

PERFURAÇÃO DE POÇOS DE GRANDE PORTE (>400 m)

Julio Cesar Arantes Perroni¹

RESUMO

O presente trabalho trata dos poços tubulares de grande porte construídos para captação de água. É apresentado um esboço amplo do atual estado da arte, atendo-se aos aspectos considerados pelo autor de maior relevância e sem a preocupação de esgotar o assunto. Adicionalmente, são comentados alguns dados históricos do surgimento e da evolução da construção desse tipo de poço no Brasil e analisadas as perspectivas mercadológicas, do ponto de vista do perfurador, buscando incentivar uma reflexão sobre os rumos que este setor de atividade deverá trilhar nos próximos anos.

Palavras-chave - Locação, projeto e construção de poços tubulares profundos. Perfuração, completação, desenvolvimento e testes de bombeamento.

Definição e aplicação

O presente trabalho trata de diversos aspectos dos **poços tubulares** construídos para captação de água subterrânea, considerados poços “de grande porte”, os quais, se convencionou serem aqueles que apresentam profundidade superior a 400 metros.

No entanto, a adjetivação “de grande porte” não está tão relacionada com a sua profundidade e nem mesmo com a sua capacidade de produção.

A melhor definição seria, portanto, **poços tubulares construídos com equipamentos de grande porte**, pois a exigência de maior capacidade dos equipamentos de perfuração utilizados na construção desses poços pode ser imposta pela profundidade, pelos diâmetros de perfuração ou ainda por outros aspectos de complexidade do projeto.

Os equipamentos aqui considerados “de grande porte” são compostos por **sondas rotativas** com capacidade de guincho superior a 30 toneladas.

No Brasil, os poços tubulares “de grande porte” são construídos em bacias sedimentares, com características geológicas e hidrogeológicas peculiares, visando a captação de água potável e/ou termal de aquíferos confinados, que se encontram a profundidades de 300 a 1500 m e que apresentam, em geral, porosidade primária intergranular e boa permeabilidade, permitindo a produção de 50 a 1000 m³/h.

¹ CPA - Central Perfuradora Araraquarense Ltda. - C.P. 23 - Araraquara - SP - 14 801-970
Tel. (016) 222 81 28 Fax. (016) 222 90 27

Breve histórico

No Brasil, a construção de poços de grande porte se iniciou nos anos 60 por iniciativa do DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral e SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste e foi intensificada pela CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais a partir de 1970.

Na década de 70 houve uma intensa absorção da tecnologia empregada na construção de poços de petróleo, que se refletiu na utilização de equipamentos de perfuração de maior porte, ferramentas mais adequadas e o treinamento do pessoal técnico em Engenharia de Perfuração em cursos ministrados pela PETROBRAS.

O surgimento de empresas privadas a partir do final dos anos 80, contratando pessoal com experiência na perfuração de poços de petróleo e a melhoria da performance construtiva alcançada, representou um crescimento das atividades do setor por um período muito reduzido. Logo a seguir, a crise econômica que se abateu sobre o país impediu a continuidade da consolidação desse setor de atividade de serviços e provocou a paralização das atividades da maioria dos equipamentos de perfuração existentes.

Recentemente, mesmo com a interrupção parcial das atividades da CPRM nesse setor, as empresas prestadoras de serviços de perfuração de poços profundos têm tido grandes dificuldades para se manter, sendo que algumas interromperam totalmente suas atividades.

Perspectivas de mercado

O número de poços para captação de água já construídos em território brasileiro, considerados "de grande porte", se aproxima de 400, sendo que mais da metade deles encontram-se no Estado de São Paulo.

A maioria dos poços de grande porte destina-se ao abastecimento público e os restantes estão dispersos em algumas poucas indústrias que consomem grandes quantidades de água (fábricas de cerveja, refrigerantes e sucos de fruta e frigoríficos), em empreendimentos de hidro-recreação (hotéis e clubes) e em alguns poucos empreendimentos agrícolas com irrigação de culturas nobres.

Devido ao reduzido mercado de trabalho, à complexidade construtiva, o porte dos equipamentos necessários e os riscos envolvidos, existe, atualmente, no Brasil, um número muito pequeno de empresas capacitadas a executar poços "de grande porte" e mesmo assim, existe ociosidade operacional nestas empresas.

Atualmente, o número de sondas rotativas de grande porte em atividade em todo o território brasileiro não atinge uma dezena, envolvendo o trabalho de cerca de 150 pessoas.

Os atuais níveis de preço do mercado são incompatíveis com os volumes de investimentos das empresas do setor e com o grau de risco desta atividade.

No entanto, o potencial natural do território brasileiro para a construção desse tipo de poço é grande, devido a ocorrência de condições geológicas e hidrogeológicas favoráveis em extensas áreas (**Figura 1**).

Merecem destaque no cenário nacional as bacias sedimentares do Meio Norte (Parnaíba), Potiguar, Recôncavo-Jatobá e Paraná, como as que têm apresentado, até o presente, o maior potencial para o aproveitamento de águas subterrâneas profundas. A Bacia do Paraná, com a presença do **Aqüífero Gigante Botucatu (Guarani)**, destaca-se, até mesmo no cenário mundial, como uma das áreas mais favoráveis.

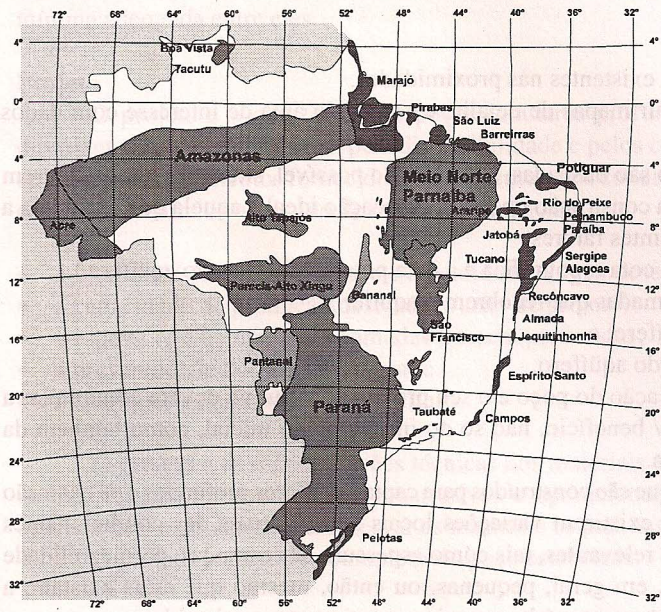


Figura 1: Bacias sedimentares na parte emersa brasileira

A densidade populacional e o poder econômico se aliam às condições geológicas favoráveis do interior do Estado de São Paulo para tornar o setor mais promissor da Bacia do Paraná para a construção de poços tubulares de grande porte. A mudança de orientação que se observa em algumas empresas públicas de saneamento provocadas pela administração por resultados e a busca de sua independência financeira do estado têm-se refletido na escolha de formas de

captação mais econômicas, que por

sua vez tende a favorecer a contratação de maior número de poços tubulares profundos, contrariando a tradicional preferência dos engenheiros sanitaristas por captações superficiais.

A recente retomada dos investimentos no setor produtivo, bem como a privatização de serviços públicos tende a produzir uma nova fase de crescimento e de aprimoramento técnico do setor.

Para que seja efetuada uma análise consistente do valor do investimento para a construção de um poço de grande porte é preciso estabelecer uma relação entre o valor do poço, sua capacidade de produção e sua vida útil.

O rigor técnico dos serviços e o alto padrão normativo dos materiais aplicados asseguram a maior vida útil dos poços de grande porte.

A maioria dos poços executados nos anos 70 encontra-se ainda em operação normal, mesmo sem manutenção e tudo indica que estes poço irão ultrapassar o horizonte usual de vida útil de 25 anos.

Locação

A locação de poços tubulares profundos se baseia em estudos prévios realizados a partir de dados disponíveis e dados complementares obtidos *in situ*.

Em geral, os principais elementos disponíveis são:

- mapas topográficos e geológicos;
- fotografias aéreas;
- dados geofísicos; e
- eventuais dados de poços existentes nas proximidades.

Pode-se então construir mapas de detalhe e seções da área de interesse com dados complementares.

Na escolha da locação são buscadas, à medida do possível, situações que assegurem os melhores resultados para a construção do poço. A locação ideal é aquela que apresenta a melhor combinação dos seguintes fatores:

- a menor diferença entre a cota topográfica e a cota potenciométrica do aquífero;
- a menor espessura das camadas que recobrem o aquífero;
- a maior espessura do aquífero; e
- a melhor permeabilidade do aquífero.

Adicionalmente, a locação do poço e o seu projeto construtivo devem contemplar a otimização da relação custo / benefício, não só do investimento inicial, como também da posterior operação do sistema.

Tratando-se de poços que são construídos para captar aquíferos profundos e de extensão regional, a probabilidade de existirem variações locais significativas das condicionantes geológicas e hidrogeológicas relevantes, tais como espessura das camadas, permeabilidade da camada aquífera etc. são, em geral, pequenas, ou então, mesmo que estas existam, a probabilidade também é muito pequena de que sejam previamente conhecidas.

Assim, outros fatores tais como a disponibilidade de áreas, a distância do ponto de distribuição / reservação de água e até mesmo a proximidade da rede elétrica passam a ter maior importância na escolha da locação.

Em geral, o aspecto principal a ser considerado é o do desnível geométrico entre o ponto de distribuição / reservação de água e a carga piezométrica local do aquífero a ser captado. Desta forma, áreas com relevo acidentado podem favorecer a escolha de uma locação nos locais de cota topográfica baixa, nos quais o custo da construção do poço é reduzido, sem grandes implicações nos custos de adução e recalque da água.

Tendo em vista que o rendimento dos conjuntos moto-bomba de superfície é maior que o daqueles desenhados para bombeamento da água diretamente dos poços, o consumo de energia tende a ser menor à medida que o local escolhido para a construção do poço seja aquele com menor profundidade do nível de bombeamento d'água, deixando-se para as bombas convencionais o restante do recalque que se fizer necessário na superfície.

A comparação do custo da adução na superfície com o custo da perfuração e revestimento das camadas que recobrem o aquífero alvo (poço de acesso) completa o

quadro analítico das vantagens e desvantagens das alternativas de locação com base na sua distância do ponto de distribuição / reservação.

Nos casos em que se pretende extrair grandes volumes de água envolvendo a construção de baterias de poços faz-se necessário realizar simulações prévias, através de modelos matemáticos do aquífero, de forma a determinar a interferência hidráulica e a distância mínima adequada entre eles.

Projeto

O projeto e a construção de poços tubulares profundos estão condicionados por diretrizes técnico-econômicas, pela disponibilidade e pelos custos de serviços e materiais e se baseiam em elementos fornecidos previamente e nos condicionantes gerados pela locação escolhida, dentre os quais são de maior importância:

- a finalidade da captação, o uso e a qualidade d'água desejada;
- a capacidade de produção desejada (vazão de projeto);
- a espessura e natureza das camadas a serem perfuradas;
- a profundidade dos níveis d'água; e
- os parâmetros hidráulicos do aquífero.

O projeto e as especificações técnicas dos materiais e serviços devem contemplar a melhor relação entre os custos construtivos e operacionais, a segurança das condições operacionais e de vida útil e observar as normas e os padrões técnicos aplicáveis.

O projeto construtivo completo do poço estabelece:

- um **programa de perfuração**, no qual são definidas as fases da construção do poço, os métodos e diâmetros de perfuração, as ferramentas utilizadas e a composição e propriedades do fluido de perfuração;
- um **programa de completação**, no qual são definidas as especificações técnicas dos materiais a serem aplicados (tubos, filtros, pré-filtro e cimentações);
- o **controle geológico** do poço durante sua construção (amostragem, registro de dados de perfuração, perfilagem geofísica, etc.); e
- os serviços de **acabamento, desenvolvimento e testes**.

Tratando-se de poços “de grande porte”, o sistema de perfuração mais adequado e muitas vezes o único possível de ser aplicado é o **rotativo com circulação direta**.

O **fluido de perfuração** tem grande importância neste sistema de perfuração e por esta razão é objeto de desenvolvimentos tecnológicos que visam principalmente:

- melhorar a eficiência da perfuração (viscosidade e tixotropia);
- reduzir os danos de formação (filtrado e teor de sólidos); e
- facilitar o desenvolvimento do poço.

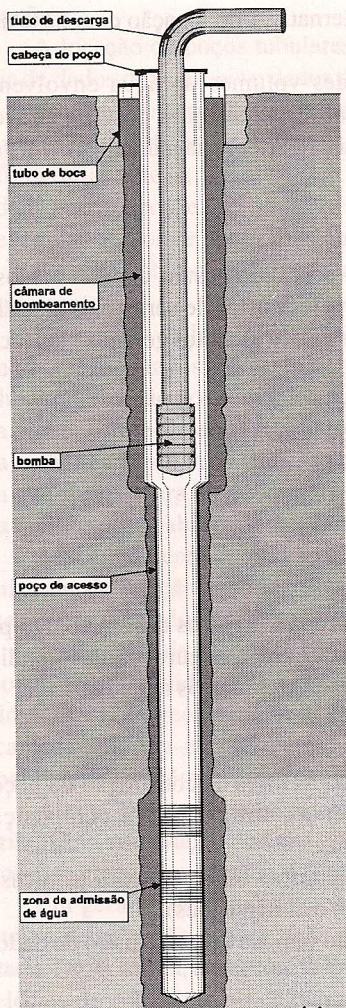


Figura 2: Desenho esquemático de poço de grande porte

Os materiais utilizados no preparo do fluido de perfuração de poços de água não podem ser tóxicos e devem apresentar uma relação adequada de custo e benefício.

Existe um encadeamento seqüencial e interativo dos elementos do projeto, de forma a compatibilizá-los entre si e com os objetivos que se pretende atingir (**Figura 2**).

O diâmetro da **câmara de bombeamento** é função da vazão a ser extraída e é o primeiro elemento do projeto que deve ser definido.

O diâmetro do bombeador e, no caso de bomba submersa, também o do motor, é definido pelo fabricante, em função da vazão e da altura manométrica previstas. A folga mínima entre o diâmetro da câmara de bombeamento e o maior diâmetro da bomba deve variar entre 1 e 4 “.

Com base nas condições atuais de disponibilidade de equipamentos de bombeamento recomenda-se a adoção do diâmetro da câmara de bombeamento em função da vazão de projeto conforme a **Tabela 1**.

A determinação da profundidade da câmara de bombeamento é feita com base no nível dinâmico previsto para o período de vida útil adotado, acrescido das perdas de carga previstas, do comprimento dos bombeadores, da carga hidráulica mínima recomendada pelo fabricante e de eventuais variações sazonais.

Deve-se então definir o diâmetro de perfuração deste trecho do poço adotando-se a folga mínima necessária que varia de 1 a 4” dependendo se as conexões do revestimento serão por rosca e luva ou solda, se o espaço anular será cimentado e se deverá ser injetado pré-filtro pelo espaço anular.

Em situações especiais em que são perfuradas rochas com grande estabilidade mecânica e estanqueidade hidráulica pode-se dispensar a aplicação de revestimento deste intervalo.

Só então poderão ser definidos os diâmetros da parte superior do poço (tubo de boca).

O **tubo de boca** tem como finalidades: a estabilização da porção superior do poço e proteção sanitária, conduzir o fluido de perfuração e servir de ancoragem para os revestimentos que serão instalados posteriormente. A profundidade do tubo de boca deve ser definida durante a construção, em função de condições locais de necessidade de proteção sanitária ou da presença de zonas de perdas de circulação e ainda da estabilidade das paredes do furo, prevendo-se em projeto as quantidades mínimas necessárias.

Tabela 1: Diâmetro da câmara de bombeamento

vazão a ser extraída				diâm. nominal da bomba (pol.)	diâmetro da câmara de bombeamento (pol.)	
(m ³ /h)		(l/s)			mínimo	ideal
de	a	de	a			
0	23	0	6	4	5	6
17	40	5	11	5	6	8
34	80	9	22	6	8	10
68	159	19	44	8	10	12
114	227	32	63	10	12	14
182	409	50	114	12	14	16
273	683	76	190	14	16	20
454	863	126	240	16	20	24
683	1363	190	378	20	24	30

Existem situações em que a folga do diâmetro do tubo de boca deverá ser ainda maior, em relação ao diâmetro da câmara de bombeamento, para permitir a instalação de **revestimentos intermediários** devido a eventuais problemas de perdas de circulação, de instabilidade das paredes do furo ou da presença de camadas portadoras de água de qualidade indesejável.

O **poço de acesso** funciona como uma tubulação adutora vertical, interligando

a câmara de bombeamento à zona produtora e como tal, seu diâmetro é definido em função da vazão que deverá ser aduzida, de forma a minimizar as perdas de carga por atrito. Para isso, o diâmetro recomendado deve manter a velocidade ascendente dentro do limite de 1,5 m/seg. O diâmetro de perfuração desse trecho do poço também deve ter a folga mínima necessária, dependendo das conexões do revestimento, e levar em consideração se o espaço anular terá que ser cimentado para isolar as camadas atravessadas ou se deverá ser injetado pré-filtro pelo espaço anular.

Existem situações complexas em que devido à necessidade de isolar intervalos perfurados através da cimentação do espaço anular adota-se um **projeto telescópico** em que são instalados revestimentos parciais (*liners*) utilizando-se conexões com rosca esquerda para posicioná-los no interior do poço, anéis de apoio (*liner hanger*) e obturadores (*packers*) do espaço anular.

Novamente, em situações especiais em que são perfuradas rochas com grande estabilidade mecânica e estanqueidade hidráulica pode-se dispensar a aplicação de revestimento no intervalo.

A **zona de admissão de água** é o trecho final do poço onde são perfuradas, de preferência em toda a sua extensão, as camadas produtoras de água. Esse trecho funciona secundariamente como uma tubulação adutora vertical razão pela qual se aplica a mesma regra de manutenção da velocidade máxima ascendente de 1,5 m/seg para definir o seu diâmetro mínimo a partir da vazão de projeto.

Em geral, as camadas aquíferas necessitam alguma forma de estabilização das paredes para evitar o seu colapso durante o bombeamento d'água e esta estabilização é obtida com a instalação de **filtros**.

Os aquíferos constituídos por rochas sedimentares de granulação fina e friáveis exigem ainda a instalação de um envoltório de material granular (pré-filtro) ao redor dos filtros, para evitar que os grãos da formação sejam removidos juntamente com a água.

Portanto, o diâmetro de perfuração deste trecho vai depender da necessidade de serem instalados filtro e **pré-filtro** e, neste caso, deve-se prever um espaço anular com espessura uniforme de, no mínimo, 3 a 4 ". Na verdade, o maior diâmetro de perfuração da zona produtora por si só contribui para minimizar o efeito de arraste de areia da formação por reduzir a velocidade de passagem d'água na parede do poço.

Se o diâmetro do trecho anterior (poço de acesso) for menor que o diâmetro de perfuração desejado para a zona de admissão de água, poderá ser efetuado o alargamento desse trecho com alargadores de braço móvel (*underreamer*), que funcionam bem apenas em formações friáveis, de forma a não encarecer demasiadamente o trecho superior com grandes diâmetros de perfuração.

O **acabamento** do poço, na superfície, deve prever, conforme o caso, um apoio adequado para o equipamento de bombeamento, e/ou a instalação de válvulas, em se tratando de poços com surgência natural, sem restringir as condições de acesso posterior ao interior do poço para futuros trabalhos de manutenção. Deve-se ainda prever a instalação de dispositivos para medição do nível d'água e/ou pressão e da vazão.

As boas técnicas de perfuração buscam não provocar mudanças irreversíveis das condições naturais de permo-porosidade da formação aquífera e minimizar os danos temporários que são inevitáveis, pois durante toda a construção do poço é necessário que seja mantido um gradiente hidráulico positivo no seu interior. Portanto, para se otimizar a capacidade hidráulica do poço é necessário que logo após a sua construção sejam efetuadas operações chamadas de **desenvolvimento**, para remover os resíduos do fluido de perfuração e as partículas soltas, promover a limpeza dos filtros e do pré-filtro e melhorar a permo-porosidade do aquífero nas imediações do poço.

As técnicas usuais de desenvolvimento de poços "de grande porte" envolvem a substituição do fluido de completação por água limpa, a aplicação de soluções de produtos químicos dispersantes de argilas e o bombeamento alternado com vazões progressivas (por air-lift ou com bomba).

A contaminação biológica inevitável que ocorre durante os trabalhos de construção do poço é remediada pela **desinfecção** química através da aplicação no poço de uma solução de hipoclorito em superdosagem.

Finalmente, deve-se determinar as características hidráulicas reais do poço e do aquífero de forma a otimizar as suas condições de instalação e operação. Isto é feito através da condução de **testes de bombeamento**.

Infelizmente, os parâmetros obtidos são, em geral, medíocres pois, na grande maioria dos casos, não se dispõe de poços piezométricos e os períodos de bombeamento utilizados são muito curtos.

A base da metodologia usual de cálculo de parâmetros hidráulicos foi desenvolvida por Jacob em 1946 e se baseia no registro das variações do nível d'água no interior do próprio poço durante o seu bombeamento com vazões constantes. São, em geral, executados testes de bombeamento com vazão constante durante, no mínimo, 24 horas e registrada a imediata recuperação do nível d'água o que permite a posterior determinação de um valor médio do coeficiente de transmissividade do aquífero nas imediações do poço. São conduzidos também testes em etapas (teste escalonado), com diferentes valores de vazão, que permitem determinar os parâmetros da equação das perdas de carga do poço.

Especificações dos materiais de aplicação

No caso de poços de grande porte, os tubos e filtros utilizados para revestimento são de liga de aço carbono, pois ainda não existe no mercado outro material que apresente resistência compatível com as condições de esforços mecânicos e de pressão decorrentes das grandes profundidades em que são instalados. Podem ser utilizadas ligas de aço carbono, galvanizado e inoxidável, dependendo das condições esperadas de agressividade química da água, do uso da água e dos recursos disponíveis para investimento.

O dimensionamento da espessura de parede dos **tubos lisos** é feito com base no seu diâmetro, comprimento da seção, a profundidade e o tipo de preenchimento do espaço anular no trecho em que será instalado. Os tubos mais comumente utilizados, têm diâmetro nominal de 6 a 20" e espessura de parede de 6,35 a 12,7 mm.

O pequeno volume das encomendas de tubos para aplicação em poços de água não viabiliza a fabricação de materiais com características específicas para esse uso. Assim, resta a possibilidade de buscar entre os tubos que são fabricados usualmente para outros fins, aqueles que mais se aproximam das condições desejadas.

Desta forma as normas e padrões mais utilizados para os tubos de aço para revestimento de poços de grande porte são as do API - American Petroleum Institute, especialmente 5CT e 5LB, que foram desenvolvidas para a indústria do petróleo e da ASTM - American Society for Testing Materials, usualmente A106 e A53, que foram desenvolvidas para encanamentos de água e outros usos.

Estas normas estabelecem padrões de fabricação, tipo e composição do aço, resistência mecânica, dimensões, peso e conexões. No entanto, a abundância de normas e padrões existentes e o nível precário de familiaridade dos técnicos com as mesmas dificultam a escolha correta das especificações a serem adotadas.

A começar pela confusão criada pelo **diâmetro nominal**. Sendo que, pelo padrão norte-americano, para os tubos com diâmetro de $\frac{1}{8}$ " a 12" o diâmetro nominal se aproxima do valor do diâmetro interno, para mais ou para menos, dependendo da espessura da parede

do tubo. Ao passo que, para tubos de diâmetro nominal acima de 12" o diâmetro nominal se refere ao diâmetro externo do tubo.

A espessura de parede é função das condições de pressão a que os tubos serão submetidos e são classificados em padrão (*standard*), pesados e super pesados. A adoção de padrões ANSI - American National Standards Institute para classes de espessura de parede gera também muita confusão pois não é uniforme para todos os diâmetros. Assim é que apenas nos diâmetros inferiores a 10", todos os tubos com o padrão ANSI Sch 40 atendem as condições de pressão de tubo *standard*.

No caso dos **filtros** a situação é, pelo menos aparentemente, menos confusa. Os filtros usados em poços de grande porte são do tipo espiralado, fabricados com arame galvanizado ou inox soldado sobre arame galvanizado ou inox ou arames galvanizados soldados sobre tubos de aço carbono perfurados. Os padrões adotados de resistência foram desenvolvidos pelo fabricante norte-americano Johnson Filtration Systems Inc.. Assim, as classes de resistência à pressão mais utilizadas são: reforçado, superreforçado, hiperreforçado e jaquetado (*superweld*). Também o tamanho das aberturas são padronizados, sendo os mais usuais **0,5, 0,75, 1,0, e 1,5** mm.

Os tubos e filtros podem ser unidos por rosca ou por solda. O processo de solda é o mais usual para diâmetros superiores a 12" por não permitirem a abertura de roscas adequadas nas espessuras de parede que são utilizados.

O processo de união por solda apresenta a desvantagem de alterar as condições do aço e fragilizá-lo mecânicamente e alterar sua composição. No entanto, o processo de união por solda é, em geral, escolhido para reduzir os custos de aquisição dos materiais e para se poder trabalhar com menores diâmetros de perfuração.

Construção

A construção do poço se inicia com a instalação dos equipamentos de perfuração no local seguindo um **lay-out** que facilita a operação dos equipamentos, com áreas de circulação para o descarregamento posterior dos materiais de uso e de aplicação, áreas para disposição temporária de rejeitos e as instalações para os operadores e técnicos (alojamento, refeitório, sanitários e escritório).

A seguir é efetuado o preparo do fluido de perfuração especificado para a primeira fase do programa de perfuração (tubo de boca) que é, em geral, composto basicamente por água e bentonita, na proporção de 57 kg/m³, de forma a se obter as seguintes propriedades: pH de 10 a 11, densidade de 8 a 9 lb/gal e viscosidade Marsh de 50 seg.

Nesta fase a montagem da **coluna de perfuração**, é feita de acordo com a sequência: broca, estabilizador e comando curto.

Concluída a primeira fase da perfuração é instalado o tubo de boca e cimentado o espaço anular.

A pasta de cimento é preparada em tanques na proporção de 27 a 30 litros de água para cada saco de 50 kg de cimento até que seja obtida a densidade desejada. O cimento utilizado é do tipo Portland (API classe A), sendo possível adicionar de 2 a 3%, em peso, de

bentonita como forma de controlar o filtrado da pasta sem prejudicar sua condição de bombeabilidade.

Embora em algumas circunstâncias se possa efetuar a injeção da pasta de cimento através de tubos auxiliares, é comum que sejam utilizadas sapatas de cimentação com válvula, posicionadas na base do revestimento, mesmo para o tubo de boca.

Após o “tempo de pega”, controlado através de amostras da pasta, é efetuado o corte da sapata de cimento e descartado todo o fluido de perfuração contaminado com cimento, preparando-se novo fluido conforme especificado para a segunda fase do programa de perfuração.

Buscando evitar desvios durante a perfuração, a coluna de fundo (BHA) desta fase em diante deverá contar com 3 estabilizadores com diâmetro compatível com o da broca, posicionados entre os 3 comandos inferiores, montagem esta que é denominada coluna “empacada”. O número total de comandos a ser utilizado deverá permitir uma disponibilidade de peso sobre a broca da ordem de uma a três toneladas para cada polegada de diâmetro da broca.

Em geral, quando se atinge o topo da camada aquífera é efetuada nova troca do fluido de perfuração por um fluido mais específico, preparado com polímeros sintéticos. O rendimento dos produtos disponíveis no mercado é da ordem de 3 a 6 kg/m³, para se obter as seguintes propriedades: pH de 9 a 9,5, densidade 8,8 lb/gal, viscosidade plástica de 8 a 15 cp, limite de escoamento de 18 a 25 lb/100ft², gel inicial e final de 3 a 6 lb/100ft² e filtrado de 3 a 4 ml/30min.

Durante toda a perfuração, são coletadas, a cada 2 metros perfurados, amostras da formação que são trazidas até a superfície pela circulação do fluido de perfuração (**amostras de calha**). O controle geológico do poço é complementado com dados de avanço da perfuração e pela **perfilagem geofísica**.

O perfis geofísicos mais utilizados em poços de água são os elétricos (indução e normal), raios gama, potencial espontâneo e sônico, que permitem, através de cálculos, efetuar estimativas da argilosidade e porosidade da formação e a salinidade d'água. Adicionalmente, pode ser necessário o perfil caliper para a verificação do diâmetro real do poço, possibilitando o cálculo da capacidade dos espaços anulares onde deverá ser injetado o pré-filtro ou efetuada cimentação.

O **programa de completção** do poço com tubos e filtros pode apresentar muitas variações envolvendo: revestimento total ou parcial (tipo liner), tipos de conexão (rosca e luva ou solda), forma de instalação (coluna solidária ou telescópica), uso de acessórios (centralizadores, obturadores, válvulas, anéis de apoio, tampa, etc.).

Eventuais **operações de cimentação**, destinadas a proteger e reforçar o revestimento ou, para isolamento de trechos do espaço anular, podem ser por demais complexas (tampão de lavagem, injeção, deslocamento, tampão de equilíbrio, teste de pressão, etc.), sendo necessário o emprego de equipamentos e ferramentas sofisticadas. Neste caso, a exemplo do que ocorre na construção de poços de petróleo, é sub-contratada empresa especializada para executar esses serviços.

Nos poços em que é necessária a colocação de envoltórios dos filtros com pré-filtro, uma das técnicas adotadas é **injeção do pré-filtro por circulação reversa**, na qual é utilizado um fluido de completação, com viscosidade menor que a do fluido de perfuração, fazendo-o circular lentamente, em sentido inverso (de fora para dentro do revestimento) de forma a assegurar a deposição homogênea e contínua do pré-filtro ao redor dos filtros.

Infelizmente, não é tão raro que durante a perfuração de poços de grande porte aconteçam situações indesejadas de quebra, prisão ou queda das ferramentas no interior do poço, que podem causar grandes perdas de tempo, prejuízos financeiros e mesmo a perda total e o abandono do poço. Nestas situações, recorre-se a profissionais ou empresas especializadas em **operações de pescaria**, que fazendo uso de um verdadeiro arsenal de diferentes ferramentas, poderão, com sorte, minimizar as perdas.

Equipamentos e pessoal necessários

Os equipamentos básicos de uma sonda rotativa de grande porte, para perfuração de poços de água, com circulação direta, são os seguintes:

- **mastro**, ou torre: que pode ter altura de 15 metros quando, durante as manobras, os tubos de perfuração são retirados um a um, ou 25 metros para permitir a retirada dos tubos de perfuração dois a dois. Sua capacidade de carga é, em geral o dobro da do guincho principal;
- **motor**: é a unidade de força da sonda, que dependendo de sua capacidade poderá dispor de mais de um motor, com potência de 180 a 340 cv;
- **guincho**: é comum que as sondas de grande porte disponham de uma unidade principal e uma auxiliar. A capacidade de carga do guincho principal, nas sondas de grande porte, varia de 30 a 120 toneladas;
- **mesa rotativa**: com diâmetro de passagem de, no mínimo, 17½ “;
- **bomba de lama**: do tipo duplex acionada por motor independente com potência da ordem de 340 cv, com curso de pistão de 12 “ e diâmetro de pistão de 7¼ “, podendo-se necessitar de duas bombas conforme os diâmetros e profundidade de perfuração;
- **peneira de lama**: unidade de peneira vibratória para separação de sólidos de maior granulometria, em geral acionada por motor elétrico de 5 cv;
- **desareador**: composto por, no mínimo dois cones tipo hidrociclone para separação dos sólidos de granulação fina acionado por um conjunto de bomba centrífuga 3 x 4”;
- **tanque de lama**: em geral são dois tanques metálicos com capacidade de 40 m³, sendo usados interligados, um para decantação e o outro para a sucção da bomba duplex; e
- **ferramentas diversas**: tais como swivel, kelly, tubos de perfuração de 4½” e 5”, comandos de 7¾” e 9½”, estabilizadores de 12¼” e 17½”, brocas, etc.

Em geral, as sondas de grande porte são operadas em regime contínuo, de 24 h/dia, com revezamento diário de duas equipes, cada uma composta por um **sondador**, um **torrista** e dois ou três ajudantes (**plataformistas**), com um revezamento de folgas de 20 por 10 dias com uma terceira equipe. A sonda é comandada por um encarregado (**tool pusher**).

AGRADECIMENTOS

O autor agradece as contribuições construtivas dos colegas Engo. Antonio Fernandes - CPRM, Engo. Herbert P. Rezende - CPA; Geól. Ivanir B. Mariano de São Paulo e Geól. Hélio Paiva de Recife.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- da Silva, R.B.G. (1983). Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. São Paulo.
- Driscoll, F.G. Groundwater and Wells / Johnson Filtration Systems Inc. (1987). Minnesota.
- Handbook of ground water development / Roscoe Moss Company (1989). Los Angeles.
- Mente A. e outros (1994). Recursos hídricos subterrâneos do nordeste. Inédito.
- Rebouças, A.C. (1988). Groundwater in Brazil. Episodes vol 11-3.