



Caracterização hidrogeológica da aluvião do Rio Banabuiu, Morada Nova, Ceará, Brasil

Sônia Maria Silva Vasconcelos¹, Vinicius Feijó Cordeiro², Cid Gonçalves Monteiro Filho²,
Itabaraci Nazareno Cavalcante¹

Recebido em 02 de agosto de 2010 / Aceito em 17 de março de 2011

Resumo

A área do aquífero aluvial objeto deste trabalho é de 83,6 km². O objetivo é caracterizar física e hidrogeologicamente este reservatório, através do traçado de isolinhas dos seus parâmetros hidrodinâmicos usando procedimentos geoestatísticos. A caracterização da aluvião foi efetuada a partir de dados obtidos nos poços tubulares presentes na área. A área esta inserida em uma região de clima quente e semi-árido com precipitação média anual de 728 mm e temperatura média de 27,5°C. A principal economia da área está baseada na agricultura irrigada do arroz e do feijão. A geologia da região é relativamente simples com o predomínio das rochas do embasamento cristalino que são cobertas pelos depósitos aluviais, sendo estes últimos o objeto principal deste estudo. Esta aluvião desempenha fundamental importância sócio-econômica para a região, tanto pela qualidade dos seus solos, como também pelas suas potencialidades aquíferas. A atualização do cadastro totalizou 478 poços distribuídos ao longo da aluvião com valores de profundidade média de 11,41 m, nível estático médio de 2,95 m e vazão média 50,57 m³/h para rebaixamento da ordem de 2 m. A água é de boa qualidade apresentando valor médio de condutividade elétrica de 939,86µS/cm. Foi elaborado o Modelo Digital do Terreno (MDT), mapa de fluxo e bloco diagrama, discretizando as litologias encontradas. O valor médio obtido na análise dos testes de bombeamento para a transmissividade foi $T=3,85 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. O volume total da aluvião de $1,5 \times 10^9 \text{ m}^3$, sendo 67% constituído de material arenoso, é um indicador da potencialidade promissora do aquífero. Entretanto, esta potencialidade é relativa à área de estudo que é caracterizada por escassez de água, fazendo-se necessário administrar a exploração deste recurso hídrico de forma a garantir sua sustentabilidade.

Palavras-chave: Águas subterrâneas, aquífero aluvial, Morada Nova-CE.

Abstract

The alluvial aquifer object of this work covers about 83.6 km². The objective is to get a physical and hydrogeological characterization of this aquifer, through the representation of its hydrodynamic parameters using geostatistics. The characterization of the alluvium was made starting from data obtained in the present tubular wells in the area. The area this inserted in an area of hot and semi-arid climate with annual mean precipitation of 728 mm and mean temperature of 27.5°C. The main economic activity of the area is based on irrigated agriculture of rice and of beans. The geology of the area is relatively simple with the prevalence of rocks of the crystalline basement covered by alluvial deposits, the main object of this study. This alluvium is of fundamental socioeconomic importance for the area, due to the quality of its soils, as well as its water supply potential.

The updating of the register totaled 478 wells distributed along the alluvium, with a mean depth of 11.41 m, mean static level of 2.95 m and flow of 50.57 m³/h for drawdowns of the order of 2 m. The water is of good quality presenting mean electric conductivity of 939.86 µS/cm. We elaborated a Digital Model of the Terrain (MDT), a flow map and block designs to represent the lithology found. The mean values of the transmissivity obtained in the analysis of the pumping tests were: $T = 3.85 \times 10^{-2}$ m²/s. The total volume of the alluvium of 1,5 x 10⁹ m³, with 67% being constituted of sandy material, is an indicator of the promising potential of the aquifer. However, this potential refers to an area that is characterized by a shortage of water, demanding a water management that guarantees sustainability of the resource.

Keywords: Groundwater resources, alluvial aquifer, Morada Nova-CE.

1. Departamento de Geologia da UFC, Campus do Pici, Fortaleza-CE CEP 60455-760, Blocos 912/913 (smaria@ufc.br), 2. Geólogos formado pelo Curso de Geologia/ UFC

1. Introdução

A gestão sustentável dos recursos hídricos se faz cada vez mais necessária devido ao aumento da população mundial, especialmente em regiões que apresentam um desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água devido à irregularidade da precipitação pluviométrica e/ou às altas taxas de evaporação, como é o caso da porção semi-árida do Nordeste brasileiro. Neste contexto, a água subterrânea pode assumir grande importância na avaliação da quantidade e qualidade dos recursos hídricos em uma determinada região, porque está menos vulnerável à evaporação. Tal vantagem se reflete não só na conservação da quantidade de água para uso nos períodos de estiagem, mas também na manutenção da qualidade desta reserva, visto que quanto menos vulnerável à evaporação, mais os parâmetros de qualidade da água subterrânea tendem a se manter constantes, com enriquecimento de sais inferior aos observados nos reservatórios superficiais.

No caso de reservatórios superficiais, a quantificação da água disponível depende apenas do conhecimento de características geométricas (topografia, batimetria e nível d'água) do reservatório. Entretanto, quando se trata de água subterrânea, além da caracterização geométrica do aquífero e do conhecimento de sua espessura saturada, a determinação da quantidade de água disponível em um sistema aquífero depende do conhecimento de suas características

granulométricas e texturais, além das condições de fluxo no sistema.

Torna-se claro que para determinar a quantidade de água subterrânea disponível, muito mais parâmetros devem ser conhecidos se comparado aos reservatórios superficiais. Entretanto, principalmente em regiões com as características do semi-árido do Nordeste do Brasil, os aquíferos assumem fundamental importância quando a estiagem atinge sua duração mais crítica e a água subterrânea torna-se a única fonte hídrica disponível.

Este trabalho apresenta as características do aquífero aluvial situado ao longo do rio Banabuiú, no trecho limitado a oeste pela sede do município de Morada Nova e a leste pela BR-116, no Estado do Ceará (Fig. 1). Para esta área dispõe-se de dados oriundos de 476 poços que permitiram representar, através da modelagem tri-dimensional e do uso de técnicas geoestatísticas, a variação espacial das características hidrodinâmicas deste aquífero e fazer uma estimativa de sua potencialidade.

A aluvião do rio Banabuiú se constitui na principal fonte de abastecimento de água para o Perímetro Irrigado de Morada Nova (PIMN). Com uma superfície de 83,6 km² o PIMN tem fundamental importância para o desenvolvimento econômico e social da região, não só pela excelente qualidade dos seus solos, como também por tratar-se de um aquífero de grande potencialidade. Estas qualidades fazem com que cada vez mais as populações ali residentes promovam uma exploração

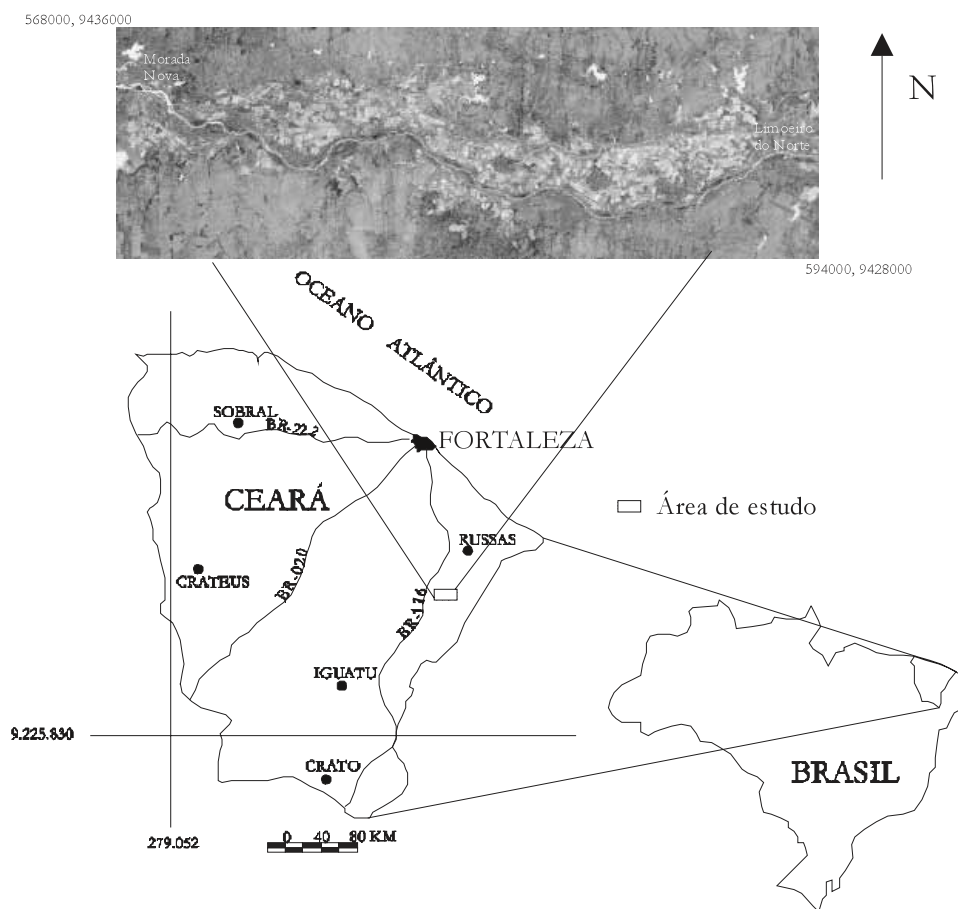


Fig. 1 – Localização da área em estudo (polígono) na porção leste do estado do Ceará

desordenada destes recursos, colocando em risco a sua integridade, tornando necessária à implementação de ações de gestão para minimizar a exploração desordenada.

2. Aspectos climáticos, fisiográficos e geológicos.

O clima da região é do tipo BS W'h', quente e semi-árido, de acordo com a classificação de Köppen, e tropical quente, de seca acentuada, de acordo com Gaussen. A temperatura média é de 27,5°C. No decorrer do dia a temperatura oscila entre uma mínima de 25°C e uma máxima de 35°C.

A estação chuvosa tem início em janeiro, indo até junho, concentrando cerca de 75% das precipitações nos meses de março, abril e maio. A média anual é de 728 mm (FUNCEME, 2007), apresentando uma distribuição muito irregular, o que acarreta desvios acentuados em torno da média.

Os solos predominantes são Aluviais Eutróficos com argila de atividade alta e textura indiscriminada, Vertissolos, Planossolos Solódicos e Solonetz Solodizados, todos desenvolvidos a partir de sedimentos fluviais (Gatto, 1999).

A área está posicionada na bacia hidrográfica do Rio Banabuiu, sendo a mesma caracterizada por possuir rios temporários e intermitentes devido à distribuição irregular das chuvas que se concentram em um curto período de ano.

As planícies aluviais englobam as áreas de acumulação fluviais mais expressivas e, com certa continuidade, acompanhando os cursos dos principais rios da bacia, neste caso o próprio rio Banabuiu. São depósitos holocênicos que ocorrem nos leitos dos rios, recobrendo rochas pré-cambrianas, mesozóicas e cenozóicas. São areias finas a grossas, cascalhos e argilas com matéria orgânica em decomposição, formando as planícies e os terraços fluviais. De espessura variável, em

alguns locais, onde o material existe em pouca quantidade, o substrato rochoso chega a ficar exposto.

O quadro geológico é relativamente simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino, representadas pelo Complexo Jaguaretama com presença das Suítes Intrusivas de composição predominantemente granítica, designadas Serra do Deserto e Itaporanga, e pequeno registro de micaxistos, quartzitos e metavulcânicas do Grupo Orós, de idade pré-cambriana. Sobre esse substrato, repousam sedimentos terciários do Grupo Barreiras e depósitos colúvio-eluviais terciário-quadernários, que afloram sob a forma de manchas esparsas, ao longo da região, e as coberturas aluviais encontradas ao longo dos principais cursos d'água da região que são objeto deste trabalho (Fig. 2).

Em geral, os depósitos aluviais são constituídos por expressivas camadas arenosas de porosidade elevada na base e recobertos por sedimentos finos de natureza siltico-argilosa, constituindo excelentes aquíferos, por tratar-se de sedimentos rasos (de fácil acesso), com recarga direta, pelo menos uma vez no ano (período de chuvas). São compostos de areias grossas com dimensão variando até cascalhos e, mais próximo às nascentes, são comuns blocos rolados das rochas das encostas. Nas frações menos grossas predominam os grãos e grânulos de quartzo mal selecionados e, mais raramente, feldspatos subangulosos, com uma percentagem muito reduzida de material silto-argiloso.

Com certa frequência ocorre interrupção da faixa aluvial por afloramento da rocha do substrato, principalmente nos cursos superior e médio dos rios e da maioria dos riachos, ensejando a formação, à montante, de depósitos mais espessos que incluem desde areia até cascalhos, alguns dos quais representáveis na escala do mapeamento. Nos baixos cursos, as aluviões são mais desenvolvidas e apresentam uma composição litológica mais variável, contendo areias puras de granulação fina à média, areias argilosas e muitas vezes, horizontes predominantemente argilosos.

A área estudada insere-se no contexto das formações recentes (Holoceno) de origem fluvial

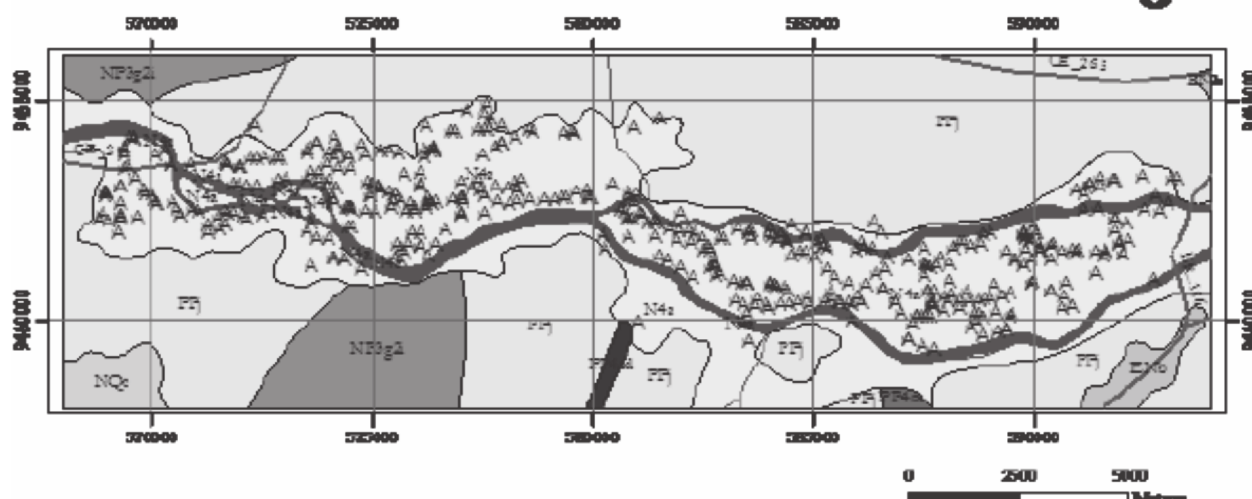
provindas das deposições trazidas pelo rio Banabuiú e seus afluentes. São constituídas por sedimentos não consolidados de natureza e granulometria muito variadas (argilas, siltes, areias e cascalhos), selecionados tanto no sentido longitudinal como no sentido transversal do rio, ou seja, sedimentos mais grosseiros nas cabeceiras e na parte central do rio e sedimentos mais finos nas margens. As constantes mudanças do traçado do curso do rio impõem uma grande variação granulométrica tanto no sentido horizontal como no vertical. Tal fato provoca uma distribuição caótica dos antigos canais principais, que ora se encontram encobertos por camadas de argila, ora silto-arenosos, dificultando sua identificação.

3. Caracterização hidrogeológica da área

Na região estudada são distinguidos dois domínios hidrogeológicos: o domínio formado por rochas cristalinas e o domínio das rochas sedimentares que incluem os sedimentos do Grupo Barreiras, os depósitos colúvio-eluviais e os depósitos aluviais.

As rochas cristalinas predominam na área e representam o domínio que é denominado comumente de "aquiífero fissural". Como não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semi-árido, é, na maior parte dos poços, salinizada. Estas condições atribuem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem (CPRM, 1998).

Os sedimentos do Grupo Barreiras ocorrem, de forma restrita, em alguns pontos isolados da área em estudo, tendo, portanto, pouca expressividade do ponto de vista hidrogeológico. Os depósitos colúvio-eluviais compreendem

**LEGENDA****CONVENÇÕES GEOGRÁFICAS**

- Sistema viário
- drenagem
- Bacia de drenagem
- A pocos

LITOTIPOS

- N4a Depósitos aluviais: Argilas, areias argilosas e cascalhos.
- NQc Depósitos colúvio-eluviais: Sedimentos argilo-arenosos.
- ENb Grupo Barreiras: Conglomerados, arenitos pouco litificados e siltitos avermelhados.
- NP3g2i Suíte Itaporanga: Granitos e Granodioritos porfiróides.
- PP4sd Suíte Serra do Deserto: Augen ortognaisses graníticos porfiróides.
- PP4os Grupo Orós: Micaxistos, quartzitos e metavulcânicas.
- PPj Complexo Jaguaretama: Ortognaisses migmatizados associados a paragneisses e anfíbolitos

Fig. 2 – Mapa com representação das unidades litoestratigráficas encontradas na área.

manchas isoladas de sedimentos detríticos que, em função das espessuras bastante reduzidas, têm pouca expressão como mananciais para captação de água subterrânea.

Desta forma, os depósitos aluviais representam o principal aquífero da área estudada. Constituídos por sedimentos areno-argilosos recentes, ocorrem margeando a calha do rio Banabuiu e as calhas de alguns riachos que drenam a região, apresentam uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativamente alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semi-áridas com predomínio de rochas cristalinas. Normalmente, a alta permeabilidade dos terrenos arenosos compensa sua pequena espessura, produzindo vazões significativas (CPRM, op. cit.).

4. Procedimento metodológico

Neste trabalho foram selecionados os dados de um cadastro de poços da Companhia de Gestão

de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH (COGERH, 2001), que engloba os municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte, totalizando 476 (quatrocentos e setenta e seis) poços, distribuídos por toda a aluvião.

Os parâmetros constantes neste cadastro foram utilizadas para gerar mapas de isolinhas para representar a variação espacial das características hidrogeológicas da aluvião. As isolinhas foram geradas usando o método de *Krigagem ordinária* para estimação. A técnica de *Krigagem* assume que os valores de uma determinada variável recolhidos em uma população são correlacionáveis no espaço (Wikipédia, 2007). Isto é, se numa área estudada a variável medida em um ponto $P(x,y)$ é z , é muito provável que se encontrem resultados muito próximos de z quanto mais próximos se estiver do ponto P . Porém, a partir de determinada distância de P , certamente não se encontrarão valores aproximados de z , porque a correlação espacial pode deixar de existir. Este é o princípio básico da

geoestatística e, seguindo este princípio, foram geradas representações cartográficas das variáveis: condutividade elétrica das águas subterrâneas e vazão dos poços.

Para gerar as isolinhas de carga hidráulica são necessárias medidas de nível estático nos poços e de altitude na boca do poço. No cadastro de poços não constava o valor das cotas da boca dos poços, então esta informação foi obtida através do nivelamento da boca do poço com a superfície topográfica gerada. O Modelo Digital do Terreno (MDT) foi obtido a partir das curvas de níveis das cartas topográficas das folhas de Lagoa Negra, Morada Nova, Limoeiro do Norte e Corcunda, todas na escala de 1:25.000 (PRONI/DNOS, 1983) que englobam toda a área estudada. As curvas foram vetorizadas através do software Autodesk Land Enabled Map 2006 e foi gerado um arquivo de exportação no formato dxf (drawing exchange format). Do arquivo dxf foi obtida uma tabela contendo as coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) e a elevação (z) através do software DXF2XYZ. Com a elevação (cota z) dos poços, foram niveladas a base da camada de argila (superior) e a base da camada de areia (intermediária), que é equivalente ao topo do embasamento cristalino (inferior), já que a maioria dos poços foi perfurada até o contato com este. Desta forma tornou-se possível a obtenção das variáveis: espessura saturada da aluvião e também a carga hidráulica, subtraindo-se o valor do nível estático medido nos poços. A malha gerada com os valores estimados da carga hidráulica permitiu ainda a obtenção dos vetores do gradiente hidráulico, que indicam a direção e sentido do fluxo de água subterrânea.

As características hidráulicas do aquífero aluvial foram determinadas a partir dos dados de rebaixamento versus tempo de testes de aquífero executados por Cordeiro e Bôto (2003) com dois poços de observação. As informações levantadas foram interpretadas pelo software AQUIFER TEST (PRO), desenvolvido pela Waterloo Hydrogeologic Inc.

5. Caracterização hidrogeológica da aluvião

As características da aluvião foram obtidas através das informações disponíveis nos relatórios dos 476 poços cadastrados. Destes, apenas 74 poços têm dados de vazão disponibilizados sendo que a maior vazão é de 112 m³/h, a vazão média é de 50,27 m³/h com coeficiente de variação de 54%. Coeficientes de variação maiores que 40% são indicadores de populações irregulares; neste caso, a irregularidade é devido à característica heterogênea dos aquíferos aluviais. A distribuição espacial das vazões dos poços está apresentada na Figura 3.

No cadastro contam-se 382 poços com dados de profundidade, sendo a maior 19 m e a menor 2,5 m, com uma média de 11,41 m, e 347 poços com dados de nível estático, apresentando uma média de 2,95 m com coeficiente de variação de 39%. No entanto, a espessura saturada, obtida por subtração do nível estático da profundidade do poço, foi obtida em apenas 287 pontos. Estas espessuras variam entre 1,6 e 16,9 m e sua distribuição espacial está apresentada no mapa de isópacas (Fig. 4).

A condutividade elétrica da água de 273 poços apresentou um valor médio de 939,86 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C, com valor máximo de 3450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mínimo de 545 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com coeficiente de variação de 37%. As áreas com águas de maiores valores de condutividade elétrica correspondem às áreas de poços que têm penetração nas rochas do embasamento cristalino. A variação espacial da condutividade elétrica é mostrada na Figura 5.

As curvas tempo x rebaixamento de dois poços de observação em um teste de aquífero foram analisadas pelos métodos de Theis & Jacob e Neuman mostrando valores de transmissividade muito próximos com médias de $3,83 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ e $2,48 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e coeficientes de variação de 7,68% e 7,68% respectivamente.

Os dados cota e nível estático foram utilizados na determinação das cargas hidráulicas e obtenção do mapa de fluxo mostrado na Figura 6. O nivelamento dos poços permitiu que fossem determinados os níveis de contato argila/areia e areia/embasamento, então, por krigagem foram gerados os grids para representação das superfícies do contato entre elas através do bloco diagrama (Fig. 7).

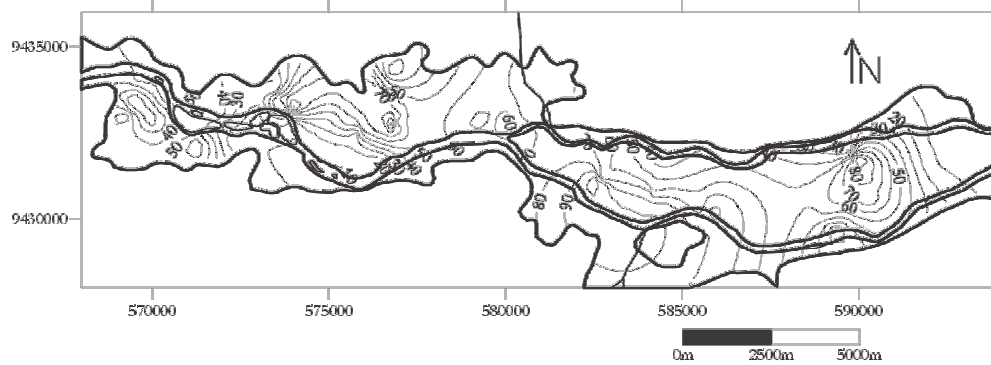


Fig. 3 – Mapa de isolinhas da vazão (m³/h) dos poços, apresentando a bacia de drenagem do curso d'água.

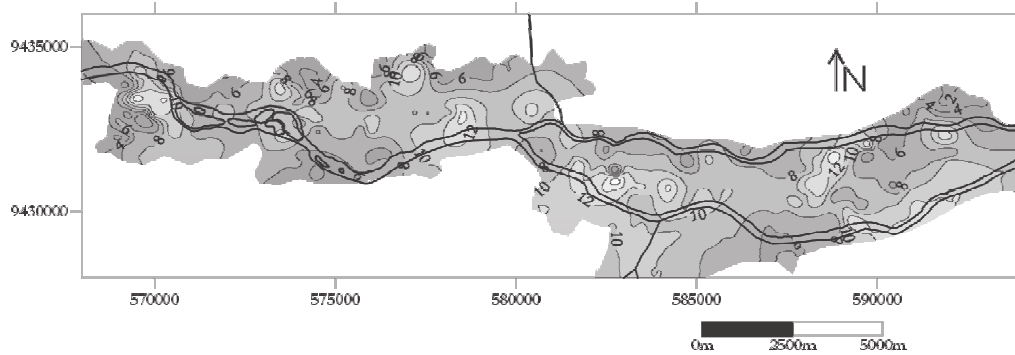


Fig. 4 – Mapa de isópacas com isolinhas de espessura saturada da aluvião (m), apresentando a bacia de drenagem do curso d'água.

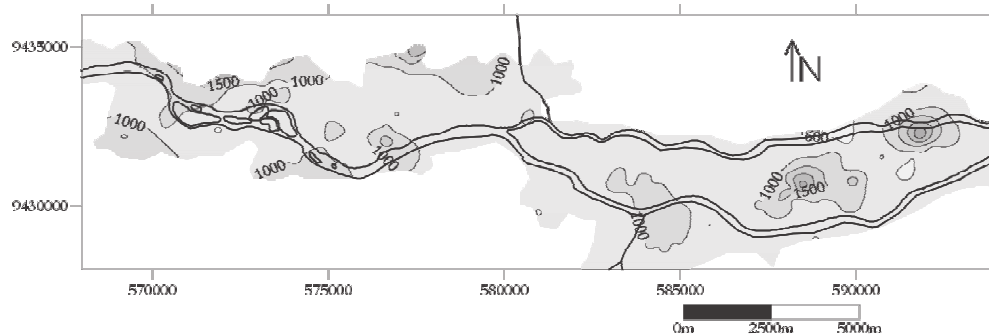


Fig. 5 – Mapa de isolinhas de condutividade elétrica em (µS/cm) apresentando a bacia de drenagem do curso d'água.

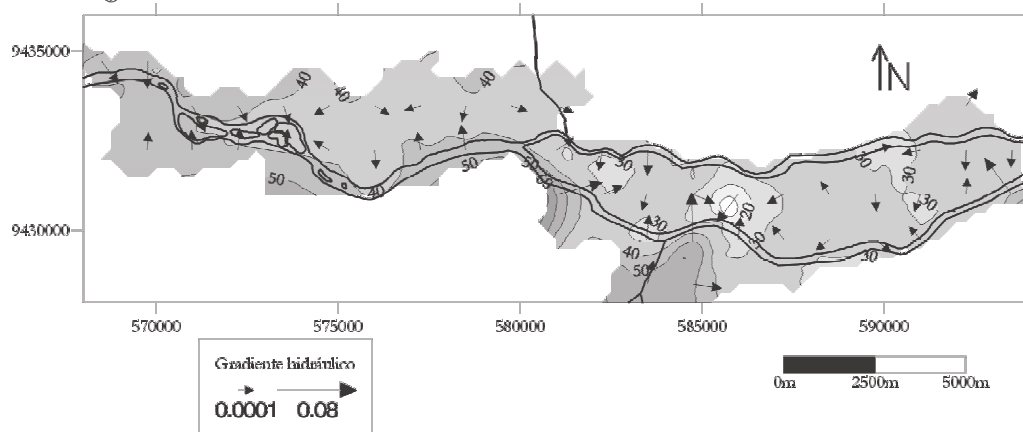


Fig. 6 – Mapa de isolinhas de potencial hidráulico, apresentando a variação espacial do gradiente hidráulico de fluxo subterrâneo através da camrimento das setas de fluxo

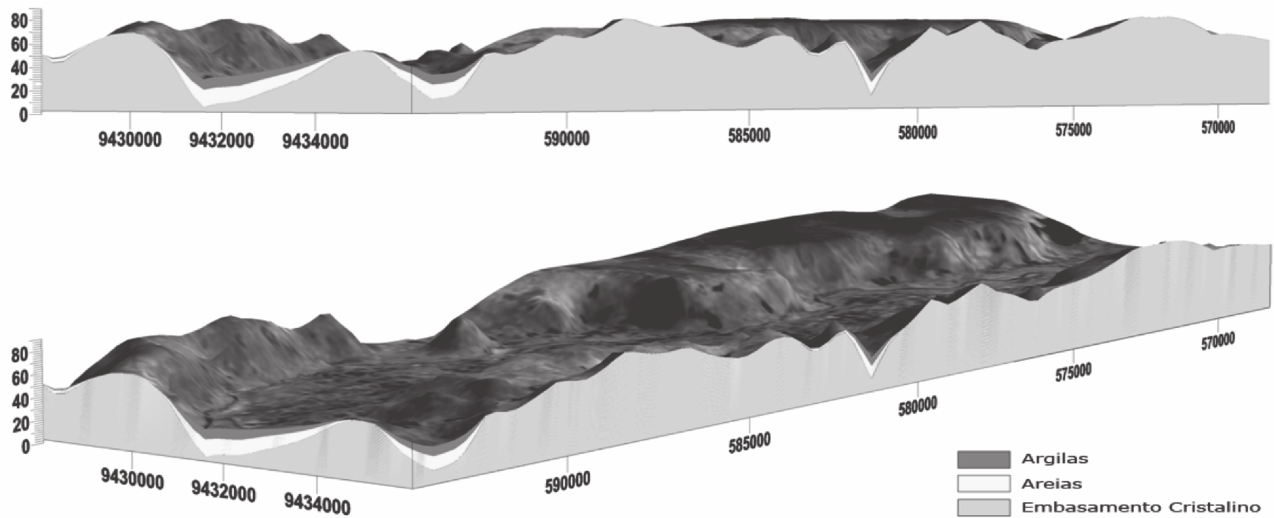


Fig. 7 – Blocos diagrama da aluvião mostrando a individualização das unidades argilosas e arenosas.

Com as superfícies geradas e utilizando o software Surfer através da função de cálculo de volume de sedimentos (Volume) obteve-se o valor total de 1.457.696.922 m³ para o depósito aluvial, sendo 37% de argila e 63% de areia (Tab. 1). Tal volume poderá ser utilizado em cálculos de reservas hídricas subterrâneas a partir do momento em que se dispuser de dados de porosidade específica destes sedimentos.

Tabela 1 – Volume de Sedimentos Calculados

6. Conclusões

Os resultados obtidos apresentam uma caracterização do aquífero aluvial do Perímetro Irrigado de Morada Nova na perspectiva de sua utilização para atender as demandas atuais e futuras.

O uso de técnicas geoestatísticas se mostrou como um instrumento útil para o conhecimento da variação espacial das características hidrodinâmicas do aquífero conseqüentemente facilitando a compreensão de elementos fundamentais para a posterior estimativa da potencialidade da aluvião.

O mapa de isolinhas de carga hidráulica mostra uma predominância de linhas de fluxo convergindo para o canal de drenagem onde estão também as maiores espessuras e as condutividades elétricas mais baixas, destacando assim a potencialidade das aluviões muito bem evidenciada no mapa de isolinhas de vazão dos poços.

Apesar das excelentes características do aquífero 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 os poços abandonados e/ou mal construídos, que associados à sua vulnerabilidade natural deflagram a necessidade da implantação de instrumentos de gestão que favoreçam a exploração deste aquífero.

Neste estudo foram agrupadas as informações existentes na perspectiva de gerar uma visão geral e diagnóstica das águas subterrâneas deste reservatório. Espera-se que os resultados apresentados contribuam para alertar o setor público e a sociedade civil para a necessidade da realização de pesquisas e implantação de redes de monitoramento sistemáticas, que possam subsidiar o gerenciamento deste recurso de grande importância para a manutenção do desenvolvimento sócio-econômico da região.

Referências Bibliográficas

- Wikipédia. (s.d.). Acesso em 10 de março de 2007, disponível em Wikipédia: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Kriging>.
- FUNCEME. Boletim Pluviométrico. Fortaleza: FUNCEME, 2007.
- Gatto, L. C. S.; Rivas, M. P.; Fortunato, F. F.; Santiago Filho, A. L.;
- Oliveira, F. C.; Cunha, R. de C. M. B.; Vilas Boas, J.H.; Pinto, . C. V. C. e Sokolonski H. H. *Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe*. Salvador: IBGE, 1999.
- CPRM. Diagnóstico do Município de Morada Nova. Fortaleza, 1998.
- COGERH. Cadastro de Poços do PIMN - Perímetro Irrigado de Morada Nova. Fortaleza, 2001.
- IPLANCE. Perfil Básico Municipal: Morada Nova. Fortaleza: IPLANCE, 2000.
- SLDR. Baixo Jaguaribe Plano de Desenvolvimento Regional. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2003.
- PRONI/DNOS. Carta Topográfica 1:25.000, 1983.
- Cordeiro, W; Bôto, R. de A., Relatório Interno COGERH, 2001.