

DIAGNÓSTICOS DOS TRABALHOS DE CONSTRUÇÃO DE POÇOS TUBULARES NO RIO GRANDE DO NORTE

*Roberto Pereira¹; João José Alves da Silva²; Renato Dantas Rocha da Silva³; Samuel
Wendell Gomes Marinho⁴ & Janine Reginalda Guimarães Vieira⁵*

Resumo – Este trabalho tem por objetivo mostrar os principais problemas associados às atividades de perfuração de poços tubulares no Rio Grande do Norte. Os problemas estão relacionados com a queda de ferramentas dentro do poço e desmoronamentos desde a fase inicial de perfuração, passando pelos desmoronamentos progressivos nos materiais friáveis até aqueles relacionados com a presença de cavernas calcárias, quando ocorre a fuga imediata da lama de circulação e o poço colapsa. Os principais problemas detectados que interferem na boa produtividade dos poços estão assim relacionados: utilização de fluidos de perfuração que terminam por impermeabilizar as paredes da formação geológica; descrição insuficiente do perfil litológico posicionando inadequadamente os filtros, distribuição irregular do pré-filtro e sua qualidade; limpeza e desenvolvimento incompleto; geração de incrustações de óxidos de ferro e carbonatos em poços antigos, além da variação da condutividade hidráulica devido a aleatoriedade das interconexões das falhas e fraturas, particularmente nas rochas cristalinas. Os riscos de acidentes que podem comprometer a segurança e até a vida são os mais variados possíveis, indo desde o afundamento do solo e o processo de tombamento da torre de perfuração até a utilização inadequada de ferramentas pesadas, bem como a presença de animais peçonhentos.

Abstract – The aim of this work is to present the principal problems related to subsidence and collapses in the activities of the tubular drilling well in the State of Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. It is likely the mechanisms subsidence and collapses occurs since initial phase of drilling, as well as due to Barreiras Formation that is characterized by weak sandy-loamy sediments and eolian layers of sandy dunes that overlies the Barreiras, until karstic conditions from calcareous or calcic sandstone. The two first situations the processes occurs gradually, but the last one it is rapidly by the immediately disappearance of the drilling fluid. Basically, inadequated geology description and impermeabilization of wall geological formation in the first drilling phase, as well as, a irregular distributions from pre-filter are principals aspects that influence the rate of discharge. The accidents risks occur in a different manners, such as, subsidence, dangerous animals, inadequated use from equipments etc.

Palavras-Chave – água subterrânea, poços tubulares, Rio Grande do Norte.

¹ CEFETR – RN/GERN, Av. Senador Salgado Filho 1559, Tirol, CEP 59015-000, (0xx84)40052636, rpereira-roma@cefetrn.br.

² CEFETR – RN/GERN, Curso de Graduação em Tecnologias do Meio Ambiente, Av. Senador Salgado Filho 1559, Tirol, CEP 59015-000, (0xx84)40052636, joaojosealves@hotmail.com.

³ CEFETR – RN/GERN, Curso de Graduação em Tecnologias do Meio Ambiente, Av. Senador Salgado Filho 1559, Tirol, CEP 59015-000, (0xx84)40052636, renatosdantas@yahoo.com.br.

⁴ CEFETR – RN/GERN, Curso de Graduação em Tecnologias do Meio Ambiente, Av. Senador Salgado Filho 1559, Tirol, CEP 59015-000, (0xx84)40052636, samuelclube@hotmail.com.

⁵ UFRN – PPGEQ, Janine_Vieira@yahoo.com.br.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A atividade de construção de poços para a captação de água reflete aspectos particulares daqueles que passam anos e anos enfrentando dificuldades e acumulando vasto conhecimento prático, pois cada poço perfurado, além de ser uma obra de engenharia (CETESB, 1978), tem a sua história específica, considerando que a geologia é heterogênea. Assim este trabalho retrata algumas experiências daqueles que atuam nas atividades de construção de poços tubulares no Rio Grande do Norte. São abordadas situações diversas (desmoronamentos, segurança, desempenho, limpeza, acabamento, manutenção, ambientais etc) e as formas de perfuração variam desde manual até a utilização de sondas percussivas, rotativas e rotopneumáticas. Todas estão presentes no RN, no entanto as empresas geralmente optam pela primeira (percussiva) ou pelas duas últimas.

METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia de trabalho ocorreu mediante uma revisão bibliográfica e aplicação do instrumento de entrevista direta com os operadores, técnicos e geólogos que participam das empresas de construção de poços tubulares no Rio Grande do Norte, a fim de que pudessem retratar as suas experiências. Tendo em vista que a maioria dos fatos levantados já ocorreram, as observações diretas somente ocorreram quando relacionadas com a simulação do funcionamento das perfuratrizes ou riscos de acidentes, as quais foram verificadas nas próprias empresas. Tendo em vista à falta de um acompanhamento técnico científico durante as perfurações, percebe-se que as empresas, na maioria das vezes, não tiveram a preocupação de registrar, através de fotografias ou dados numéricos, muitos fatos importantes ocorridos.

Além de observar as situações problemas em diferentes tipos de terrenos, procurou-se coletar informações relacionadas com as fases de perfuração, colocação do revestimento e pré-filtro, limpeza e desenvolvimento, manutenção, problemas ambientais e de qualidade da água, situações geológicas ou hidrogeológicas singulares e riscos de acidentes

GEOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE

O Mapa Geológico do Rio Grande do Norte (Figura 1) mostra que as rochas cristalinas ígneas e metamórficas do Arqueano, Paleoproterozóico e Neoproterozóico ocorrem preferencialmente no oeste do RN. O enfoque da hidrogeologia no meio cristalino é basicamente fissural (fraturas) e geralmente o risco com poços de baixa produtividade é alto.

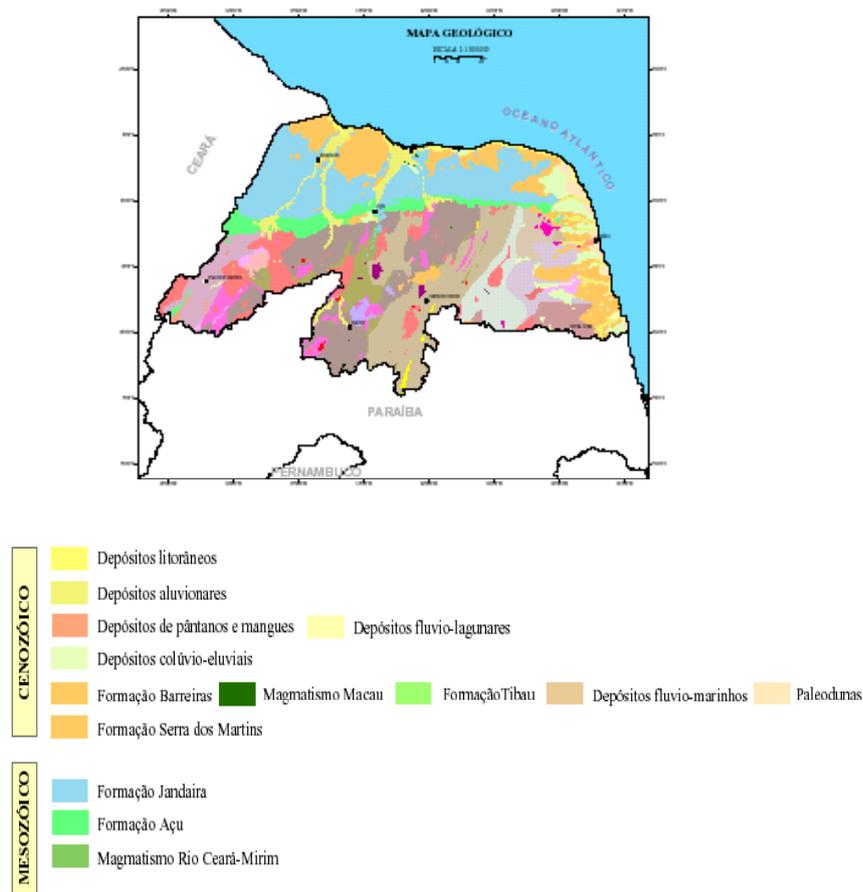


Figura 1 - Mapa geológico do Rio Grande do Norte 1:1.500.000 (DNPM/CPRM/SEDEC – Secretaria do Desenvolvimento Econômico do RN - Dezembro de 2005). As unidades geológicas do Pré-cambriano não estão indicadas na legenda e são, por exclusão, todas as demais colorações.

Sobrepostos ao embasamento de rochas cristalinas ocorrem rochas Mesozóicas da bacia sedimentar Potiguar, a qual localiza-se ao norte do RN. Sabe-se que os trabalhos de hidrogeologia da Bacia Potiguar retratam historicamente dois compartimentos hidrogeológicos (Rebouças, 1967 e IPT, 1982). O inferior está associado aos conhecidos arenitos do aquífero Açú, o qual é confinado devido a uma camada argilosa em sua parte superior. O compartimento superior é definido pelos calcários do aquífero Jandaíra, também de características confinantes quando recobertos pelos arenitos argilosos da Formação Barreiras, sendo estes mais característico no litoral Oriental do RN. Durante a deposição destes sedimentos, ocorreram ainda uma atividade ígnea conhecida por Magmatismo Rio Ceará Mirim, os quais estão comumente relatados por uma série de enxame (diques) de diabásios. Admite-se, ainda, que a ocorrência de lentes calcárias intercaladas na seqüência arenítica compacta, ao sul de Natal, é uma conseqüência de uma interdigitação dos calcários da Formação Jandaíra da Bacia Potiguar e dos arenitos calcíferos da Formação Beberibe da bacia costeira Pernambuco-Paraíba, embora ainda existam controvérsias sobre este tema (ver também Melo e Feitosa , 1998).

O setor das rochas e sedimentos cenozóicos ocorre preferencialmente no litoral Oriental do RN. Os arenitos argilosos da Formação Barreiras (Mabesoone *et al.* 1991) constituem o mais importante aquífero dessa região. Concomitante são encontrados também a ocorrência de Paleodunas e o chamado Magmatismo Macau. Estão presentes ainda neste contexto os aluviões, as dunas recentes, sedimentos praiais, “beach rocks”, depósitos de mangues, depósitos marinhos, entre outros de menor importância.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Perfurações e desmoronamentos de poços

Os principais problemas de desmoronamentos levantados, que também podem comprometer a segurança humana, estão associados às coberturas de mantos de intemperismos, sedimentos (dunas e praias), rochas friáveis da Formação Barreiras e cavernas calcárias, além da presença de água salgada. Ao menor sinal de desmoronamentos as ferramentas deverão ser levantadas o mais rápido possível para não prendê-las.

Desmoronamentos na fase inicial de perfuração

Este tipo de problema pode sempre ocorrer na fase inicial de perfuração tanto em rochas cristalinas, com manto de intemperismo, como sedimentares e sedimentos inconsolidados. Infiltrações da lama/água nas proximidades da boca do poço também podem contribuir para gerar instabilidade nas paredes do furo. Portanto, é aconselhável a colocação de um revestimento provisório (“tubo de boca de poço”) evitando o desmoronamento do furo próximo à superfície. Em regiões de domínio cristalino este revestimento provisório deve permanecer até atingir a profundidade da rocha sã (inalterada), evitando futuros desmoronamentos.

Em sondagem roto-pneumática costuma-se, por vezes, usar a rotativa sem lama nos primeiros metros da rocha alterada, ficando o poço sem revestimento. Diante dessa situação, o manuseio de equipamentos pesados na borda do poço pode instabilizar o furo, pois conforme informações dos operadores da FUNASA, quando no processo da manobra de substituição da broca (rotativa) para colocar o martelo e o bit da pneumática, dois homens que carregavam o martelo no ombro para acoplar no cabeçote da máquina afundaram até o ombro, junto ao poço que desmoronou.

Desmoronamentos em dunas

A região de Natal apresenta uma espessura média de cobertura de dunas em torno de 20 m, sendo muito comum este problema de desmoronamento. A presença de uma cobertura espessa de

dunas associado ao nível estático raso ($NE \pm 2$ m, por exemplo) é um outro fator que aumenta a dificuldade em revesti-lo provisoriamente, devido aos desmoronamentos contínuos.

De um modo geral poços perfurados em sedimentos e rochas friáveis pode não sustentar as paredes do poço, tomando-se a bentonita como lama de perfuração. Quando a bentonita pastosa não resolve a situação, a bentonita adicionada ao cimento (ou cal, baritina, entre outros produtos) pode ser usada inicialmente para sustentar as paredes das porções aquíferas a não ser exploradas, pois atuam também, negativamente, como impermeabilizantes artificiais. Desse modo, os rebocos formados quando atinge a camada aquífera diminui em muito a produtividade do poço, sendo necessário retirá-los usando produtos que possam dissolvê-los. Assim, deve-se tomar cuidado para não levar muito tempo quando da utilização de produtos que possam petrificar a lama de perfuração, dificultando o desenvolvimento posterior do poço. Após ultrapassar os sedimentos friáveis é necessário a utilização de revestimento provisório para dar seqüência na perfuração em busca do aquífero desejado. Por vezes, o revestimento provisório pode ser dispensável, pois o reboco formado nas paredes do poço poderá também sustentar as paredes. O ideal é utilizar revestimento apenas nos primeiros metros (7 e 10 m), pois quando muito longo (30 m, por exemplo) pode ser difícil de sacar.

Desmoronamentos na Formação Barreiras

No município de Nísia Floresta, em 1982, na localidade de Campo de Santana, um poço estava sendo perfurando na Formação Barreiras pela Companhia estadual CDM/RN e quando atingiu 60 m o mesmo começou a desmoronar (Figura 2), pois a perfuração não avançava. Então parou-se a perfuração e revestiu o mesmo com tubos de 14" de diâmetro. Quando foi reiniciar a perfuração surgiu um buraco com cerca de 2 m de profundidade que arrastou a máquina e o sondador para seu interior, perdendo as ferramentas e o revestimento provisório.

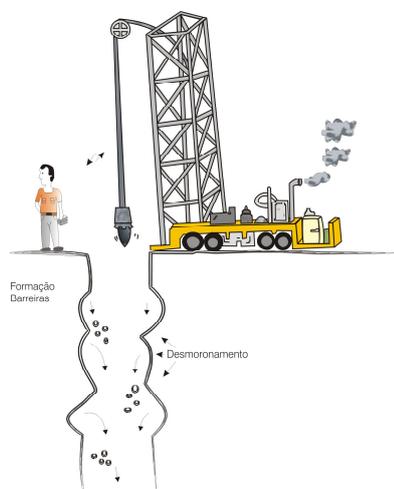


Figura 2 - Figura esquemática de desmoronamento na Formação Barreiras. A conseqüência do desmoronamento pode ser similar ao visualizado na figura 3.

Durante a subsidência, a máquina tombou para o lado oposto do sondador e por pouco o mesmo não foi atingido. Deve ter havido um desmoronamento significativo antes de instalar o revestimento provisório, gerando vazios nas laterais e/ou o revestimento provisório não foi até o fundo não impedindo que o desmoronamento continuasse a ocorrer. Além disso, não se amarrou o revestimento provisório às pranchas, o que deve ter diminuído a eficiência do tubo. O sondador não calculou quanto de volume havia sido retirado de material do poço. Para aquela profundidade não poderia sair um volume muito maior do que aquele cilindro correspondente à profundidade perfurada. O mesmo processo de desmoronamento ocorreu em um condomínio do bairro Cidade Alta de Natal (condomínio Wimbledon), onde a máquina chegou a tombar e esbarrar no edifício. Adicionalmente, segundo informações de operadores de perfuração da FUNASA, também no município de Muriú-RN, durante a noite, quando dormiam, ocorreu o tombamento da máquina perfuratriz, devido aos desmoronamentos no Barreiras em um poço em perfuração com 57 m, colocando em risco a vida dos trabalhadores.

Por fim, convém ressaltar que material cascalhoso presente no perfil geológico da Formação Barreiras é bastante susceptível aos processos de desmoronamentos, conforme constatado.

Desmoronamentos em presença de cavernas calcárias

Sabe-se que os calcários da Formação Jandaíra da Bacia Potiguar são fraturados e muitas dissoluções, devido às infiltrações de águas ácidas da chuva, águas subterrâneas ou rios, por exemplos, ocorrem em profundidades acompanhando essas descontinuidades. Cavernas são então formadas. Muitas delas estão cobertas pela Formação Barreiras, principalmente no litoral Oriental do RN. Por exemplo, na Fazenda Cacimba Funda, próximo ao posto fiscal na divisa entre o Ceará e o Rio Grande do Norte, encontram-se cavernas com mais ou menos 6m de profundidade. Na região do município de Ceará Mirim, a norte de Natal, os perfuradores são unânimes em relatar a frequência de relevo cárstico subjacente à Formação Barreiras.

Enquanto o desmoronamento dentro da própria Formação Barreiras tende a ser progressivo, geralmente o desmoronamento na Formação Barreiras, e de todo pacote sedimentar sobrejacente, ocasionado pela presença de cavernas calcárias, tende a ser rápido, o que deve aumentar o risco de acidentes com vítimas. O fenômeno se processa da seguinte maneira: quando se perfura na Formação Barreiras e no final atinge terrenos calcários com cavernas, ocorre a perda de lama repentina e o poço colapsa na parte do Barreiras, ocorrendo a perda imediata das ferramentas sem possibilidade de pescaria, pois as mesmas ficam presas. Uma situação semelhante ocorreu na praia de Barreta, município de Nísia Floresta, cujo objetivo era tirar água de boa qualidade no

calcário/arenito calcífero, considerado uma nova fronteira de investigação ainda não explorada. Quando a broca da percussiva atingiu o calcífero a lama se perdeu na fratura/caverna juntamente com os desmoronamentos da Formação Barreiras e dos sedimentos sobrejacentes saturados. O processo terminou quando jogaram sacos vazios, sacos com areia, pranchas, os quais funcionaram como uma bucha (vedação). Nessa fronteira de investigação é recomendável utilizar revestimento provisório (pelo menos até uns 3 m no calcífero) para cravação e sustentar as paredes dos sedimentos e rochas friáveis sobrejacentes, uma vez que sempre poderá ocorrer perda de lama (Figura 3).

Nas sondagens rotativas em terrenos calcários da Formação Jandaíra, quando a Formação Barreiras ou sedimentos estão ausentes, muitas perdas de lama ocorrem, sem desmoronamentos, na presença de cavernas rasas e perfurar sem circulação significa desgaste maior da ferramenta (conseqüentemente custo também maior). Então, para evitar a perda de circulação já houve casos de lançar mãos de pó de serraria e até caminhão de grãos de milho, já que estes costumam inchar quando umedecidos, preenchendo toda a caverna. Muitas vezes isto não funciona, pois as cavernas podem ser muito grandes.

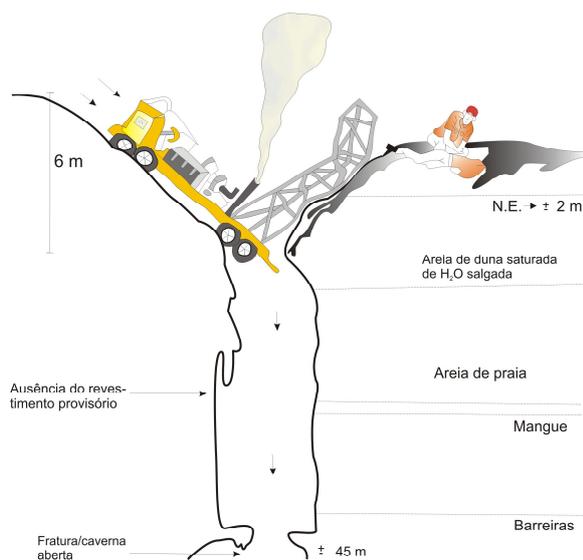


Figura 3 - Figura esquemática mostrando desmoronamento na Formação Barreiras devido a fuga da lama de perfuração na presença de cavernas calcárias.

Problemas de desmoronamentos também poderão ocorrer em folhelhos quebradiços intercalados aos calcários próximos à superfície ou mesmo em profundidade, presentes na Formação Jandaíra. Neste último caso, recomenda-se não interromper a perfuração rotativa para não acumular material em profundidade, sendo que na parte rasa, como sempre, providenciar um revestimento provisório. Convém ressaltar que na descida da caçamba de limpeza e/ou broca em terrenos calcários, blocos poderão cair e prender a ferramenta.

Outras causas de desmoronamentos

- Presença de água salgada: em São Miguel do Gostoso e outras localidades costeiras do RN, registraram-se, durante a fase de perfuração, processos de desmoronamentos na presença de água salgada, pois a bentonita não consegue sustentar as paredes do poço (perde a viscosidade e decanta), dificultando a sua eficiência, sendo necessário a colocação de revestimentos provisórios, caso se deseje avançar na perfuração em busca de outros compartimentos de aquíferos confinados. Além do sabor, evidente, a água salgada costuma apresentar bastante “espuma” quando dispara (esvazia) a caneca. Esta situação de desmoronamento precisa ser melhor estudada;

- Imediatamente após a colocação do revestimento deve-se colocar o pré-filtro, pois como a lama foi afinada, poderá ocorrer desmoronamentos, fechando o poço;

- Rupturas nas “costelas” do filtro ou irregularidades na distribuição do pré-filtro poderão ocasionar carreamento de finos para dentro do poço, gerando cavernas que podem evoluir e gerar desmoronamentos, inutilizando o poço. Portanto, cuidados devem ser tomados na colocação do pré-filtro para não ficar abaixo ou acima do filtro. Além disso, desvios no poço ou na verticalidade do revestimento poderão provocar uma distribuição irregular do pré-filtro. Por esta razão é bom verificar os defeitos do revestimento e a verticalidade do furo.

Queda de ferramentas e capturas

Durante as diversas fases de construção, operação ou manutenção de poços tubulares poderão cair ferramentas e equipamentos dentro do poço. Geralmente as quedas mais comuns de ferramentas de perfuração estão associadas às seguintes situações:

- Ruptura do cabo de aço no estrovamento do mandril (esfera rotativa). Recomenda-se a cada duas ou três perfurações refazer o estrovamento ou quando houver folga nos feixes de fios de aço pode ser um indicativo de manutenção necessária. Rupturas na saída do porta-cabo, pois é um ponto bastante utilizado. Recomenda-se utilizar com mais frequência o protetor de cabo de aço quando for apoiar (inclinado) a ferramenta de perfuração;

- Quebra da haste na rosca macho. Não é tão freqüente, mas pode ocorrer em uma operação brusca, sobretudo quando o poço apresenta desvios forçando as hastes. Trincas devem ser verificadas. Muitas roscas podem estar defeituosas, inclusive as do revestimento e do filtro, e podem favorecer a queda dentro do poço de tubulações. Quebra do percussor no anel, pois os desgastes aumentam o seu curso favorecendo maior impacto nos anéis;

- Os equipamentos de pescarias são bastante variados e muitos são improvisados para cada situação, o que merece um estudo particular. Por exemplo, a utilização de um amostrador (placa de

chumbo) pode dar boa pista da situação da posição da ferramenta/bomba que caiu dentro do poço. Na maioria das vezes é possível fazer a pescaria se a ferramenta cair em pé ou quando o sedimento da parede é duro, pois quando a ferramenta escora em sedimentos moles, rochas friáveis, fraturadas ou até cavernas fica mais difícil a captura, podendo perder a ferramenta. Há situações, porém, que o técnico consegue, fruto da própria sorte, capturar equipamentos caídos dentro do poço.

Completação do poço e o seu desempenho

Eficiência hidráulica

De acordo com França (1997, apud Feitosa e Filho, 1997), dois aspectos fundamentais têm implicações diretas na eficiência a ser obtida: desenho construtivo ou projeto do poço e os procedimentos utilizados durante a perfuração do poço. De acordo com Demetrio e Filho (1997, apud Feitosa e Filho, 1997), além da maior descarga possível, com menor custo, outros objetivos devem ser alcançados para o bom desempenho de um poço, como manter a boa qualidade da água, prevenindo-se de possíveis contaminações e ter longa vida útil de serviço. Além disso, acrescentam que problemas de variação de espessura saturada (diminuição da transmissividade), diminuição de recarga devido aos períodos de secas prolongadas e a falta de manutenção na operação de poços antigos, que sofrem problemas de corrosão e incrustação podem ainda influenciar no baixo rendimento dos poços. Esta geralmente é desprezada e somente é levada em consideração quando a situação está crítica e irreversível, comprometendo a vida útil da captação.

Colocação do revestimento e do pré-filtro

Para se ter um poço bastante produtivo, deve-se tomar cuidado em todas as fases de construção. Muitos poços antigos apresentam baixa produção porquanto não se usava lama de perfuração para evitar desmoronamentos, mas tubos provisórios. Desse modo muitas partes dos revestimentos provisórios não se conseguiam retirar da parte produtora do aquífero. Além disso, como os revestimentos iam sendo colocados um dentro do outro para aprofundar a perfuração (12", 10", 8"..), no final, o diâmetro do revestimento/filtro ficava pequeno, comprometendo uma vazão acentuada. Sem falar também dos filtros, os quais eram preparados manualmente.

Há situações em que a própria descrição litológica não recomenda a instalação de poço, entretanto quando existem dúvidas tentativas são realizadas e se confirmam a descrição, torna-se necessário sacar o revestimento completo. É muito comum na literatura este problema estar ligado aos sedimentos argilosos, quando não foram corretamente descritos no perfil, implicando na localização inadequada do filtro. Isto se verifica principalmente quando a geologia é heterogênea e a amostragem e descrição deveria ter sido realizado a intervalos menores, de 1 e 1 m, e não de 5 em

5 m, por exemplo. As vezes os erros nas descrições ocorrem devido às misturas com materiais que desmorona. Nas rotativas é muito comum isso ocorrer. Recomenda-se fazer um gráfico do tempo de perfuração por metro de avanço, a fim de verificar a mudança litológica. Afinal, a amostragem do material atravessado durante a perfuração de um poço é uma informação fundamental para o projeto final do mesmo, bem como para o conhecimento da geologia da área

Além do que foi supracitado, o sondador sabe que materiais duros não devem ser telados, pois a permeabilidade deve ser baixa. Para se ter uma idéia, lentes silicificadas intercaladas (em torno de 1 m) nos arenitos da Formação Açú (município de Caraúbas-RN) chegam, a cada 5 m, desgastar o trépano, necessitando enchê-lo, pois termina por afinar o diâmetro de perfuração ou até mesmo empenar a torre da perfuratriz. Neste caso, necessita-se repetir o trecho para alargá-lo.

Na descida do filtro também deve-se tomar cuidado para não encostar o filtro nas paredes argilosas, uma vez que poderá obstruir as aberturas dos filtros, sendo, por vezes, necessário retirá-los para limpeza com escova de aço. O ideal seria usar os instrumentos chamados guias centralizadores de tubos.

A colocação inadequada do pré-filtro ao redor da superfície do filtro pode também comprometer a produtividade do poço, pois antes de colocar o revestimento deve-se afinar a lama de perfuração (diminuir a viscosidade), uma vez que poderá formar um colchão de cascalho, mantendo-os em suspensão, e não preencher toda a área do filtro. Conseqüentemente os finos, na fase de desenvolvimento, poderão obstruir as aberturas (ranhuras) do filtro ou entrarem no poço e queimar o rotor da bomba que conduz a água para cima. Imediatamente após a colocação do revestimento deve-se colocar o pré-filtro, pois com a lama afinada poderá ocorrer desmoronamentos, fechando o poço. Cuidados também devem ser tomados na colocação do pré-filtro para não ficar abaixo do filtro, pois poderá comprometer o poço, analogamente ao que foi dito, já que permitirá a entrada de areia dentro do mesmo e estragar (corroer) o rotor da bomba. A captura de areia pode gerar vazios na rocha e evoluir para desmoronamento, terminando por inutilizar o poço.

Para garantir que os cascalhos do pré-filtro sejam bem distribuídos ao redor da superfície dos filtros, a tubulação do revestimento deve ser tracionada (10 cm acima do fundo, como sugestão) na hora de colocar o pré-filtro a fim de manter a verticalidade do revestimento.

A qualidade do pré-filtro também deve ser controlada. Os cascalhos marinhos são mais interessante de utilizar porquanto possuem geralmente 100% de quartzo, enquanto aqueles originados de rios, apesar de serem mais baratos são constituídos de, além de quartzo, feldspatos, micas, matéria orgânica etc, e com o tempo fazem a diferença, visto que podem sofrer processos de decomposições, diminuindo a permeabilidade. Outro aspecto importante são os grãos de quartzo

marinho, os quais são geralmente arredondados cujo empacotamento favorece uma boa permeabilidade, ao passo que os formatos angulares dos grãos (imaturos) trabalhados pelos rios permite o ajuste entre essas faces diminuindo também a permeabilidade. A qualidade “ambiental” do tipo do pré-filtro está também relacionada com o licenciamento para a exploração do mesmo.

Cuidados no espaço entre o revestimento e a parede da formação deve ser o suficiente para o preenchimento do pré-filtro, devendo-se utilizar de dados da própria literatura, porquanto desvios no poço ou na verticalidade do revestimento podem provocar uma distribuição irregular do pré-filtro ao longo da coluna de tubulação. Outro problema é a resistência para colocar e retirar as tubulações e os equipamentos de bombeamentos tanto para o desenvolvimento quanto para o uso contínuo a que fôra destinada a captação. Por esta razão é bom verificar os defeitos do revestimento, inclusive nas “costelas” quebradas dos filtros geomecânicos, as quais poderão permitir a entrada de areia no poço, inutilizando-o, conforme comentado.

A experiência tem mostrado também que poço surgente não é sinônimo de poço produtivo. Uma situação interessante ocorreu no Município de Alagadiço Grande - RN. Adicionalmente, nestes casos de poços jorrantes, a perfuração rotativa trabalha a favor do processo de circulação de lama, mas no método da percussiva se constitui em um problema, porquanto joga para fora a lama bentonita, sendo necessário engrossá-la com cimento, cal ou baritina, o que pode ter implicações no desenvolvimento.

Alagamento

Recomenda-se observar terrenos alagadiços e comprimento (altura) de segurança da boca do poço. Este cuidado é necessário tendo em vista que na localidade do Guarapes, na cidade de Natal, foi construído um poço tubular pela CDM/RN em uma área com sedimentos superficiais bastante argilosos. A área era relativamente plana, mas com certo gradiente, sendo o poço construído na parte mais baixa. O sondador após terminar a construção deixou a boca do mesmo com apenas 25 cm acima da superfície do terreno. No dia seguinte seria feito o teste de vazão, entretanto a chuva excessiva durante a noite inundou a parte mais baixa, além de provocar transbordamentos das fossas. Conseqüentemente a boca do poço ficou submersa por uma água misturada pelos efluentes da fossa. Quando as águas sumiram foi necessário desinfetar o poço com, aproximadamente, 40 litros de hipoclorito de sódio a 10%, já que a captação se transformara em uma “fossa profunda”.

Limpeza e desenvolvimento

A limpeza em um poço novo tem basicamente a função de retirar o grosso da lama de perfuração. Em um poço antigo poderá ter uma função maior que é remover as incrustações que

obstruem as aberturas dos filtros. Neste último caso um novo desenvolvimento pode ser também necessário, pois os finos da formação geológica podem também contribuir com este problema. Quase sempre na fase da limpeza se utiliza dispersantes químicos para facilitar a remoção da lama bentonita, pois é mais difícil de retirá-la mecanicamente. A limpeza mecânica geralmente é feita com um simples esvaziador ou instalando uma tubulação de ar comprimido, levando, no primeiro caso, muito mais tempo.

A limpeza prévia ao desenvolvimento é importante para que as sujeiras não comprometam a utilização dos equipamentos do desenvolvimento, quer sejam oferecendo resistências ao êmbolo de borracha do pistoneamento ou também entupindo as tubulações do desenvolvimento já que a lama entra através dos filtros na descida da coluna do revestimento/filtro. A fase de limpeza inicial pode dar informações preliminares sobre o rendimento do poço. Por exemplo, se já no processo de limpeza, utilizando-se o esvaziador, o nível da lama rebaixar pouco é um indicativo de poço com boa produtividade, entretanto caso o nível rebaixe muito é um aviso que vai oferecer resistência para desenvolvê-lo, devendo-se tomar, previamente, as devidas precauções.

Um poço novo pouco desenvolvido compromete o seu rendimento, pois a sua função é aumentar a condutividade hidráulica natural nas proximidades do poço (incluindo o pré-filtro) e corrigir danos causados à formação pela perfuração (compactação, colmatagem etc) além de evitar a entrada de finos no poço. Em muitas ocasiões (CETESB, 1981), porém, por diferentes motivos, o desenvolvimento não é completado totalmente. Então, o equipamento de bombeamento permanente continua então o processo até atingir uma estabilidade, produzindo-se assim desgastes sérios na bomba, entupimento progressivo do poço e produção indesejada de areia. Dessa maneira o poço não apresentará um bom desempenho, a despeito do aquífero apresentar excelentes propriedades hidráulicas.

No caso do método de desenvolvimento utilizando pistoneamento, o plange não deve ser colocado sobre os filtros pois poderá danificá-los e nem tão próximo, pois forçará excessivamente a entrada de finos para próximo do poço trazendo prejuízos ao desenvolvimento. O aconselhável é ficar acima do primeiro filtro. Como o plange também não pode ficar na seção seca do desenvolvimento, os dados preliminares na fase de limpeza mecânica serão importante para se precaver desta situação. Afinal o grau de impermeabilização da formação poderá ser acentuado a depender da técnica utilizada na fase de perfuração, conforme foi comentado. Na prática, algumas empresas não tem esta preocupação, pois já conhecem o comportamento do rebaixamento do aquífero e colocam o plange (êmbolo de borracha) na profundidade de segurança, mas deve-se tomar cuidados neste sentido.

Pode-se dizer, primeiramente, que um poço está desenvolvido quando não vem mais sólidos, entretanto, o acompanhamento na tabela do teste de desenvolvimento em meio poroso fornecerá importantes informações sobre a necessidade do término do desenvolvimento. Isto se verifica, geralmente, na estabilização do nível dinâmico, ou melhor, na estabilização da vazão específica verificada na tabela de acompanhamento do teste e em seguida no indicativo de queda da mesma. Neste momento deve-se interromper o desenvolvimento, pois a continuidade do processo poderá colapsar novamente o poço, uma vez que estará forçando a entrada de finos da formação para junto do pré-filtro. Vale ressaltar que o ideal no desenvolvimento é usar uma vazão máxima (a mais alta possível) para este não comprometer depois o teste de produção, com um desenvolvimento incompleto. Entretanto, na prática, usa-se uma vazão teste, o que significa que o poço está desenvolvido para aquela vazão e isto poderá ter implicações no teste de produção e no funcionamento contínuo, conforme foi comentado. Um indicativo no teste de produção que o poço não está bem desenvolvido é a recuperação do seu nível dinâmico, daí ser necessário desenvolvê-lo, primeiramente.

A formação geológica argilosa pode dificultar a própria limpeza e desenvolvimento, pois contribui para engrossar progressivamente a lama bentonita, sendo necessário afinar freqüentemente, colocando água. No município de Pureza, o desenvolvimento de um poço nestas condições evoluiu de 2.500 L/h para 14.000 L/h, mas necessitou cerca de 15 dias, o qual foi atribuído ao comportamento do fluido e das argilas da formação, durante a perfuração.

Nesta fase da limpeza e do desenvolvimento deve ser observado os processos de acomodação do pré-filtro e somente depois o poço deve ser cimentado para fixação e proteção sanitária. Dado à velocidade de entrada de água no poço, que aumenta com o desenvolvimento (CETESB, 1981), alguns precipitados (incrustação) podem se formar e provocar uma obstrução parcial, porquanto mudam as condições de oxigenação e de pressão, necessitando, a depender do tipo de água, aplicar alguns produtos por questão de segurança, para dissolvê-lo.

Em poços antigos instalados em aluviões, como alguns que ainda restam da CAERN no interior do RN, é muito comum as incrustações de óxidos de ferro, tanto na bomba/tubulações quanto no filtro, de tal maneira que entre 3 e 4 meses de vida útil o desempenho do poço poderá estar muito comprometido. No caso das incrustações de óxidos de ferro, torna-se necessário fazer a limpeza utilizando reagentes ácidos para dissolvê-los (prazo de 12 horas geralmente), entretanto estes podem corroer as tubulações de aço inoxidável. A fase mecânica do pistoneamento também costuma ser aplicada, posteriormente, tanto para facilitar a introdução dos reagentes no aquífero, quanto para a remoção dos sedimentos finos. A utilização do ar comprimido associado em seguida, conferindo um superbombeamento, pode também dar bons resultados. Os resultados mostram que

às vezes o rendimento do poço recupera a vazão inicial, mas outras vezes vai gradualmente perdendo o seu desempenho. Há situações particular que o trabalho de manutenção permite a recuperação de uma vazão específica superior à original, mas isto se deve à baixa vazão aplicada na fase de desenvolvimento inicial, devido ao nível estático estar mais baixo naquele período sazonal. A utilização de uma tabela de controle dos dados desde a fase inicial de operação (vazão específica, nível estático, nível dinâmico, qualidade da água etc) é fundamental para verificar a evolução da queda do rendimento. Em sentido contrário, os registros dos dados iniciais antes do tratamento de limpeza e desenvolvimento são importantes para verificar a recuperação da eficiência do mesmo (Tabela 1). Aplicações de novos produtos no mercado (COMBA-T), que atuam na eliminação de diversas incrustações, apontou uma recuperação de 50% em poço da CAERN, instalado no aluvião do rio Ipanguaçu, com cerca de 50m de espessura, de tal maneira que o nível dinâmico subiu de 15m de profundidade, antes do tratamento, para 7-8m, após a aplicação, mantendo a mesma vazão.

Tabela 1 - Comportamento ao longo do tempo da perda da eficiência de poços em aluviões do município de Encanto – RN e das suas recuperações após os tratamentos de manutenções (CAERN).

Poço	Vazão esp. original (m ³ /h/m)	Vazão esp. (m ³ /h/m) antes e após limpeza e percentagem de recuperação								
		Em: 09/92			Em: 04/93			Em: 10/94		
		Antes	Após	%	Antes	Após	%	Antes	Após	%
01	5,14	1,14	2,70	52,52	1,47	3,21	62,45	2,81	3,89	75,68
02	2,25	0,58	0,79	35,11	0,79	1,05	46,66	0,75	1,14	50,66
03	4,76	1,77	3,24	68,06	1,91	3,50	73,52	1,45	2,30	48,31
04	1,83	1,18	1,41	77,04	1,25	1,30	71,03	0,96	1,15	62,84
05	3,41	0,82	0,94	27,56	1,13	1,14	33,43	0,72	1,03	30,20

Os problemas de incrustações de carbonatos de cálcio são também freqüentes quando os poços explotam água da Formação Jandaíra ou da Formação Açu superior. Na Formação Barreiras o que ocorre são as incrustações de óxidos de ferro, entretanto são menos intensas de tal maneira que poderá levar cerca de 2 anos para apresentar indícios da necessidade de uma limpeza. Entretanto, há poços da CAERN que durante trinta anos não foi necessário efetuar limpeza. Os problemas maiores na Formação Barreira são os processos de corrosão do filtro devido à acidez da água, que acabam por reduzir a vazão devido à instalação de outra tubulação por dentro, quando possível, para recuperar o poço.

Falhas, fraturas e estratificações

A presença de falhas com rejeito vertical significativo colocam lado a lado poços com diferentes produtividades. Em Parnamirim, município vizinho de Natal, dois poços perfurados muito próximos mostraram desempenho totalmente diferente dado a uma falha entre eles. No bairro

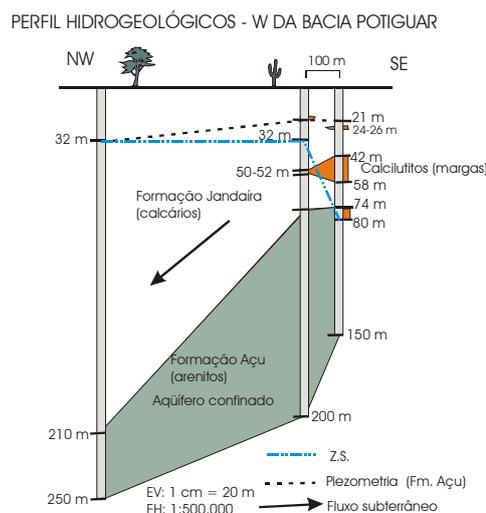
Cidade Satélite de Natal dois poços distantes um do outro cerca de 50m, estavam separados por uma falha com rejeito vertical de 15m, indicada no arenito calcífero. O poço P1 (com 85m de profundidade), no bloco baixo, tinha uma vazão específica de 2,5 m³/h/m, enquanto o poço P10, no bloco alto, apresentou uma vazão específica de 21,5 m³/h/m. Em regiões do cristalino, a variação da condutividade hidráulica é muito grande devido à aleatoriedade e interconexões das falhas e fraturas de tal maneira que poços perfurados muito próximos poderão ter vazões muito diferente. Ligeiras folgas nas rotopneumáticas durante as perfurações no cristalino são indicativas de fraturas nas rochas cristalinas (alvo da perfuração).

Nas sondagens percussivas, calcários fraturados (blocos de calcários) podem provocar desvios na ferramenta (broca) de perfuração de tal maneira que o poço poderá ser até abandonado, buscando uma nova locação, ou a sondagem avançar lentamente. Além das fraturas, as estratificações em calcários (intercalações de rochas moles e duras) podem também ocasionar desvios, pois na diferença de dureza, a tendência é a broca buscar o caminho mais fácil. Nestes casos, o alargamento do diâmetro do furo poderá ser necessário para dar maior estabilidade à coluna de perfuração.

No município de Macaíba, vizinho a Natal, foi perfurado um poço tubular em pleno Barreiras. Após o revestimento e ter sido efetuada a limpeza, a água apresentou salinidade da água salgada, com valores em torno de 35.000 mg/L. Locado outro poço, cerca de 80 m do mesmo, praticamente na mesma cota altimétrica, produziu-se água de ótima qualidade, isto é, com o mesmo quimismo das águas do Barreiras da região de Natal. É possível, neste caso, a presença de falhas/fraturas se conectando ao rio Jundiáí, o qual se apresenta com água salgada.

No final de 2002, junto ao INCRA, diversos poços tubulares foram perfurados nos assentamentos rurais da Bacia Potiguar, para a dessedentação humana e animal e, eventualmente, para as atividades de irrigação. Na área de trabalho dos diversos assentamentos, principalmente no setor oeste da Bacia Potiguar, percebeu-se que as diversas lentes de calcilutitos (margas), em diferentes profundidades, funcionam como níveis de confinamentos dentro da própria Formação Jandaíra, os quais geralmente mostram ascensão de nível d'água ao ultrapassá-los (Assentamento São Monoel II, por exemplo). Por outro lado, poços que atingiram o aquífero Açú, sem apresentar saturação na Formação Jandaíra (Assentamento São Sebastião III), distante, cerca de 100 m do anterior evidenciaram ascensão do nível d'água se igualando-se às carga hidráulica do anterior. Isto pode indicar de maneira preliminar uma interconexão hidrodinâmica entre esses dois aquíferos, ligados, provavelmente, aos processos de fraturamentos (Figura 4). Por outro lado, há ocasiões, quando da ausência dos níveis argilosos intercalados, o nível d'água detectado na Formação Jandaíra comporta-se como aquífero livre (Assentamento Tião Carlos), tendo em vista não haver

qualquer modificação de carga, inclusive após perfurar a Formação Açu, o que pode ser mais um



indício da interação entre as mesmas.

Figura 4 - Interconexões hidráulicas entre a Formação Açu e a Formação Jandaíra.

Presença de diques basálticos

Sabe-se que enxames de diques basálticos do Terciário afetaram o Rio Grande do Norte, sendo registrados principalmente no cristalino. Embora não sejam tão frequentes existem casos de diques de basalto intrudidos ou em forma de sill na Formação Barreiras, na região de Natal, próximo ao aeroporto e no bairro Capim Macio. Quando os mesmos se encontram alterados não oferecem resistências, como na região do aeroporto de Parnamirim, mas quando não estão alterados a perfuração percussiva poderá ser interrompida.

Presença de animais

É muito comum animais (gatos, cobras, lagartixas, etc) caírem no poço durante o intervalo de descanso ou refeição nas fases de construção e manutenção dos poços ou até morarem dentro do mesmo, como as abelhas. Muitos animais venenosos também se alojam nas máquinas e dificultam o trabalho, colocando os operadores em riscos de vida. A queda de um gato até a profundidade de 35m (nível estático da lama de perfuração) foi registrada, por exemplo, no município de Apodi – RN, na comunidade Soledade, quando o sondador deixou a boca do poço aberta no intervalo do almoço, após ter alargado um poço de 10” para 12” de diâmetro. Adicionalmente, no município de Touros - RN, na localidade de Umburama, quando a equipe de teste de vazão da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos estava retirando a tubulação de vazão de um poço com 100m de profundidade e 6” de diâmetro, uma cobra surgiu entre os canos e saltou sobre o chefe da equipe. Portanto, deve-se ter a prevenção de não deixar destampada a boca do poço, colocando um peso em cima, pois é

evidente o risco de crianças também caírem dentro do poço ou mesmo animais domésticos ou peçonhentos .

O barulho de manutenção das ferramentas similar ao barulho de determinadas presas (como o barulho parecido com o coaxar de um sapo, por exemplo) pode atrair a presença de cobras ou outros animais .

Geralmente na tampa da boca do poço é perfurado um furo para realizarem medições do nível d'água. Quando o mesmo fica destampado poderá permitir, também, a entrada de pequenos animais dentro do poço (cobras, sapos, abelhas etc) muitos dos quais morrerão e irão comprometer a qualidade da água, ou mesmo crescerem e ficarem impossibilitados de sair.

Riscos de Acidentes

Os riscos de acidentes são elevados e as situações que envolvem as questões de segurança são as mais variadas possíveis. Muitas das situações verificadas na sondagem percussiva ocorrem nos outros métodos, conforme a seguir:

- primeiramente, pode-se dizer que os problemas de desmoronamentos podem gerar várias situações de riscos de vida, conforme comentamos inicialmente;

- os freios do porta cabo, caçamba de limpeza e o guincho (Catarina) podem escorregar. Devem ser verificados com certa frequência, pois ao manter ou trocar ferramentas no alto, as quais podem pesar mais de 1.000 Kg, estas poderão cair e atingir os operadores decepando a mão, como já ocorreu. Esta é a razão pela qual tem sempre que apoiar (ancorar) no chão e nas pranchas as ferramentas para as manobras de mudança de ferramentas;

- os elevadores servem para facilitar a elevação de diferentes tubos, pois são bastante práticos, mas poderão cair quando não manuseados corretamente e atingir a cabeça dos operadores. Em uma dada ocasião, um desses caiu rachando o capacete, mas não sendo fatal;

- a locação de poços próximos de redes elétricas deve ser evitada ou muito cuidadosa, pois os contatos das ferramentas ou cabos distais (que servem para dar estabilidade à torre) com a rede elétrica poderão gerar descargas elétricas fatais, conforme já ocorreram;

- Rupturas dos cabos de aço sempre poderão ocorrer, principalmente associadas aos porta cabos, conforme comentado anteriormente;

- A lama de perfuração deverá ser afinada antes de colocar o revestimento/filtro, pois o processo do empuxo poderá empurrar violentamente para cima o revestimento, já que a lama grossa não permite a entrada da mesma dentro do revestimento. Na rotativa, geralmente as suas propriedades são medidas, mas na percussiva essas questões são resolvidas através do tato e visualmente;

- No processo de recuperação do revestimento do poço em função de baixa produtividade pode-se utilizar os macacos hidráulicos e o pescador de poço para descolar (sacar) o poço. É claro que antes também é recomendável cortar o pé do poço e com auxílio de um compressor capturar os cascalhos em volta do poço para folgar o revestimento. Entretanto, pode ser que aconteça que no processo de descolar o revestimento ocorra uma subida brusca deste jogando os macacos e as pranchas para o lado atingindo os operadores;

- Ferramentas pesadas de perfuração podem causar lesões. Em outras situações, como no processo de cravação para instalar o tubo guia, deve ter cuidado para não atingir a mão, causando ruptura dos dedos, conforme já ocorreu. O manuseio das engrenagens podem esmagar os dedos, principalmente na colocação da correia, que pode sair por vários motivos;

- O caminhão Muck é um carro de apoio que funciona como guincho. O sapato hidráulico pode baixar e prender ou arrancar o pé/dedos. Este fato já ocorreu com um rapaz que se encontrava do outro lado do carro, possivelmente desatento;

- No processo de manutenção (lubrificação) da torre percussiva já houve casos em que o operador caiu por não usar o cinto de segurança. Da mesma maneira, no caso de utilização eventual dos torristas, nas rotativas, deve-se tomar cuidado para não se acidentar e cair, já que o espaço para realizar a manobra é muito pequeno e a rapidez destas são elevadas, aumentando o risco. Para se ter uma idéia 1.000 m de hastes podem ser retirados em uma hora. Há registro de um caso fatal de queda;

- Toda tubulação deve ser manuseada com cuidado, dado o seu peso. Pode-se constatar em campo que na maior parte dos casos, as pessoas trabalham sem os equipamentos de segurança individual, tais como bota, capacete, luva, protetor auricular, apesar da empresa de perfuração exigir dos seus funcionários o cumprimento das normas adequadas de segurança.

Manutenção e Transporte da Perfuratriz

Durante as observações nas empresas registrou-se máquina perfuratriz (percussiva) que já tem uma vida em serviço de 50 anos, enquanto outra com 15 anos indicando péssima condição. Além do tipo de material que poderá influir, certamente a manutenção tem mostrado um importante diferencial na sua durabilidade.

No caso de transportes de equipamentos de uma locação para outra, cuidados sempre deverão ser tomados na manutenção e colocação correta do pino de conexão entre a perfuratriz e o carro guincho, pois a perfuratriz pode desacoplar, conforme já ocorreu em atividade da FUNASA, entre os municípios de Pureza e Ceará Mirim no RN. Como a máquina perfuratriz passou adiante do caminhão, em pequeno ângulo de inclinação, nada de grave ocorreu.

Os períodos chuvosos podem trazer certos incômodos para as atividades de perfuração, pois as perfurações poderão ocorrer em lugares mais variados e sofrer muitos atrasos na obra. Portanto, deve-se tomar cuidado para evitar atoleiros ou que alagamentos eventuais dificultem a locomoção das máquinas. Há um registro de uma máquina perfuratriz da FUNASA que ficou quase totalmente alagada entre Barra do Rio e Pitangui (Município de Extremoz - RN). Como choveu muito, o nível do lençol freático, que devia ser raso, subiu rapidamente de um dia para outro formando uma lagoa de mais ou menos 100 m² e cobrindo quase totalmente a perfuratriz.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Observar indicações de ausência de avanço da perfuração e casos de desmoronamentos. Deve-se comparar o volume escavado com a profundidade aplicando a fórmula $V=\pi r^2 h$ ou contabilizar o avanço com a marcação no cabo de aço da caçamba de limpeza. No caso da rotativa, se lama de circulação não limpar durante a amostragem é um indicativo de desmoronamentos;

- No caso dos desmoronamentos progressivos deve-se observar trincas circulares nos terrenos distante 1-2 m do centro do furo; entretanto os desmoronamentos devido às cavernas calcárias são geralmente rápidos, o que necessita de uma atenção redobrada nesse tipo de terreno. Na ausência de uma rocha consolidada para cravação do revestimento provisório, deve-se amarrar firmemente o revestimento provisório às pranchas de madeira para não perdê-lo. No caso de investigação do potencial hidrogeológico do arenito calcífero, subjacente à Formação Barreiras deve ser cravado um revestimento a uns 3 m dentro do calcífero, para evitar desmoronamentos;

- Recomenda-se cuidados com a presença de crianças, animais domésticos e por vezes peçonhentos, os quais podem cair dentro do poço. Também recomenda-se manter os furos da abertura de medição de nível d'água fechados com parafusos de vedação para evitar que animais adentrem e morram ou morem dentro do poço;

- Recomendam-se cursos de treinamento e reciclagem sobre segurança do trabalho, pois a maioria dos sondadores são práticos, sem muita instrução, dificultando as observações de cuidados e usos dos equipamentos de segurança com a finalidade de diminuir riscos de acidentes. Particular atenção aos riscos de vida deverão ser dados aos problemas de desmoronamentos rápidos e progressivos. Assim que ocorrerem indícios de desmoronamentos as ferramentas deverão ser levantadas e reprogramar a lama ou colocar revestimentos provisórios;

- Recomenda-se o acompanhamento técnico em todas as fases de construção, pois muitas informações importantes poderão ser perdidas, as quais ajudariam a entender melhor o comportamento do desempenho do poço e do próprio aquífero;

- A qualidade da água, embora não comentada, também poderá comprometer o aproveitamento do poço. Há registros de poços inutilizados ou com problemas de nitratos muito elevado em Natal. Outros poços, em zonas costeiras, são fechados devido às capturas de manguezais, ou mesmo da cunha salina, sem falar de eventuais influências de petróleo em poços da Fm. Jandaíra, além de problemas ambientais com a interconexão hidráulica de aquíferos de diferentes qualidades da água, polêmica que tem sido levantada em Natal relacionada com nitratos;

- As informações geológicas detalhadas certamente ajudarão uma boa locação que poderá influenciar na boa produtividade do poço. Recomenda-se guardar o controle do relatório do poço desde a construção para avaliar os problemas de baixa de rendimento por incrustações. As análises químicas monitoradas darão também importantes informações sobre a evolução do comportamento químico da água e, conseqüentemente dos problemas de incrustações, bem como de corrosões.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos geólogos, técnicos e operadores das seguintes empresas de perfuração e instituições: CEFET-RN, CAERN, PROPOÇO, FUNASA, SERHID, GM Engenharia e PROSENG.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CETESB (1978). *Manual de operação e manutenção de poços*. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente. Gov. de São Paulo. Séc. de Meio Ambiente.

DNPM/CPRM/SEDEC – Secretaria do Desenvolvimento Econômico do RN. Avaliação e Diagnóstico do setor Mineral do Estado do Rio Grande do Norte. Dezembro, 2005.

FEITOSA F.A.C.; FILHO J.M (1997). *Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações*. 1^a ed. Fortaleza, CPRM, LABHID-UFPE, 412 p.

MABESOONE J. M. *et al.*. Nota Explicativa dos Mapas (1991). In : *Estudos Geológicos: Revisão Geológica da Faixa Costeira de Pernambuco, Paraíba e Parte do Rio Grande do Norte*, UFPE - Recife, Série B, v. 10, p. 21-31.

MELO J.G.; FEITOSA E.C (1998). *Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos do Rio Grande do Norte*. Plano Estadual de Recursos Hídricos/SEHID.

REBOUÇAS, A. C. (1967). *Estudo Hidrogeológico*. TOMO I e II. Recife, SUDENE.

IPT (1982). *Estudos Hidrogeológico Regional Detalhado do Estado do Rio Grande do Norte*. Secretaria de Indústria e Comércio do Rio Grande do Norte, Vol.1, 389 p.