

## Hidrogeofísica de Poços Produtores de Água Subterrânea

Geraldo Girão Nery (HYDROLOG)

Susana Cavalcante (UFBA/IGEO)

Segundo a Organização das Nações Unidas, 15% da população mundial estaria sem acesso à água limpa e dentro de mais 15 anos 2/3 da população mundial estará vivenciando uma nova corrida do petróleo.

O acesso à água de boa qualidade é um requisito básico para a sobrevivência e desenvolvimento das diversas atividades econômicas. De toda a água doce disponível para consumo, cerca de 98% é formada de água subterrânea armazenada nas rochas da crosta terrestre. Estes reservatórios aquíferos possuem uma proteção natural imposta pelas camadas sobrejacentes e requerem um menor tratamento. Ainda assim, torna-se importante uma gestão sustentável destes recursos.

A aplicação dos métodos e técnicas geofísicas diversas possibilita o conhecimento das características geológicas e hidrogeológicas da subsuperfície. A partir destas informações, pode-se construir um banco de dados que auxilie na gestão da água subterrânea, na locação e perfuração de poços de abastecimento, na definição de zonas de proteção e remediação de áreas contaminadas. Com os métodos geofísicos Sondagem de Ressonância Magnética (SRM) e Polarização Induzida Espectral (SIP), é possível inferir, inclusive, sobre a condutividade hidráulica do aquífero.

Os reservatórios aquíferos podem constituir-se em camadas de rochas permeáveis, como areias, arenitos, rochas fraturadas; limitadas por rochas impermeáveis. O contraste entre as propriedades

petrofísicas destas rochas permite o imageamento geofísico. A porosidade, a saturação em água, o teor de argila influenciam na velocidade sísmica, na condutividade elétrica e na constante dielétrica dos materiais que formam as rochas. Alguns contaminantes ou objetos enterrados podem alterar a intensidade da magnetização naquela região possibilitando o uso do método geofísico magnético para investigações ambientais e de qualidade da água subterrânea.

Os métodos geofísicos são, quase todos, minimamente invasivos e compreendem os clássicos métodos sísmicos, potenciais e elétricos e outros mais recentes como, por exemplo, o já citado SRM e a perfilagem geofísica em poços tubulares. Cada método relaciona-se com uma propriedade física a qual sofre variações dependendo da composição litológica da rocha e outros fatores. Na pesquisa e exploração de água subterrânea, os métodos geofísicos elétricos incluindo os eletromagnéticos são os mais utilizados.

Muitos resultados de laboratório e de superfície (*in situ*) foram publicados, por diversos autores, relacionando porosidade, conteúdo de argila, grau de saturação com as velocidades das ondas sísmicas. A propagação das ondas sísmicas produz imagens de alta resolução das estruturas geológicas na subsuperfície. Em particular, as ondas **p** são sensíveis à porosidade e ao fluido nos poros tornando o método útil na exploração de água subterrânea. Em investigações hidrogeológicas com os métodos de refração e reflexão sísmica pode-se mapear o nível estático da água subterrânea, definir a profundidade do embasamento cristalino,

bem como inferir sobre a porosidade e densidade de fraturas de uma rocha.

Relações empíricas como a conhecida Lei de Archie e suas variações introduzidas por outros autores mostram a influência da porosidade, saturação em água, conteúdo de sais e argila na resistividade das rochas. Com os métodos geoeletricos é possível discriminar água doce da água salgada, rocha dura, rochas permeáveis e impermeáveis, rochas fraturadas ou intemperizadas.

A presença da água em uma rocha produz uma grande variação na constante dielétrica da mesma e conseqüentemente na propagação das ondas eletromagnéticas, fazendo com que o método eletromagnético Radar de Penetração no Solo (GPR) seja adequado para alguns tipos de investigações em aquíferos rasos. Os diversos métodos eletromagnéticos não necessitam contato galvânico com o solo e podem ser realizados com equipamentos em embarcações ou aereotransportados, permitindo economia de tempo e alcance de grandes extensões e áreas de difícil acesso.

A Geofísica de poço ou perfilagem geofísica, tem, nesta última metade de século, sido usada como uma das principais armas na caracterização do subsolo, ao aplicar seus princípios e metodologias diferenciadas na mineração, no meio ambiente e no petróleo. Esta última, com seus 90 anos de experiência na exploração e exploração do ouro negro, tem sobejas condições e capacidade de resolver os desafios da indústria da água subterrânea (AS), principalmente sua qualidade em sais dissolvidos totais (SDT).

Mais recentemente foi introduzida na pesquisa da AS, em experiência realizada na Arábia Saudita em 2007, a perfilagem de ressonância nuclear magnética (RNM)

para a obtenção de informações direta do conteúdo de água, da condutividade hidráulica (muito embora a espera de maiores estudos comprobatórios), e sua distribuição na subsuperfície. Em um futuro próximo, essa combinação perfis geofísicos e RMN, talvez venha a ser o padrão na determinação das propriedades hidrogeofísicas e, principalmente da condutividade hidráulica dos aquíferos, para avaliação e gerenciamento apropriados das águas subterrâneas.

Os perfis geofísicos de poços tubulares, desde há muito usados na indústria do petróleo, vem sendo igualmente aplicado na Hidrogeologia, não com a mesma frequência como naquela, mas principalmente nas áreas sedimentares, onde são mais relevantes as possibilidades de eles melhor definirem características hidro-petrofísicas. O retorno do custo gasto com uma adequada perfilagem é imediato, principalmente quando interpretada por alguém experiente e capacitado a extrair o máximo de informações contidas naquela aparente complexidade de curvas.

Um dos primeiros trabalhos simplista que conhecemos, foi realizado em poço de sedimentos quaternários contínuos, com apenas 51m de profundidade, localizado na Fazenda Experimental Canguiri da UFPR, vizinho a um produtor de 8m<sup>3</sup>/h, de igual profundidade. Simplista porquê? Porque a interpretação sugeriu, tão somente e nada mais, do que um correto (e econômico) posicionamento dos filtros em profundidades adequadas, o que não havia sido feito no poço vizinho, onde seus filtros foram posicionados no “sentimento” de seus construtores, definido durante a perfuração, como soe acontecer na maioria dos casos em que não se realiza a perfilagem geofísica. Os 5m de filtros sugeridos pela perfilagem foram

suficientes para uma produção de 30000l/h naquele poço (figura 1).

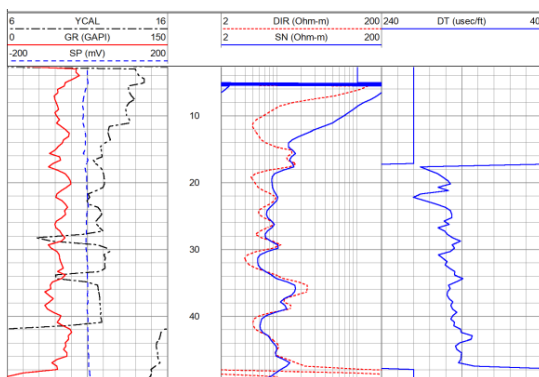


Figura 1 – Perfil geofísico do poço UFPR2 com sugestão para filtros no intervalo 33-39m dado as melhores características de argilosidade, resistividade e porosidade.

Por meio desta comparação operacional, verifica-se que sem os perfis se torna especulativo o posicionamento adequado dos filtros e fica claro que o seu uso rotineiro pode ter seu custo traduzido em termos econômicos, quando se pensa em longevidade do poço, obtido pela minimização de possíveis colmatações, perda de bombas e mesmo do poço com pouco tempo de uso.

Erros interpretativos, quaisquer que sejam os equipamentos usados na pesquisa, como um todo, ocorrem devido a desconhecimento dos princípios físicos de medição e/ou pelo uso de instrumentos inadequados a cada caso.

Sabemos, intuitivamente que os perfis não “encontram” água de boa qualidade. Ao intérprete cabe a difícil tarefa de decifrar, no emaranhado labirinto das curvas, sinais qualitativos e quantitativos exploratoriamente interessantes, tais como: argilosidades, porosidades, permeabilidades, ambientes deposicionais, presença ou não de água com baixo teor de SDT, etc.

Evidentemente, que a tarefa do intérprete será bastante simplificada caso os perfis apresentem seus dados mais próximos

possíveis da realidade, o que tão somente pode ser obtido com o uso de ferramental apropriado para cada tipo de poço e propriedade petrofísica desejada, além das condições adequadas de uso: temperatura e pressão dentro do poço, tipo do fluido de perfuração (lama), diâmetro do poço, diâmetro de invasão da lama radialmente ao centro do furo, etc.

O que realmente limita o uso de uma ferramenta de perfilagem é a qualidade da lama e o diâmetro do poço. Quanto maior o diâmetro do poço, em relação ao diâmetro da ferramenta de perfilagem usada, maior a influência da lama sobre as leituras por ela efetuada. É o intérprete, usando seus conhecimentos (princípios físicos que regem as ferramentas de perfilagem e a geologia da área), que faz a diferença.

Perfis interpretativos para água tem a finalidade de auxiliar os clientes na melhor escolha dos aquíferos. Nele são mostrados, por aquífero: argilosidades, porosidades totais e efetivas e o teor de Sais Dissolvidos Totais (SDT), usando os parâmetros (*constantes das equações*) disponíveis, *naquele momento*, a confirmar *a posteriori*, com o número de poços produtores na área

Exemplificando simplesmente, consideremos um poço qualquer com os aquíferos A, B e C, portadores de águas com diferentes valores de SDTs, respectivamente, 500, 700 e 1000 ppm. O intérprete de perfis somente calculará os reais valores de A, B ou C, caso tenha pesquisado, definido e calibrado, todos os seus parâmetros de correlação entre as propriedades das rochas e as respostas dos perfis, principalmente as que dizem respeito à litologia, textura, cimentação, argilominerais, porosidade, composição e resistividade da água intersticial e SDT. (É

o que se denomina de *correlação Rocha x Perfil*).

Caso os filtros sejam colocados, apenas, defronte ao aquífero A e isolados corretamente B e o C (com cimento como no petróleo), a água produzida deverá concordar com os 500 ppm dos perfis. Como a tendência na indústria da água é a obtenção de uma maior quantidade de água possível, em detrimento da qualidade, colocam-se filtros em todos eles. Se A, B e C tiverem idênticas características hidrodinâmicas e hidrogeológicas, a água produzida terá  $(500+700+1000) / 3=733$  ppm de SDT. Caso negativo, qualquer valor entre 500 e 1000 ppm poderá ser recuperado, enquanto que os perfis continuarão individualizando as 500, 700 e 1000 ppms. Esta é a principal diferença entre os perfis e a realidade operacional da indústria da água. Nos perfis, os aquíferos são quantificados individualmente. Nas águas produzidas, a quantificação é uma função ponderada da contribuição de cada intervalo filtrante e de sua hidrodinâmica. Por sua vez, análises hidroquímicas, jamais, identificam *todos os íons* de uma solução. O normal é escolher-se alguns deles, a depender do objetivo do poço (industrial, agrícola, humano etc). Ao se medir a resistividade de uma solução aquosa, *todos os íons*, sem exceção, participam da condução da corrente elétrica. Estas duas diferenças fundamentais (*posicionamento dos filtros em aquíferos com águas de distintos SDT e análise hidroquímica limitada economicamente a certos tipos de íons*), podem originar as possíveis diferenças constatadas entre as salinidades calculadas, com base nos perfis e as determinadas nos laboratórios. Tais diferenças devem ser analisadas pelos usuários com bastante cuidado e discernimento.

Todo modelamento científico tem suas limitações a depender da veracidade de seus parâmetros. A ciência de quem os usa está em saber determiná-los adequadamente.

No momento em que houver conscientização da pesquisa (que envolve tempo e dinheiro) e as consequentes definições de equações pelos próprios usuários, as interpretações minimizarão as incertezas operacionais.

Do exposto, fica claro a viabilidade dos métodos geofísicos na investigação de água subterrânea sem a intervenção, ou mínima, no ambiente preservando as características originais da área a ser estudada. A depender do método escolhido, as medidas das propriedades em subsuperfície são quase que contínuas, realizadas em um tempo menor e com baixo custo se comparadas aos métodos diretos de investigação.

#### REFERÊNCIAS

- Kirsch, R. (Ed.), 2009, Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology, Springer.
- Rubin, Y. e Hubbard, S. S. (Eds.), 2005, Hydrogeophysics, Springer.
- Nery, G.G., Rosa Fo., E. F da, 1994 – Hidrogeofísica do Poço da Fz Canguiri-PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, VIII, ANAIS, Recife, ABAS, Assoc. Bras. De Águas Subterrâneas, 1:363-371,