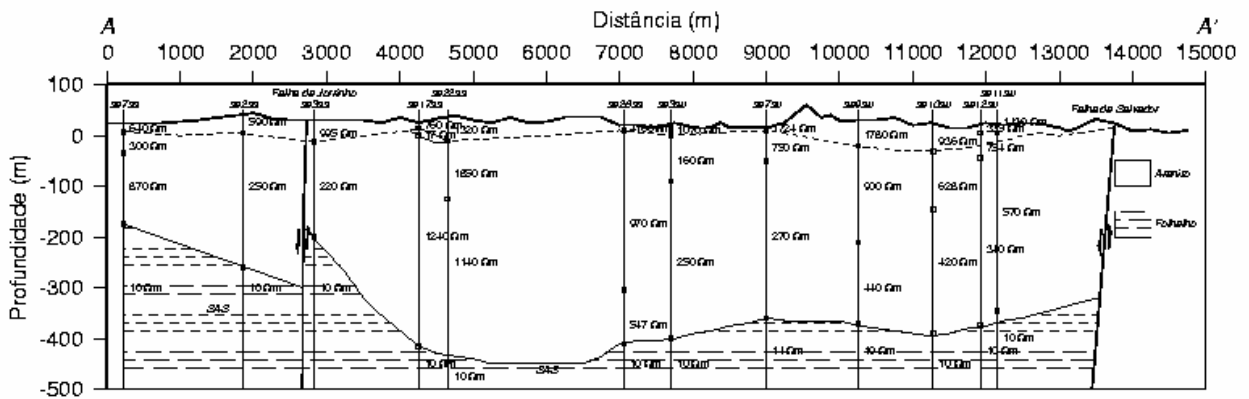


Figura 3: Perfil geológico transversal construído com base em dados de SEVs (A-A').

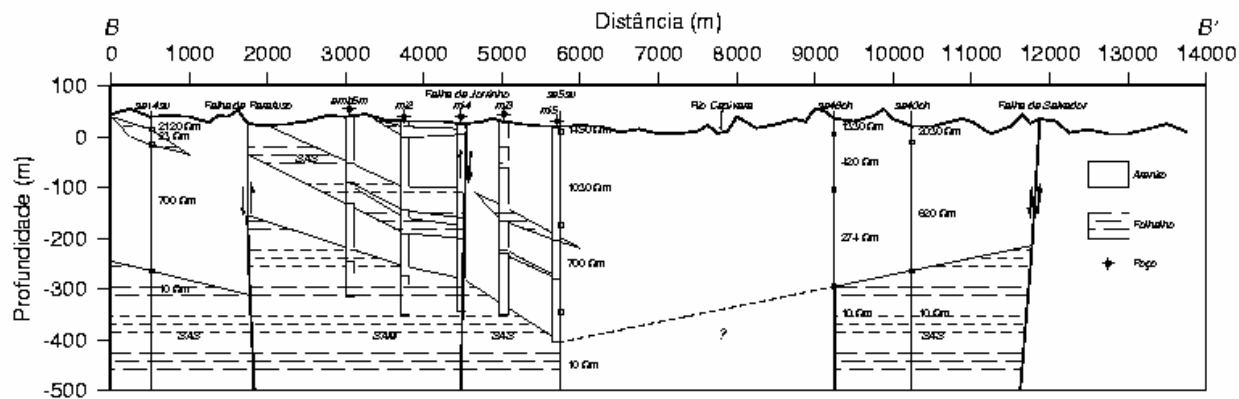


Figura 4: Perfil geológico transversal construído com base em dados de poços e de SEVs (B-B').

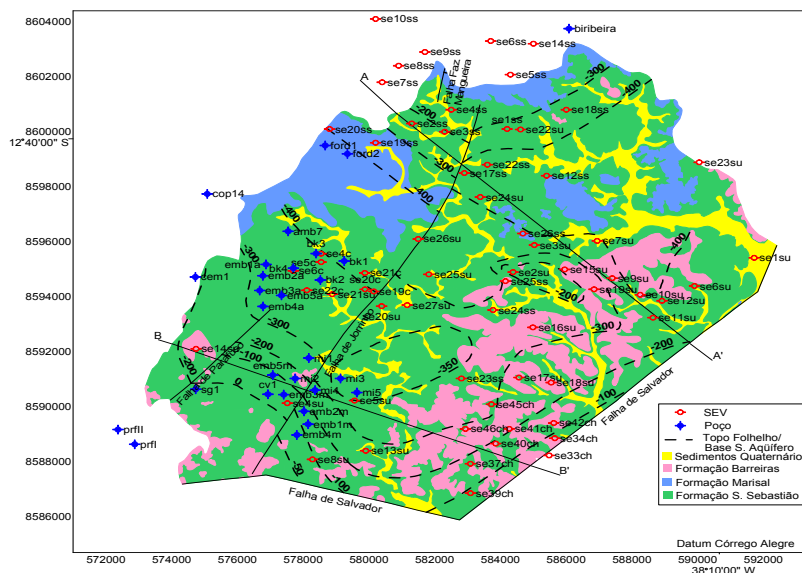


Figura 5: Mapa geológico estrutural da área estudada, com indicação das principais falhas.

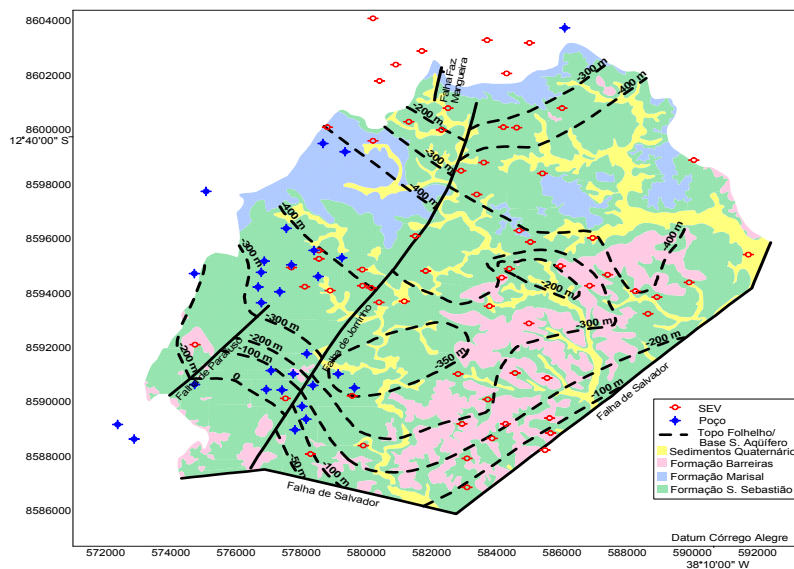


Figura 6: Mapa do topo do folhelho que constitui a base do sistema aquífero estudado.

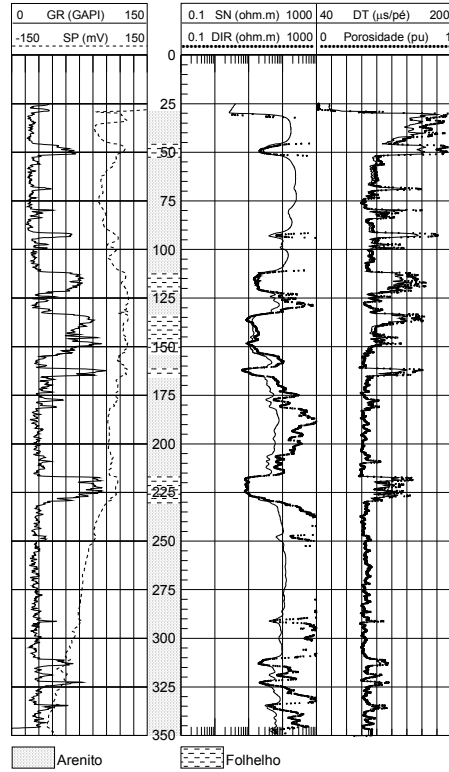


Figura 7: Dados e interpretação do perfil geofísico do poço denominado amb7.

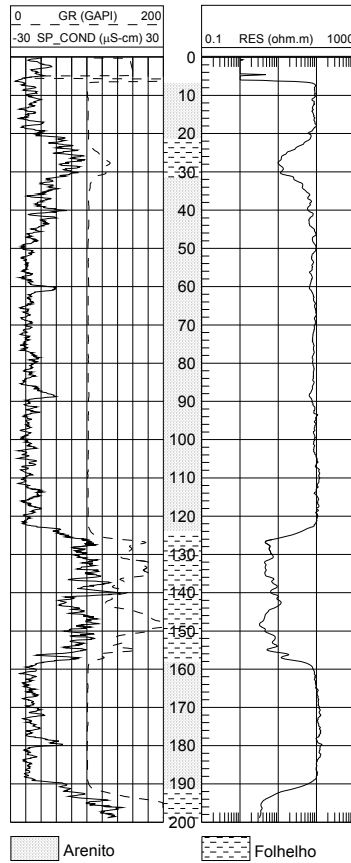


Figura 8: Dados e interpretação do perfil geofísico do poço denominado sg1.