

# REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA

Ano XXVIII

JULHO - SETEMBRO DE 1966

N.º 3

## ÁGUA SUBTERRÂNEA NO CRISTALINO PAULISTA

JOSÉ SETZER

Consultor Técnico do CNG

### 1 — O CRISTALINO NÃO MAIS REGIÃO “DESACONSELHADA”

Ainda se desaconselha perfuração de poços tubulares no Cristalino (8) por causa da ausência de camadas horizontais de porosidade de interstícios. No entanto a interpretação geológica de fotografias aéreas já provou a existência de fendas aquíferas (10) interligadas entre si em extensas rêdes e capazes de compensar a inexistência de arenitos porosos.

Sem acertar em fendas aquíferas o Cristalino paulista raramente proporciona poços com 5 m<sup>3</sup> de água por hora. Êste máximo corresponde às baixadas mais largas e planas, que por isso contêm 2 a 3 dezenas de metros de alúvio mais ou menos recente. Ê preciso para isto que o furo seja de bom diâmetro, 25 ou 30 cm no mínimo, os primeiros 10 m revestidos para garantia de qualidade. Nas várzeas estreitas de rios e ribeirões encaixados entre encostas declivosas a vazão pode diminuir para menos de 1 m<sup>3</sup>/h porque a espessura de sedimento superposto ao chão cristalino é de apenas uma dezena de metros. Ê claro que, fora dos vales de cursos d'água, furo no alto de morros resulta sêco ou produz a ninharia de 100, no máximo 200 litros horários.

No entanto tais poços são dos mais dispendiosos devido à profundidade de uns 200 m de rochas das mais duras que se perfuram na esperança, quase sempre vã, de encontrar fendas aquíferas.

Continua muito alta a percentagem de poços perfurados nos pontos mais elevados da topografia por ser sedutora a idéia de ter o reservatório no ponto mais alto e assim distribuir tôda a água por gravidade. Êste é outro fator que aumenta a profundidade dos poços e eleva os prejuízos com as tentativas infrutíferas.

Apesar do fato de que sempre houve casos raros, e continua a havê-los, de poços altamente produtivos, são êles considerados exceções inexplicáveis, com que não se deve contar, de modo que o Cristalino continua a ser região contra-indicada para poços tubulares.

As fotografias aéreas permitem explicar os poços produtivos e indicam os lugares de alta probabilidade de obtenção de tais poços. Apresentam êles as mesmas características: estão em vales baixos e seus furos não foram profundos, pois além de pequena espessura de alúvio penetraram apenas 50 a 80 m de rochas duras até interceptarem fenda aquífera larga. Quase todos apresentam artesianismo natural e com bombeamento produzem geralmente de 30 a 50 m<sup>3</sup> de água por hora. Os que deram em fendas largas, da ordem de uns 10 cm de largura, produzem até 60 ou 80 m<sup>3</sup>/h se o furo tiver sido de bom diâmetro.

A partir de 1963, quando se tornaram disponíveis as fotografias aéreas da primeira fotografia completa do Estado de São Paulo, mandada executar pelo Inst. Agrônomo de Campinas em meados de 1962, o autor destas linhas verificou que todo o Cristalino paulista se apresenta profusamente fraturado, e não apenas as áreas por êle previamente estudadas, que foram: orla cristalina da grande bacia sedimentar desde Mogi-Guaçu a Santo Antônio da Posse (fotografada em 1956 pela prefeitura de Mogi-Mirim), orla cristalina do Vale do Paraíba, de Guararema a Pindamonhagaba (em 1953, pelo Dpt.<sup>o</sup> de Águas e Energia Elétrica) e região de Ribeirão Branco a Guapiara até a crista da serra da Paranapiacaba (1959).

Graças às particularidades do clima, úmido e bastante quente, as fraturas aquíferas, principalmente quando desenvolvidas em falha, enxergam-se bem nas fotografias aéreas, pois formam reticulado, de duas direções constantes em cada região. Apesar de descontínuo, êste reticulado percebe-se nitidamente graças ao paralelismo impressionante dos segmentos de cada uma das duas direções, que por isso se encontram sob ângulo constante. (Fig. 1)

Clima úmido significa que a precipitação anual é maior que a evapotranspiração total. A água excedente penetra em tôdas as fissuras das rochas, saturando tôda a porosidade livre desde as maiores profundidades até o lençol freático. Clima quente, com temperatura média anual próxima de 20°C, a diferença entre o mês mais quente e o mais frio sendo de apenas 6 ou 6½°C (7), significa que a decomposição das rochas acima do lençol freático é ativa o ano todo.

Existência de duas estações de pluviosidade diferente significa que na estação sêca a água subterrânea sustenta a vazão dos córregos; e existência contínua de umidade nos vales estreitos em V, de encostas convexas e íngremes, mantém a vegetação que ativa a decomposição das rochas, ao passo que na estação chuvosa a impetuosidade das águas sempre remove prontamente os detritos.

Assim as fendas aquíferas se tornam profundas, úmidas, cheias de vegetação que resiste ao fogo ateado aos campos adjacentes. Além disto, a diretriz retilínea e a existência de numerosos segmentos nitidamente paralelos na mesma área estereoscópica tornam conspícuas as fraturas aquíferas e permitem não as confundir com os demais sulcos que dissecam a topografia.

Fotos 262 - 264

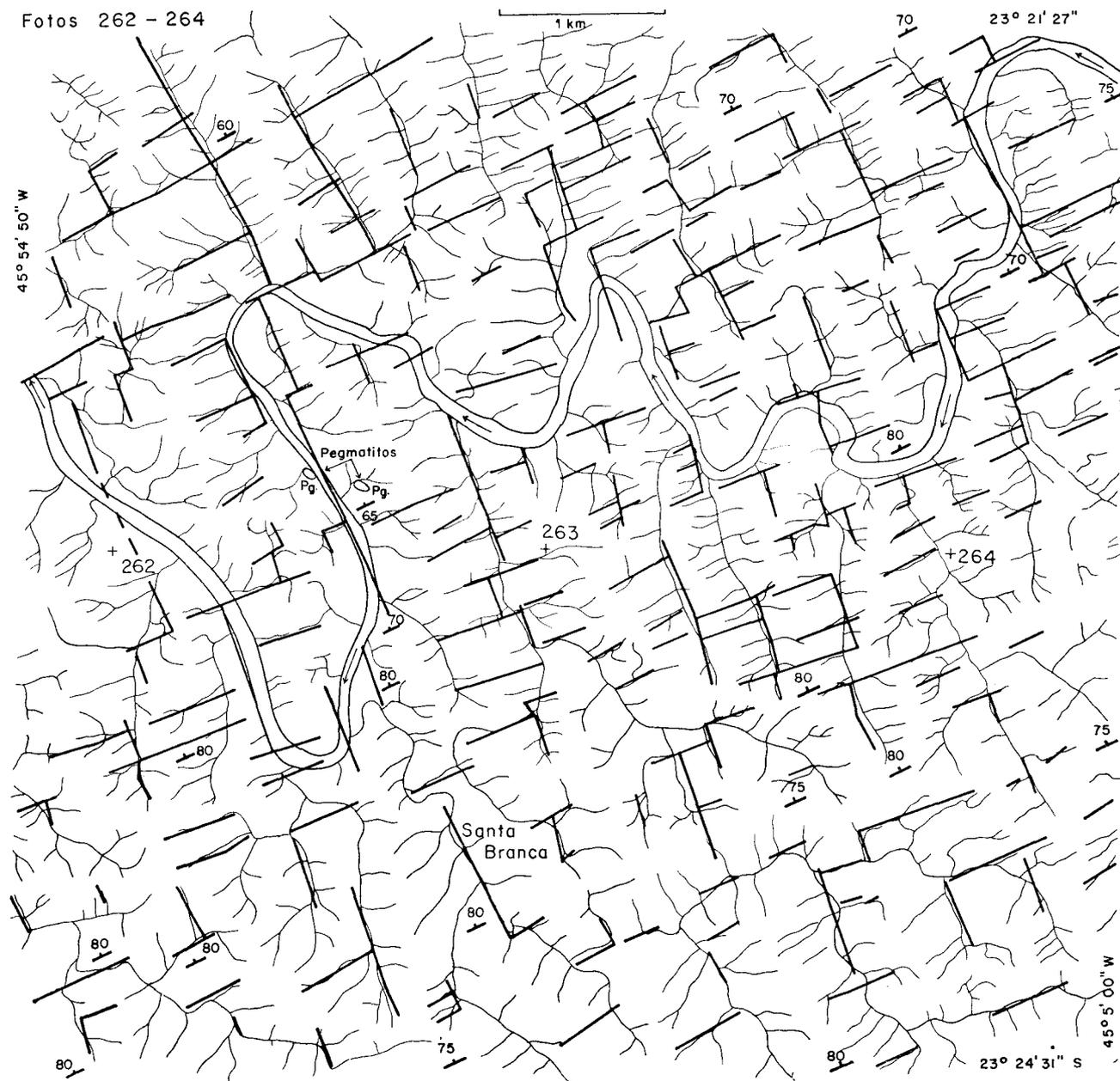
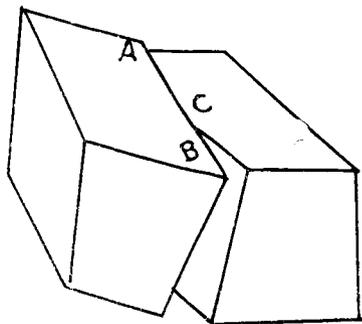


Fig. 1 — Área de gnaisses e micaxistos, profusamente fraturada, no alto Paraíba perto da cidade de Santa Branca. Estão representadas as fraturas fotogeológicas nitidamente visíveis (retas mais grossas), às quais a drenagem está maduramente ajustada. A direção da xistosidade varia muito mais que a das fraturas. As altitudes variam de 700 a 800 m.

## 2 — FENDAS AQUÍFERAS, FALHAS E FRATURAS FOTOGEOLÓGICAS

Ao procedermos ao controle de campo, para o qual aproveitamos a estação seca, verificamos habitualmente que córregos coincidentes com segmentos do reticulado de fraturas tectônicas, mesmo que possuam bacia hidrográfica pequena, de poucos km<sup>2</sup>, apresentam no

fim da estiagem vazão maior que outros, de cursos muito mais longos, com bacia hidrográfica muito maior, mas não controlados pelo reticulado de fraturas. Os moradores confirmam que aquêles nunca secam, ao passo que a água destes pode acabar, aos menos no fim de estação sêca particularmente longa.



Falha rotacional  
Fig. 2

*O basculamento de um bloco deu-se ao longo de outro. No seu eixo transversal a falha rotacional deixa de produzir resposta topográfica e temos interrupção da reta fotogeológica em C. No entanto, também neste ponto pode existir em profundidade fenda aquífera. Em A e em B temos rejeitos horizontais como mostra a parte inferior da Fig. 4.*

apresentarem sinais de poluição quando a amostra da água é tomada com cuidado.

O fato de que o reticulado das fraturas fotogeológicas (apelidamo-las assim por só poderem ser detectadas por processos fotogeológicos) não é contínuo, uma vez que consiste de encontros esparsos de duas retas sob ângulo constante, mais ou menos próximo de 90°, ou uma reta embica em outra sob êste ângulo, ou duas retas vêm dar nas extremidades opostas (Fig. 4), de uma só, tais desenhos retilíneos mantendo ângulos constantes por serem formados por retas respectivamente paralelas, parece indicar que cada região de, digamos uns 5 × 10 km, fôra submetida ao mesmo esforço tectônico. Há evidentemente retas isoladas, das duas direções, mas seus prolongamentos imaginários também formam o mesmo ângulo.

Os blocos falhados, tenham êles sofrido elevação ou subsidência, ou ambas, como no caso de falha rotacional (Fig. 2), parecem ter sido sempre algo inclinados, pois a movimentação não podia ser exatamente vertical, já pela existência de componente tangencial nos esforços tectônicos, já pela própria heterogeneidade litológica. Assim, enquanto de um lado do bloco a fratura podia abrir-se, o mesmo movimento podia fechar do outro lado fratura já aberta. A mesma fratura pode fechar-se numa metade enquanto na outra pode abrir-se cada vez mais na direção da extremidade. Com isto se explicaria a falta de

Nas viagens de contrôle de campo verificamos quase sempre que as encostas confrontantes de vales retilíneos de fratura são diferentes topográfica, geológica e pedològicamente. Isto seria indício de existência de falha, apesar de não se poder medir o rejeito.

Por não ser vertical o plano de fratura, geralmente mergulhando na direção da encosta menos íngreme (Fig. 3), a outra apresenta desbarrancamentos que por vêzes tornam algo sinuoso o córrego no vale retilíneo. São depósitos de táluos, nos quais há fontes naturais no alinhamento da falha. Distinguem-se estas fontes por não diminuir a sua vazão nem a temperatura na estação sêca, que é aqui a mais fria, por não emergirem sôbre camada impermeável e por não

continuidade do reticulado tectônico e a raridade de planos verticais nos traços visíveis do reticulado.

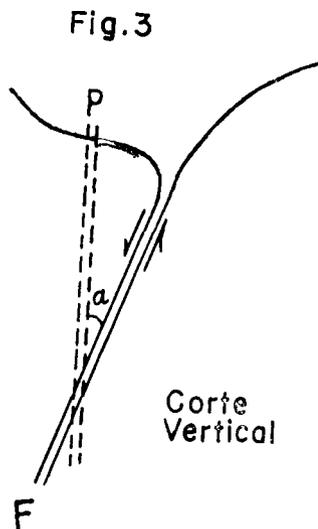
Parece que a palavra “fratura” pode ser quase sempre substituída por “falha”, apesar da impossibilidade de medirmos o rejeito ou de encontrarmos seu espelho no campo, devido à decomposição profunda em clima quente e úmido. Mas nos poços tubulares (Fig. 3) perfurados para encontrarem fraturas aquíferas (a vertical P interceptando a oblíqua F), existência de milonitização, zona brechada ou fenda aberta preenchida por blocos de rocha de todo tamanho, uns rolados outros angulosos, sugerem fortemente existência de falha.

O rejeito vertical não pode ser medido no Cristalino, mesmo em se tratando de metamórfica bem lineada, pois só se compararam as duas encostas do vale, mas o rejeito horizontal é menos dificilmente percebido nas fotografias aéreas quando o traço de falha termina numa fratura transversal e continua na mesma direção em outro ponto mais adiante. O rejeito horizontal seria a distância em planta entre êstes dois pontos (Fig. 4, AB). É muito freqüente (Figs. 1 e 7), verdadeiramente generalizado (1).

Nas fotografias aéreas a raridade do encontro de duas fraturas fotogeológicas em forma de X, pois quase sempre se encontram em forma de T ou Z, parece-nos prova eficiente de estarem praticamente tôdas as fraturas desenvolvidas em falhas. Na forma de Z os dois segmentos horizontais desta letra seriam da mesma falha que o rejeito horizontal deslocou em relação à fratura representada pelo segmento oblíquo. Então a altura da letra seria a medida do rejeito horizontal. (Fig. 4)

Sendo fãcilmente visíveis nas fotografias aéreas os rejeitos horizontais (1), parece-nos lícito afirmar que os rejeitos verticais são igualmente freqüentes apesar da dificuldade de sua detecção, pois seria ínfima a probabilidade de existência de rejeito horizontal sem qualquer rejeito vertical.

Se traço de fratura fotogeológica deixa de ser vizível a partir de certo ponto, não quer dizer que o mesmo plano de fratura continue fechado ou obturado também em profundidade (Fig. 2-C). Assim dois segmentos alinhados em reta, mas desligados entre si nas fotografias,



*A falha F, inclinada de ângulo  $\alpha$  em relação à vertical, mergulha sob a encosta menos íngreme do vale retilíneo. Se o furo vertical do poço P fôsse aberto do outro lado do vale, por mais próximo que fôsse da reta fotogeológica, resultaria improdutivo por divergir da fenda aquífera F com o aumento da profundidade. O melhor ponto P para o furo deve distar da reta fotogeológica uns 10 a 30 m da direção do mergulho da falha F a fim de interceptá-la à profundidade de uns 60-80m. Para isto convém determinar o ângulo  $\alpha$  por prospeção geofísica. Parece que a margem mais alta do curso d'água indica o lado da falha que subiu.*

podem ter ligação a partir de certa profundidade. Dêste modo, um reticulado descontínuo pode ter continuidade quase completa, principalmente na profundidade em que não há rocha decomposta, mas apenas superficialmente alterada nas paredes das fendas.

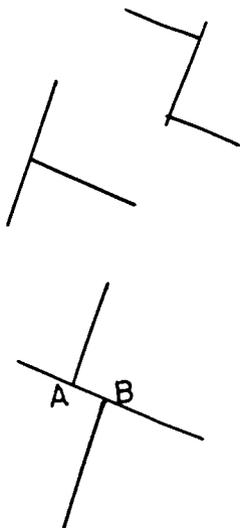


Fig. 4

*Exemplo de reticulado descontínuo de fraturas fotogeológicas. Os encontros de cima são em forma de T e Z. Em baixo fratura de direção WNW intercepta falha de direção NNE produzindo dois traços de falha paralelos com rejeito horizontal AB.*

No Cristalino e nas demais regiões paulistas em que a rocha-mãe do solo é dura ou competente, quase tôdas as fraturas fotogeológicas são falhas, sendo suficiente a possibilidade de medir nas fotografias aéreas o rejeito horizontal a fim de afirmá-lo.

### 3 — INTERLIGAÇÃO DAS FENDAS AQUÍFERAS EM PROFUNDIDADE

Existe no Cristalino paulista uma dúzia de cidades com 8 ou mais poços tubulares. Apresentam o mesmo aspecto: cêrca de 1/4 a 1/5 (exatamente 22%) dos poços são produtivos e apresentam boa vazão, ao menos de 20 m<sup>3</sup>/h, a média situando-se aos 28 m<sup>3</sup>/h. A grande maioria dos poços, em média 78%, são improdutivo. Alguns já foram bombeados muitos anos atrás, mas foram abandonados quando apareceu poço muito mais produtivo. As cidades são: Águas da Prata, Campinas, Cotia, Guarulhos, Jundiaí, Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André, São Bernardo, São Paulo, São Vicente, Sorocaba e Susano. Tendo determinado a treliça das fraturas fotogeológicas para tôdas elas (e para outras como São Caetano, que omitimos por estarem sôbre sedimentos e não sôbre o Cristalino, apesar de ser a questão essencialmente a mesma), verificamos que todos os poços produtivos (o máximo foi 100 m<sup>3</sup>/h) estão sôbre ou junto a fraturas fotogeológicas, enquanto os poços improdutivo estão longe dessas retas.

Em fevereiro de 1964 apresentamos trabalho sôbre o assunto (10) encarecendo a necessidade de estudar as fotografias aéreas antes de furar poços tubulares, sugerindo ainda que a conclusão do estudo fotogeológico fôsse submetida prèviamente à prospeção geofísica, a qual deveria confirmar não só a posição da fenda aquífera em planta, como a direção do seu mergulho, a fim de não furar do lado errado.

Um ano depois, vimos no Journal of Hydrology artigo (5) em que, além da afirmação que poços furados junto a "fracture traces visible on aerial photographs" produzem de 10 a 100 vezes mais água do que os perfurados longe das "airphoto" retas, provava-se estatisticamente que perfurações junto à intersecção de dois segmentos fotogeológicos produzem 3 a 4 vezes mais água que os poços furados ao lado de "single fracture trace".

O fato de os poços, que acertaram em fraturas fotogeológicas, produzirem por vezes notável artesianismo natural só se explica pela interligação delas em profundidade com as fraturas da mesma treliça que se vêem em altitudes bem maiores. De fato, isto só foi observado em vales de ribeirões importantes, havendo córregos afluentes que descem das serras encaixantes de ambos os lados. O citado poço campeão do Cristalino, com  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  (tinha produzido  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  por artesianismo verdadeiro), fica na Via Anchieta, onde ela cruza o rib. dos Meninos em cota 760, ao passo que para SW grande área apresenta altitude 100 m mais altas, e para ENE e NE mesmo 200 m mais altas, ambas fraturadas num reticulado descontínuo de abertura média de malha antes menor que maior de 1km.

Tanto a vazão fluente como a bombeada são geralmente proporcionais à área das partes elevadas mais próximas e à diferença de altitude entre elas e a bôca do poço.

Os poços tubulares que apresentam artesianismo natural são os que mais vale a pena bombear, pois assim produzem os maiores acréscimos de vazão e o mais baixo custo da água por unidade de volume. A fenda aquífera que os produz comporta outros poços a distâncias relativamente pequenas um do outros sem que se note interferência.

Outra condição observada é de serem tais poços produtivos muito menos profundos que os improdutivos perfurados no alto de blocos. A proporção mais comum é de cerca de 1:2, pois os poços que acertaram em fratura aquífera geralmente ultrapassam de pouco 100 m (com mínimo em tórno de 60-70 m e o máximo não atingindo 150 m), ao passo que os improdutivos, na esperança vã de salvar o prejuízo, são aprofundados até à capacidade da sonda, no geral da ordem de 250 m.

Na periferia da bacia cenozóica da cidade de São Paulo, onde o Cristalino se acha coberto por poucas dezenas de metros de sedimentos, geralmente com arenito ou conglomerato na base, os quais, não estando consolidados, recebem água das fraturas do Cristalino, há centenas de poços perfurados por indústrias somente até atingir o gnaisse, granito ou micaxisto, com o que os furos são feitos por vezes em apenas uma semana, são baratos e produzem cerca de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Não solucionam porém o problema pois, à distância de 200 m um do outro, o bombeamento de um diminui a vazão de outro. Poucas indústrias possuem terrenos bastante grandes para ter diversos de tais poços. No entanto a prática provou que muitas vezes perfurando mais 100 m de rocha dura o Cristalino subjacente a vazão não aumenta, podendo até diminuir.

Estudando as fotografias aéreas de numerosos dêsses poços de 40-50 m de profundidade até atingirem o embasamento cristalino, verificamos que estão todos longe das fendas aquíferas do mesmo, e que os raros dêles que produzem 20 e mesmo  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  estão junto a fraturas fotogeológicas.

Acertar em fratura do Cristalino significa êxito notável, mesmo que haja grande espessura de sedimentos impermeáveis cobrindo o reticulado das fendas do embasamento.

O caso mais notável dêste tipo ocorreu na planície aluvial do Paraíba, entre as cidades de Pindamonhangaba e Tremembé. Dois poços tubulares atravessaram ali o sedimento todo, e um deles até penetrou no embasamento cristalino. Ambos só deram água depois de terem atingido o Cristalino, mas apresentaram artesianismo natural, com água quente e alcalina. Um dos dois poços acertou em zona brechada do Cristalino, tanto é que foi preciso penetrar nêle  $27\frac{1}{2}$  m, depois de ter perfurado  $250\frac{1}{2}$  m, de sedimentos cenozóicos (tidos como terciários), a fim de apurar a natureza da rocha do embasamento (gnaisse bem lineado, com alto teor de biotita, além da muscovita), pois havia fragmentos decompostos e seixos. Neste poço a água veio com  $39^{\circ}\text{C}$  e pH acima de 8.

O outro poço, que não penetrou no Cristalino, deve ter também atingido uma fenda aquífera, pois deu notável vazão por artesianismo natural ( $16\frac{1}{4}$  m<sup>3</sup>/h) e, quanto à vazão por bombeamento, é um dos poços mais produtivos do Estado ( $152\frac{1}{2}$  m<sup>3</sup>/h), mas a água vem com a temperatura de  $31^{\circ}\text{C}$  e o pH não passa de 8.

Tais condições só se explicam pela existência de fendas aquíferas até profundidade de no mínimo 600 m, portanto abaixo do nível do mar, visto que a cota na boca dos dois poços é próxima de 545 m. Como a temperatura média na superfície é de  $20^{\circ}\text{C}$ , o calor trazido pela água supõe sua proveniência daquela profundidade e ainda interligada com rede de fraturas que se estenderiam a mais de 10 km atingindo altitudes da ordem de  $\frac{1}{2}$  km acima da boca dos dois poços. Tal altitude só se encontra a 12 km a NW, na primeira das cristas paralelas da Mantiqueira, ou na serra Quebra-Cangalha, 20 km a SE. É preciso admitir altitude de ao menos 1 000 m na área de entrada das águas pluviais, pois existe grande perda de pressão hidrostática nos condutos, por vêzes estreitos e semiobstruídos, representados pela treliça tridimensional das fraturas.

O estudo fotogeológico localizou fraturas a 30-40 m a W de ambos os poços. Sua inclinação seria de 7 a  $8^{\circ}$  para leste, a contar da vertical. O poço de Tremembé teria atravessado a fratura aos  $266\frac{1}{2}$  m de profundidade, onde o gnaisse se apresentou mais decomposto e despedaçado. Aqui a direção da fratura é NNE, ao passo que junto ao poço de Pindamonhangaba (córrego Mandu, na margem esquerda do rio Paraíba) é NNW. Trata-se portanto de dois reticulados diferentes, NNW+ENE e NNE+ESE, respectivamente, apesar de os ângulos serem em ambos os casos próximos de  $90^{\circ}$ . No Cristalino mais próximo, o da Mantiqueira, o reticulado é bastante denso, com abertura de malha entre  $\frac{1}{2}$  e 1 km, em média. No chamado "Terciário" esta abertura dobra e os trechos bem visíveis ficam muito mais esparsos. Na planície aluvial fora das várzeas torna-se raro o encontro de duas fraturas e a distância média entre fraturas paralelas aumenta para cerca de 5 km.

Supomos que o fundo cristalino da bacia sedimentar se acha não menos fraturado que o Cristalino da serra. No Terciário, de poucas dezenas de metros de espessura, apenas as falhas ou zonas retilíneas de fratura continuam visíveis. E no Quaternário não inundável, onde a espessura total dos sedimentos já pode ser da ordem dos 250 m perfurados pelos poços, apenas seriam visíveis as falhas mais importantes do embasamento, isto é, as de maior rejeito. No alúvio de inundação da várzea, larga e plana, não se vislumbram lineamentos retilíneos por que o aluvionamento recente obliterou qualquer resposta topográfica das fraturas ou falhas existentes na profundidade.

Tais hipóteses conduziriam à suposição de que o fraturamento do Cristalino e o desenvolvimento de fraturas em falhas seja quaternário ou, por mais antigo que seja, continuou através da era cenozóica até os nossos dias.

Além de as fraturas fotogeológicas poderem ser bastante recentes e podem aparecer através de notável espessura de sedimentos, parece que as rochas estão tanto mais fraturadas quanto mais duras, inclusive os sedimentos competentes; podem estar interligadas em profundidade não obstante o aspecto fragmentado e esparso dos trechos não obliterados do reticulado que aparece na superfície; podem produzir artesianismo verdadeiro, e grande vazão com bombeamento, nos poços abertos em regiões baixas se a distâncias de 5 ou mesmo 10 km o terreno suba bastante e essas terras altas possuem área apreciável.

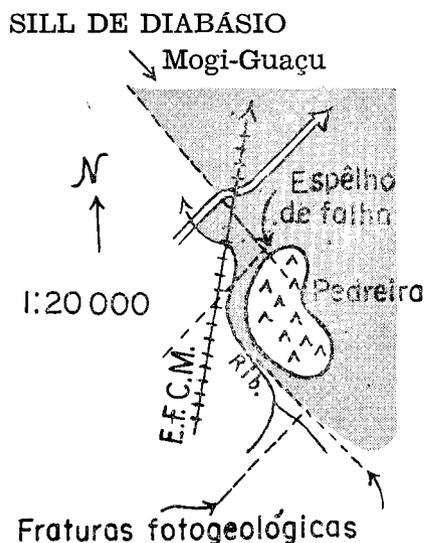


Fig. 5

Parte N da cidade de Mogi-Mirim na saída da rodovia e da ferrovia (Cia. Mogiana para Mogi-Guaçu. A metade NE da fig. é de sill de diabásio delimitado por fraturas fotogeológicas, das quais ao menos as de direção NW devem ser falhas, confirmadas pelo encontro do espelho de falha na pedreira. Na metade SW da figura além do alúvio do rib. Mogi-Mirim, temos arenitos Tubarão.

#### 4 — FALHAS OU FRATURAS ?

Saindo da cidade de Mogi-Mirim na direção N, atravessa-se fratura fotogeológica que separa proeminente sill de diabásio (metade NE da Fig. 5), dos sedimentos glaciais encaixantes. A reta da fratura, de direção NW-SE, coincide com o vale do ribeirão. Apesar do fato de que as duas margens são litológica, topográfica e pedologicamente diferentes, não se pode afirmar que se trate de falha, pois a intrusão podia ter parado justamente onde hoje corre o ribeirão.

No entanto, pareceu-nos pelas fotografias aéreas que se tratava de falha porque, caso contrário, o corpo intrusivo não podia ser delimitado por umas retas tão perfeitas, exatamente paralelas e tão longas.

Felizmente havia no sill pedreira de diabásio, onde achamos pedras com espelho de falha e, quando o localizamos no paredão da frente de trabalho, estava êle na reta fotogeológica. Aliás, mais de metade de todo o corpo não decomposto do sill, que serve de pedreira e está delimitado na Fig. 5, fica como que separado da parte decomposta pelo prolongamento imaginário da falha. Parece que 3 das fraturas fotogeológicas da Fig. 5, duas de direção NW e uma de direção NE, estão delimitando bloco falhado que teria subido trazendo das profundidades rocha dura ou de cristalização mais graúda que o resto aflorante do sill, o qual por isso não apresenta pedra, estando decomposto em terra rôxa (9) ao menos até a profundidade de mais de uma dezena de metros. Portanto, ao menos 3 das 4 fraturas fotogeológicas da Fig. 5 seriam falhas.

É preciso observar que o lugar dista apenas 6 km a W da divisa da grande bacia sedimentar com Cristalino e que ao longo dessa divisa existem numerosos e grandes sills de diabásio, pois o magma básico, cuja idade do Cretáceo Inferior (cêrca de 110 milhões de anos) foi definitivamente estabelecida pelo laboratório geocronológico de São Paulo, subia pelas fendas do Cristalino e se intrometia por baixo do primeiro sedimento glacial quando êste não era consolidado e portanto conservava certa plasticidade. Quando o magma básico, portanto dos mais fluidos, encontrava sedimento competente, fendia-o para subir ou subia por fendas pré-existentes até formar sill ou lacolito sob a primeira camada plástica que encontrava (9).

Parece que muitos de tais sills estão delimitados por partes porque o magma básico, subindo pela falha pré-existente, alastrava-se para um lado só, por cima da parte subsidente da camada competente, balisado do outro lado pela parede da falha da parte da laje sedimentar sobrelevada. Mais tarde, já no Quaternário, tôdas as camadas sedimentares sobrejacentes foram decompostas e evacuadas pela erosão, exumando os sills, os quais formam proeminências topográficas por se tratar de rocha mais dura.

Nossa prática de têrmos estudado mais de 3 mil fotografias aéreas, com contrôle de campo ao menos em alguns pontos de cada região, sugere-nos que as fraturas fotogeológicas devem ser falhas em sua maioria, com rejeito vertical e horizontal, pois seu cruzamento em X é verdadeira raridade, sòmente possível sem qualquer rejeito ou com movimentação exclusivamente vertical dos blocos. Na prática, esta hipótese é quase impossível. Geralmente os esforços tectônicos não deixam de possuir componente tangencial, mas, mesmo se o movimento fôsse exatamente vertical, bastaria a heterogeneidade litológica e a desuniformidade topográfica para que cada bloco subisse menos na sua parte mais pesada. (Fig. 2, B).

Para que se possa falar em falha em vez de fratura, exige-se a comprovação do espelho ou a possibilidade de medir o rejeito. O nosso clima úmido com estação sêca, condicionando, portanto, a existência

de estação chuvosa de grande pluviosidade e escoamento superficial turbulento, principalmente no Cristalino, transforma em vales as zonas de decomposição mais intensa das rochas, principalmente quando estas zonas são lineares.

Assim as falhas ficam no fundo de vales, onde a umidade constante e a mata úmida obliteram o espelho de falha e impedem medição do rejeito mesmo no caso de metamórficas bem lineadas e com pacotes heterogêneos. Vê-se que ambas as encostas são em tudo diferentes nas mesmas cotas, de modo que fica evidente que níveis estratigráficos diferentes foram trazidos para o mesmo nível topográfico, mas isto não é considerado suficiente para que a falha seja constatada (2) (3).

No caso citado dos dois poços que atravessaram cêrca de 250 m de sedimentos e deram artesianismo natural presumivelmente graças à sua situação ao lado de fraturas fotogeológicas, procuramos estudar os cortes profundos mais próximos da EFCB e da via Dutra a ver se havia sinais de falhas nas mesmas direções e com os mesmo mergulhos para leste. Notamos nos cortes pequenas falhas com rejeito de centímetros, raramente alcançando um decímetro. Eram numerosas e de direções condizentes com as fraturas fotogeológicas, mas muito pequenas. E não podia ser de outro modo, pois as falhas de rejeito grande, transformadas em fendas aquíferas, não estão nas lombadas, mas nos vales, e aí as citadas estradas apresentam altos aterros ao invés de cortes.

É claro que há fendas aquíferas que são fraturas fotogeológicas conspícuas sem haver falhamento. São zonas retilíneas de fratura e não simples fraturas (4). Estas, bem como diaclases e juntas, no nosso clima úmido, raramente aparecem nas fotografias aéreas onde as constatamos no campo em afloramentos ao pé de barrancos altos de estradas. Ao contrário, as zonas retilíneas de fratura, por vêzes largas 2 ou 3 metros, e com caráter brechóide, são dificilmente descobertas por prospeções exclusivamente de campo, ao passo que nas fotografias aéreas, vistas verticalmente de cima, de distâncias quilométricas, enxergam-se facilmente, graças principalmente à possibilidade de compará-las com outras retas fotogeológicas existentes em diversos vales da região. Quando se esboça reticulado de duas direções constantes, formado por retas paralelas, por mais descontínuo que êle seja, tôdas as retas conspícuas que dêle fazem parte devem ser fendas aquíferas.

É possível que, não havendo falhas, só as zonas de fratura e não apenas as fraturas simples possam se revelar através de grande espessura de sedimentos predominantemente incompetentes.

Quanto à literatura mundial sôbre o assunto, o Prof. Melton (6), da Universidade de Oklahoma, acha que as fraturas fotogeológicas, que êle encontra profusamente distribuídas em tôdas as formações geológicas — e êle tem mais prática que outros especialistas — são quase sempre traços de falha, e certamente sempre de origem tectônica. Acha que os cursos d'água são influenciados por elas em alto grau. Só há dois tipos de traçado de cursos d'água: ajustados às fraturas e falhas ou influen-

ciados pelas mesmas. Ainda que rios importantes se apresentem meandrandos sobre larga e espessa camada de alúvios recentes, encontra o Prof. Melton retas fotogeológicas fora da planície aluvial e infere outras paralelas dentro dela “refletindo aspectos tectônicos da subsuperfície ou localmente também de zonas mais profundas” (6, pág. 353). Este seria o caso, menos freqüente, de drenagem influenciada pela tectônica regional, ao passo que o caso mais comum é de drenagem completamente ajustada à tectônica regional.

O Prof. Lattman, da Universidade Estadual de Pensylvania, achou, nas rochas calcárias do Paleozóico Inferior do centro de Pensylvania (5), correlação tão estreita entre a vazão dos poços e a proximidade de fraturas fotogeológicas que os poços perfurados junto a estas são 10 a 100 vezes mais produtivos que os poços perfurados no meio de blocos, entre elas. Mas os poços mais produtivos de todos são os furados junto ao encontro de duas fraturas. Para explicar a diferença enorme entre furar junto a fratura ou longe dela, acha que não se trata obrigatoriamente de falhas mas de zonas de fratura retilíneas formando reticulado tridimensional de direções, e portanto também de mergulhos, constantes, não havendo retas fotogeológicas maiores que 1 milha (1 609 m) que seria a dimensão máxima de aresta do paralelepípedo unitário do reticulado tridimensional.

## 5 — GEOFÍSICA ALIADA À FOTOGEOLOGIA

Por ser praticamente impossível prever para que lado mergulha o plano da fenda aquífera, bom trabalho fotogeológico pode resultar infrutífero se o poço tubular não fôr perfurado do lado do mergulho, pois do outro lado se afastará com a profundidade cada vez mais do plano de falha ou da zona de fratura. E perfuração do lado do mergulho deve ser tanto mais afastada do traço da fratura quanto maior o desvio da vertical do plano da fenda aquífera para que o poço a encontre a profundidade conveniente. (Fig. 3)

Furo situado longe demais do traço da fratura aumenta inútilmente a profundidade do poço e portanto o custo da sua perfuração. Quando situado muito perto da fratura, o furo a encontra a uma profundidade pequena, digamos, menor de 50 m, onde há mais fragmentos e a rocha se apresenta ainda bastante decomposta, de modo a dificultar ou mesmo impossibilitar o uso de bomba submersa que é o meio de recalque mais econômico e que consegue maior vazão, portanto, com o aproveitamento máximo do poço.

Mas, uma vez estabelecida a direção do mergulho de uma fenda aquífera, convém furar deste lado de qualquer outra das fraturas fotogeológicas a ela paralelas, pertencentes à mesma treliça regional, pois parece que grande maioria das fendas paralelas possuem mergulho na

mesma direção. A inclinação do plano da fenda pode variar mais facilmente do que as direções do reticulado bidimensional que as fotografias aéreas esboçam.

A fim de determinar de que lado e a que distância do traço da fratura fotogeológica convém abrir o furo, pode-se executar prospeção geofísica como, por exemplo, a determinação da variação da resistividade elétrica do subsolo, executando medidas transversais à reta da fratura, ao menos em dois pontos da mesma, possivelmente bem afastados entre si a fim de determinar com precisão a orientação da reta em planta e verificar se coincide exatamente com a das fotografias aéreas. Em poucas palavras o procedimento pode ser assim descrito: a uns 100 m de distância de cada lado da fratura fotogeológica inferida ficam-se eléctrodos no chão e se estabelece entre êles forte diferença de potencial. A corrente que consegue passar pelo terreno é medida em diversos pontos da reta que une os eléctrodos, transversal à fratura fotogeológica. O ponto da maior passagem da corrente elétrica indica a intersecção da topografia com a fenda aquífera. Do lado do mergulho da mesma, a passagem de corrente diminui gradativamente com o afastamento da fenda, ao passo que do outro lado, onde não convém furar o poço, a passagem de corrente cai rapidamente quase a zero. Principalmente fendas largas de boas fraturas aquíferas produzem no geral indicações nítidas.

Por sua vez, prospeção geofísica executada sem determinação prévia da rede de fraturas fotogeológicas resulta geralmente em completo malôgro. Em 1962 a prefeitura de Jundiaí, em pleno Cristalino, mandou executar prospeção geofísica para água subterrânea em 52 locais da cidade e encomendou perfurações nos 5 mais promissores, resultando tudo em pura perda, pois as medidas geofísicas foram tôdas executadas em lugares onde seria bom se houvesse água, mas não havia, visto que as únicas considerações levadas em conta foram as topográficas e as inerentes às facilidades de adução e de distribuição da água. O custo de cada prospeção geofísica foi equivalente a cêrca e 500 dólares e o de cada perfuração superior a 5 000 dólares. Como de costume em tais casos desfavoráveis, os poços foram de 200 a 250 m de profundidade, ao passo que na própria cidade existe um poço surgente que, com bem menos de 100 m de profundidade, é bombeado a 30 m<sup>3</sup>/h há mais de 25 anos, e há dois poços com 50 m<sup>3</sup>/h.

Êstes dois poços são muito instrutivos, pois estão na planície aluvial do rio Jundiaí, onde nenhuma fratura fotogeológica pode ser vislumbrada, porém exatamente no prolongamento imaginário de duas fraturas retilíneas nitidamente visíveis nos morros encaixantes da várzea. Tudo indica que as fraturas continuam no chão cristalino do fundo da planície aluvial. O estudo fotogeológico da cidade mostrou a existência de treliça nítida de fraturas, com feição e falhas, devido ao fato de serem assimétricos os morros compridos, com as cristas muito mais próximas de um dos vales paralelos, sempre do mesmo lado na região tôda.

## 6 — ANFITEATROS SÃO PONTAS DE FRATURA AQUÍFERA

Finalmente, a nossa prática de reconhecimento de treliças fotogeológicas e seu exame no campo sugere-nos a explicação da origem dos anfiteatros ou circos, os mais conspícuos dos quais se encontram no Cristalino muito acidentado e profusamente fraturado.

Trata-se de caso em que fraturas fotogeológicas, sendo fendas aquíferas com artesianismo natural, terminam abruptamente ou continuam fechadas a partir de certo ponto que é o centro do anfiteatro e sopé da sua encosta mais íngreme.

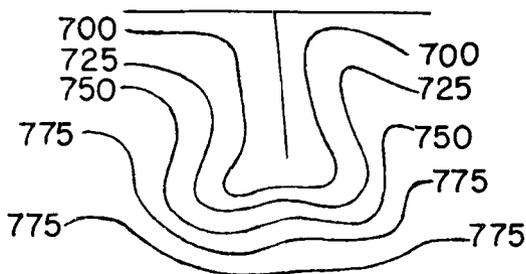


Fig. 6 — Anfiteatro

*“Anfiteatro” causado pelo fato que a fratura fotogeológica que constitui o traço vertical da letra T (fig. 4) é realmente fenda aquífera quase vertical. A pressão hidrostática das fontes surgentes promoveu decomposição intensa das rochas devido à abundância de umidade em plena estiagem, enquanto nas estações chuvosas os detritos têm sido removidos prontamente. Quando a fenda aquífera do traço vertical da letra T possui inclinação nítida em relação à vertical, o anfiteatro torna-se assimétrico, isto é, com o feixe das curvas de nível muito mais denso de um lado que do outro.*

Ainda antes da existência do anfiteatro, as fontes surgentes, estabelecendo micrologia sem estiagem, decompueram profundamente as rochas ao longo da zona retilínea de fratura ou do traço de falha, que é o pé da letra T formada em planta pelo encontro de duas fraturas fotogeológicas (Figura 6), enquanto na estação chuvosa as águas removiam prontamente os detritos.

A maturidade do anfiteatro é atingida quando a cota do pé da letra T se reduz quase ao mesmo nível da sua barra horizontal. Adquire êle então o máximo de altura e de declividade nas suas 3 vertentes. O córrego, no centro do anfiteatro, apesar de possuir bacia hidrográfica ínfima, é de notável vazão, principalmente na época de águas mínimas.

Quando a zona de fratura ou fenda aquífera é vertical, o anfiteatro é simétrico, e quanto mais inclinada, mais assimétrico.

É claro que o eixo longitudinal do anfiteatro é ótimo lugar para poço artesiano. Damos na Fig. 7 um par estereoscópico com o reticulado visível das fraturas fotogeológicas contendo dois anfiteatros, um ao lado do outro, o menor sendo dos mais típicos. Fica êle 1½ km da saída da cidade de Jambreiro pela estrada que vai dar na rodovia asfaltada São José dos Campos — Paraibuna. A região é de gnaisses e mica-xistos. Êstes, em forma de faixas de ¼ a ½ m de largura, de direção ENE, distinguem-se pelo repentino adensamento da rêde de drenagem, fortemente controlada pelas fraturas fotogeológicas.

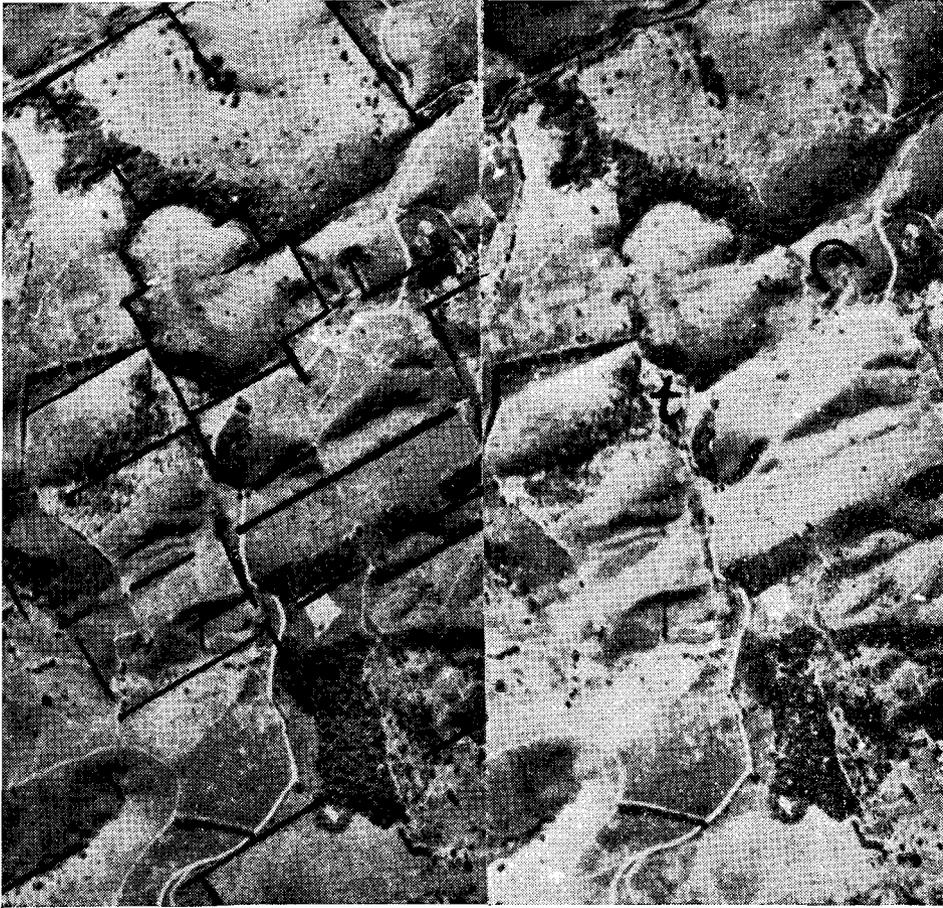


Fig. 7 — Par estereoscópio de pequena área, de apenas 900 m de largura, situada pouco menos de 25 km a NE de Santa Branca (Fig. 1). O canto NE fica apenas a  $\frac{1}{2}$  km da saída da cidade de Jambeiro pela estrada que atravessa toda a fig. para a ligação com a rodovia asfaltada S. José dos Campos — Paraibuna. Esta estrada, depois da volta fechada do canto NE passa pela encosta interna de um anfiteatro voltado para o S, desce para o vale e passa bem, em frente de pequeno anfiteatro típico em forma de ferradura. Com a letra t assinalamos depósito recente de talus (colúvio) que oblitera encontro de fratura de direção NNW com falha de direção ENE e de rejeito horizontal de 25 m. No entanto estas feições inferem-se facilmente graças à extraordinária densidade e paralelismo quase perfeito do reticulado fotogeológico.

## 7 — CONCLUSÕES

A — Devido aos esforços tectônicos, aos quais tem sido submetido, e parece sê-lo ainda hoje, o Cristalino paulista se acha profusamente fraturado. Parece que só as rochas dotadas de apreciável plasticidade possam acomodar-se sem fraturamento. As rochas duras, bem como os sedimentos consolidados ou competentes em geral das bacias sedimentares cenozóicas encaixadas, apresentam nas fotografias aéreas densidade de fraturamento, cujo reticulado bidimensional (em planta) apresenta abertura média de malha entre  $\frac{1}{2}$  e 1 km, conforme a região, havendo casos, como na Fig. 7, de  $\frac{1}{4}$  km como distância média entre duas fraturas paralelas.

B — Essas fraturas tectônicas são nitidamente visíveis nas fotografias aéreas, seja por se terem desenvolvido em falhas com rejeito vertical e horizontal, seja por que as fraturas não são simples, mas realmente zonas retilíneas de fratura (4), cuja largura pode atingir 1 ou mesmo 2 m. Ambos os casos, falha ou zona retilínea de fratura, que chamamos tentativamente retas ou fraturas, fotogeológicas, percebem-se nas fotografias aéreas esboçando reticulado descontínuo de duas direções, quase perpendiculares entre si, e constantes em cada região de uns 5 por 10 km de extensão. No campo, êsses segmentos retilíneos só se percebem depois de tê-los determinado nas fotografias aéreas sob visão estereoscópica.

C — Por ser úmido o clima, com a precipitação anual sobrepujando por larga margem a evapotranspiração total, o excesso de água preenche tôdas as porosidades do sub-solo. Assim as fraturas fotogeológicas, que quase sempre coincidem com fundo de vales, constituem fendas aquíferas, e com artesianismo natural tanto mais forte quanto maior o desnível para com as terras altas encaixantes e a extensão destas. Ao longo destas fendas aquíferas, mesmo situadas em cabeceiras de córregos, o microclima de ausência de estiagem promoveu decomposição mais profunda das rochas do que nas encostas, de clima com estiagem. Na estação chuvosa os detritos eram removidos, resultando em formação de vales profundos sôbre tôdas as fraturas fotogeológicas. Apenas movimentação de blocos falhados pode obturar antigas fendas tectônicas.

D — Estudo fotogeológico das cidades do Cristalino paulista com 8 ou mais poços perfurados, possuindo tôdas elas a mesma situação estatística de apenas 1 poço produtivo em 5, provou que os produtivos (20 a 50 m<sup>3</sup>/h e profundidades de 10 a 150 m) estão junto a fraturas fotogeológicas, ao passo que os improdutivo\* (1 a 8 m<sup>3</sup>/h e profundidades de 180 a 250 m) estão no meio entre elas situação esta de alto de bloco sendo preferida na esperança vã de distribuir a água por gravidade. Além disto, a área útil, de apenas 10 a 30 m de largura ao longo das fendas aquíferas, e de um só lado, o do seu mergulho, é muito menor que a área estéril entre as fraturas fotogeológicas. Com isto o Cristalino é até hoje considerado região “contra-indicada” ou “desaconselhada” para perfuração de poços tubulares, não se sabendo, porém, explicar por que há poços de artesianismo verdadeiro e de alta produção com bombeamento. Realmente o Cristalino paulista é a região de água subterrânea mais certa e abundante se as perfurações fôssem feitas sômente após estudos fotogeológicos prévios.

E — Dado que o estudo fotogeológico só localiza os traços das fraturas, isto é, a reta da sua intersecção com a topografia, de modo que se torna difícil inferir para que lado mergulham os planos das

\* A produtividade de um poço é noção relativa. Poço de 8 m<sup>3</sup>/h é suficiente para muitas indústrias e para abastecimento de vila ou bairro de 200 casas = 1000 hab. No caso trata-se de cidade grande, à qual não convém gastar, com aparelhagem de recalque, linha de adução e construção de reservatório a fim de aproveitar pouca água existente num ponto marginal. Afinal, a melhor definição de poço improdutivo: apesar de ter atingido a profundidade desejada, não foi aproveitado por insuficiência de vazão.

fendas aquíferas, sugere o A preceder cada furo por prospeção geofísica. Parece que em cada região tôdas as fraturas da mesma direção mergulham para o mesmo lado, mas o desvio da vertical pode variar, geralmente entre 5 e 10°. Acertado, porém, um poço em fenda aquífera, outros poços podem ser situados do mesmo lado a distâncias de apenas 100 m sem causar interferência, ao passo que geralmente é admitida para isto distância de 20 m no Estado (caso de arenito aquífero de possança modesta). As prospeções geofísicas por si só, em estudo foto-geológico prévio, podem representar grandes despesas inúteis, pois em planta as zonas retilíneas de fratura constituem área dezenas de vêzes menor que as existentes entre as fraturas.

F — Finalmente, as fraturas fotogeológicas permitem explicar a origem dos pequenos vales profundos em forma de ferradura, chamados “anfiteatros”, cujas encostas internas são no geral extremamente íngremes. A suposição mais comumente aceita, de ter havido ali massas calcárias inteiramente dissolvidas, não possui apoio algum de ordem litológica. Trata-se de pontas de fenda aquíferas ou de zona de fratura retilínea que terminam no fundo da ferradura. Devido à decomposição intensa das rochas e remoção pronta dos detritos, a maturidade é atingida quando a ponta da fenda aquífera fica com a cota reduzida ao nível geral de erosão, quando então o anfiteatro adquire a maior profundidade e declividade as suas encostas. Apesar de sua minúscula bacia hidrográfica, o córrego do anfiteatro apresenta notável vazão, sem qualquer diminuição na estiagem, sendo ótimo local para poço artesiano.

#### BIBLIOGRAFIA

1. BJORNBERG, A. J. S., N. GANDOLFI e A. B. PARAGUAÇU. Novas observações sobre a tectônica moderna do leste do Est. de S. Paulo Eng.<sup>a</sup> Miner. e Metalurg. 41 (244): 137-140, 2 tabs. 3 fotos, 2 diags. Rio, abril de 1965.
2. BOYER, R. E. e J. E. McQUEEN. Comparison of mapped rock fractures and airphoto linear features. Photogrametric Engineering, 30: 630-635, 1964.
3. BROWN, C. W. Comparison of joints, faults and airphoto linears. Amer. Assoc. Petrol. Geologists Bull. 45: 1888-92, 1961.
4. LATTMAN, LAURENCE H. e R. H. MATZKE. Geological significance of fracture traces. Photogramm. Engin. 27: 435-438, 1961.
5. LATTMAN, e R. R. PARIZEK. Relationship between fracture traces and the occurrence of ground water in carbonate rocks. Journ. of Hydrology, 2: 73-91, 2 tabs. e 6 figs., 1964.
6. MELTON, FRANK A. Aerial photographs and structural geomorphology. Journ. of Geology, 67: 351-370, 19 figs. 1 tab. e 1 foto-índice., 1959.
7. SETZER, JOSÉ. Contribuição para o Estudo do Clima do Est. de S. Paulo. In-4.º c/230 tabs. 88 diags. e 23 mapas DER, S. Paulo, 1946.
8. SETZER, JOSÉ. Aspectos hidrológicos do Est. de S. Paulo. Plano de Eletrificação do Est. de S. Paulo, 7: 323-443, 24 tabs., 13 mapas e 7 figs. DAEE, S. Paulo, 1956.
9. SETZER, JOSÉ. Identificação de sills de diabásio decompostos. Bol. Soc. Bras. Geologia, 9: 63-70, 2 figs., 1960.
10. SETZER, JOSÉ. Fraturas observadas em fotografias aéreas e sua significação hidrogeológica. Bol. Soc. Bras. Geologia, 13: 55-60, 1964.

## SUMMARY

Because of the absence of coarse — grained sandstone, crystalline is the geological unity in which the perforation of tubular wells it is not recommended for the captation of the subterranean water. Nevertheless the geological studies based in the photography of the A. they show that the crystalline of S. Paulo is very broken and many of that ruptures are aquiferous splits due to the climate with an annual precipitation larger than the evaporation and transpiration.

In the aerials photographs the ruptures they form a discontinuous latticework of parallels segments of two direction persistent in each region of  $5 \times 10$  km of extension that seems to have been submitted to decisives tectonics efforts, which, so old as they are, seem to perdure up till now. Suppose the A. that the major part of those straight line, that don't be cut in X and, when they meet, both, they make it in forms of T or Z, in this case near to the symbol denoting the horizontal the reject of the fault, being therefore faults or straight lines zones of breaking of tectonical origin.

Because they are only visible by the aerials photographs, that is due to the possibility of to examine at the same time severals valleys, to compare its different slopes and to discard from the hydrogeological point of view that which are not rectilineals and not pertaining to the regional discontinuous reticulate called A. this straight lines of "photogeological faults". In the profundity, however the tridimensional reticulate of stepfaults and faults it seems to have a notable continuity, that serves as explanation of the true artesianism and of the high flow under the shelling presented by some tubulars wells.

The determination of the photogeological latticework of the 13 cities of the paulist crystalline where was perforated 8 wells, with the average of 1 productive in 5, had showed that all the productive wells (20 to 100 m<sup>3</sup>/h) they are near the photogeological faults, and the unproductives (0,1 to 8 m<sup>3</sup>/h) are placed far of the faults. They are generally twice more deeps, because the perforation continues till the capacity of the sounding lead (200 to 250 m) trying to save the unfruitful charge, until that in the case of to hit aquiferous fissures, it is enough to surpass only a few meters. In this case the discharge is much larger, than much deep is the valley in the region and how much bigger is the proximity and the extension of the high lands, in which we can see the photogeological faults of the same latticework, placed sometimes even at the headwaters of the streamlets.

Because of its inclination almost the whole aquiferous faults, makes generally an angle of 5 to 10° with the vertical, and it is difficult to infer for what the side they submerge (it seems to prevail the dip in the direction of the hillside smaller), suggests the A. a geophysics prospects before the choice of the place for the hole, but after the photogeological study. Without that study, the geophysics prospects become inoperatives, principally due to the tendency to choice the upper of the mounts, therefore away from the photogeological faults, in the hope of to distribute the water by gravity. It seems to have a tendency that all the parallels faults of the same latticework to plunge in same direction.

The opening medium of the mesh of the discontinuous reticulation, major than  $\frac{1}{2}$  km in the Crystalline, it grows in the cenozoics basins incased till the maximum of order 5 km between Pindamonhangaba and Taubaté, where the denseness of the sediments reaches 250 m. Only in the floodable plain disappears there any signal of fracture of the soil crystalline. But at Jundiaí there exists a cultivated plain that have about 1 km of extension wich have two wells very productives placed near to the imaginaries prolongations of the photogeological faults that we can see clearly between the incasing mounts.

The fact of the photogeological faults been frequently aquiferous fissures explains the origin of the deep valleys in form of horseshoe, called "amphitheatres". The explanation by the dissolution of the limestone mass it don't have a sustenance of lithological order.

An important aquiferous fault it finishes abruptly in the middle of the amphitheatre. Microclimate without dryness would make a more intense decomposition of the rocks, whose detritus was removed in the rainy season. The amphitheatre's streamlet, in spite of its small hydrographical basin, presents a notable discharge without any diminution in the dryness.

Versão: LÉDA CHAGAS FERREIRA RIBEIRO

## RÉSUMÉ

Le cristallin, n'ayant pas de grès aquifère, est une unité géologique dans laquelle il n'est pas recommandable de faire des perforations de puits tubulaires pour capter l'eau souterraine. Cependant les études fotogéologiques de l'auteur indiquent, en compensation, que le cristallin de São Paulo se trouve profusément fracturé et que beaucoup de ces fractures sont des fentes aquifères dues au climat dont les précipitations annuelles sont bien plus importantes que l'évapotranspiration.

Les photographies aériennes révèlent, dans les diverses régions, un réseau discontinu de segments parallèles de deux directions constantes d'environ  $5 \times 10$  kilomètres d'extension qui doit avoir été soumis à certains efforts tectoniques, lesquels malgré leur ancienneté, semblent persister jusqu'à nos jours. L'auteur croit que la plus part de ces segments, qui ne se coupent pas en X mais qui en se rencontrant forment plutôt de horizontal de la faille — soient des failles ou des zones rectilignes d'origine tectonique.

Les lignes droites ne sont visibles que dans les photographies aériennes parce que celles-ci permettent d'examiner en même temps plusieurs vallées, de comparer leur côté différentes, d'écarter du point de vue hydrogéologique celles qui ne sont pas rectilignes et qui n'appartiennent pas au réseau discontinu régional; pour cette raison l'auteur les appelle "fractures photogéologiques". En profondeur, cependant, le réseau de trois dimensions de fractures et de failles semble posséder une extraordinaire continuité, qui explique peut-être l'artésianisme vrai et le grand écoulement sous bombement de quelques uns des puits tubulaires.

La détermination du réseau photogéologique des 13 villes du cristallin de São Paulo dans lequel ont été déjà percés au moins 8 puits, avec la moyenne de 1 productif en 5, a démontré que tous les puits productifs (20 à 100 m<sup>3</sup>/h) se trouvent près de fractures photogéologiques et les improductifs (0,1 à 8 m<sup>3</sup>/h) éloignés d'elles. Ces derniers sont généralement deux fois plus profonds, puisque la perforation se poursuit aussi loin que la capacité de la sonde (200 à 250 m) le permet; on tente de cette manière de sauver la dépense. Au contraire quand on a la chance d'atteindre la fente aquifère, il suffit seulement de l'outrepasser de

quelques mètres. Dans ce dernier cas l'écoulement est d'autant plus important que la vallée régionale est plus profonde et la proximité et l'extension des terres élevées plus grande. Dans ces terres élevées on peut observer des fractures photogéologiques du même réseau, logées parfois même à la naissance des petits fleuves.

Comme presque toutes les fentes aquifères sont inclinées, formant un angle de 5 à 10° avec la verticale et étant difficile d'inferer de quel côté elles plongent (il paraît que le plongeon prédominant se vérifie dans la direction de la côte la moins escarpée), l'auteur conseille qu'on fasse une prospection géophysique avant de choisir le local qui devra être percé, mais il trouve qu'une étude photogéologique préalable est indispensable. Cette étude n'ayant pas été faite, des prospections géophysiques se sont révélées inopérantes, surtout à cause de la tendance à préférer les parties élevées des collines, pourtant loin des fractures photogéologiques, dans l'espérance chimérique de distribuer l'eau par gravité. Il semble que toutes les fractures parallèles ont tendance à plonger dans une même direction.

L'ouverture moyenne de la maille du réseau discontinu qui possède un peu plus de 1/2 kilomètre dans le cristallin, augment dans les bassins cenozoïques emboîtés arrivant jusqu'au maximum de l'ordre de 5 kilomètres entre Pindamonhangaba et Taubaté, ou l'épaisseur des sédiments atteint 250 m. Seulement dans les plaines inondables on ne trouve pas de signes des fractures du cristallin. Mais à Jundiá dans la plaine alluviale d'un kilomètre de largeur il y a deux puits hautement productifs situés près des prolongements imaginaires de fractures photogéologiques qu'on peut observer nettement entre les collines emboîtées.

Le fait que les fractures photogéologiques soient fréquemment des fentes aquifères explique l'origine des vallées profondes en forme de fer à cheval, appelées "amphithéâtres". L'explication par dissolution de masses calcaires ne peut s'appuyer sur l'ordre lithologique. Une fente aquifère importante termine abruptement au centre de l'amphithéâtre. Microclimat sans sécheresse aurait occasionné la décomposition plus intense des roches dont les détritiques furent déplacés pendant la saison des pluies. Le petit fleuve de l'amphithéâtre, malgré son bassin hydrographique minuscule, présente un grand écoulement pendant la saison sèche.

Versão: OLGA BUARQUE DE LIMA