

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO/GESTÃO DE UMA ÁREA PILOTO DO AQUIFERO MISSÃO VELHA, NA BACIA SEDIMENTAR DO CARIRI, NO ESTADO DO CEARÁ.

Robério Bôto de Aguiar¹ & Walber Cordeiro¹

Resumo - A Bacia Sedimentar do Cariri localiza-se no alto sertão nordestino, cobrindo uma área de aproximadamente 11.000Km². Territorialmente, engloba parte dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, constituindo-se no divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe (Ce) ao norte, São Francisco (Pe) ao sul e Parnaíba (Pi) a oeste. Dos aquíferos existentes nesta Bacia, destacam-se as Formações Rio Batateira, Abaiara e Missão Velha, que formam o Sistema Aquífero Médio, cobrindo uma área de 2.830Km² e com uma espessura média de 295 metros, armazenando uma disponibilidade potencial de 112 milhões de m³/ano de água com excelente qualidade, tornando-se assim, o principal responsável pelo abastecimento de cidades como: Juazeiro do Norte, Crato, Barbalha e Missão Velha. Atualmente, o desconhecimento das condições de uso dos poços na região só tem permitido estimativas não controladas, desconhecendo-se praticamente os reais volumes que são extraídos, os níveis que são atingidos e as modificações na qualidade das águas ao longo do tempo. Este projeto visa a implantação do sistema de monitoramento, capaz de medir as variações de níveis e os volumes explorados dos desses aquíferos e, a partir dos dados, implementar as ações de gestão de forma a garantir o uso racional destes recursos.

Abstract - The Cariri Sedimentary Basin was situated in northeastern region, covering an area of 11.000Km². Territorially, take some part of Ceará, Pernambuco and Piauí, consisting in the watershed of the hydrographic basins of the Jaguaribe River (Ce) to the north, São Francisco River (Pe) to the south and Parnaíba River (Pi) the west. Among the aquifers existing in this Basin, the Formations are distinguished Rio da Batateira, Abaiara and Missão Velha, that form the Medium Aquifer System, covering an surface area of 2.830Km² and with an average thickness of 295 meters, storing a potential availability of 112 million m³/ano of water with excellent quality, becoming thus, main the responsible one for the supplying of cities as: Juazeiro do Norte, Crato, Barbalha and Missão Velha.

¹ Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos; Superintendência das Águas Subterrâneas; Av. Aguanambi, 1770, CEP 60.055-405, Fortaleza; Ceará; Telefone (085) 257.6538; Fax (085) 257.6537; E-mail boto@cogerh.com.br walberc@cogerh.com.br

Currently, the unfamiliarity of the conditions of use of the wells in the region only permit not controlled estimates, being unaware of practically the real volumes that are extracted, the levels that are reached and the modifications in the quality of waters in the long of the time. This project aims at the implantation of the monitoring system, capable to measure the variations of levels and water-bearing exploited volumes of these aquifers, with these data, to implement the actions of form management to guarantee the rational use of these resources.

Palavras-chave: Monitoramento; Gestão; Cariri; Ceará.

INTRODUÇÃO

Ceará é um dos Estados da Região Nordeste, inserido no semi-árido, com uma precipitação pluviométrica anual inferior aos índices médios de 750mm, assentado sobre uma área constituída por setenta e cinco por cento de rochas cristalinas impermeáveis. Tais características impuseram ao Estado uma política de açudagem, que desde os primórdios de sua colonização aos dias atuais, logrou uma capacidade de acumulação de água ao redor de doze bilhões de metros cúbicos, entre pequenos, médios e grandes reservatórios.

A água acumulada nesses reservatórios durante o período das chuvas está sujeita a uma forte evapotranspiração potencial nos oito meses seguintes, reduzindo substancialmente uma grande parte desse volume e assim acumulando cíclica e gradativamente uma grande quantidade de sais, principalmente nos pequenos e médios reservatórios, desprovidos de descarga de fundo, o que acarreta a salinização dos mesmos, tornando-os inviáveis para o abastecimento humano. Além do acúmulo de sais, esses reservatórios recebem uma grande carga de poluentes orgânicos e químicos, decorrente do povoamento de suas margens e das atividades econômicas desenvolvidas no perímetro de sua bacia.

Com relação aos recursos hídricos subterrâneos, estima-se que o armazenamento de águas subterrâneas no território cearense seja de 1,2 bilhão de metros cúbicos, o que representa 10% da capacidade dos reservatórios superficiais, justificando um tratamento racional para o melhor aproveitamento dessas reservas. Os problemas enfrentados pelas populações humanas e rebanhos do nosso Estado com a escassez d'água em períodos de secas poderão ser significativamente atenuados se as reservas subterrâneas forem consideradas e tratadas mais racionalmente e com técnicas adequadas.

A alternativa de acumulação em reservatórios superficiais, com transporte por gravidade, sem dúvida faz parte das grandes soluções para combate à escassez hídrica do Estado. Entretanto, os recursos hídricos subterrâneos deverão receber uma abordagem integrada com o componente hídrico superficial, tendo na atividade de monitoramento a possibilidade do cálculo mais preciso de

suas reservas, de forma a melhor planejar seu uso e para que se faça a ocupação sustentável do território cearense.

Dos aquíferos existentes no Estado, destaca-se a Formação Missão Velha, localizada na porção central da Bacia Sedimentar do Cariri, na porção sul do Ceará (Figura 01). Essa formação é constituída essencialmente de arenitos grosseiros e mal selecionados, de coloração esbranquiçada a amarelado, aflora no vale do Cariri, cobrindo uma área de 2.830 km² e com uma espessura média de 295m (DNPM, op. cit.), armazenando uma disponibilidade potencial de 112 milhões de metros cúbicos/ano de água de excelente qualidade, tornando-se assim o principal responsável pelo abastecimento de várias cidades, destacando-se Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha, sendo de vital importância para o desenvolvimento sócio-econômico desta região.

Apesar das excelentes características do aquífero Missão Velha, existem fatores que ameaçam a integridade de suas águas, destacando-se: a perfuração indiscriminada de poços, a ausência de saneamento básico; as atividades agrícolas e industriais e os poços abandonados e/ou mal construídos, que associados a alta vulnerabilidade natural desta unidade aquífera (Ribeiro & Veríssimo, op.cit), deflagram a necessidade da implantação de instrumentos de gestão que favoreçam a exploração racional deste aquífero.

Portanto, o verdadeiro potencial dos aquíferos do Estado do Ceará, só será melhor conhecido com a implantação de um sistema de monitoramento, capaz de medir suas variações de níveis e os volumes explorados. E a partir destes dados implementar as ações de gestão, de forma a garantir o uso racional destes recursos.

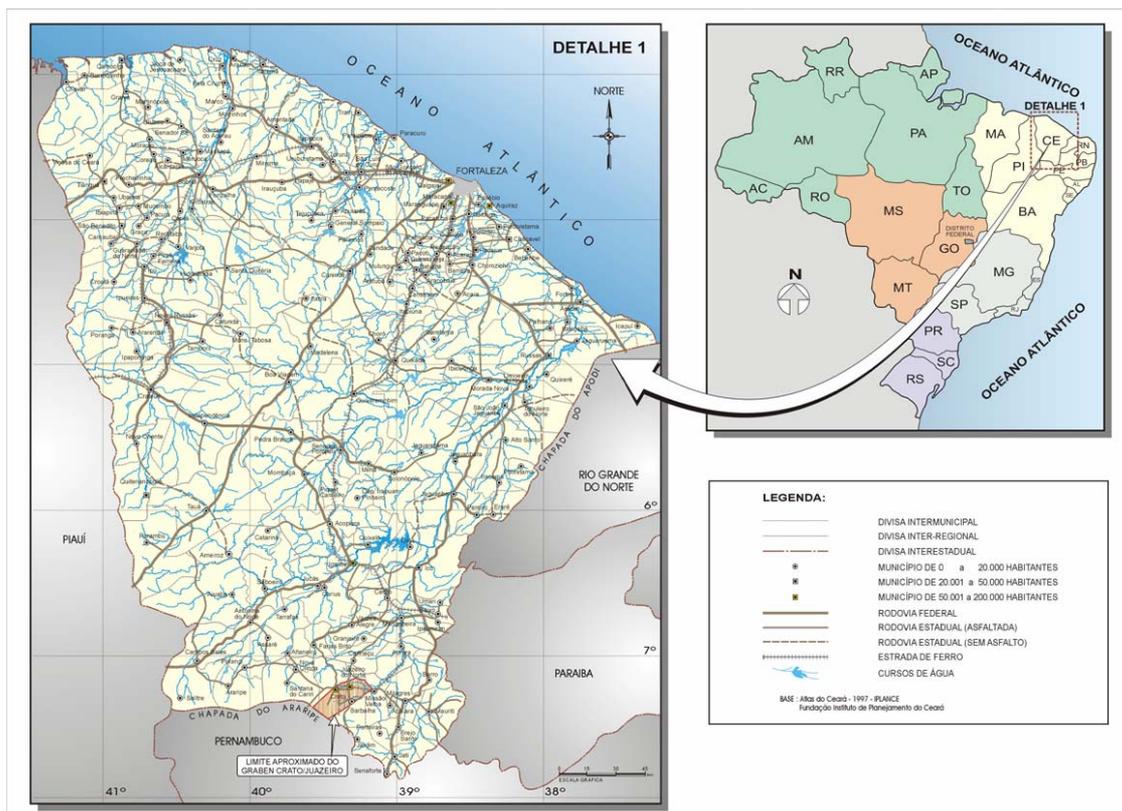


Figura 01 – Mapa de localização da área de trabalho e seus acessos.

METODOLOGIA

O Projeto será desenvolvido segundo as etapas descritas abaixo:

Etapa I - Pesquisa Bibliográfica

O Estado do Ceará conta com um considerável acervo bibliográfico referente a estudos Geográficos/Hidrogeológicos, tanto do contexto das rochas cristalinas como das rochas sedimentares. Grande parte deste material é fundamentalmente informativo e descritivo, porém lamentavelmente, não é interpretativo.

Não raros os trabalhos, sobretudo de construção de poços, não foram executados dentro dos mínimos padrões técnicos e normativos, razão pela qual são pelo menos parciais, se não totalmente irreais.

Reconhece-se que há um volume substancial de material produzido por técnicos e profissionais da área que merecem toda a credibilidade, razão pela qual, serão utilizados como referência e base no desenvolvimento do trabalho.

Considerando-se os diferentes enfoques, objetivos e destinações dos trabalhos existentes, procurar-se-á:

- Coletar, se possível, a totalidade dos trabalhos relativos ao aquífero Missão Velha. Estes dados referem-se a mapas: topográficos, geológicos, hidrogeológicos e de ocupação;

estudos hidrogeológicos e geofísicos; perfis de poços (litológicos, descritivos e de perfilação geofísica); testes de aquíferos e produção; análises químicas de águas superficiais e subterrâneas;

- Atualizar o cadastro dos poços;
- Analisar a consistência das informações e dados obtidos;
- Sistematizar as informações para os objetivos do projeto em pauta;
- Identificar os locais carentes de informações complementares;
- Com base no panorama gerado, selecionar 10 poços profundos para instalação de sistemas de monitoramento do aquífero Missão Velha.

A coleta dos dados referentes ao aquífero Missão Velha será feita com base na consulta de trabalhos gerados ou publicados por diferentes órgãos ou entidades nacionais e internacionais, como: SUDENE, DNOCS, Universidades, Sociedades Científicas (SBG, SBGF, ABAS, ABGE) e Órgãos Públicos (FUNCEME, DNPM, CPRM, IBGE, PETROBRAS e CAGECE).

O produto deste estudo será a elaboração de mapas (digitais), tabelas, interpretação de dados e a definição da rede constituída por dez poços, nos quais serão instalados sistemas de monitoramento de nível dinâmico e estático, quantidade de água produzida e qualidade da água.

Serão igualmente definidos os locais onde deverão ser executados os levantamentos geofísicos complementares, para adensar a malha de informações sobre o aquífero Missão Velha.

Etapa II - Levantamento Geofísico

A Bacia Sedimentar foi submetida a diversos eventos tectônicos, resultando em altos e baixos estruturais (horst e graben), que afetaram a deposição original do aquífero. Independentemente da cronologia tectônica, informações até agora obtidas revelam que a Formação Missão Velha sofreu compartimentações bem definidas, assim como, variações faciológicas laterais. Além deste aspecto, verifica-se, com base nos dados atuais, que a Formação Missão Velha possui possanças diferenciadas, associadas à existência de estruturas e ao contexto deposicional.

Dadas as observações acima, verifica-se que a região é contemplada, dentre outros, pelo Graben Crato-Juazeiro.

Trabalhos anteriores sugerem que neste contexto encontram-se as maiores espessuras deste aquífero, o que resulta na maior potencialidade hídrica.

À luz das informações acima expostas, os levantamentos geofísicos terão como objetivos:

- Identificar a estratigrafia geofísica;
- Determinar as espessuras (profundidades) dos diferentes estratos geofísicos e correlaciona-los com a estratigrafia geológica, obtida a partir dos perfis dos poços existentes na área;

- Com base na definição das espessuras dos diferentes estratos, nos diferentes pontos de investigação, procurar identificar a presença de estruturas dentro do contexto estudado (Graben Crato-Juazeiro) e procurar reconstituir o arcabouço tectônico-estrutural;
- A partir da resistividade dos estratos, correlacioná-los com os parâmetros hidrodinâmicos dos poços (capacidade específica) e arcabouço estrutural, identificar as zonas mais promissoras para a instalação de futuros poços profundos;
- Com base na identificação das áreas mais promissoras, eleger um ponto para construção de um poço exploratório, com previsão de penetração da total espessura do aquífero Missão Velha.

Considerando-se que a área de trabalho é caracterizada por um contexto de bacia sedimentar, o procedimento geofísico a ser utilizado contemplará a investigação no sentido vertical, qual seja em profundidade. Para atender este objetivo, propõe-se utilizar o método da eletroresistividade em seu procedimento de Sondagem Elétrica Vertical (SEV). Tratando-se de uma zona onde as bruscas variações laterais são passíveis de serem encontradas, o arranjo mais indicado é o Arranjo Schlumberger.

Como a espessura máxima prevista nesta área se encontra na ordem de 300-400m, as SEV deverão atingir uma abertura mínima de $AB/2$ de 1.000m.

As SEV serão medidas preferencialmente em regiões topograficamente pouco acidentadas, dispendo-se as linhas paralelas às direções das grandes estruturas.

O equipamento constituir-se-á de uma fonte transistorizada DC-DC, de 500W de potência e saída máxima de 1.000V, com medida digital de corrente de 0,1 mA de resolução e as diferenças de potencial serão medidas com multímetros digitais de elevada impedância de entrada e com 0,1 mV de sensibilidade.

Os espaçamentos $AB/2$ deverão cobrir, no mínimo, 9 pontos/decada logarítmica, espaçados de forma a dispô-los numa forma a mais homogênea possível.

Quando das embreagens dos diferentes espaçamentos MN utilizados, serão executadas medidas com 3 espaçamentos $AB/2$ com os dois espaçamentos de MN.

Os dados de campo serão registrados:

- Em caderneta de campo própria identificando-se: o número da SEV, as coordenadas através de GPS, o local, a direção da linha AB, a data, o operador, o equipamento utilizado, a abertura $AB/2$, a abertura MN, o valor da corrente medida, o valor da diferença de potencial entre MN medida, o valor do fator geométrico (k) e o valor da resistividade aparente calculada;

- Os valores de resistividade aparente encontrados serão lançados em papel bilog próprio, com decada de 10cm, construindo-se a curva de campo da SEV, que será plotada paripasso ao andamento da execução da SEV;
- O ponto central da SEV será materializado no campo, através de marcos de concreto com a devida identificação (número da SEV e sigla do projeto).

Os dados de resistividade aparente encontrados serão digitados em arquivos do programa RESIX PLUS de modo a possibilitar necessárias suavizações das curvas de campo e realizar interpretação automática das curvas de SEV, determinando o número de camadas, suas respectivas espessuras (profundidades) e determinar as suas resistividades reais.

Etapa III - Implantação da Rede de Monitoramento

Esta etapa visa a implantação do sistema de monitoramento telemétrico dos níveis potenciométricos, das vazões retiradas, das recargas e da qualidade d'água do aquífero Missão Velha no Cariri.

No sistema de monitoramento aqui proposto é adotado o conceito de modularidade, assegurando a possibilidade de maior adequação e expansões futuras da rede, formando um sistema distribuído de supervisão/controle e aquisição remota de dados, através de sensores hidrológicos que serão lidos por um subsistema de coleta, armazenamento e comunicação de dados.

O princípio de funcionamento da Rede de Monitoramento está baseado na Telemetria de dados entre as Estações Remotas e a Estação Central de Processamento e Coleta de Dados a ser instalado na COGERH. Dentre as possíveis alternativas, optou-se por utilizar um sistema de monitoramento baseado em tecnologia de comunicações via celular utilizando a transmissão de dados através da técnica SMS - Short Messages Service, por ser mais segura e economicamente vantajosa.

O sistema de monitoramento via celular - SMS apresenta-se hoje como uma alternativa viável. Dentre suas maiores vantagens, pode-se citar:

- Baixo investimento de implantação, operação e manutenção;
- Tarifas reduzidas;
- Possibilidade de expansão de funções do sistema para outras medições;
- Padronização de modelo de monitoramento;
- Possibilidade de coleta de dados em intervalo de tempo determinado pelo usuário;
- Baixo consumo de energia elétrica, podendo ser utilizado painel solar;

Etapa IV - Projeto e Acompanhamento do Poço Exploratório e Testes de Aquífero

Baseado no desenvolvimento das etapas I e II do presente projeto será elaborado um projeto construtivo de um poço profundo exploratório. Como muitos dos poços profundos existentes foram construídos sem observar as normas construtivas e não atravessaram totalmente o aquífero Missão Velha, este projeto observará as normas construtivas elaboradas pela ABNT e ABAS e permitirá que o poço atravesse toda a formação aquífera. Serão, ainda, elaborados os projetos construtivos de dois piezômetros, que permitirão a realização dos testes de aquífero.

Os objetivos da construção deste poço exploratório serão:

- Checar as informações fornecidas pelo levantamento geofísico quanto ao tipo de litologia e espessuras dos estratos;
- Determinar a seqüência litológica local;
- Determinar a espessura total da formação aquífera Missão Velha neste ponto;
- Permitir a realização de perfilagens de poços (condutividade/resistividade elétrica, radiação gama natural e outros) para identificar as profundidades e as características aquíferas dos diferentes estratos e também para a definição da colocação de filtros
- Permitir a realização de um teste de aquífero (utilizando-se os 2 piezômetros a serem construídos como base)
- Realização de testes de aquíferos em outros poços escolhidos.(pelo menos 5 poços)

Com base nas informações de poços existentes e análise dos dados geofísicos será apresentado um projeto típico para construção de poço profundo. Neste projeto estarão definidos os diâmetros de perfuração, as prováveis profundidades, o diâmetro do revestimento e filtros, método de perfuração e definição do sistema de perfilagem.

Será realizado um ensaio de bombeamento no poço exploratório com vistas à determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Missão Velha: transmissividade (T); coeficiente de armazenamento (S) e condutividade hidráulica (K), através da observação dos rebaixamentos produzidos nos dois poços de observação (piezômetros). Serão também realizados testes de aquíferos em pelo menos mais 5 poços, a serem escolhidos nas fases anteriores.

Para a realização dos ensaios de bombeamento (testes de aquífero) deverá ser utilizada bomba submersa com vazão e recalques compatíveis com a capacidade de produção estimada para os poços.

O controle da vazão durante os ensaios será realizado através de equipamentos que garantam que a mesma permanecerá constante durante o bombeamento (escoador de orifício circular, vertedouros ou hidrômetros), enquanto que, a medição dos níveis se fará através de medidor de nível elétrico ou medidor automático do tipo piezométrico. Os dados serão registrados em tabelas apropriadas, devendo conter todas as informações pertencentes ao poço e piezômetro.

A interpretação dos testes de aquíferos se fará através do método de interpretação mais adequado às condições físicas do aquífero (Ex. Theis com correção de Jacob) se aquífero livre e preferencialmente através de software apropriado.

Etapa V - Monitoramento do Sistema e Elaboração de Planos

O desconhecimento das condições de uso dos poços torna necessária a realização de uma etapa de monitoramento dos níveis e das vazões que são extraídas e dos regimes de operação das bombas. Atualmente, a falta destes dados só tem permitido estimativas não controladas, desconhecendo-se, praticamente, os reais volumes que são extraídos, os níveis que são atingidos e variação da qualidade das águas ao longo do tempo.

O objetivo básico deste etapa é avaliar a performance dos equipamentos de monitoramento, a eficiência das operações e rotinas, tendo em vista embasar um sistema geral que possa ser utilizado nas tarefas de gestão do sistema subterrâneo e de implantação de uma política de uso racional dos recursos hídricos subterrâneos.

Para isso, os poços a serem monitorados serão selecionados com base nos seus dados geológicos, construtivos, operacionais e viabilidade de instalação dos equipamentos de monitoramento programados para medida de nível, de vazão e de qualidade. Outro fator importante que será considerado a disposição dos proprietários em colaborar durante o período de medidas.

Etapa VI - Elaboração do Relatório Final

O relatório final será elaborado de forma a conter a descrição de todas as atividades desenvolvidas durante a execução do projeto, incluindo os dados levantados e as respectivas análises, condensando de forma sucinta todos os relatórios parciais. O fechamento deste relatório se fará com a proposta de um plano de operação e gestão para o aquífero Missão Velha e uma proposta metodológica para o monitoramento e gestão do outros aquíferos do Estado do Ceará.

CRONOGRAMA FÍSICO DA EXECUÇÃO DO PROJETO

Visando o perfeito desenvolvimento do projeto e assim alcançar todos os objetivos propostos, as etapas descritas anteriormente deverão ser realizadas segundo a tabela 1.

Tabela 1 – Cronograma de execução das etapas do projeto (Obs: ■ = realizado; ■ = a realizar)

FASE	ATIVIDADES	MESES DE SERVIÇO																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Pesquisa Bibliográfica	■	■	■																					
2	Levantamento Geofísico			■	■	■	■	■	■																
3	Implantação da Rede Telemétrica									■	■	■	■	■	■	■									
4	Projeto do Poço e Teste de Aquífero									■	■	■	■	■											
5	Monitoramento do Aquífero									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	Relatório Final																							■	■

EXECUÇÃO DO PROJETO

O referido projeto está sendo executado, desde agosto de 2001, pelo Consórcio Golder Associates Brasil e PIVOT – Projetos de Irrigação, Consultoria e Assessoria Ltda.

Dentre as atividades realizadas, podemos destacar:

- 1. Levantamento Bibliográfico** – Esta atividade contemplou a identificação e pesquisa de publicações científicas e materiais cartográfico de interesse, possibilitando o reconhecimento da área de estudo e do contexto hidrogeológico do Estado do Ceará;
- 2. Implantação do Banco de Dados** - As informações obtidas durante o levantamento bibliográfico realizado até o momento foram organizados em um banco de dados no software ACCESS, denominado Banco de Dados Cariri, que contribuirá na elaboração das etapas seguintes, permitindo o rápido acesso às informações que se mostrarem necessárias. O banco de dados possibilita a busca de documentos por dados catalogados e palavras-chave, e inclui um resumo de cada trabalho pesquisado com as informações obtidas durante a pesquisa bibliográfica.
- 3. Levantamento Geoestrutural** – O objetivo deste levantamento foi identificar as principais estruturas geológicas condicionantes do fluxo de água subterrânea na área de estudo, sendo dado especial enfoque às estruturas de origem neotectônica. Este levantamento permitirá nortear a seleção da área onde serão realizados os trabalhos de geofísica;
- 4. Levantamento Geofísico** – Com o objetivo de obter-se um conhecimento do comportamento geoeletrico das seqüências estratigráficas no âmbito regional e local da área proposta para estudo (Gráben Crato-Juazeiro – Aquífero Missão Velha), foram

executadas cerca de 18 sondagens elétricas verticais (SEV's), com AB/2 de 1000 a 1800 metros. Em seguida, os dados foram processadas e interpretadas através dos programas ATO e RESIST, a partir do qual foram identificados, nos pontos de investigação, o topo e a base das formações geológicas e de domínios hidrogeológicos (aquíferos) previamente denominados de superior, médio e inferior. Os trabalhos de geofísica iniciaram-se a partir dos conhecimentos adquiridos de pesquisa bibliográfica e, principalmente, do relatório do levantamento geoestrutural.

5. **Cadastro dos Poços** – A partir de levantamentos de poços já existentes, feitos pelo DNPM (1996) e COGERH (1999), está sendo realizado um novo cadastramento dos poços, com a verificação da consistência dos cadastros anteriores, a obtenção de novas informações cadastrais dos poços identificados e o levantamento de novos poços perfurados na área. Com base nestas informações, será escolhido dentre o universo de 10 poços para que seja feito o monitoramento constante de parâmetros hidrogeológicos e hidroquímicos na área-piloto. Estes dados também servirão para calibrar o modelo hidrogeológico computacional, assim como, norteará a proposição do plano de gestão para a área piloto do aquífero Missão Velha;

6. **Modelo Hidrogeológico Computacional** – A partir dos dados de base da estratigrafia, arcabouço estrutural e hidrogeologia da região, foi elaborado um modelo conceitual hidrogeológico da área. Este conceito está sendo introduzido na ferramenta Visual MODFLOW versão 2.8, desenvolvido pela Waterloo Hydrogeologic, para a solução matemática das equações de fluxo subterrâneo. O MODFLOW aplica o método de diferenças finitas para a solução numérica destas equações.

O Visual MODFLOW tem sido amplamente utilizado no modelamento hidrogeológico computacional, e se aplica bem à realidade do Cariri, uma vez que o escoamento da água na área se dá predominantemente em meios porosos.

O modelo hidrogeológico computacional fornecerá subsídios ao Plano de Gestão/Monitoramento do aquífero Missão Velha, atendendo aos seguintes objetivos específicos:

- Compreender o comportamento hidrodinâmico dos aquíferos da área;
- Quantificar as reservas de água subterrâneas e;
- Verificar o balanço oferta x demanda atual e simular cenários futuros.

BIBLIOGRAFIA

- DNPM. 1996.** Projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Programa nacional de estudos dos distritos mineiros. Recife, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), distritos regionais Pernambuco e Ceará, 101 p.
- RIBEIRO, J. A. & VERÍSSIMO, L. S. 1996a.** Diagnóstico mineral da região do Cariri. Projeto Avaliação Ambiental da Região do Cariri (Projeto AMCARI). Fortaleza, CPRM/DNPM, 41p. (Série Recursos Minerais volume 7).