

ESTUDO DO COMPORTAMENTO E POTENCIALIDADE DO AQUÍFERO RELACIONADO À BARREIRA MARINHA EM VIAMÃO-RS UTILIZANDO MODELAGEM COMPUTACIONAL

Marcos Alexandre de Freitas¹; Celme Tôrres Costa²; Marcos Antonio Tedesco³ &
Marco Aurélio Holanda de Castro⁴

Resumo – A modelagem computacional do aquífero localizado em Águas Claras, município de Viamão-RS, visa definir as atuais condições de exploração do aquífero e as condições futuras de uso deste reservatório. O estudo hidrogeológico desenvolvido, associado às questões de modelagem, objetivou elucidar a real potencialidade do aquífero, no sentido de buscar resultados com enfoque voltado ao monitoramento das questões hidroambientais. Com a finalidade de entender o comportamento do aquífero foram realizadas as seguintes atividades: análise dos 23 perfis litológicos e construtivos dos poços; avaliação de ensaios de bombeamento para obtenção dos parâmetros hidrogeológicos; obtenção de dados hidrogeológicos e hidroquímicos de estudos já existentes na área; simulação do comportamento da bateria de poços sob exploração com o modelo computacional MODFLOW para 03 cenários com intervalo de tempo de 1, 5 e 10 anos; aplicação dos modelos na previsão dos rebaixamentos e em condições desfavoráveis de recarga para o futuro. Os resultados mostram a influência do bombeamento no nível do aquífero, ocasionando um rebaixamento máximo de 80 m no primeiro cenário, de 60 m no segundo e de 10 m no terceiro, nas áreas de maior concentração dos poços. Estes valores confirmam a grande potencialidade do aquífero em função de suas características hidrogeológicas.

Abstract – The groundwater modeling at the town of Viamão/RS aims at defined the present conditions of groundwater exploitation and the use future conditions of this reservoir. The hydrogeologic study associated with questions of modeling has the objective of evaluated to real potential of the groundwater, in the sense of seek results with approach come back to the

¹ Geólogo MSc; CPRM-Superintendência Regional de Porto Alegre; Rua Banco da Província 105; CEP-90840-030; Porto Alegre; RS; Brasil; Fone:(51)3233.7311; Fax(51)3233.7772; email: mafirts@ig.com.br

² Doutoranda em Engenharia Civil/Recursos Hídricos; Universidade Federal do Ceará – UFC; Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental; Bloco 713; Campus do Pici; CEP. 60.451-970; Fortaleza; CE; Brasil; Telefone (85) 288.9589; Fax (85) 288.9589; celmeanp@ufc.br

³ Geólogo MSc; GEOMA-Geologia e Meio Ambiente Ltda; Rua Giordano Bruno 100; CEP-90420-150; Porto Alegre; RS; Brasil; Fone: (51)3332.5562; Fax: (51)333.6840; email: mted@terra.com.br

⁴ Prof. Dr. Universidade Federal do Ceará – UFC; Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental; Bloco 713; Campus do Pici; CEP. 60.451-970; Fortaleza; CE; Brasil; Telefone (85) 288.9623; marco@ufc.br

monitoring of the environment questions. With the purpose of understand the operation of the groundwater they went deeds a synopsis of the 23 geological profiles of drilling, an evaluation of pumping tests obtaining of the hydrogeologic parameters; collecting facts from the area of already existing studies; simulation of the behavior from the battery of wells under exploitation with the model MODFLOW for 03 settings with break of time of 1, 5 and 10 years; application of the models in the forecast of the drawdown and in unfavorable conditions of updraw for the future. The results show to influence of the pumping in the level of the aquifers, causing a drawdown maximum of 80 m in the first setting, of 60 m in the second and of 10 m in the third, in the areas of bigger concentration of the wells. These values confirm to big potential of the aquifer in function of theirs hydrogeologic characteristics.

Palavras-chave – aquífero, modelagem computacional, modflow.

INTRODUÇÃO

Em vista da crescente escassez de água que vem atingindo grande parte da população mundial, os recursos hídricos subterrâneos têm se tornado a esperança de abastecimento, representando um potencial econômico imensurável. Pelo fato do Brasil estar sobre o maior aquífero do mundo - Aquífero Guarany- é fácil concluir que temos uma das maiores riquezas da terra, que pode ser explorada trazendo divisas importantíssimas para o desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida de nosso povo. Porém, a utilização desta riqueza deve ser feita com muita cautela e de forma sustentável. O desenvolvimento de modelos de simulação do movimento de águas subterrâneas tem sido amplamente justificado por vários objetivos associados principalmente ao planejamento do uso da água. A previsão dos efeitos causados pela concentração de poços e vazões bombeadas constitui-se certamente na mais importante aplicação destes modelos. Desta forma, o incremento do conhecimento científico sobre a circulação das águas subterrâneas e geometria dos reservatórios torna possível a aplicação de modelos matemáticos capazes de prever o comportamento dos aquíferos perante diferentes cenários de utilização, permitindo assim um planejamento racional dos recursos hídricos subterrâneos.

A modelagem computacional do aquífero localizado em Águas Claras no município de Viamão/RS (Figura 01) visa definir as atuais condições de exploração do aquífero e as condições futuras de uso deste reservatório. O estudo hidrogeológico desenvolvido, associado às questões de modelagem, objetivou elucidar a real potencialidade do aquífero, no sentido de buscar resultados com enfoque voltado ao monitoramento das questões hidroambientais.

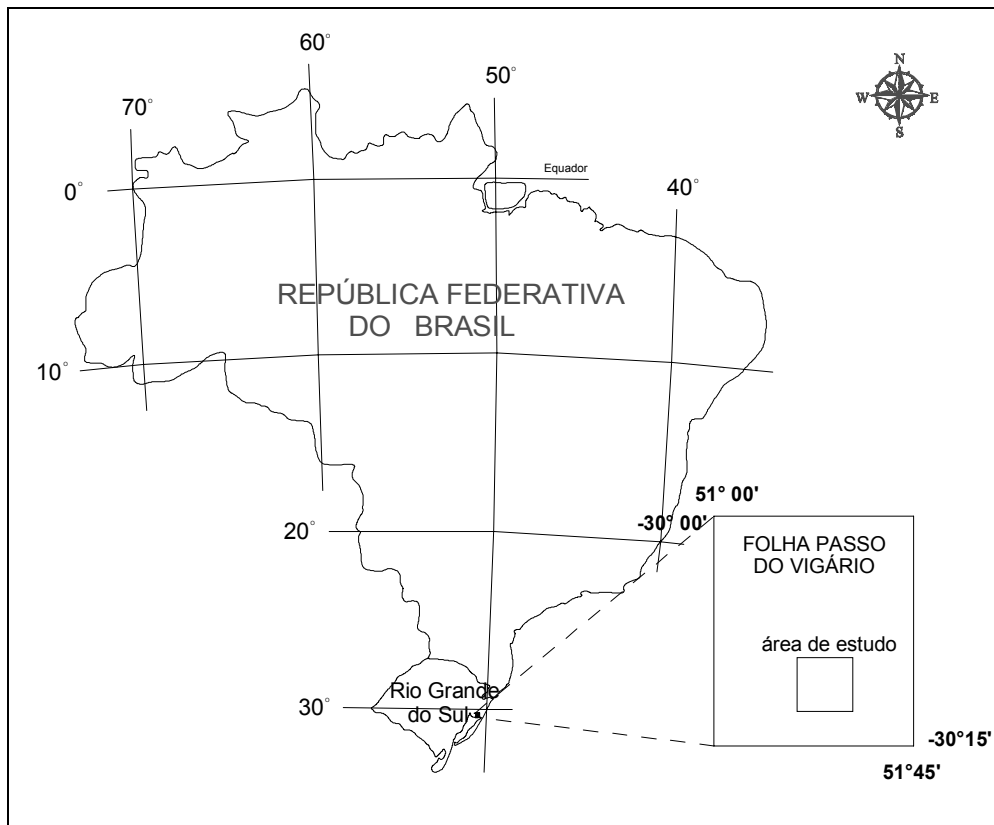


Figura 01 - Localização da área de estudo.

ÁREA EM ESTUDO

Segundo o IBGE-Radambrazil (1986), a área de estudo encontra-se inserida na região de Formação Pioneira, predominante na Planície Costeira. Há uma grande ocorrência de campos próximos as áreas mais baixas, relacionadas aos depósitos de terraços lagunares, cobertos com vegetação nativa de áreas secas e úmidas intercaladas com vegetação e esparsas lavouras. O solo é predominantemente arenoso utilizado para pastagens, ressaltando a presença de lençol freático raso, e em alguns pontos aflorante (banhados). No domínio das áreas mais elevadas correspondente aos depósitos de barreira, verifica-se uma intensa modificação antrópica do meio como áreas de agricultura, pastagem e reflorestamento.

Apresenta dois sistemas aquíferos distintos associados à Província Sedimentar Litorânea (Hausman, 1995): o primeiro relaciona-se com os depósitos de barreira marinha e o outro com os depósitos de terraço lagunar. O Sistema Aquífero Barreira Marinha, principal e mais importante da região e onde se encontra localizada a área em estudo, ocorre entre os depósitos de terraço lagunar em uma posição topográfica mais elevada, o que lhe confere a denominação de Coxilha das Lombas. Seu comportamento hidrogeológico é bastante diferenciado dos terraços lagunares, pois a presença de litologias de origem eólica, associada à topografia elevada e levemente ondulada, proporciona fluxos subterrâneos rápidos, com reflexos diretos na qualidade da água subterrânea. As

litologias são inconsolidadas e predominantemente arenosas, com algumas intercalações locais de argilas. O perfil litológico mais comum apresenta em direção à base do aquífero, camadas de areias com granulometria média, quartzosa, creme-avermelhadas pela presença de óxidos de ferro. Nas porções mais centrais predominam areias amareladas finas a médias, por vezes siltosas, com níveis claros e mais arenosos. Na base do aquífero predominam areias médias a grosseiras esbranquiçadas, quartzosas e com esfericidade regular. As litologias deste sistema e suas condições deposicionais, aliadas à baixa diagênese, conferem ao pacote uma excelente permeabilidade. O nível freático é condicionado pela configuração geomorfológica do aquífero. A boa permeabilidade das litologias, sua posição mais elevada e sua grande espessura proporcionam níveis geralmente profundos. A ocorrência de níveis argilosos intercalados pode causar um certo confinamento, com níveis piezométricos superiores aos níveis de contribuição. Poucos poços penetram totalmente o aquífero, que atinge espessuras superiores a 150 metros nas porções mais centrais, demonstradas pelos estudos geofísicos de caminhamento elétrico e SEVs realizados. As capacidades específicas atingem valores acima de 2,0 m³/h/m, podendo chegar até 30 m³/h/m (Hausman, 1995), a transmissividade varia de 1,0 a 16,0 m³/h/m. A Figura 02 mostra um perfil hidrogeológico esquemático do aquífero em estudo.

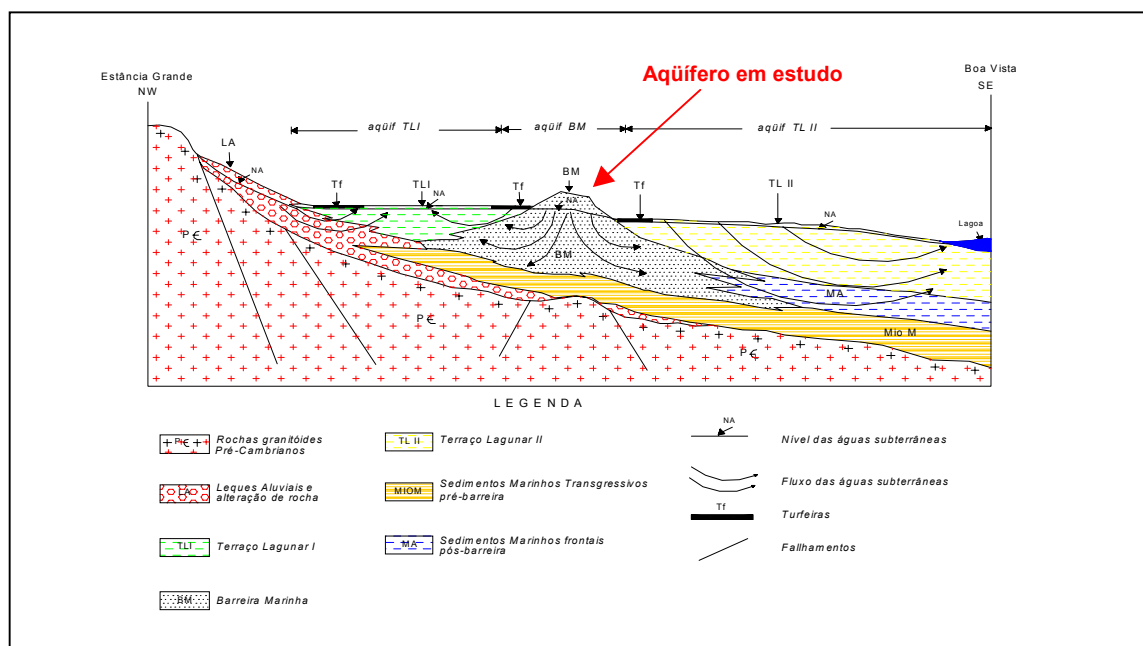


Figura 02 – Perfil hidrogeológico esquemático (Modificado de Machado, 1994)

Conforme o Sistema de Köppen, o tipo climático da região é o Cf e a variedade específica, Cfa, ou seja, clima subtropical úmido sem estiagens; anomalias eventuais são observadas, tanto nos totais anuais como na própria distribuição sazonal. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22° C e a do mês mais frio oscila entre 3 e 18° C. Em Viamão, estação meteorológica

mais próxima da área de estudo registra uma média de 19,2° C, variando entre os valores mensais médios de 24,6° C e 13,8° C, respectivamente nos meses de janeiro e julho. A precipitação anual na região é de aproximadamente 1.283 mm (IBGE-Radambrazil, 1986), com valores mensais mínimo de 76 mm e máximo de 136 mm. As chuvas caem regularmente durante o ano todo e as diferenças entre os valores mensais extremos não são significativas, embora as maiores precipitações ocorram nos meses de inverno e início da primavera. O balanço hídrico para a região, baseado em dados obtidos junto ao 8.º Distrito de Meteorologia, demonstra que a recarga dos aquíferos ocorre no período de junho a setembro, em um montante de 150 mm anuais.

Levantamento dos dados de campo

Foram levantados na área de estudo e ao seu redor 15 poços tubulares (P), 03 sondagens (S), 03 ponteiros (Pt) e 01 poço escavado (E). O levantamento geofísico auxiliou também na determinação da superfície piezométrica. Nas descrições litológicas dos perfis é freqüente encontrar camadas de areia argilosa no terço superior da seqüência, o que pode dar um caráter de semiconfinamento ao aquífero. O nível estático varia de 0 (surgência) até 52 metros com um valor médio de 26,83 metros. As vazões são variáveis entre 30 e 140 m³/h, dependendo da construção do poço e do equipamento de bombeamento, é possível extrair até 300 m³ /h.

Na modelagem foram utilizados dados de 08 poços, cujas coordenadas geográficas e dados técnicos de perfuração são apresentados na Tabela 01.

Tabela 01– Dados dos poços

Poço Tubular	Coordenadas UTM (m)		Profundidade do poço (m)	Quantidade de filtro (m)	Vazão de teste(m ³ /h)
	Leste	Norte			
P1	513116	6662017	110	34	120
P2	512708	6661999	115	50	138.5
P3	512277	6661749	102	36	120
P4	513060	6661595	105	52	120
P5	512711	6661419	110	50	120
P6	512353	6661333	100	50	120
P7	512950	6661208	112	47	120
P8	511816	6663098	112	22	61.7

Em geral, os poços são perfurados com um diâmetro superior a 10 polegadas e revestidos com tubos e filtros geomecânicos, ou aço galvanizado e filtros espiralados. A vantagem do uso do tipo

geomecânico em relação ao aço, é que ele não é atacado pela acidez da água, já que esta apresenta geralmente pH menores que 6,0. O espaço anular entre a parede do poço e o revestimento é preenchido por pré-filtro selecionado com granulometria entre 1 e 2 mm, a fim de evitar a penetração de areia da formação para dentro do poço. A Figura 03 mostra o aspecto construtivo da maioria dos poços encontrados na área.

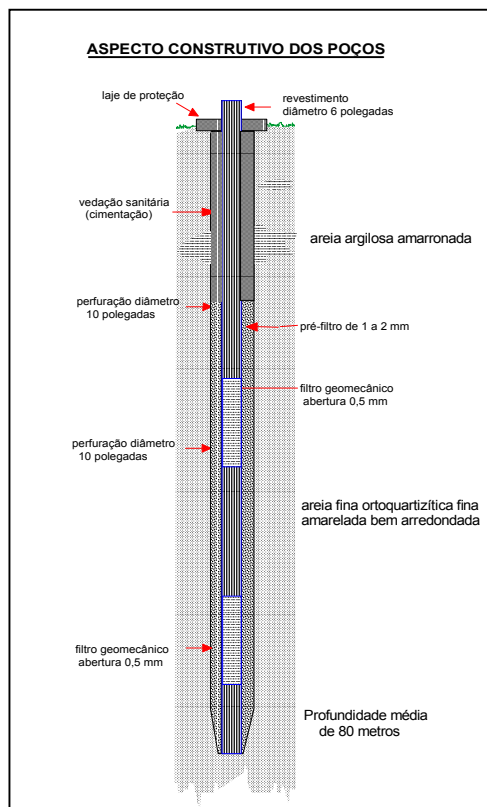


Figura 02 – Aspecto construtivo dos poços.

CARACTERIZAÇÃO DO AQUÍFERO

O aquífero relacionado aos depósitos de Barreira Marinha apresenta regime livre a semiconfinado, com condutividade hidráulica da ordem de 1,03 m/d.

Os poços que têm uma penetração total no aquífero não causam fluxos verticais. Neste caso, a condição de fluxo radial não é estritamente válida. Porém, como o aquífero é isotrópico no plano vertical e horizontal, o efeito pode ser desprezado. No caso do teste de bombeamento analisado, o efeito da penetração parcial é mínimo. Assim, não foram necessárias correções para a componente vertical do fluxo, no cálculo dos parâmetros hidráulicos do aquífero.

Cálculos hidráulicos baseados em ensaios de bombeamento com duração de 24 horas revelam os valores de transmissividade (T) e armazenamento (S), calculados pelo método de Theis de 4,0 m³/h/m e 0,007, respectivamente. A Figura 04 apresenta a curva de rebaixamento para um ensaio de bombeamento de 24 horas e vazão média de 64,18 m³/h realizado no poço 08.

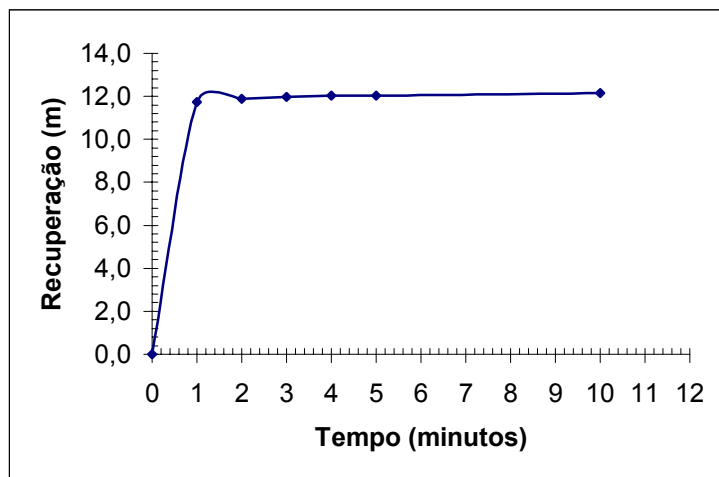
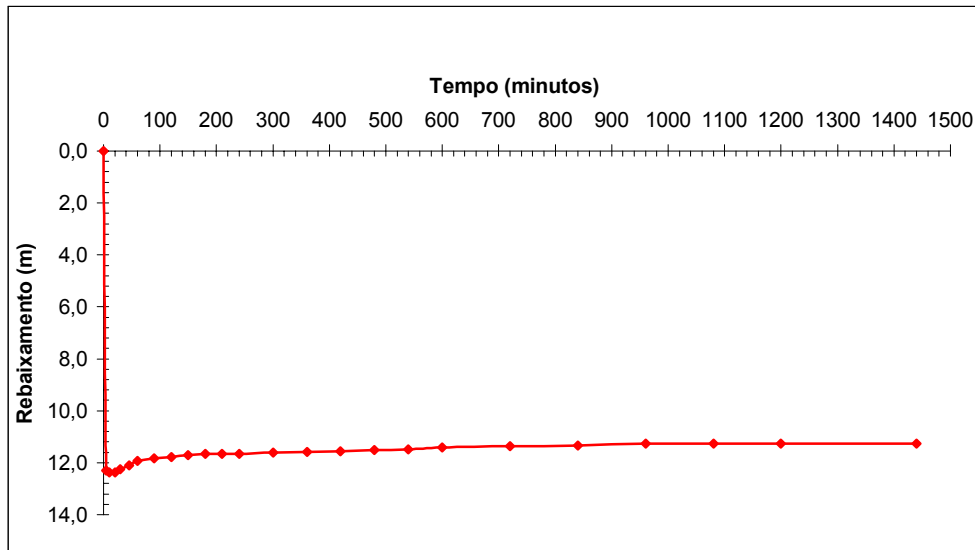


Figura 04 – Curva de rebaixamento e recuperação do Poço P8 para uma vazão média de 64,18m³/h.

Verifica-se que o nível rebaixou 5,16 m e estabilizou com 16 horas de bombeamento a uma vazão de aproximadamente 64,0 m³/h. A recuperação durou 20 minutos e atingiu 96,58 % do total rebaixado.

Pelos parâmetros hidráulicos calculados e o ensaio de bombeamento apresentado pode-se confirmar a alta potencialidade deste aquífero.

No que se refere à qualidade da água, estudos hidroquímicos das águas do sistema aquífero Barreira Marinha demonstram águas com conteúdo salino muito baixo. O total de sais dissolvido raramente atinge valores superiores a 100 mg/l, sendo mais comum os valores entre 20 e 60 mg/l, obedecendo aos padrões de potabilidade. Hausman (1995) classifica as águas subterrâneas deste sistema, conforme o diagrama de Piper, como cloretadas a bicarbonatadas mistas. Os valores de pH encontram-se entre 4,5 e 6,5.

ANÁLISE MATEMÁTICA DO FLUXO SUBTERRÂNEO

O movimento tridimensional do fluxo subterrâneo, de densidade constante, sob condição de não-equilíbrio, em um meio heterogêneo e anisotrópico, e descrito pela equação diferencial parcial (FETTER, 1994):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (01)$$

onde, K_x , K_y e K_z é a condutividade hidráulica ao longo dos eixos coordenados; h é o nível potenciométrico, W o fluxo volumétrico por unidade de volume (representa fontes e/ou sumidouros), S_s é o coeficiente de armazenamento específico e t o tempo.

As soluções analíticas da Eq. (01) não são simples. Vários métodos numéricos podem ser aplicados para obter uma solução aproximada. Um deles é o método das diferenças finitas, que consiste na formulação de um sistema de equações lineares. Este sistema adota um método iterativo para resolver o sistema de equações.

As condições de contorno especificam além da geometria do aquífero a variável dependente e as derivadas normais à fronteira. A condição de contorno utilizada nas simulações foi a de segundo tipo ou de Neumann. O fluxo normal à superfície da fronteira é determinado em todos os pontos, sendo:

$$q_n = f(x, y, t) \text{ em } S \quad (02)$$

onde f é uma função conhecida e q_n é a descarga específica, q , normal a superfície da fronteira S .

O modelo Modflow tridimensional de diferenças finitas, aplicado para análise de fluxo de água subterrâneo, desenvolvido por hidrólogos do U.S. Geological Survey (McDonald & Harbaugi, 1988). Consiste de uma série de blocos independentes que quantificam as características do sistema hidrológico (drenagem, área de recarga, evapotranspiração, poços). Todos os blocos possuem uma função similar, na qual formulam coeficientes na equação diferencial para representar os vários fluxos de entrada e saída das células.

Na calibração do modelo são utilizados testes de bombeamento com observação em piezômetros. Destas observações obtêm-se os parâmetros que caracterizam os aquíferos e que são utilizados posteriormente na previsão do comportamento futuro em condições determinadas. Devido à insuficiência de dados, será usado apenas o bloco dos poços para quantificar a hidrologia do sistema.

MODELAGEM

Inicialmente determinou-se um cenário (dito natural) onde não há qualquer tipo de exploração. Este cenário apresentado na Figura 05 detalha a tendência da superfície piezométrica da área mostrando o fluxo em direção as topografias mais rebaixadas.

Foram modelados 03 cenários de exploração contínua do aquífero para intervalos de tempo de 1, 5 e 10 anos. Na simulação dos cenários foi utilizado o Modflow que estabelece um modelo de escoamento tridimensional baseado no método das diferenças finitas. O estudo hidrogeológico dos cenários objetivou elucidar a possibilidade do aquífero sofrer qualquer tipo de “stress” ocasionado pelo alto volume de água explotado pelos poços, que atinge valores da ordem de 20.000m³/d.

A área modelada constitui-se de uma única camada de 150 m de profundidade com fluxo nulo na base do perfil. Como dados de entrada do modelo considerou-se uma porosidade média de 30%, devido à alta permeabilidade do solo, uma taxa de evaporação é de 983 mm/ano e a recarga do aquífero ocorre no período de junho a setembro, em um montante de 150 mm anuais (Normas Climatológicas, 1992).

A área estudada possui 36 km² e foi dividida em uma malha retangular com base no mapa de localização dos poços e discretizada com espaçamento de 100m gerando 3600 células (Figura 05)

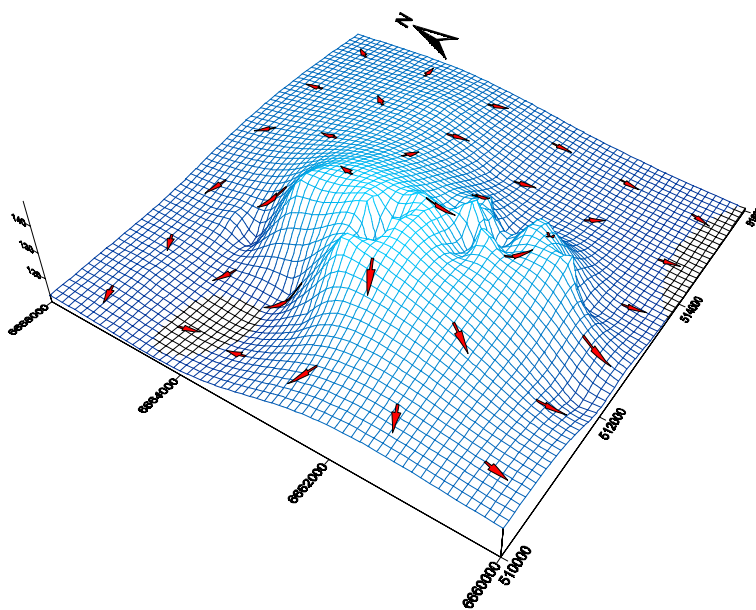


Figura 05 – Mapa de tendências da superfície piezométrica e direção do fluxo da água subterrânea.

As propriedades do sistema de aquífero foram discretizadas superpondo-se em uma malha de diferenças finitas. Os dados necessários para o modelo incluem as propriedades hidráulicas (recarga, evaporação, porosidade, transmissividade) da unidade hidrogeológica. A cada vetor do

ponto discreto do aquífero está associado em um nó numerado na malha, um valor médio de transmissividade, coeficiente de armazenamento e carga inicial.

Para fins de modelagem, o meio poroso foi considerado homogêneo e isotrópico. A estimativa inicial da transmissividade foi obtida através do resultado do teste de bombeamento no poço 8. Os parâmetros precipitação, recarga, evaporação, transmissividade e armazenamento específico representativos da área estudada foram considerados parâmetros fixos. A variável ajustada foi apenas à carga hidráulica.

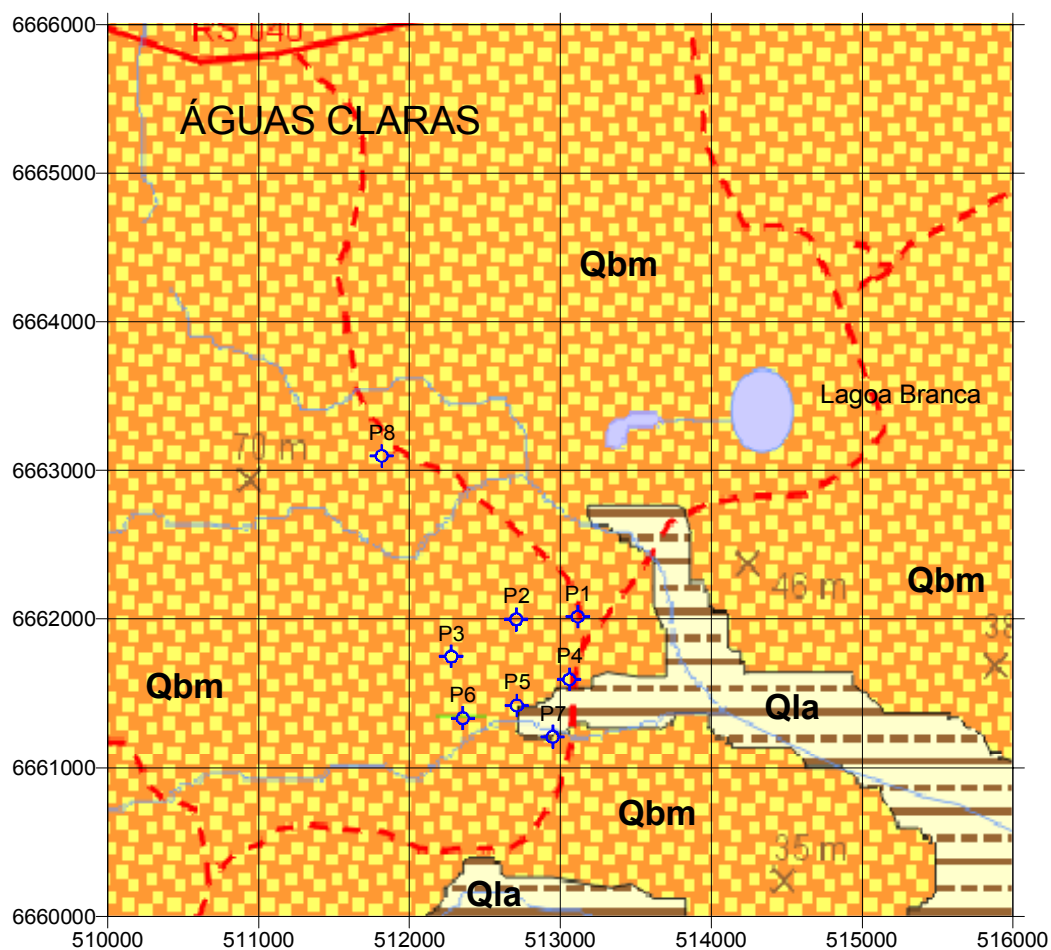
Durante o ajuste, para cada passo de tempo de 10 dias, o programa avalia a aceitabilidade da solução usando a equação da continuidade como critério, computando a diferença entre fluxos de entrada e de saída.

Os dados de entrada do modelo são listados abaixo:

- Domínio do modelo (Figura 06);
- Espessura da camada saturada do aquífero: 150 m;
- Dados dos poços – coordenadas, filtro, taxa de bombeamento (Tabela 01);
- Recarga: 150 mm/ano;
- Evaporação: 983 mm/ano;
- Porosidade: 30%;
- aquífero isotrópico e homogêneo com condutividade hidráulica $K_x = K_y = K_z = 1,03$ m/d;
- Transmissividade: $96 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}$;
- Armazenamento específico: 0,007;
- Condição de contorno inicial (Figura 07).

RESULTADOS

A modelagem é uma simplificação ou abstração da realidade física complexa e seus processos. Os parâmetros considerados na modelagem do aquífero são: a evolução dos níveis, a direção do fluxo subterrâneo e a capacidade de armazenamento da área em estudo. As respostas do aquífero às ações a ele aplicadas, ou seja, as variações do potencial hidráulico, a calibração, o ajuste e a validação do modelo, serão discutidas a seguir.



LEGENDA









- | | | |
|--|--|---|
|  Depósitos de encosta e leques aluviais |  Estrada Principal |  |
|  Depósitos de Barreira Marinha |  Estrada Secundária | |
|  Poço Tubular |  Rede de Drenagem | |
| |  35 m
Cota Topográfica | |

Figura 06 – Geologia da área e localização dos poços utilizados no modelo

No cenário 1 foram considerados os oito poços apresentados na Tabela 01, submetidos a uma taxa de bombeamento constante num total de 22084,84 m³/d, num período de tempo de 365 dias (1 ano). Nos cenários 2 e 3 os poços considerados, a taxa de bombeamento utilizada foi a mesma do cenário 1, mudando apenas o intervalo de tempo que foi de 1825 dias (5 anos) para o cenário 2 e de 3650 dias (10 anos) para o cenário 3. O passo de tempo considerado em todas as simulações foi de 10 dias.

Os dados de entrada foram os já citados anteriormente para todos os cenários. O aquífero foi estudado para o caso apenas do regime transiente. Os resultados das simulações dos cenários 1, 2 e 3, utilizando o modelo são apresentadas nas Figuras 08, 09 e 10, respectivamente.

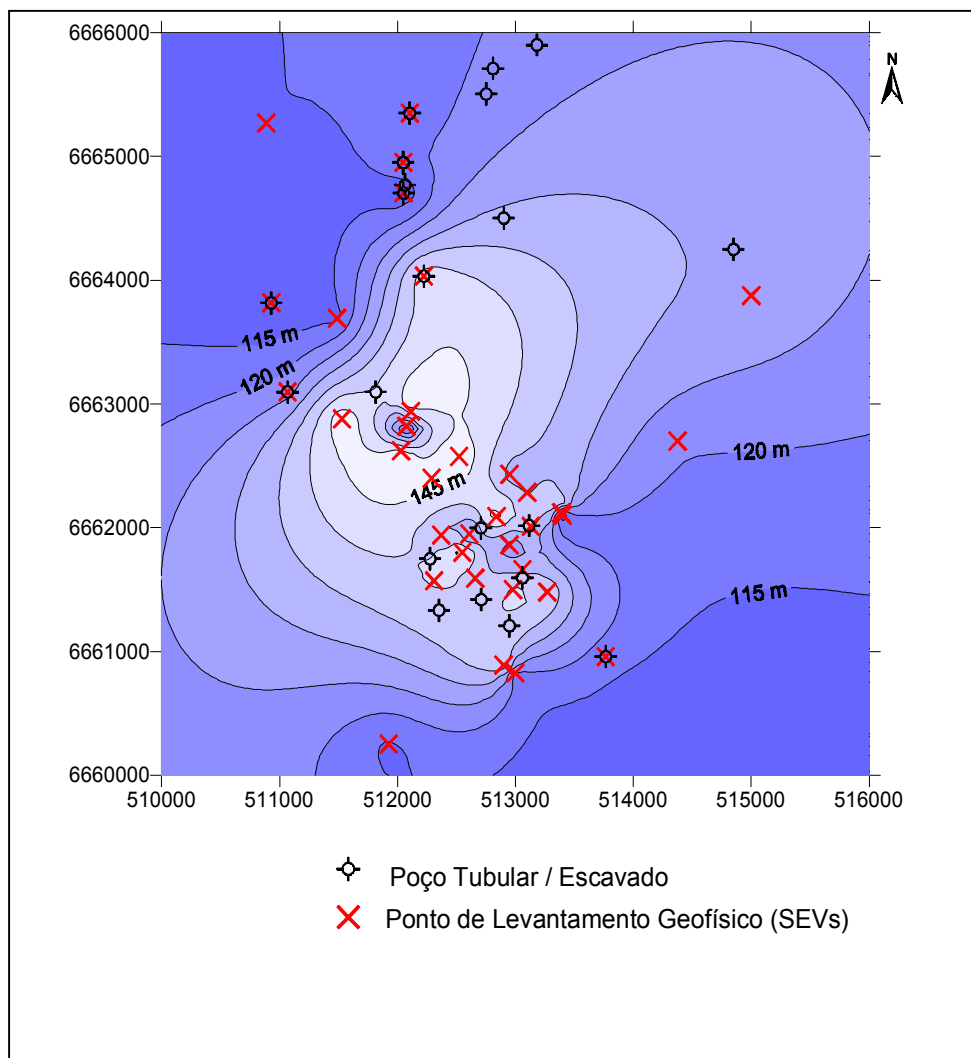


Figura 07 – Mapa da superfície piezométrica considerada como condição de contorno inicial.

As condições de contorno consideradas foram a de segundo tipo para a fronteira superior e a de fluxo nulo na fronteira inferior. A condição inicial foi dada pelos níveis d'água inicialmente distribuídos, no tempo t_0 . Foram considerados negligenciáveis a contribuição proveniente de rios e lagoas adjacentes à área estudada.

Os resultados mostram a influência do bombeamento no nível do aquífero, ocasionando um rebaixamento máximo de 80 m no primeiro cenário, de 60 m no segundo e de 10 m no terceiro, nas

Os resultados mostram a influência do bombeamento no nível do aquífero, ocasionando um rebaixamento máximo de 80 m no primeiro cenário, de 60 m no segundo e de 10 m no terceiro, nas áreas de maior concentração dos poços. Sabendo que a taxa de recuperação, obtida no teste de bombeamento é de 12 m/min, mesmo sendo exposto a grandes vazões e apresentando um cone de rebaixamento acentuado o aquífero apresenta recarga nas áreas mais rebaixadas. Estes valores confirmam a grande potencialidade do aquífero em função de suas características hidrogeológicas.

Constatou-se com as simulações que a taxa de recarga é compatível com a exploração do aquífero não ocasionando nenhum tipo de “stress” do mesmo. Podemos ainda constatar que, se exploração a que o aquífero é submetido for a mesma num período de tempo de 10 anos (cenário 3) existirá uma recarga da ordem de 20m, em direção as superfícies mais rebaixadas. Este fato é mostrado na Figura 10.

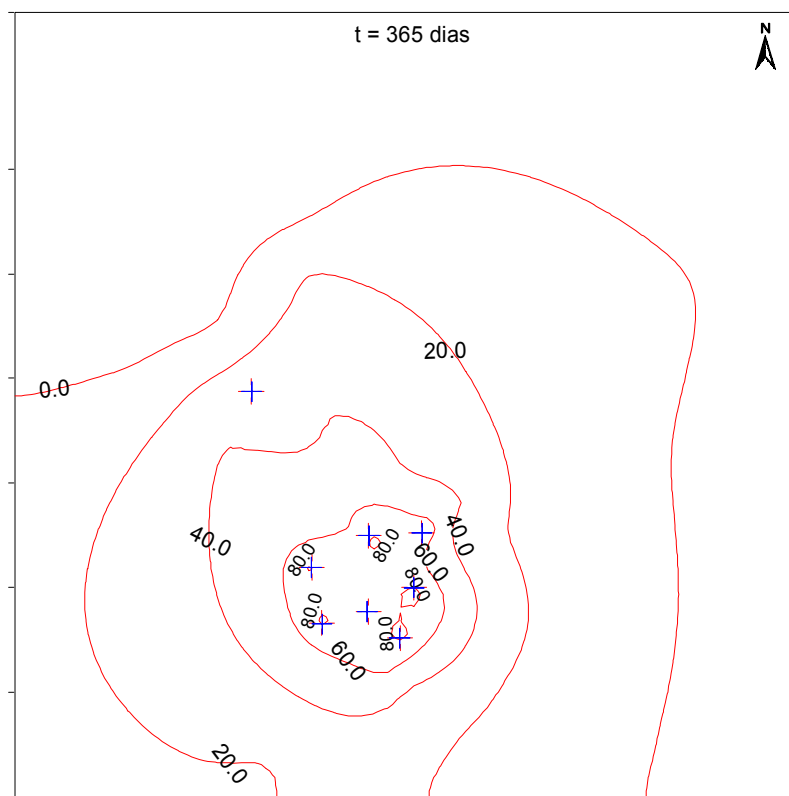


Figura 08 – Resultado da modelagem para o Cenário 1

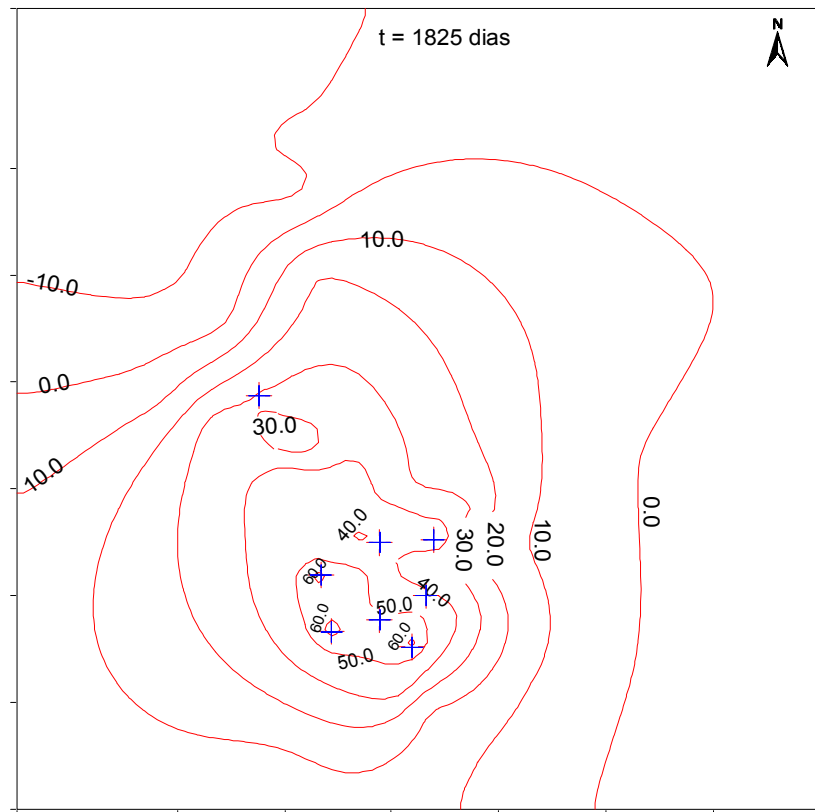


Figura 09 – Resultado da modelagem para o Cenário 2

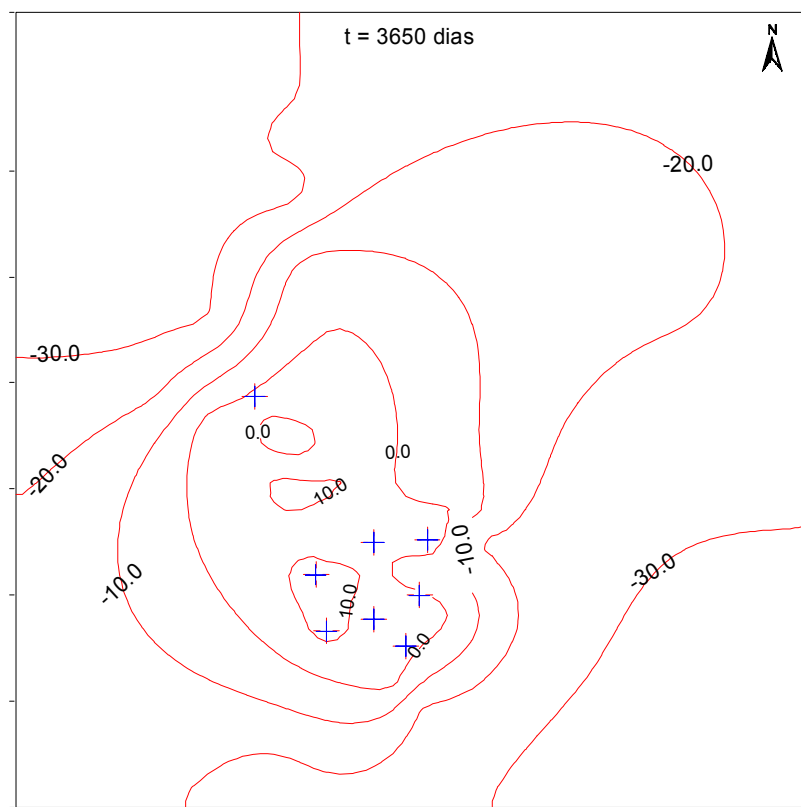


Figura 10 – Resultado da modelagem para o Cenário 3

Nas simulações observou-se uma forte recuperação do aquífero devido à alta pluviometria da região, que caracteriza uma recarga rápida e eficiente, favorecendo a sua exploração. Por outro lado, esta recarga rápida deixa o aquífero vulnerável a entrada de poluentes, oriundos do lançamento de efluentes existentes na área.

Em períodos de baixa precipitação, o cone de depressão no aquífero provavelmente irá atingir grandes proporções, podendo levar os níveis dinâmicos a atingirem valores capazes de provocar queda na produção dos poços, não existindo, no entanto, riscos de colapso nas unidades de bombeamento.

A Figura 11 mostra as linhas equipotenciais e de recarga para o cenário 3. Nesse ponto o modelo comprovou sua validade, pois os resultados obtidos no modelo coincidem com os dados observados, ou seja, para um período muito grande de recarga o fluxo da água subterrânea ocorre a oeste, como mostrado na Figura 05.

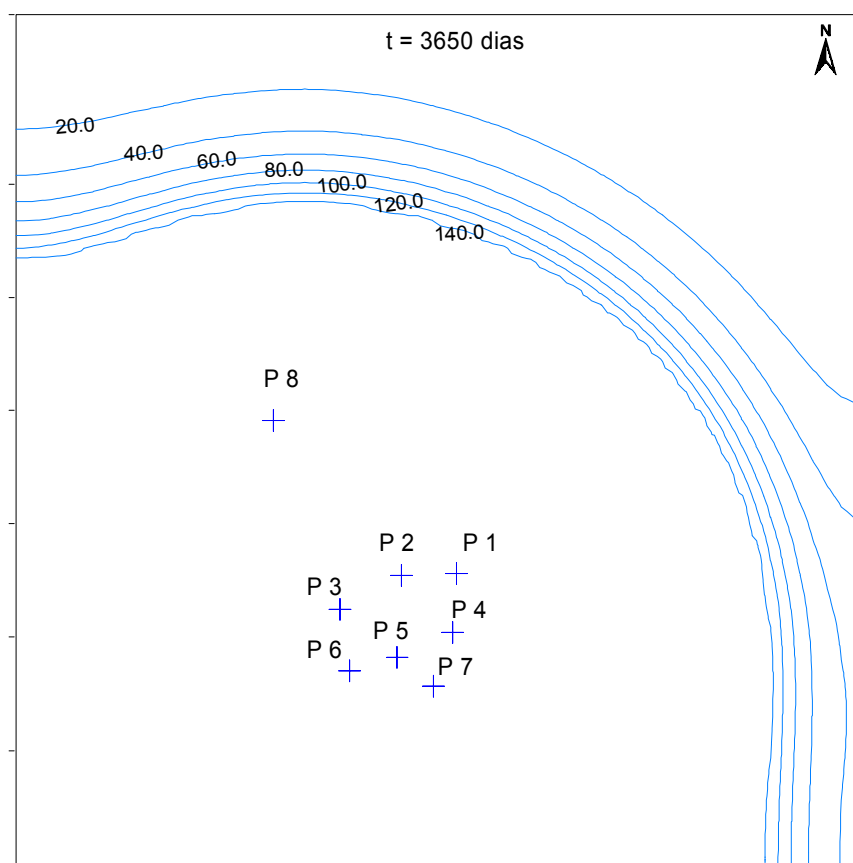


Figura 11 – Linhas de rebaixamento e recarga para um tempo de 10 anos – Cenário 3

Poços localizados a 1000 m de distância do local de maior concentração dos poços não irão sofrer influência do cone de depressão ocasionado pelos mesmos. Este fato pode ser constatado na Figura 08.

A taxa de evaporação é função do tipo de exponencial e da distancia do nível de água a superfície natural do terreno. Desta forma, levando em consideração as características hidrogeológicas do aquífero, vimos que as perdas por evaporação não são significativas. Provavelmente, se a área em estudo não estivesse sendo submetida a uma grande taxa de exploração, existiria uma grande probabilidade de grande acúmulo de água nos locais de topografia mais rebaixadas, como mostram os resultados das simulações apresentadas.

CONCLUSÕES

O modelo utilizado comprovou eficiência na utilização do método das diferenças finitas para simulação de cenários, o que reforça a opinião de diversos pesquisadores quanto à adequação de modelos para o caso de estudo do comportamento de aquíferos.

Na aplicação do modelo, é possível a observação das respostas do aquífero – valores de carga hidráulica – ao bombeamento dos poços, em qualquer local da área pesquisada. O modelo fornece também os locais de afloramento do lençol, podendo o mesmo ser aproveitado para práticas de agricultura que necessitem de áreas alagadas.

As condições de contorno do modelo e os parâmetros hidrodinâmicos utilizados ofereceram uma boa representatividade do sistema aquífero em estudo mostrando uma boa correspondência com os valores observados.

A influência do bombeamento sobre o aquífero apresentou um comportamento dinâmico evidenciada pela taxa de recarga que ocorre no decorrer do tempo.

As respostas do aquífero às diversas simulações seriam bastante diferentes diante da inexistência dos poços de bombeamento.

A transmissividade calculada de 96 m³/d/m mostra a condição de fornecedor de água do aquífero em altos valores de volume de água disponível para exploração.

Os resultados das simulações do aquífero oferecem dados, sobre o comportamento e potencialidade deste, úteis para o gerenciamento do sistema, possibilitando a exploração dos recursos hídricos disponíveis da melhor maneira possível, seja para irrigação, consumo humano ou uso industrial.

O modelo aplicado pode ser considerado como uma ferramenta importante possibilitando previsões de futuros planos de exploração do aquífero.

O modelo utilizado não considera a qualidade da água nem inclui o fluxo em meio não saturado. Resume-se apenas a um sistema simples de um aquífero livre com base impermeável. A inclusão destes condicionantes pode ser uma sugestão para estudos futuros.

A determinação da influência de rios e lagoas no aquífero, o aumento da quantidade de dados de entrada, possibilitaria um melhor refinamento do modelo.

Contudo, deve-se ressaltar que o aquífero em estudo apresenta grande potencialidade hídrica, podendo contribuir sem perdas significativas com o desenvolvimento da região e, por possuir uma recarga muito rápida o mesmo se torna bastante vulnerável a contaminação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil – IBGE. Volume 33, Rio de Janeiro, 1986.

FETTER, C.W. Applied Hydrogeology – 3.^a Edição. 1994.

HAUSMAN, A. Estudo das Possibilidades da Água Subterrânea no Rio Grande do Sul, Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, Vol. 1. 1960.

HAUSMAN, A. Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul, I Semana Hidrogeológica Uruguaia, Montevideo, 1964.

MACHADO, J.L.F. Características Hidrolíticas dos Sistemas Aquíferos Quaternários da Região Adjacente a Porto Alegre-RS. In: CBAS VIII^o, Recife, 1994.

MCDONALD, M.G.; HARBAUGH, A.W. A modular three-dimensional finite-differences groundwater flow model. Washington: Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey. 1988.

NORMAS CLIMATOLÓGICAS. Ministério da Agricultura e reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, Departamento de Meteorologia. Brasília. 1992.