

Desvios de furos: origem, controle, análise instrumental e recomendações práticas

Geól. Carlos Gilberto Fraga

ABSTRACT

The difficulties in controlling and regulating the industrialization of large cities and the indiscriminate use of fertilizers and pesticides in agriculture are the major factors in the increasing degradation of the surface water resources of southern Brazil. Therefore deep groundwater aquifers have become an alternative solution. The "Botucatu aquifer system" is being increasingly explored because of its favourable hydrogeology and deep wells that reach this aquifer are now able to supply the needs of many cities. However, problems in well drilling and completion, notably in the Paraná Basin, have focused the attention of drilling companies to the technical details of economical and rapid drilling.

Some of the more interior wells of the Paraná Basin are deeper than 1,500 m (4,500 feet). In order to explore the "Botucatu aquifer system", it is necessary to drill through basalt flows with a notable physical heterogeneity originated by its petro-structural characteristics and weathering action. Deflections of the drill are very common during drilling, which if not detected and corrected in time may make it difficult to complete the well or even may result in the loss of the drill.

In this paper, the author wishes to address some of the following subjects. A general analysis is made of the origin and fundamentals of drill deflections, an analysis of instrument and practical recommendations to avoid drill inclination and deflection. The specifications and recommendations discussed here should be of help to drilling companies to develop more economical and rapid drilling programs.

INTRODUÇÃO

A dificuldade em disciplinar a industrialização dos grandes centros econômicos e o uso indiscriminado de fertilizantes e pesticidas nas áreas agrícolas, são os principais fatores da crescente degradação da qualidade dos recursos hídricos superficiais nas regiões do Sul do país. Diante deste contexto, a fonte-alternativa água subterrânea profunda adquiriu um novo significado. Mais especificamente, a exploração do "sistema aquífero Botucatu*" vem sendo cada vez mais solicitado, face o seu potencial hidrogeológico permitir através da perfuração de poços de grande profundidade, se obter vazões capazes de suprir a demanda d'água de grande parte das áreas em apreço.

Por outro lado, notabiliza-se que com a exploração da água subterrânea profunda na Bacia do Paraná, tanto os processos de perfuração como os programas de completação dos poços vêm exigindo mais atenção das companhias perfuradoras, tanto que as atualizações sucessivas dos mesmos são indispensáveis para que perfurações mais rápidas e econômicas sejam alcançadas.

As profundidades dos poços em algumas regiões interiorizadas da Bacia do Paraná têm sido superior a 1500 metros. A acessibilidade ao "sistema aquífero Botucatu" nestas condições está condicionada ao seccionamento dos derrames basálticos, sobrepostos, cujas características petro-estruturais e os efeitos sobre estes da ação do intemperismo lhes configuram um meio de notável heterogeneidade física. Os desvios de furos, são por isso muito frequentes e quando não detectados e corrigidos no devido tempo, podem comprometer a fase completativa dos poços, ou mesmo conduzir a inutilização do furo. Assim, o autor achou oportuna a apresentação deste trabalho. A análise geral, sucinta, da origem e fundamentos dos desvios de furos; a introdução também de um conjunto

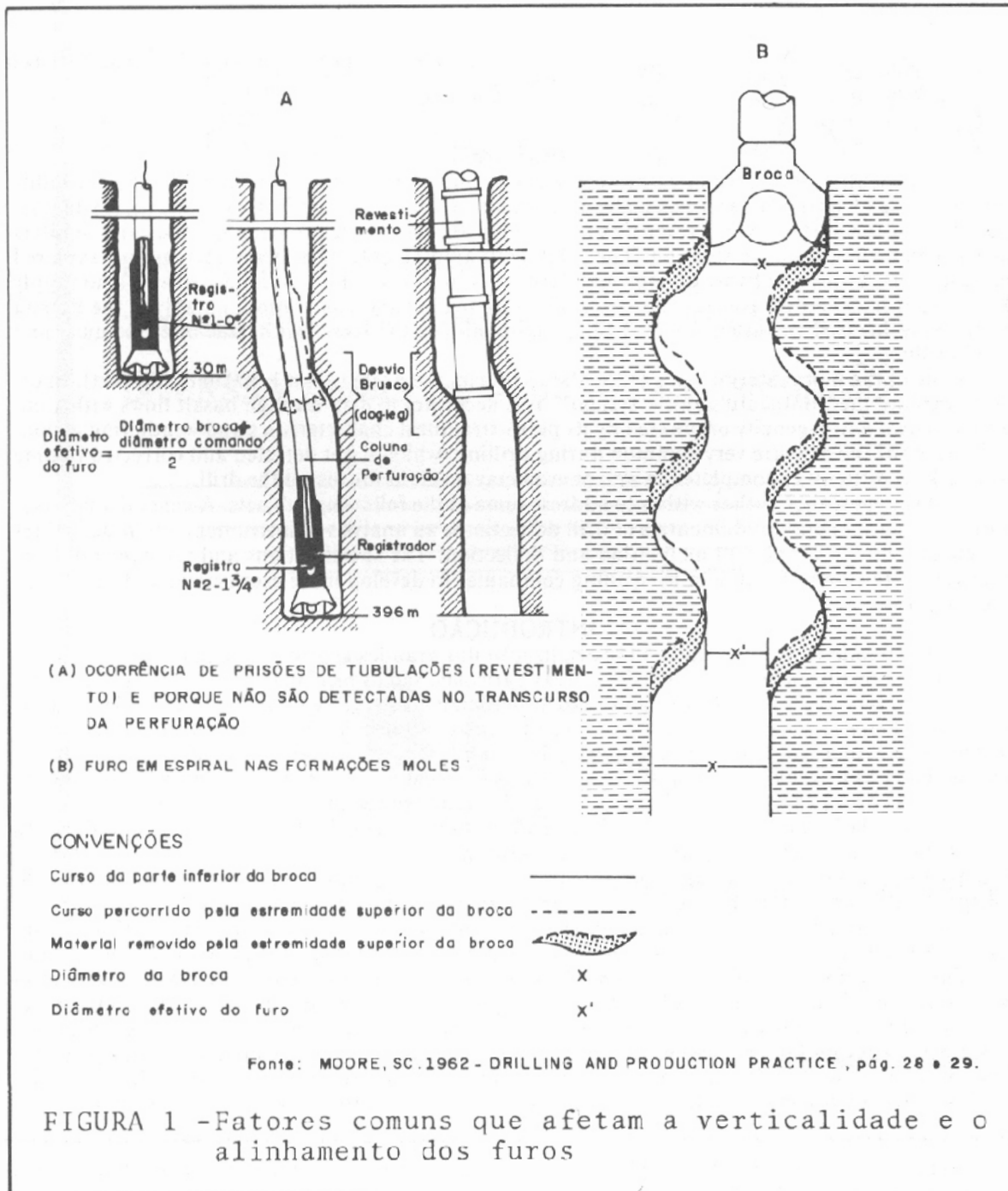
* Estratigraficamente, agrange a Fm. Botucatu; topo do sistema e as Fms. Pirambóia e/ou Santa Maria — base dos sistema.

de especificações, uma análise de controle instrumental e recomendações de ordem prática no combate da inclinação e desvio de furos, certamente além de facilitar o desenvolvimento dos programas de trabalho das companhias perfuradoras, invariavelmente recompensarão pela economia do tempo gasto na retificação dos furos e à aplicação desnecessária de recursos adicionais.

ORIGEM — FUNDAMENTOS

Apesar do tempo gasto no esforço de evitar a inclinação e o desvio dos poços, as condições petro-estruturais das formações seccionadas não permitem de um modo geral que a perfuração dos mesmos a qualquer profundidade venha a ficar perfeitamente retilínea ou alinhada. Entretanto, determinados critérios devem ser estabelecidos para que se possam manter os desvios dentro dos limites toleráveis: Neste sentido, as condições essenciais para a completação dos furos e exploração adequada dos poços referem-se à verticalidade e alinhamento. Dentre as duas condições exigidas, o alinhamento da perfuração é o mais importante, porque permite obter informações seguras para a instalação do equipamento de produção. Contudo, desvios exagerados da verticalidade afetam a operação e a vida útil do equipamento de produção.

Há evidências de um número considerável de fatores de ordem geológica c/ou operacional que influenciam a inclinação e o desvio dos furos. O tratamento detalhado desses fatores é motivo de es-



tudos especializados na área de engenharia de perfuração; por isso não será abordado neste trabalho, que se limitará a citar os mais comuns e a apresentar algumas recomendações de ordem prática no combate e controle da inclinação e desvio dos furos.

Os fatores mais comuns que afetam a verticalidade e o alinhamento dos furos são:

De Ordem Geológica

— O seccionamento de formações estratificadas, onde ocorrem mudanças significativas na litologia, produz alteração no centro de rotação da broca. Observa-se que a broca e os comandos instabilizados tendem a deslocar-se em função do grau de inclinação das camadas, perpendicular ou paralelamente aos planos das mesmas. Normalmente, o desvio da vertical aumenta com o mergulho das camadas que estão sendo perfuradas. O efeito é de um impulso lateral à extremidade basal da coluna de perfuração, ocorrendo, tão logo seja seccionada a camada mais resistente, um alívio deste impulso, tendendo a coluna de perfuração a retornar às condições iniciais de equilíbrio. (Figura 1A).

— A alternância de dureza das litologias seccionadas facilita, também, a formação de saliências que são projetadas para dentro do furo. Conseqüentemente, embora o diâmetro de qualquer seção transversal seja pelo menos igual ao diâmetro da broca, o diâmetro efetivo no intervalo correspondente ao desvio brusco é menor. Como resultado obtém-se um furo subdimensionado, muitas vezes só detectável quando da execução do teste de alinhamento do furo. (Figura 1A e 1B).

— A perfuração de poços pelos métodos convencionais — a percussão ou rotativo — em áreas cujos mantos de alteração são espessos, coluviais ou não, com estruturas de esfoliação esferoidal de subsuperfície que originam os matacões, são causas freqüentes de desvios dos furos.

De Ordem Operacional

— O comportamento da coluna de perfuração desempenha papel importante no desvio dos furos. Uma coluna não balanceada, isto é, onde não há uma perfeita proporcionalidade entre os tubos de perfuração, os comandos e o diâmetro da broca, produzirá furos excessivamente tortuosos, mesmo em formações isotrópicas.

— A aplicação de peso superior ao peso total dos comandos desloca a linha neutra (superfície geométrica que delimita as zonas de compressão e tração da coluna), passando a atuar esta junto aos tubos de perfuração que não são construídos para resistir aos esforços de compressão. O resultado é uma flexão dos tubos em complicada curva espiral, originando fadiga da coluna e concorrendo para o desvio das perfurações.

— Nos poços perfurados pelo método a percussão, a utilização de tubos de cravação defeituosos, isto é, desalinhados ou com conexões rosqueáveis não coincidentes com as linhas de centro dos tubos, concorre também para o desalinhamento dos furos.

— Como o valor do ângulo de inclinação do furo depende dos fatores peso sobre a broca, diâmetro dos comandos e diâmetro do furo; as alterações na velocidade de penetração — aumento do peso sobre a broca sem a devida compensação da redução da velocidade da mesa rotativa provocará mudanças na inclinação do furo.

— Por fim, podem ser agrupados os efeitos das obstruções da broca ou da parte inferior da coluna de perfuração, provenientes de uma circulação em vazão inadequada do fluído de perfuração; utilização de brocas impróprias e/ou excessivamente gastas; e aplicação de peso insuficiente sobre a broca.

CONTROLE — ANÁLISE INSTRUMENTAL

Especificações Adotadas

As especificações que serão adotadas para o controle da verticalidade e alinhamento dos furos são as seguintes:

Verticalidade

A perfuração não deverá desviar-se da verticalidade em cada trecho de trinta metros, de uma distância igual ou superior a dois terços do menor diâmetro em exame. Para a realização do ensaio, deverá ser fabricado um prumo com diâmetro externo 12,7 milímetros (1/2") menor do que o diâmetro interno do tubo de revestimento e comprimento variando de duas a três vezes o diâmetro do furo a ser testado. (Figura 2B.)

Alinhamento

Na execução do teste de alinhamento, utilizar-se-á um gabarito de 12 metros de comprimento, contendo três anéis de 30 ou 40 centímetros de altura, colocando-se dois deles nas extremidades e o terceiro no meio do gabarito. O diâmetro externo dos anéis não deve ser menor que 12,7 milímetros (1/2") do diâmetro do furo a ser testado (figura 2A). Durante o teste, o gabarito deverá descer livremente, sem interrupção, ao longo do trecho que está sendo examinado.

Procedimento de Execução

No procedimento da execução dos testes de verticalidade e alinhamento, recomenda-se:

— realizar os ensaios pelo método descrito por Johnson (1966). O método consiste em calcular o desvio ocorrido a uma determinada profundidade, através dos afastamentos do cabo de aço de uma altura conhecida, em relação aos eixos ortogonais, fixados na extremidade superior do revestimento do poço.

Por semelhança de triângulos obtém-se a seguinte relação:

$$\frac{h}{n} = \frac{p}{d}$$

onde o desvio (d), na profundidade (p), será $d = n/h.p$, sendo (n) as medidas de desvio do cabo de aço, obtidas a cada uma das etapas do ensaio. Verifica-se, então, que o afastamento do poço a uma profundidade qualquer é fornecido pelo produto do desvio do cabo pelo seu comprimento total, dividido pela distância entre a polia e a extremidade superior do revestimento;

— passar pelo eixo vertical do prumo um cabo de aço de 3.2 milímetros (1/8") e prendê-lo firmemente;

— na suspensão do cabo de aço utilizar um tripé com sarrilho ou a própria torre da sonda perfuratriz, conforme é representado na figura 2A. Este dispositivo de suspensão deve ser armado de forma que a distância vertical do centro da pequena polia até a extremidade superior do revestimento de superfície seja exatamente de 3 metros;

— que o restante do cabo seja envolvido em tambor apropriado, passando antes por uma guia fixa com base regulável, permitindo ajustar a posição lateralmente ou para frente ou para trás;

— que antes de descer o prumo no furo o seu eixo coincida com o eixo do furo, o que pode ser feito através da roldana;

— executar os testes em etapas que permitam o registro do afastamento do cabo a cada 3 metros. As leituras deverão ser feitas considerando o cabo na mesma posição relativa adotada inicialmente em relação aos eixos ortogonais;

— que as medidas — se necessário — sejam efetuadas com auxílio de um disco transparente, como o representado na figura 2C. Os círculos concêntricos permitem centrar rigorosamente o desvio na extremidade do tubo de revestimento e, à medida que as etapas do teste vão se sucedendo, a fenda do disco pode ser orientada na direção do afastamento do cabo;

— observar durante o ensaio se o cabo não encosta na parede do furo. Em caso contrário, é necessário deslocar o ponto de suspensão de forma que o cabo deixe de tocar na parede do furo. Neste caso, para facilitar os cálculos, é conveniente que o deslocamento do cabo seja feito paralelamente à direção de um dos eixos ortogonais adotados na boca do furo;

— nas situações em que o cabo encostar na parede do furo à profundidade abaixo do nível estático — o que pode ser suscitado quando as leituras na boca do furo permanecerem constantes à medida que o prumo é deslocado —, é necessário que a eliminação da dúvida seja feita através das interpretações gráfica ou analítica;

— organizar o registro das leituras e o cálculo dos desvios em tabela com os seguintes dados: altura do ponto de suspensão; profundidade do prumo; relação entre a altura do ponto de suspensão e a extremidade superior do furo (h), com a profundidade do prumo a partir da extremidade (p). $(h + p/h)$; afastamento do cabo na boca do furo em relação aos eixos ortogonais; deslocamento, se houver, do ponto de suspensão em relação aos eixos ortogonais; diferença entre os desvios projetados; e desvio verdadeiro;*

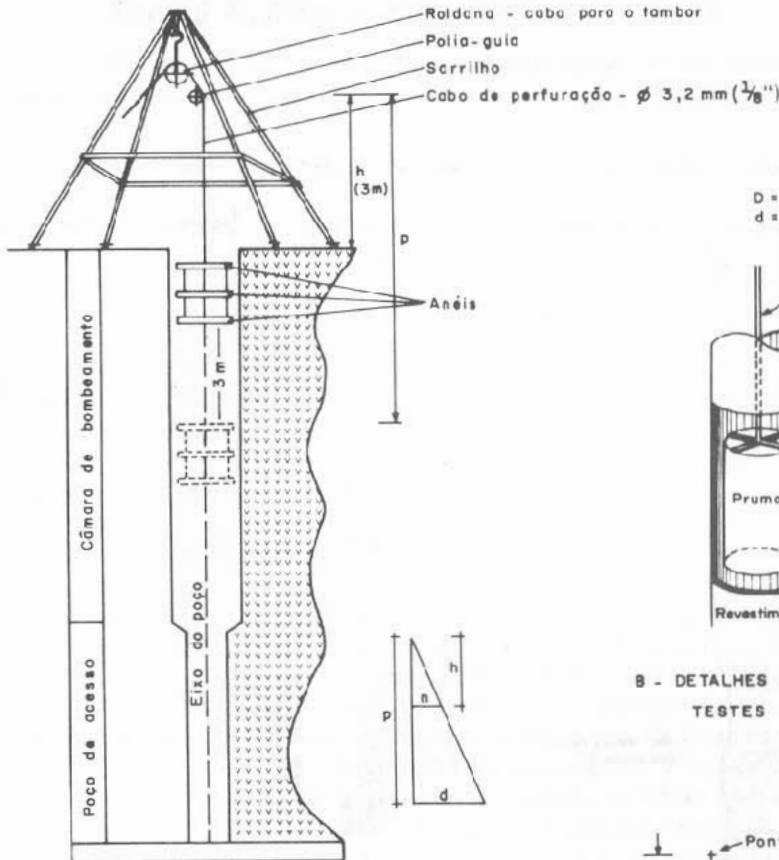
— traçar o perfil do furo sempre que verificações mais rigorosas forem exigidas. Uma representação gráfica satisfatória das condições do furo poderá ser obtida, adotando-se para a escala horizontal a razão de 1:10 e para a vertical 1:100;

— construir um gráfico demonstrativo do cálculo dos registros das medidas de desvio em função da profundidade (figura 2D). Esse mesmo gráfico poderá ser utilizado para verificar se o gabarito especificado para o teste de alinhamento passará pelo diâmetro do furo onde ocorrerem desvios bruscos ("dog leg"). Se qualquer afastamento, medido no gráfico, for superior a metade da diferença entre o diâmetro do furo e o diâmetro do gabarito, este não passará no intervalo correspondente.

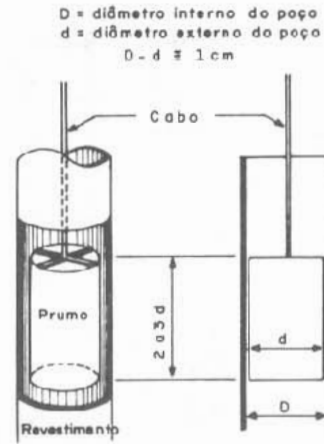
Na execução dos projetos especiais (figura 3), o controle da verticalidade e alinhamento dos furos se restringe ao uso de aparelhos baseados no princípio do pêndulo. O aparelho mais largamente utilizado é denominado "TOTCO", fabricado pela "Technical Oil Tool Corporation". Este instrumento consta de um pêndulo contendo uma agulha na extremidade, que é acionada por um mecanismo de relógio. Os registros são efetuados em papel graduado, tomando-se as medidas, normalmente, a cada 50 metros. O aparelho é descido em queda livre ou conectado à extremidade de um fio de aço adequado, dentro da coluna de perfuração, com o mecanismo de relógio orientado para disparar, cronometrando-se o tempo necessário. Após o registro ter sido efetuado, o dispositivo é retirado e a leitura da inclinação é facilmente observada em papel graduado.

Nos casos em que se deseja obter informações mais precisas das condições de verticalidade e alinhamento das perfurações, utilizam-se aparelhos constituídos de clinômetro e bússula, que permanecem em posição horizontal quando em operação. Um mecanismo de relojoaria bloqueia por

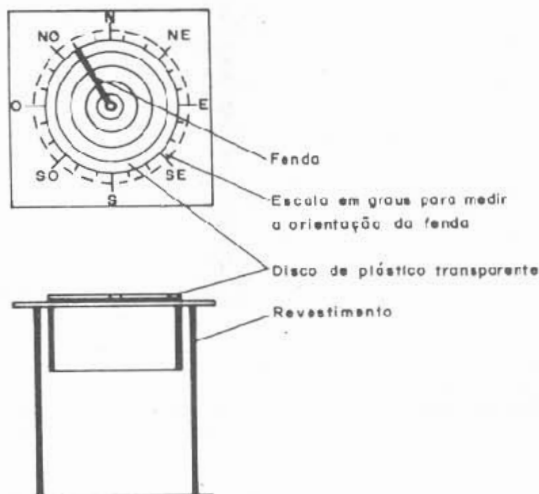
* Um estudo mais completo sobre o assunto é apresentado no capítulo IV do livro "Poços profundos; manual técnico", de autoria de YASSUDA, E.R., NOGAMI, P.S. e MONTRIGAUD, R. (1965), no qual se basearam alguns tópicos deste trabalho.



A - MONTAGEM DOS DISPOSITIVOS PARA OS TESTES DE ALINHAMENTO E VERTICALIDADE DE POÇOS



B - DETALHES CONSTRUTIVOS DO PRUMO TESTES DE VERTICALIDADE



C - DETALHES CONSTRUTIVOS DO DISCO DE PLÁSTICO TRANSPARENTE

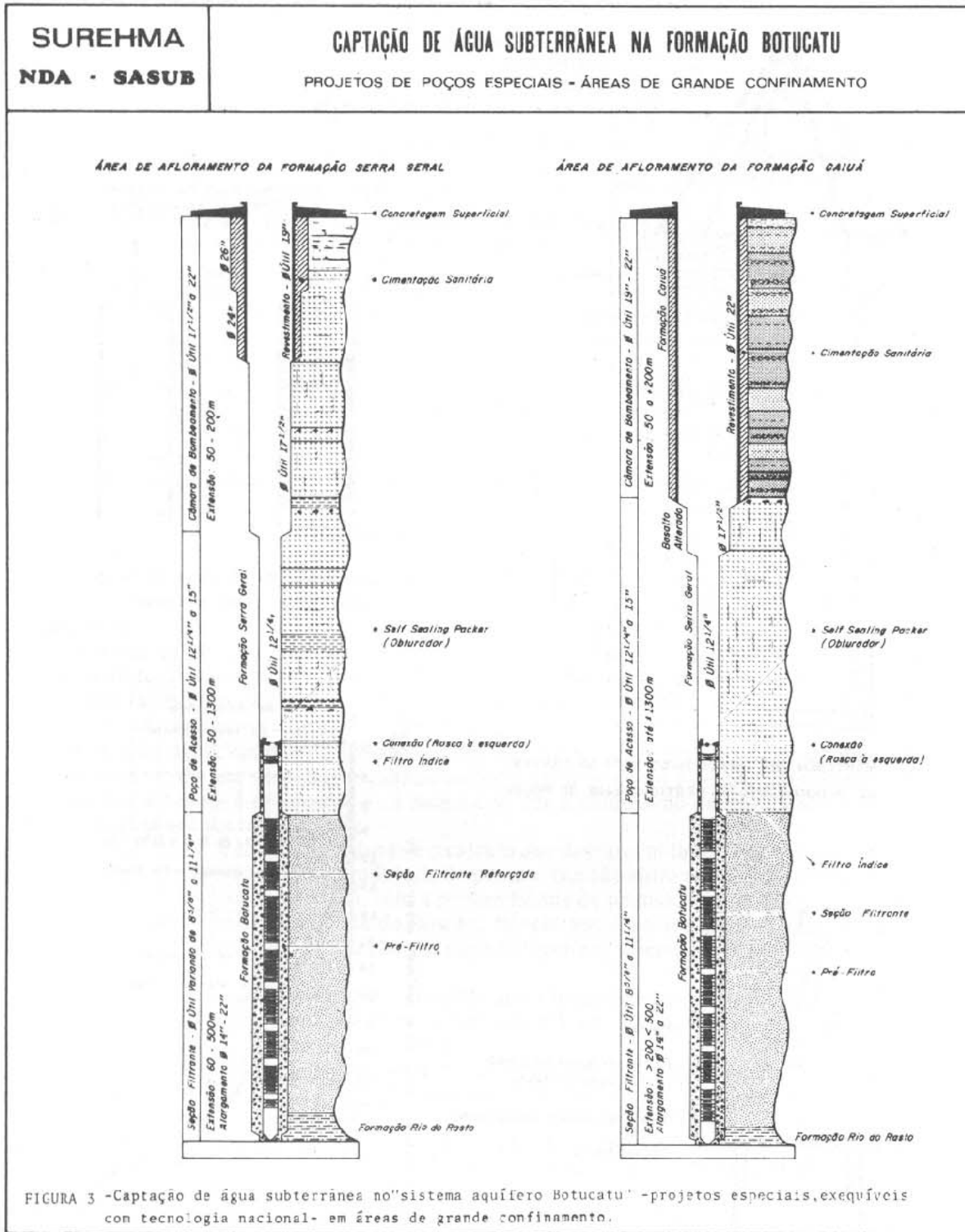


D - GRÁFICO DAS MEDIDAS DE DESVIO TESTE DE VERTICALIDADE

FORNTE: -JOHNSON, E.E. 1969. Água subterrânea e poços tubulares, pg. 214-16.

-CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. 1976. Hidrologia subterrânea, tomo II, pg. 1718-19.

FIGURA 2 - Teste de verticalidade e alinhamento dos furos.



determinado espaço de tempo a bússula e o clinômetro no ponto de medida da perfuração. Para obter a direção no ponto de medida do furo, basta ler a inclinação e o azimute da direção em que se deu o desvio.

Este método, entretanto, requer o emprego, na seção de alojamento do aparelho, de comandos não magnéticos, fabricados com liga especial, para evitar influências do ferramental sobre a bússula — ou mesmo da própria formação — na leitura do registro a ser obtido.

RECOMENDAÇÕES DE ORDEM PRÁTICA

Quando existem indícios ou há suspeita de se iniciar um desvio do furo, deve-se tratar imediatamente de sua correção. As medidas corretivas obtidas a partir de um serviço de registro direcional do furo, executado sem interrupções, invariavelmente recompensarão pela economia de tempo gasto na retificação do furo e pela aplicação desnecessária de recursos adicionais.

Na perfuração principalmente de poços de grande profundidade — esquematizados na figura 3 — é necessária a elaboração de um programa de avaliação das condições de verticalidade e alinhamento dos furos. As exigências sugerem, como medidas de ordem prática, os seguintes critérios operacionais:

— controlar a cada cinquenta metros o curso da perfuração, através de um registro contínuo de direção;

— estabelecer um gradiente de inclinação compatível com a profundidade final do furo, frente ao tipo do programa de completação do poço. Normalmente, admite-se o gradiente máximo de 1°30'/100m como o tolerado para assegurar uma perfeita instalação das colunas de revestimento consideradas nos programas de completação de poços (figura 3);

— ponderar o uso de comandos superdimensionados quando a verticalidade rigorosa do furo se constitui numa exigência para o desenvolvimento normal da instalação de colunas de revestimento com diâmetros que restringem muito o espaço anular. Neste caso, a regra nem sempre é aplicável, porque nas operações de pescaria dos comandos superdimensionados as probabilidades de êxito são menores. Contudo, admite-se como regra prática que a seção de comandos próxima à broca contenha um ou mais membros com diâmetro igual ao da coluna de revestimento a ser instalada. A deviação desta coluna rígida faz com que a mesma funcione como estabilizador, limitando o desvio dos furos ao grau desejável;

— observar constantemente através do cabo, na perfuração pelo método a percussão, se o trépano gira livremente. Quando não se produz este giro é indício de se estar iniciando um desvio do furo;

— verificar em conjunto se as relações entre o aumento de ângulo, peso sobre a broca, tamanho dos comandos, folga dos estabilizadores e condições de manuseio da coluna, hidráulica e controle do fluido de perfuração estão ajustados para perfurar à altas taxas de penetração;

— manter sempre que possível nas alterações da composição da coluna de perfuração e/ou do diâmetro do poço a constância do espaço anular. O acréscimo de folga facilita sempre a deflexão da coluna de perfuração que aumenta o ângulo entre o eixo da broca e a verticalidade do furo;

— aumentar a estabilização da coluna na perfuração de áreas com tectonismo marcante e/ou no seccionamento de formações com alternância de dureza das litologias. O efeito do peso sob boas condições de estabilização da coluna aumenta o desempenho da broca, face à aplicação uniforme da carga sob os cones da mesma;

— posicionar em furos irregulares estabilizadores nos pontos de tangência da coluna de perfuração. Os efeitos destes, independentemente da influência do mergulho das camadas, dão à coluna a rigidez necessária para operar sob condições de compressão, sem flexão. Assim, para uma certa inclinação do furo, o uso de estabilizadores simples, corretamente posicionados, permite aumentar o peso sobre broca, sem produzir desvios no mesmo.

Por fim, uma vez se tenha caracterizado devidamente que a inclinação do furo não é prejudicial ao programa de completação do poço, ainda mesmo quando possa apresentar magnitude considerável, a solução do problema depende em parte de ponderar os fatores que irão interferir no avanço da perfuração, frente aos custos operacionais, sem contudo comprometer o desenvolvimento normal da fase completativa dos poços.

BIBLIOGRAFIA

- AWWA. Norma para poços profundos. In: Separata da Revista D.A.E. (52): 78-108, 1964.
- CRAY MC, A.W. & COLE, F.W. Oil well drilling technology. University of Oklahoma Press, Norman, Okla., 1959.
- CUSTODIO, E & LLAMAS, M.R. Hidrología subterránea. Ediciones Omega, S.A. Casanova, 220 — Barcelona — 11. Tomo II. 1978.
- FRAGA, C.G. Captação de águas subterrâneas; Sistemática aplicada na perfuração, completação e operação de poços. Publicação do governo do Estado do Paraná. SUREHMA — Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente, 1980. 149 p. (no prelo).
- GATLIN, C. Drilling and well completions. Petroleum Engineering.
- JOHNSON, E.E. Água subterrânea e poços tubulares. Paraná, Organização Pan-Americana da Saúde — Universidade Federal do Paraná, 1969. 392 p.
- SILVA, M. L. Retificando e revestindo poço mu-1-ma. Bol. téc. PETROBRÁS, RJ, 10 (3/4): 453-82. jul./dez. 1967.
- YASSUDA, E.R.; NOGAMI, P.S.; MONDRIGAUD, R. Poços profundos — manual técnico; subsídios para a aplicação de normas. USP — Faculdade de Higiene e Saúde Pública, SP, 1965.
- ZEIDNER, N.A. Desvio de furo e tempo de exposição; seus efeitos na completação e na produção. Bol. téc. PETROBRÁS, RJ, 10 (3/4): 431-52, jul./dez. 1967.
- MOORE, P.L. & COLE, F.W. Drilling and production practice. The Petroleum Publishing Co., Tulsa, Okla. 1962.