

## FRATURAS OBSERVADAS EM FOTOGRAFIAS AÉREAS E SUA SIGNIFICAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Por

JOSE' SETZER

Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo

### ABSTRACT

Since the end of 1962, when aerial photographs of the whole State (almost 100,000 sq. mi.) became available (at 1:25,000 scale), we noticed that highly productive ground-water wells were usually located in or at photogeological fractures, which are tectonic lines, almost always straight ones, detectable under stereoscope, usually participating of a discontinuous net of straight lines at almost right angles, one of the directions being mostly between NNE and ENE, while the other is between WNW and NNW.

It seems these photogeological fractures are conveniently enhanced by tectonic and climatic features. The crystalline shield is profusely fractured. Due to humidity of climate, with yearly precipitation greater than evapotranspiration, in some areas twice as much, fractures of massive rocks and pervious strata of sediments are usually saturated with ground-water. Due to high temperatures and existence of dry season, the rocks along fractures are submitted to deeper decomposition because the microclimate is there always perhumid, while on the adjacent blocks the decomposition is restricted mainly to the rainy season. In this way conspicuous fractures are usually transformed into deep V-shaped straight line valleys which lay out segments of a net. In the crystalline Precambrians one of the directions, probably that of the NW quadrant, seems to be that of the tectonic stress. The other is probably a normal answer of massive rock: at right angles when isotropic, or at some angles clearly smaller than  $90^{\circ}$  when metamorphic, thus possessing its own lineation. It seems those faulted blocks are still in slow isostatic movements.

Composed of fractured vertical blocks, this geologic unit has no horizontal interstice aquifers, so that it is considered as being of the scarcest possibilities of ground-water. However, if the wells were not drilled at random, but on photogeological fractures, this would be the area of highest certainty of ground-water, as a general rule. This is the reason why some rare wells in this formation are free flowing, and of high yield upon pumping.

In the great sedimentary basin, with maximum thickness over 3 miles, all consolidated strata are fractured, including the triassic basaltic lavas, reaching at the Paraná river 1 mile of continuous thickness. These fractures seem to be detectable in some places even through 300 to 400 ft. of sandy sediments when containing some lime-cemented layers. The author called such fractures "photo-geological" because they are only detected on aerial photographs under stereoscope.

Since in all formations, even in those considered tertiary, there are photo-geological fractures, the tectonic movements seem to have been extended throughout all ages including the cenozoic, and presumably are still going on.

Among 255 towns and villages of the Interior, from which we possess data of 908 tubular wells (by the end of June 1964), being registered at least the location, yield, depth, geological profile, and stratigraphic position, only half a hundred towns possess at least one dozen borings each. Forty-one among these towns show the same aspect of having a few highly productive wells, and a great majority of unproductive or of low productivity. These latter ones are usually the deepest, as the unsuccessful drillings, hoping to recover the loss, are usually deepened to the capacity of the rig before giving them up.

Photogeological study of these 41 towns showed that all productive wells are at or on the fractures, while the unproductive ones are far from them. The remaining seven towns do not depend on fractures as their wells dip into thick strata of water-bearing sandstones.

Almost everywhere natural springs were observed along the best visible photogeological fractures. When, after location of such fractures, geophysical prospection was made, the existence of them was verified by sudden diminution of electric resistivity indicating aquiferous fissure. Such association of this two procedures suggests to be valuable in locating the best points for ground-water wells.

## INTRODUÇÃO

Graças à existência de fotografias aéreas verticais cobrindo inteiramente o território paulista, tornou-se possível verificar que quase sempre vazão excepcionalmente alta de poços tubulares coincide com a sua posição sobre ou junto a fraturas fotogeológicas, que são linhas praticamente retas identificáveis nas fotografias aéreas sob estereoscópio, quase sempre esboçando rede descontínua, de duas direções quase perpendiculares entre si, sendo uma principalmente entre NNE e ENE, e a outra entre WNW e NNW.

São certamente 1) as particularidades climáticas do Estado, fazendo com que a decomposição das rochas nas fraturas tectônicas não cessasse durante a estação seca devido à relativa abundância de

água subterrânea, e 2) as particularidades geológicas de generalidade de blocos falhados em movimentos isostáticos que parecem não ter cessado, os dois fatores principais que devem ter condicionado esta rede ou treliça de retas de determinadas direções que só se enxergam nas fotografias aéreas em visão tridimensional. Por isso chamou o A. estas retas de fraturas "fotogeológicas".

Das 237 cidades do Interior, das quais temos conhecimento de 819 poços tubulares perfurados para captação de água subterrânea (situação estatística em 31-12-1963), estando registrados ao menos os dados de vazão, profundidade, localização e perfil geológico, verificou o A. a existência de 41 cidades das que possuem mais de uma dezena de poços com a particularidade que maioria dêles, geralmente os de maior profundidade, apresentam vazão muito menor que alguns outros, cuja produtividade é cerca de 10 vezes maior, apesar de profundidade menor. Estudando as fotografias aéreas das regiões destas 41 cidades, verificou que os poços mais produtivos situam-se junto a fraturas fotogeológicas, ao passo que os menos produtivos ou secos se acham longe de tais fraturas. Neste último caso os poços são perfurados até quase à capacidade da sonda na esperança de salvar a despesa já havida, ao passo que no outro caso, de furo em fenda-aquífera, basta apenas atingi-la em profundidade livre de fragmentos de rocha decomposta.

Dado que as fraturas fotogeológicas se encontram mesmo nas formações sedimentares de espessas camadas não consolidadas e só se acham obliteradas por aluvionamentos recentes ou terraplenagens que cobriram ou nivelaram as irregularidades naturais do terreno, sugerem as fotografias aéreas que não há no Estado de São Paulo regiões "desaconselhadas" ou "contra-indicadas" para perfuração de poços tubulares. Tal qualificação é adequada a muitos locais, distantes de fraturas, mas não a regiões. Os dois poços mais produtivos de Jundiá, com cerca de 50 m<sup>3</sup> de água por hora cada, enquanto a maioria mal produz 5 m<sup>3</sup>/h, estão em planos aluviais, porém no prolongamento hipotético de retas fotogeológicas.

O Pré-Cambriano é a unidade geológica mais profusamente fraturada e, sendo a das menores possibilidades gerais de água subterrânea por ser constituída de blocos verticais de rocha e por isso desprovida de aquíferos horizontais de porosidade de interstícios, é

nessa formação que os furos ao longo de fraturas produzem os maiores aumentos de vazão, simultaneamente com a desnecessidade de abrir furos muito profundos. Se ao invés de furar em qualquer ponto, apenas as fraturas fotogeológicas fôssem escolhidas, seria esta a formação de água subterrânea mais certa e abundante como condição geral.

Enquanto no Cristalino a equidistância média de fraturas fotogeológicas, ou seja, a abertura média de malha da rede de fraturas, é da ordem de 1/2 km, nas formações sedimentares contendo camadas consolidadas aumenta para 1 a 1 1/2 km, e nas capeadas por espessas camadas não consolidadas pode ser rarefeita até a equidistância de uns 3 km.

Nas formações sedimentares as fraturas fotogeológicas, apesar de muito menos frequentes, e refletindo fraturas por vês bastante profundas, ainda assim aumentam a vazão dos poços tão significativamente que, em média um só furo na fratura substitui diversos furos mais profundos situados longe das retas fotogeológicas. A realimentação sendo muito mais rápida (pequeno "draw-down"), convém aumentar o diâmetro do furo a fim de baratear ainda mais o m<sup>3</sup> de água recalçada, bombeando maiores quantidades por unidade de tempo.

Mesmo nas regiões de arenito Bauru, que apresentam a menor densidade de fraturas, provavelmente devido à superposição de avantajada espessura dessas camadas arenosas e mal consolidadas sobre a laje basáltica subjacente, nota-se relativamente grande acréscimo de vazão nos poços perfurados ao longo de fraturas localizadas fotogeologicamente. Algumas destas fraturas dão idéia de serem reflexo superficial de fendas tectônicas existentes na laje basáltica subjacente, mesmo em lugares em que esta se acha a uma centena de metros de profundidade.

Em pleno Terciário do Vale do Paraíba fraturas mal visíveis na superfície devido à espessura de sedimentos não consolidados, podem ser prolongamento para cima das falhas principais do chão cristalino subjacente, as quais devem estar interligadas com as das serras que encaixam a bacia sedimentar. Deve ser esta a explicação do artesianismo natural observado em diversos poços de Caçapava, São José dos Campos e Pindamonhangaba. Poço de 277 m de pro-

fundidade perfurado pela Petrobrás na barra do Una, munic. de Tremembé, verte água com 39 °C, tendo entrado 27 m no embasamento cristalino (cota na bôca 546 m). Neste caso a água deve vir de profundidade de 400 ou 500 m abaixo no nível do mar (com algum esfriamento enquanto sobe) o topo da coluna líquida estando provavelmente acima da cota 1.000 da serra da Mantiqueira ou da Quebra-Cangalha. Isto é indício que poço que acerte em fenda aquífera pode receber água de extensa rêde de fraturas interligadas.

Na cidade de Lorena fraturas fotogeológicas mal perceptíveis devido à peneplanização e ínfima diferenciação do relêvo provaram no entanto também possuírem notável significação hidrológica, pois os melhores poços da cidade e as cisternas mais produtivas parecem localizar-se justamente ao longo dessas retas, que formam treliça mal visível, mas de direções firmes na região tôda (prospecção na cidade executada pelo colega Sérgio Mezzalira).

Surge a idéia que os movimentos isostáticos causadores do fraturamento fotogeológico do Estado de São Paulo sejam cenozóicos e perdurem ou talvez mesmo estejam exacerbados nos nossos dias.

Geralmente as fraturas fotogeológicas são vales retilíneos com perfil em V, no qual as encostas são topográfica e estratigráficamente diferentes. Esta diferença indicaria que a fratura já se desenvolveu em falha com certo rejeito. Por vêzes depósitos recentes de talus cobrem localmente a reta da fratura e o curso d'água é obrigado a contorná-los descrevendo curva dentro de vale retilíneo. Êstes talus são os pontos mais cômodos para perfuração de poço tubular, que se torna assim livre de perigo de inundação e o furo pode acertar na fratura. O ângulo do V sendo agudo, com o curso d'água profundamente encaixado, convém por vêzes executar pequena terraplenagem desviando o curso d'água a fim de poder furar na fratura. Mas em muitos casos poços perfurados a distâncias até 20 e mesmo 30 m da fratura deram ótimos resultados, seja por que haveria diaclases abertas ligando-os à fenda aquífera, seja por que o plano desta não seria vertical, mas mergulhando um pouco, justamente na direção do furo.

Tratando-se de plano de fratura algo fora da vertical, fazendo com o mesmo ângulo da ordem de 5°, caso êste que parece bastante freqüente, a inferência da direção do mergulho torna-se impres-

cindível, e tanto mais, quanto maior a espessura de sedimentos acima da primeira fratura em camada competente cobrindo aquífero de interstícios. Em tais casos e mesmo, por vêzes, a fim de evitar confusão de fissura de intemperismo com fenda aquífera, é necessário o concurso da geofísica a fim de indicar de que lado e a que distância da fratura deve ser feita a perfuração. Por sua vez, sem estudo fotogeológico prévio, houve insucesso de prospeções geofísicas, mesmo numerosas, por não se terem escolhido bons lugares para efetuar as determinações.

Quase sempre têm sido constatadas fontes naturais ao longo das fraturas fotogeológicas mais conspícuas. Onde foi feita prospecção geofísica após a localização da fratura fotogeológica, a existência desta foi confirmada por brusca diminuição da resistividade do subsolo indicando fenda aquífera, fato êste que sugere grande utilidade em aliar os dois métodos na localização de furos para poços artesianos.

#### BIBLIOGRAFIA MENCIONADA

- BILLINGS, M. P. — Structural Geology, 2nd edi. New York, 1955.  
MEZZALIRA, Sérgio — Alguns dados sôbre água subterrânea. IGG, 1952.  
MEZZALIRA, Sérgio — Dados sôbre água subterrânea nas Séries Passa Dois e Tubarão. Bol. Soc. Bras. Geol. Vol. 7, São Paulo, 1958.  
SETZER, José — Aspectos hidrológicos do Estado de São Paulo. Plano Eletrificação do Estado, 7:323-443, DAEE, São Paulo, 1956.  
SETZER, José — Sills de diabásio decompostos. Bol. Soc. Bras. Geol. Vol. 9, n.º 1, São Paulo, 1959.