

SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DE FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO DO AQUIFERO BAURU NO MUNICÍPIO DE ARAGUARI, MG

*Stela Cota¹; Carlos Alberto de Carvalho Filho¹; Otávio Eurico de Aquino Branco¹ & Leila Nunes
Menegasse Velásquez²*

RESUMO --- O trabalho tem como objetivo apresentar um modelo matemático preliminar do fluxo de água subterrânea do aquífero Bauru no município de Araguari, MG, com o propósito de confirmar o modelo conceitual da área e gerar um modelo-base para auxiliar na gestão hídrica da região. Esse estudo insere-se no contexto do projeto “Avaliação dos Recursos Hídricos do Sistema Aquífero Guarani no Município de Araguari, Minas Gerais, Brasil”, dentro do marco do Projeto Sistema Aquífero Guarani.

ABSTRACT --- This paper aims to present a preliminary mathematical model for ground water flow of the Bauru Aquifer in Araguari, MG. The purpose of the model is to confirm the area conceptual model and to serve as a base-model to improve water resources management of the region. This study is related to the project “Water Resources Evaluation of the Guarani Aquifer System in Araguari municipality, Minas Gerais state, Brazil”, as part of the Guarani Aquifer System Project.

Palavras-chave: águas subterrâneas, modelo matemático, Sistema Aquífero Guarani.

¹ Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN/CNEN, Rua Prof. Mário Werneck, s/no., CP 941, Pampulha, Belo Horizonte, MG, 30123-970. e-mail: sdsc@cdtn.br.

² Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, 31270-901. e-mail: menegasse@yahoo.com.br.

1 - INTRODUÇÃO

Localizado no limite nordeste do Sistema Aquífero Guarani – SAG (Figura 1), o município de Araguari - Minas Gerais, caracteriza-se por suas atividades agroindustriais, destacando-se a cultura da soja, milho, café, frutas e criação de bovinos e por uma utilização intensiva e quase exclusiva dos recursos hídricos subterrâneos subjacentes. A área estudada no município restringe-se à porção que compreende a seqüência de rochas juro cretácicas da Bacia do Paraná numa extensão de 1.405,5km² (51% do município). É nessa porção onde vive a grande maior parte da população total, estimada em 108.672 habitantes, sendo 91% urbana (IBGE, 2000). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município é um dos maiores do Estado de Minas Gerais, 0,815 (IBGE, 2000).

Conforme será descrito com mais detalhes no item subsequente, foram individualizados dois sistemas aquíferos principais na área de estudo, ambos relacionados a unidades mesozóicas da bacia sedimentar do Paraná. O aquífero Serra Geral corresponde aos derrames basálticos da formação Serra Geral do Grupo São Bento, enquanto o aquífero Bauru, está representado na região pelos arenitos da formação Marília do Grupo Bauru. Raras ocorrências de arenitos da Formação Botucatu (Grupo São Bento) foram verificadas na área, por conseguinte essa unidade não se constitui um aquífero na região.

Apesar da abundância de recursos hídricos superficiais no município, denotada pela presença dos volumosos rios Araguari e Paranaíba, o suprimento de água da região da chapada, onde vive a quase totalidade da população, é, sobretudo, de origem subterrânea, extraída de poços tubulares perfurados predominantemente no aquífero Bauru, para o abastecimento público, irrigação e uso industrial. Essa larga utilização da água subterrânea deve-se à dificuldade técnica e econômica para o aproveitamento dos rios Araguari e Paranaíba em virtude do desnível de aproximadamente 300m entre estes e a região da chapada.

Tal dependência da água subterrânea no município tem gerado conflitos entre usuários em áreas onde a demanda é intensa, citando-se a região agrícola da bacia do córrego Araras. O desconhecimento do potencial quantitativo e do funcionamento do Aquífero Bauru no município tem proporcionado aos usuários, ao órgão gestor do estado e à empresa de saneamento municipal, grande insegurança quanto à sustentabilidade dos recursos hídricos.

Dentro desse contexto, o estudo “Avaliação dos Recursos Hídricos do Sistema Aquífero Guarani no Município de Araguari, Minas Gerais, Brasil” foi desenvolvido com o objetivo de agregar informações técnica e científica sobre a região e contribuir para a implementação de um programa de gestão dos recursos hídricos locais por parte dos órgãos competentes (UFMG et al, 2006). Este projeto foi realizado dentro do marco do Projeto Sistema Aquífero Guarani, com o

apoio financeiro do programa “Bank Netherlands Partnership Program Environmental Window” (BNPPW).

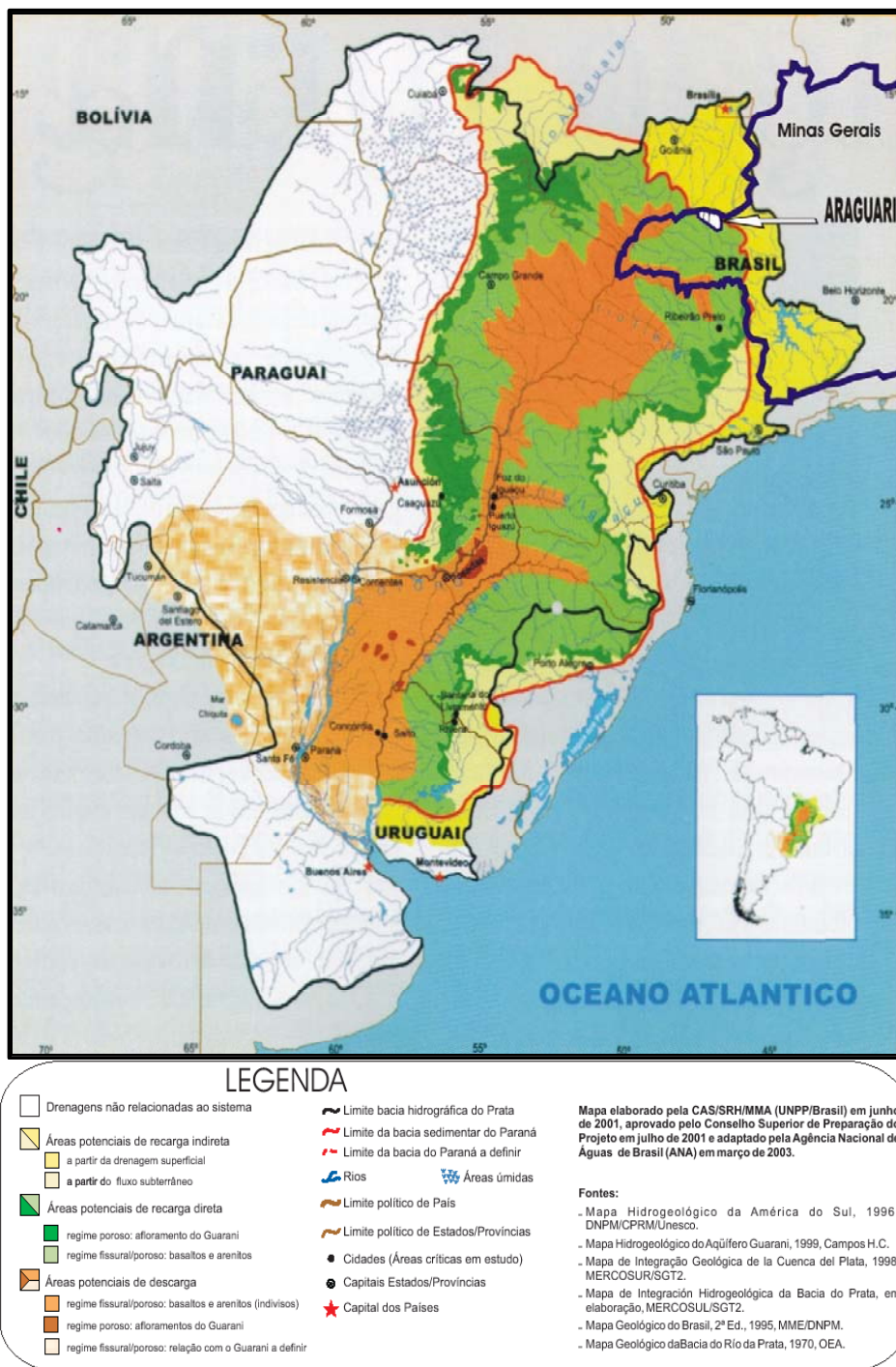


Figura 1 – Posição do município de Araguari dentro da bacia hidrogeológica do Sistema Aquífero Guarani (modificado de Mapa Esquemático do Sistema Aquífero Guarani, in [www. sg-guarani.org](http://www.sg-guarani.org)).

O trabalho apresentado neste artigo refere-se a uma das etapas do projeto desenvolvido e tem como objetivo elaborar um modelo matemático preliminar do fluxo de água subterrâneo do aquífero Bauru no município de Araguari. O propósito do modelo desenvolvido é confirmar o modelo conceitual da área e gerar um modelo-base que poderá ser expandido no futuro através da inclusão do aquífero Serra Geral, possibilitando a utilização de valores de condições de contorno e de parâmetros mais realistas para a calibração do modelo.

2 – CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Na área de estudos, o SAG repousa sobre as rochas neoproterozóicas metassedimentares do Grupo Araxá e do Complexo gnáissico-granulítico e granitóides pós-tectônicos.

As unidades mesozóicas, pertencentes à bacia sedimentar do Paraná, são correlacionadas ao Grupo São Bento (Formações Botucatu e Serra Geral) e ao Grupo Bauru (Formação Marília).

A Formação Botucatu é muito restrita, tendo sido identificadas apenas duas ocorrências repousando diretamente sobre o embasamento, o que é típico de borda de bacia, não tendo sido encontrada nem mesmo em perfurações mais profundas. Ocorrem ainda como lentes descontínuas de 5-4 m de espessura. Em ambos os casos apresentam-se geralmente silicificadas e, desse modo, o aquífero Botucatu não chega a formar em Araguari um manancial explorável.

Os derrames basálticos da Formação Serra Geral formam o segundo aquífero em importância de exploração atual. Ocorre diretamente sobre o Grupo Araxá, com espessuras médias de 200-250 m, intensamente fraturado e formando disjunção colunar. Os contatos geológicos no topo (880 e 900 m) e na base (750 e 700 m) formam nascentes dos tributários dos Rios Araguari e Paranaíba. A recarga processa-se indiretamente através do Aquífero Bauru, dos sedimentos colúvio-eluvionares de rampa e da infiltração direta nas áreas de afloramento. A produtividade média é de 5 a 10m³/h, elevando-se a valores acima de 40 m³/h nos locais de maior adensamento fissural. A profundidade dos poços é sempre superior a 50 m.

O aquífero Bauru (Fm. Marília) é formado, na base, por uma camada de conglomerado de 5 a 6 m de espessura, saturada, seguida de um pacote de arenitos silto-argilosos friáveis, que, somado às coberturas laterizadas terciárias elúvio-coluvionares (5 a 10 m), alcançam espessuras médias de 50 a 60 m. O aquífero recobre cerca de 30% do município, em cotas acima de 880 m de espessura. Algumas poucas drenagens, porém importantes, surgem em meio às chapadas dos arenitos Bauru, como por exemplo, o ribeirão das Araras e os córregos do Brejo e o Amanhece.

A maior parte da recarga natural ocorre nesse aquífero através da transferência da infiltração direta sobre as coberturas silto-arenosas. Apresenta alta capacidade de armazenamento (0,12) e alta permeabilidade (2,3 x 10⁻³ cm/s), valores estes obtidos por meio de testes de aquífero. É o aquífero mais explorado, com vazão média de 21 m³/h. A natureza pouco profunda desse aquífero e seu

material litológico têm facilitado a perfuração indiscriminada e ilegal de poços, inclusive por meio de práticas não adequadas. Toda a área urbana está edificada sobre esse sistema, elevando o risco de poluição desse aquífero.

3 – METODOLOGIA

A modelagem de fluxo de água subterrânea para a região de estudo foi desenvolvida por meio do modelo MODFLOW (McDonald e Harbaugh, 1988) através do software Visual MODFLOW, versão 4.1.0 (Waterloo Hydrogeologic, Inc., 2005). O modelo de fluxo desenvolvido abrange somente o aquífero Bauru, por ser o aquífero de maior importância para a economia da região e o mais explorado. O aquífero Serra Geral, apesar do seu potencial de utilização, é atualmente pouco explorado, sendo raros os poços de bombeamento que o atingem. Por essa razão, são escassas as informações sobre a distribuição de cargas hidráulicas e parâmetros hidrodinâmicos sobre esse aquífero, sendo esta a razão determinante da não-inclusão deste aquífero nessa fase dos trabalhos de modelagem de fluxo subterrâneo da região. Portanto, os resultados do trabalho de modelagem apresentados neste capítulo devem ser vistos como resultados preliminares que devem ainda ser confirmados através do desenvolvimento de um modelo mais completo.

A área simulada se refere somente à região do aquífero Bauru, no município de Araguari, MG, dentro da região de interesse estabelecida para o desenvolvimento dos trabalhos (Figura 2). O domínio do modelo foi estipulado como sendo um retângulo de 60.000 metros na direção leste-oeste e 49.300 metros na direção norte-sul, sendo delimitado pelas coordenadas 763.700N/7.910.050E (origem do modelo) e 823.700N/7.959.350E, totalizando uma área de 2.958km².

Com exceção do seu limite Leste, a área ativa do modelo foi definida de modo a coincidir (aproximadamente) com os limites de ocorrência em planta do Aquífero Bauru e dos depósitos coluviais, até o contato com o Aquífero Serra Geral mapeado, conforme Fiumari (2004). Como a região à leste do ribeirão Piçarrão apresenta uma carência de dados hidrogeológicos, ela não foi abrangida. Assim, o limite leste-sudeste segue aproximadamente o trajeto do ribeirão Piçarrão, passa pelo córrego Pindaituba, de onde passa para a bacia do Rio Araguari por meio do córrego Cocal. Todas as áreas localizadas fora do limite do aquífero foram assinaladas como áreas inativas no modelo. Ressalta-se que cerca de 95% das outorgas concedidas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para exploração dos aquíferos na região estão incluídas nos limites da área a ser modelada.

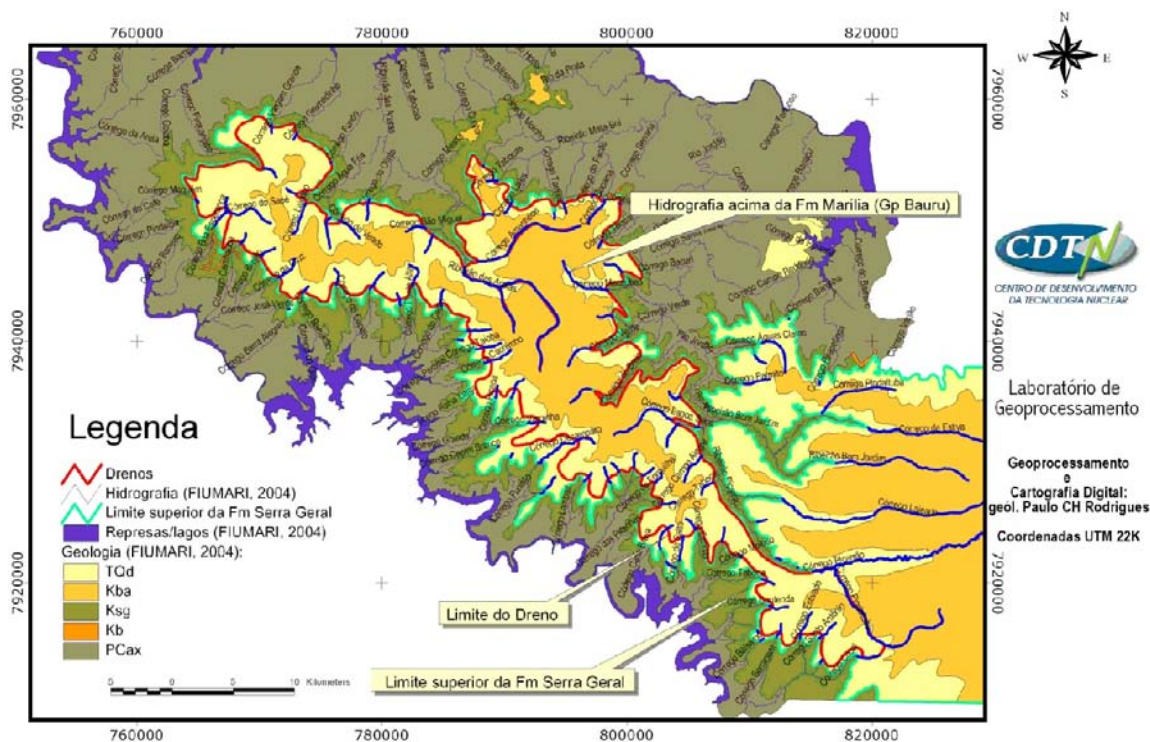


Figura 2 – Mapa geológico com limites da área modelada (em vermelho).

Foram selecionados 22 poços da região para serem utilizados como poços de monitoramento de carga hidráulica, selecionados a partir de um inventário dos pontos de água elaborado. Buscou-se selecionar poços bem distribuídos ao longo de toda a região, que fossem acessíveis e que não estivessem sendo utilizados para bombeamento para permitir a medição do nível estático. As medições do nível estático foram realizadas no início do inverno, caracterizando um período em que o aquífero está em seu nível máximo devido ao fim das chuvas e ao longo período sem bombeamento dos poços para uso na irrigação das lavouras. Assim, o mapa piezométrico elaborado com esses dados representa um aquífero recuperado, com pouco rebaixamento em relação ao seu nível estático anterior.

A Figura 3 mostra o domínio simulado, evidenciando as áreas ativas e inativas (em verde), a posição dos poços de monitoramento, a malha hidrográfica da região e a localização da sede do município de Araguari (em vermelho). Deve-se observar que os eixos de todas as figuras geradas pelo Visual MODFLOW estão referenciados com as coordenadas do modelo e não as coordenadas UTM da região. Sobre o domínio mostrado na Figura 3, foi projetada uma malha com células retangulares com 120m na direção leste-oeste (eixo X) e 100m na direção norte-sul (eixo Y), totalizando 499 colunas (direção leste-oeste) e 493 linhas (direção norte-sul). A Figura 4 mostra a malha definida em um detalhe da área central do domínio, onde são apresentadas também as áreas inativas, os poços de monitoramento localizados na região, a malha hidrográfica e o limite da sede do município de Araguari.

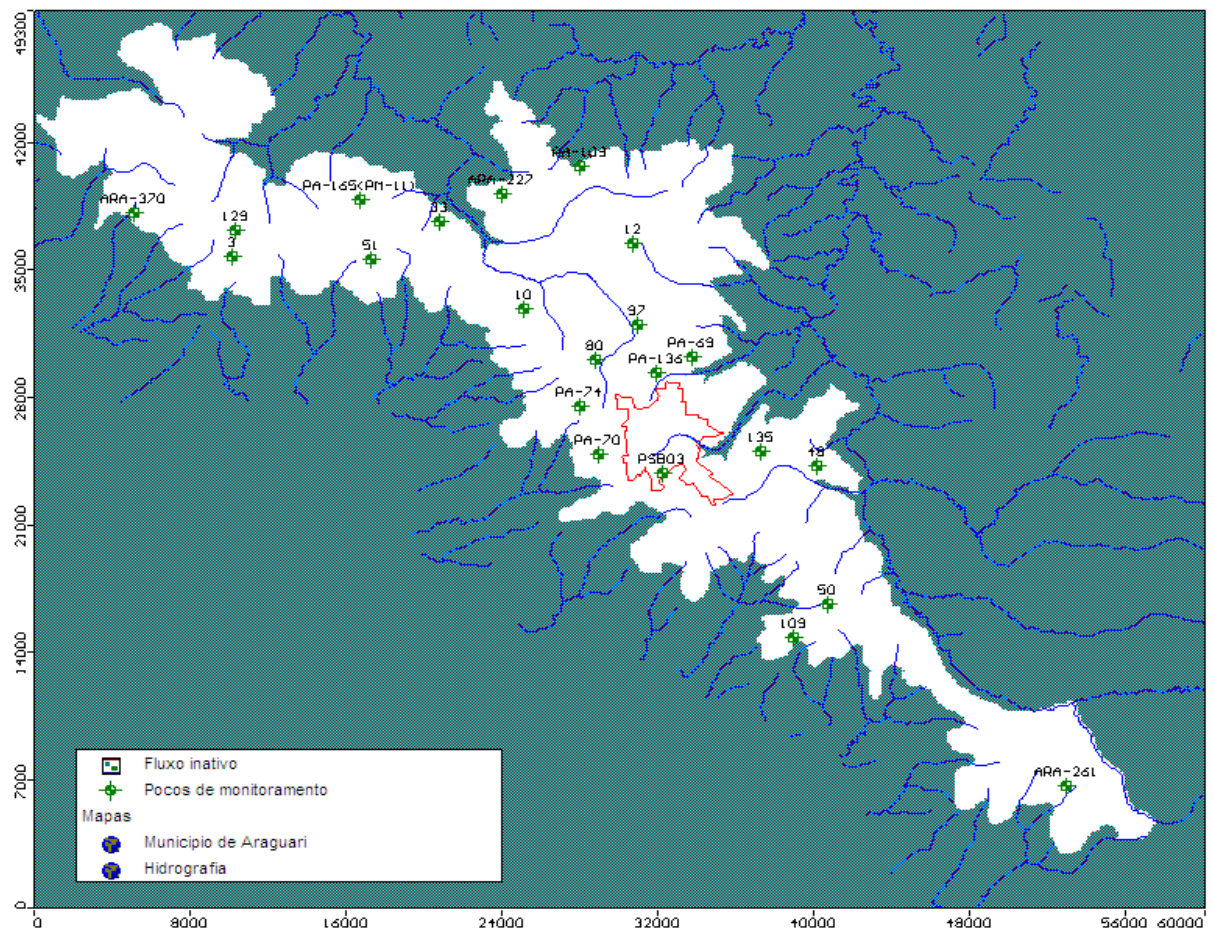


Figura 3 – Identificação do domínio simulado, poços de monitoramento, malha hidrográfica da região e sede do município de Araguari (em vermelho).

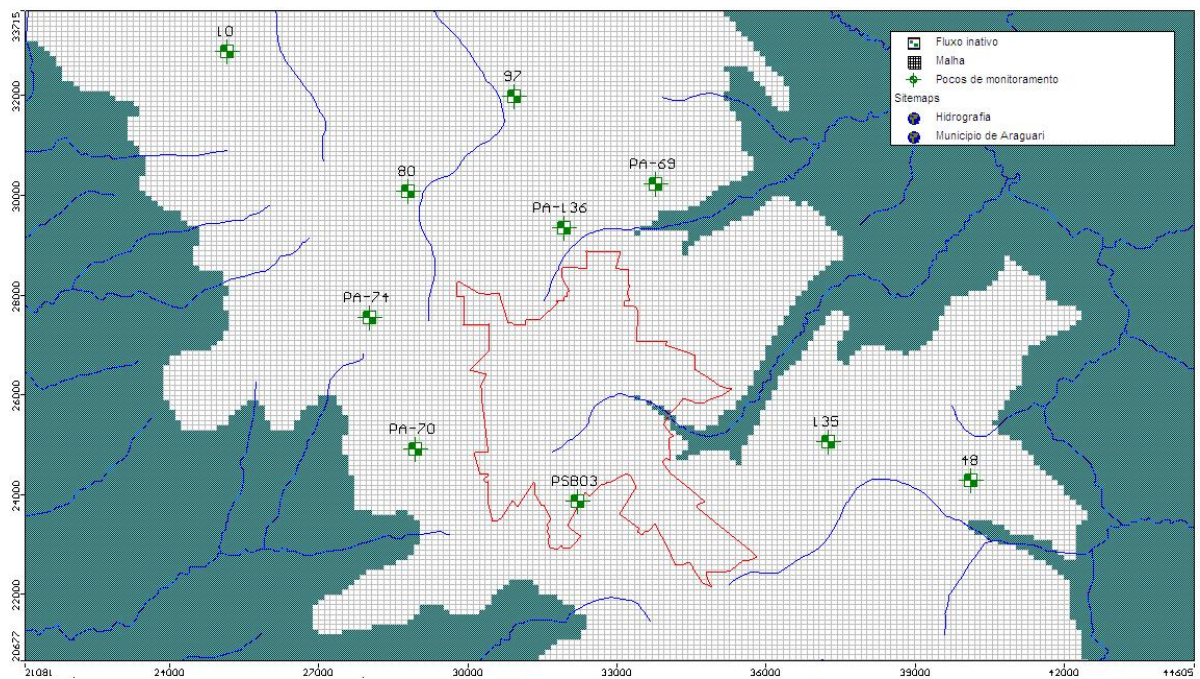


Figura 4 – Detalhe do domínio (área central), mostrando a malha definida, as áreas inativas, os poços de monitoramento, a malha hidrográfica e o limite urbano de Araguari (em vermelho).

O modelo foi constituído de uma única camada, simulando somente o aquífero Bauru. O topo do modelo foi estipulado através das medidas topográficas da área, variando de 500m a valores superiores a 1000m. Na Figura 5 é mostrada, em escala de cores, a topografia do terreno na área modelada. A topografia, em comparação com as áreas assinaladas como inativas para o fluxo (em cinza), é mostrada tridimensionalmente na Figura 6.

O fundo do modelo foi estipulado a partir de dados de poços de bombeamento da região que continham a cota do contato entre os aquíferos Bauru e Serra Geral. O aquífero Bauru apresenta uma espessura média saturada de 39-40m (Fiumari, 2004) na parte central do planalto, chegando a zero nas bordas. Para simular o contato com o Serra Geral nas bordas, a espessura do Bauru nessas regiões foi especificada como sendo de 1 metro. A Figura 7 mostra um corte vertical na direção leste-oeste do domínio, a 35.750 metros do limite sul (linha 136), passando pelo poço de monitoramento 3 (P-123), e mostrando o relevo do terreno, o limite do fundo do modelo e a malha implementada. A Figura 8 apresenta as mesmas informações em um corte na direção norte-sul do domínio, a 30.880m do limite oeste (coluna 258), passando pelo poço de monitoramento 97 (P-132).

Em torno de todo o limite da área ativa do domínio foi aplicada condições de contorno tipo Dreno (ver Figura 2), com cargas hidráulicas variáveis de acordo com a topografia e a piezometria estimada para a região. A condutância em todos os drenos aplicados foi fixada em $1000\text{m}^2/\text{dia}$. O objetivo dessa condição de contorno foi simular as inúmeras nascentes e córregos que podem ser encontrados ao longo de todo o limite do aquífero Bauru na região de interesse, que correm para a parte baixa da região, sobre o Serra Geral e Grupo Araxá (embassamento regional pré-cambriano). Além dos drenos aplicados no limite entre os aquíferos Bauru e Serra Geral, também se aplicou o contorno tipo Dreno para simular o ribeirão das Araras e o córrego Amanhece, que correm internamente a área, ao norte do município de Araguari.

No fundo do domínio, prevalece o contorno de fluxo nulo. Em termos práticos, esse contorno assume que não há contribuição do aquífero Bauru para a recarga do aquífero Serra Geral. Mesmo não sendo uma representação realista da hidrodinâmica da região, essa consideração foi necessária já que o aquífero Serra Geral não foi incluído nessa modelagem preliminar. Na região, são poucos os poços de bombeamento que exploram o Serra Geral, sendo escassos os dados disponíveis sobre o fluxo nesse aquífero profundo, não sendo suficientes para possibilitar sua modelagem matemática. Entretanto, devido ao grau de fraturamento encontrado no Serra Geral, é certo que há um fluxo vertical do Bauru alimentando esse aquífero. Assim, deve-se considerar que a descarga do aquífero Bauru através dos drenos, que será estimada pelo modelo, na verdade se constitui por dois fluxos de descarga: um superficial e outro subterrâneo, representando a drenança do Bauru para o Serra Geral. A Figura 9 mostra a distribuição dos drenos no domínio, sendo representados em cinza.

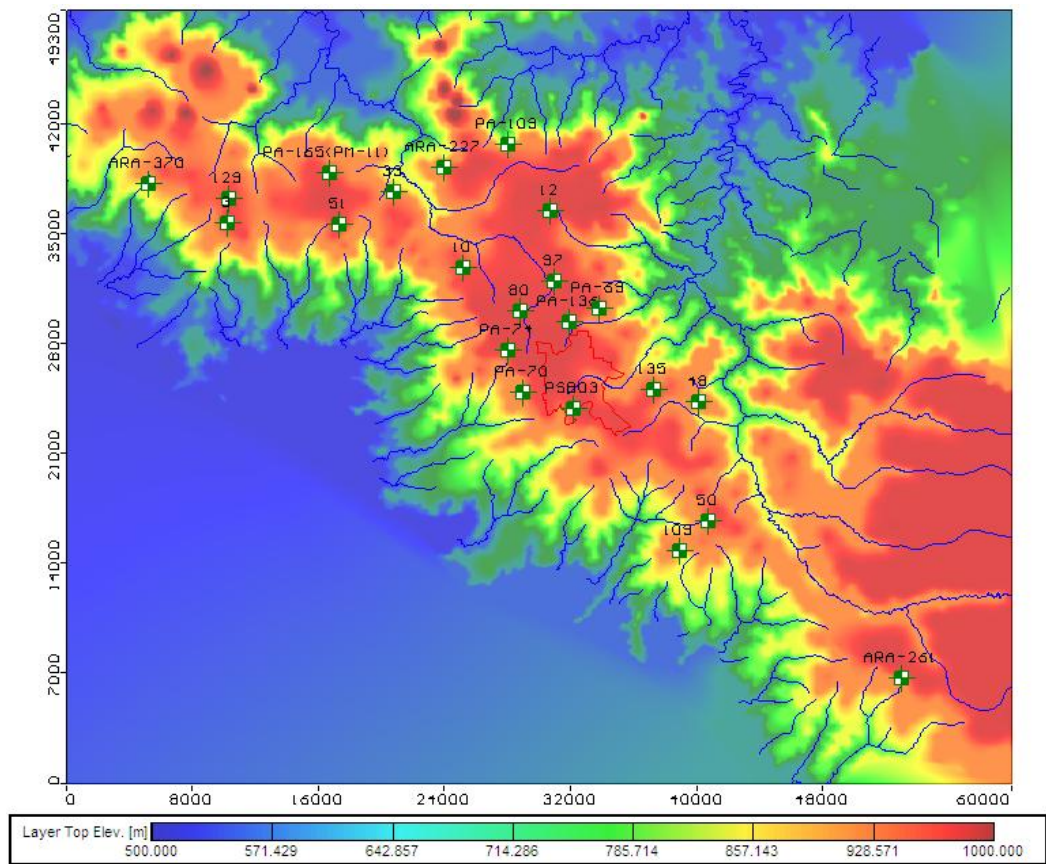


Figura 5 – Visualização da topografia da região, em escala de cores de acordo com a legenda.

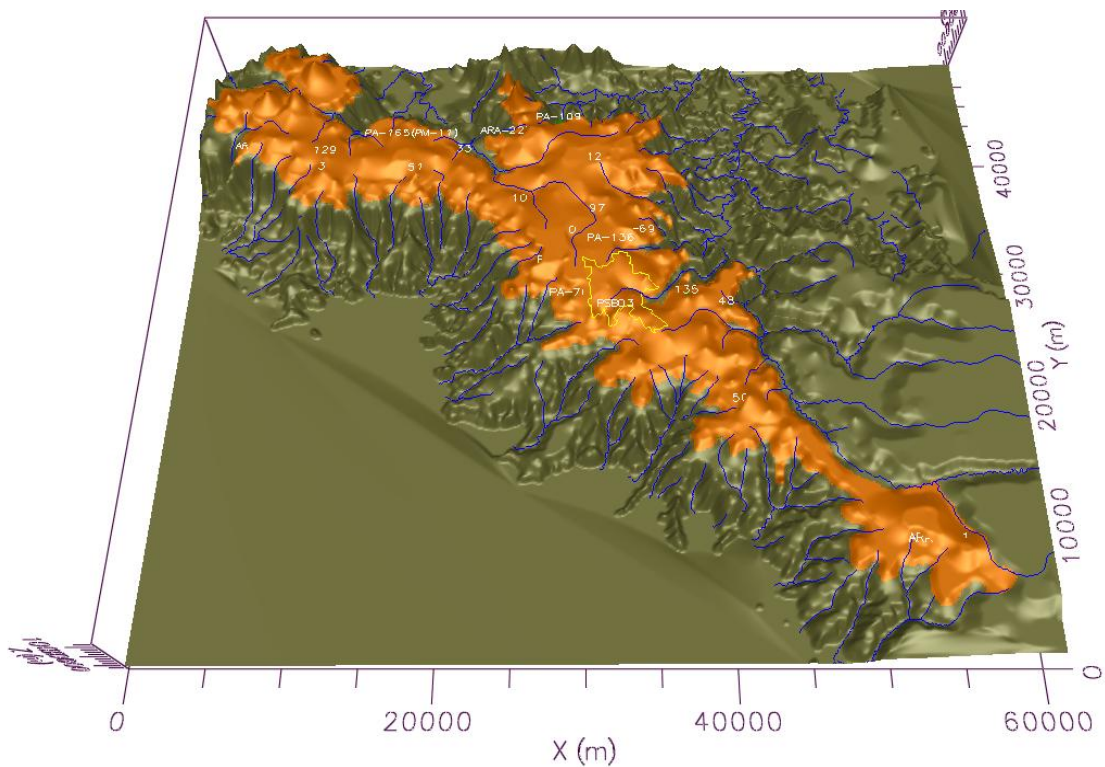


Figura 6 – Visualização tridimensional do domínio, mostrando a topografia do terreno (exagero vertical igual a 12). Áreas de fluxo inativo em verde.

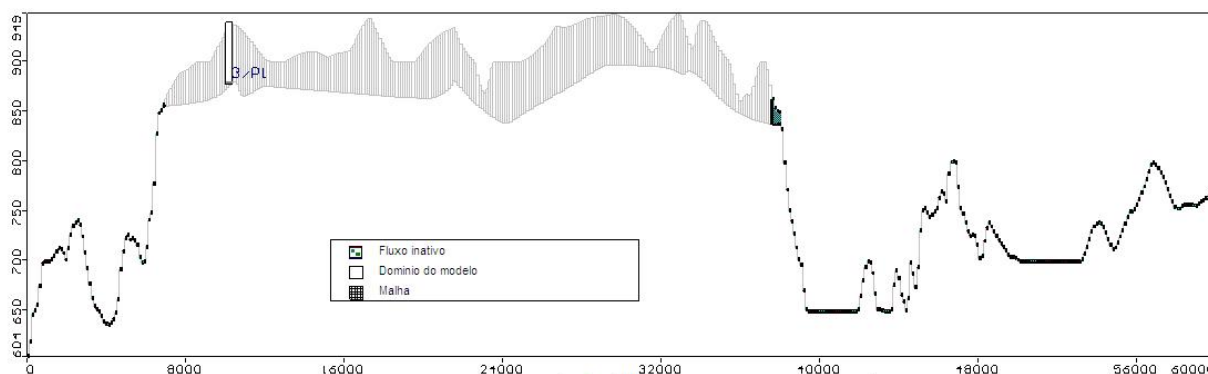


Figura 7 – Corte vertical leste-Oeste, a 35.750 metros do limite sul (linha 136), passando pelo poço de monitoramento 3 (P-123). Exagero vertical igual a 50.

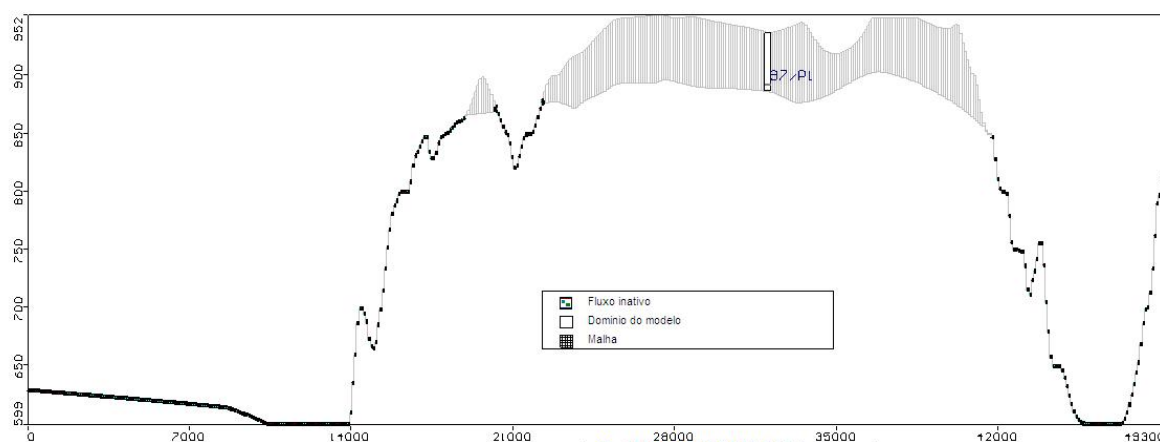


Figura 8 – Corte vertical Norte-Sul, a 30.880 metros do limite oeste (coluna 258), passando pelo poço de monitoramento 97 (P-132). Exagero vertical igual a 50.

No topo do domínio foi aplicada uma recarga uniforme de 200 mm/ano. Esse valor, bastante inferior aos valores obtidos da literatura e aos estimados através das atividades do projeto (UFMG et al., 2006) desenvolvidas na região (600 mm/ano), foi escolhido através do processo de calibração do modelo. O fato de não ter sido possível calibrar o modelo utilizando valores mais realista de recarga demonstra que grande parte da drenagem da região é realizada para o aquífero Serra Geral, que não foi considerado nessa modelagem.

A extração de água através dos poços de bombeamento da região não foi considerada no modelo, uma vez que os dados de piezometria que foram utilizados para realizar a calibração do modelo retratam o aquífero em seu estado recuperado, após as chuvas, período este no qual a extração de água por bombeamento é mínima, principalmente no que se refere aos bombeamentos para irrigação das lavouras.

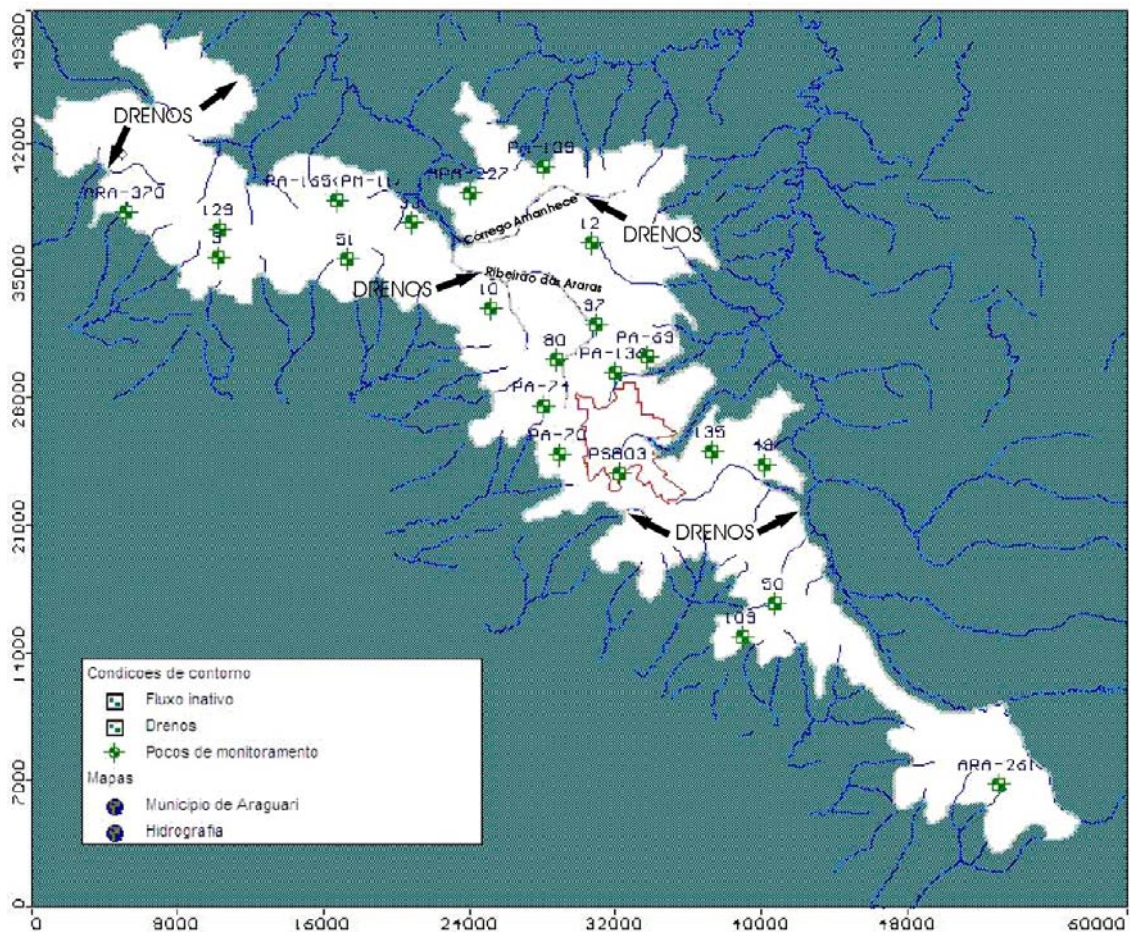


Figura 9 – Distribuição dos drenos no domínio do modelo (células em cinza).

Para fins da modelagem de fluxo, o aquífero foi considerado homogêneo e isotrópico, com condutividade hidráulica de $2,13 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$ e porosidade efetiva de 12%, de acordo com estimativas dos parâmetros realizadas na área e dados de literatura (Fiumari, 2004).

A solução estacionária das cargas no aquífero foi obtida partindo-se de um valor inicial único de carga para a área. O pacote do Visual MODFLOW utilizado para obter a solução das equações foi o PCG, utilizando 0,01 m como critério de aceitação da convergência para a carga e 0,01 m para o resíduo do balanço de massa.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para se verificar a calibração do modelo na simulação de fluxo, foram utilizados os dados de carga hidráulica medidos nos poços de bombeamento selecionados. A Figura 10 mostra os resultados da calibração em forma gráfica (cargas calculadas versus observadas), acompanhados das linhas indicativas do intervalo de confiança com 95% de probabilidade (linhas pontilhadas) e dos valores dos erros estatísticos calculados. A Figura 11 mostra uma representação dos desvios entre os valores calculados e observados para os poços de monitoramento utilizados na área, sendo que quanto maior o tamanho dos círculos, maior o erro. Os círculos azuis representam desvios positivos

e círculos vermelhos, desvios negativos. O erro médio absoluto da calibração foi inferior a 5 metros (erro médio de 0,87 m; erro médio quadrático de 5,84 m; erro médio quadrático normalizado de 7,64%), sendo que as maiores divergências foram observadas nos pontos do domínio próximos aos poços de monitoramento PA-74, ARA-370 e ARA-227, com erro estimado superior a 9 m.

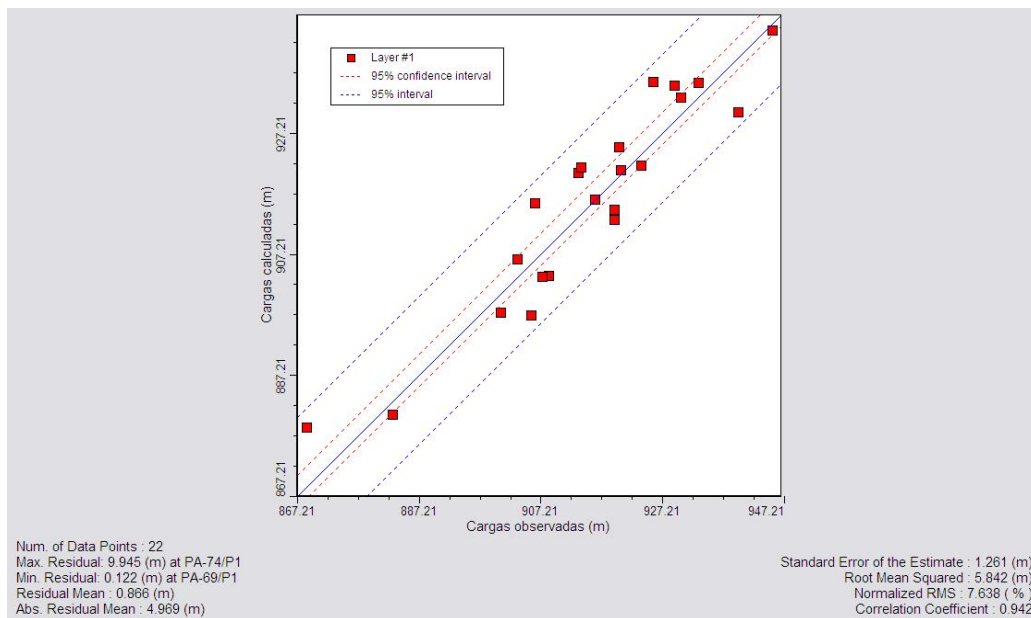


Figura 10 – Resultado gráfico da calibração do modelo.

A Figura 12 apresenta uma visualização da superfície potenciométrica do aquífero em escala de cores, com cotas variando de 780 a 960m. Nas Figuras 13 e 14, as linhas equipotenciais geradas pelo modelo são mostradas juntamente com os vetores indicativos da direção do fluxo. A direção e sentido do fluxo obtido na simulação estacionária estão de acordo com o esperado, segundo análises realizadas pela observação dos dados de relevo e da potenciométrica estimada. O fluxo da água subterrânea se dirige da parte central da região de interesse para as áreas periféricas e deixam a região através dos vários riachos e nascentes que vão alimentar cursos d'água que escoam sobre basaltos Serra Geral e xistos do Grupo Araxá, em direção às partes mais baixas da região, drenadas pelos rios Araguari, a sul, e Paranaíba, a norte. Ressalta-se novamente que, nesse modelo preliminar, por razões já apresentadas, o fluxo vertical do Bauru para o Serra Geral não foi modelado. A velocidade máxima no domínio foi estimada pelo modelo em 2.10^{-3} cm/s, apresentando, portanto, velocidades moderadas, da ordem de um metro por dia.

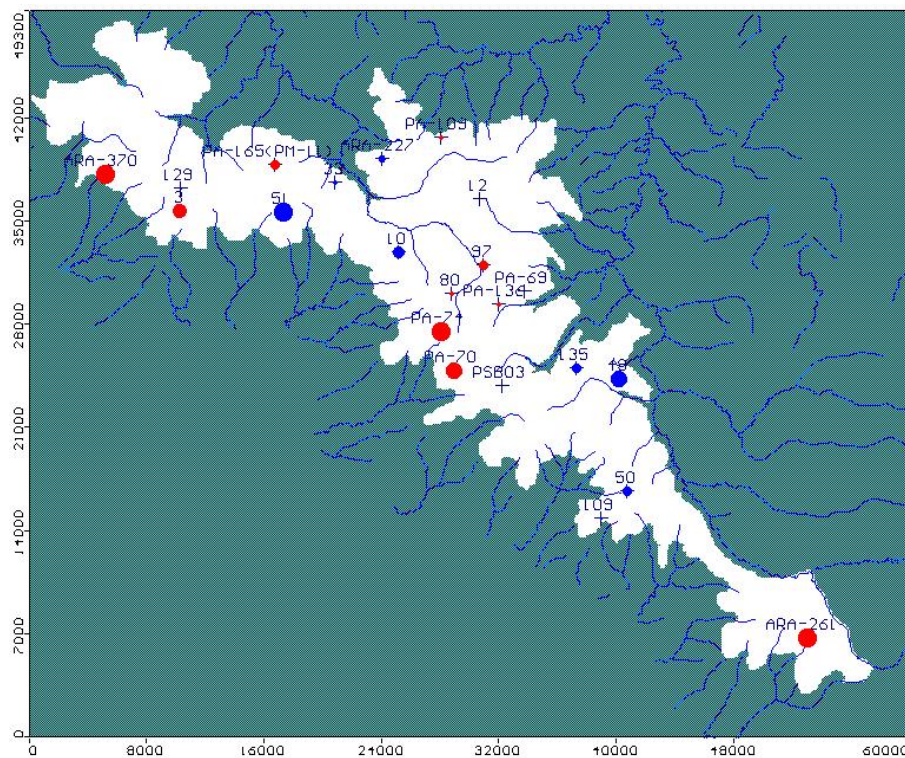


Figura 11 – Representação dos desvios entre os valores calculados e observados. Círculos azuis representam desvios positivos e círculos vermelhos, desvios negativos.

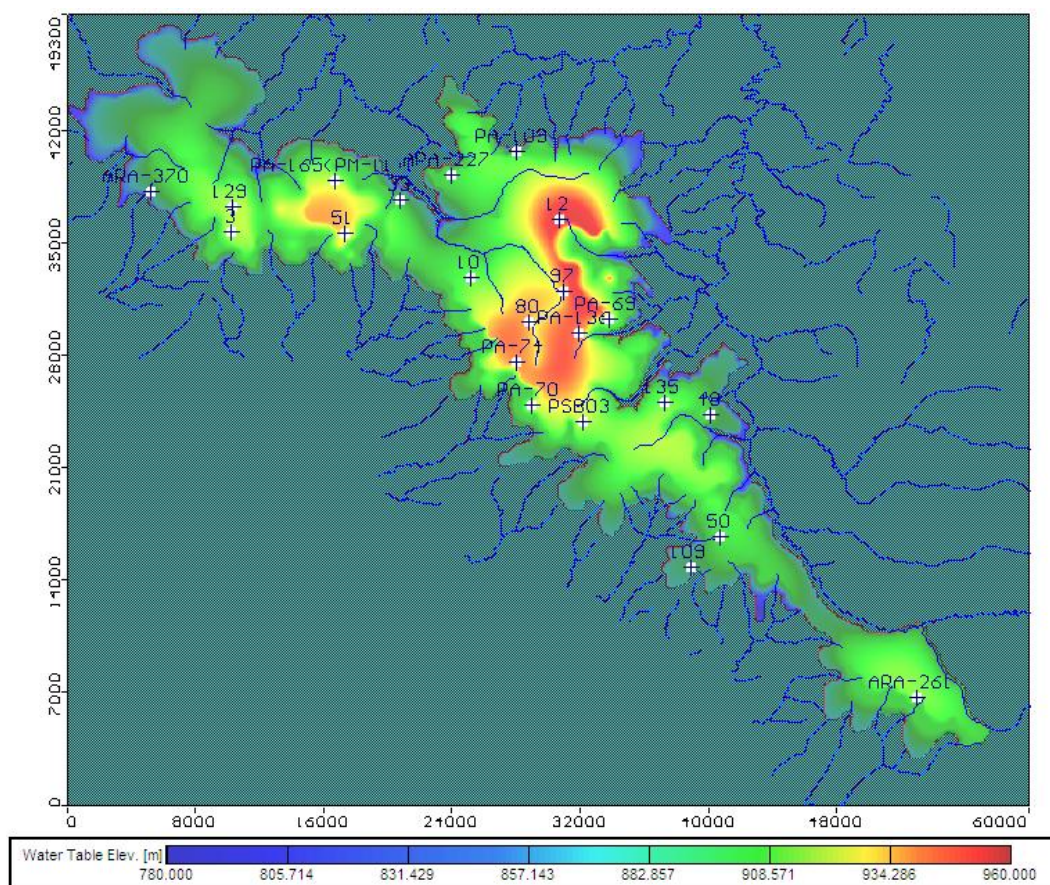


Figura 12 – Visualização da superfície potenciométrica do aquífero simulado (Bauru), em escala de cores.

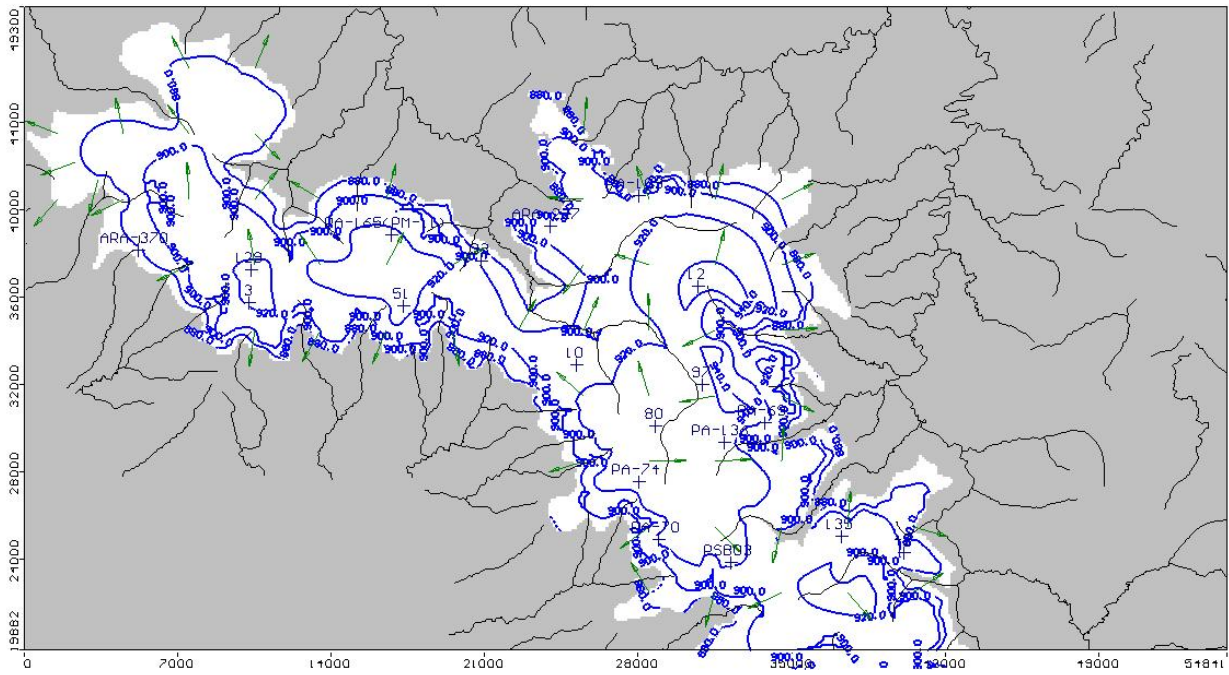


Figura 13 – Linhas equipotenciais e vetores de direção do fluxo calculados através do modelo calibrado para metade norte da área.

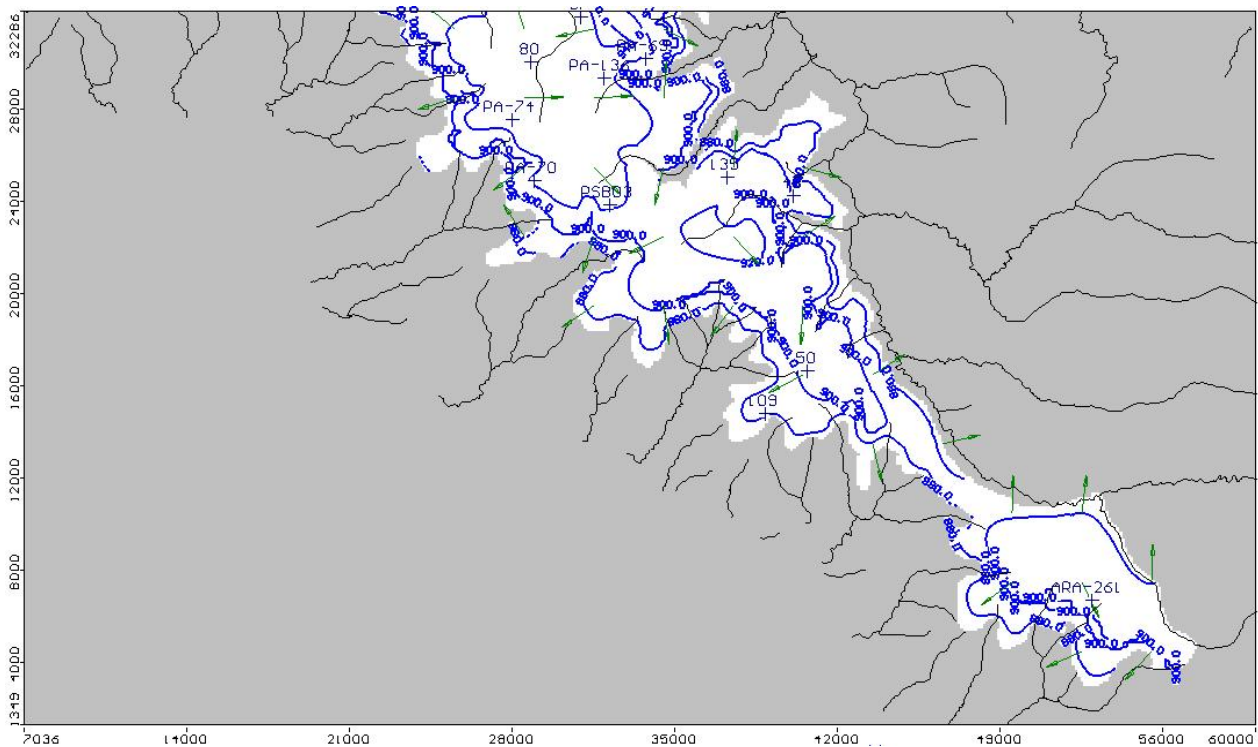


Figura 14 – Linhas equipotenciais e vetores de direção do fluxo calculados através do modelo calibrado para metade sul da área.

Foi realizada uma verificação dos resultados do modelo utilizando como instrumento a comparação entre os volumes efluentes medidos em duas sub-bacias hidrográficas localizadas na área de estudo (bacia do ribeirão das Araras e bacia do córrego do Amanhece) e os respectivos volumes efluentes, do manancial subterrâneo, estimados pelo modelo.

A metodologia utilizada para a determinação do volume de água efluente de cada uma das bacias mencionadas acima envolveu a extrapolação, para toda a área de contribuição da bacia correspondente, do valor característico da descarga específica de base das sub-bacias experimentais implementadas na área de estudo (vide Figura 15). Ressalta-se que os dois cursos d'água utilizados na verificação do modelo foram representados no modelo por drenos, conforme apresentado na Figura 9. Apresenta-se, na Tabela 1, uma síntese das informações e resultados utilizados para esta verificação.

Ressalta-se que a relação esperada entre a vazão efluente estimada pelo modelo (drenos) e a vazão efluente estimada a partir da extrapolação das vazões de base características das bacias experimentais era superior à unidade. Esta expectativa reflete a utilização de condições de contorno de drenança nula do aquífero Bauru para os aquíferos subjacentes. Entretanto, essa relação vazão do modelo sobre vazão do escoamento de base, representa apenas 59% para o ribeirão das Araras e 54%, para o córrego Amanhece.

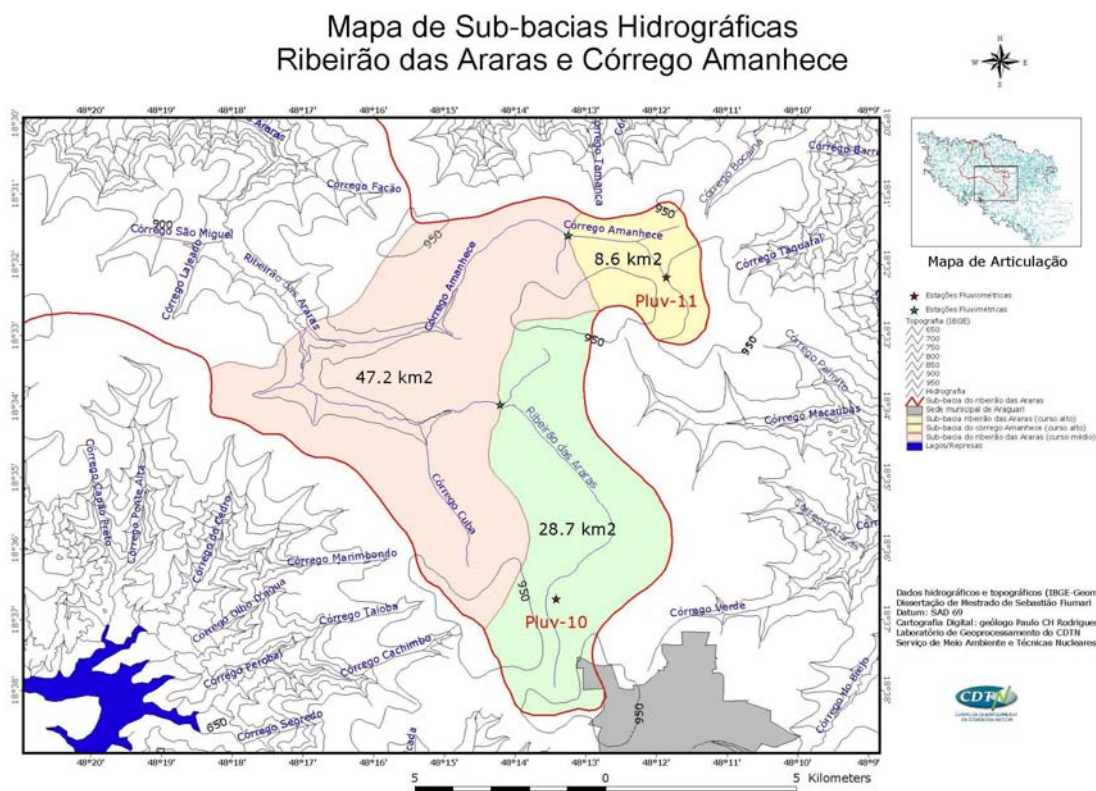


Figura 15 – Mapa de localização das sub-bacias experimentais Ribeirão das Araras e Córrego Amanhece em Araguari.

Tabela 1 – Vazões efluentes estimadas no ribeirão Araras e córrego Amanhece e nos drenos do modelo.

Sub-bacia experimental	Ribeirão das Araras	Córrego Amanhece
Área (km ²)	28,7	8,6
Descarga de base (m ³ /s)	0,299	0,062
Área de contribuição total (km ²)	56,0	28,5
Vazão efluente estimada no curso d'água (m ³ /dia)	50407	17752
Vazão do dreno estimada pelo modelo (m ³ /dia)	29859	9586
Relação	0,59	0,54

O modelo preliminar proposto para a simulação do fluxo subterrâneo na região de interesse foi desenvolvido utilizando uma taxa de recarga de 200mm/ano, inferior ao valor considerado representativo de recarga obtido para a área (600mm). A utilização desse valor (200mm) foi imposta pelo processo de calibração do modelo, já que, devido à ausência de drenança vertical para aquíferos subjacentes, os drenos utilizados não foram suficientes para promover a drenagem da água que entra no sistema através da recarga, de modo a reproduzir os valores de nível estático medidos na região. Assim, as baixas vazões efluentes dos drenos estimadas pelo modelo refletem o uso de um valor de recarga inferior ao valor estimado para a região.

Considerando, apenas para efeito de raciocínio, uma extrapolação linear em função da variação da recarga (de 200mm para 600 mm), estima-se que a vazão dos drenos corresponderia a três vezes os valores apresentados na Tabela 1. As vazões dos drenos seriam, portanto, superiores às vazões efluentes estimadas nos cursos d'água, o que seria o esperado, tendo em vista que o modelo considera fluxo nulo na direção descendente (camada inferior impermeável).

A diferença entre a vazão efluente estimada pelo modelo (drenos) e a vazão de base estimada a partir dos hidrogramas das estações hidrométricas implementadas nas bacias experimentais representaria, então, uma estimativa da recarga indireta do aquífero modelado (Bauru) para o sistema aquífero inferior (Sistema Serra Geral), identificada através de várias surgências de contato entre as litologias arenitos/basalto. Um valor estimativo grosseiro para a drenança vertical do Sistema Bauru para o Sistema Serra Geral, calculado a partir das hipóteses anteriormente mencionadas, indica uma recarga indireta da ordem de 12% da precipitação média na região de estudo, ou seja, estima-se que a drenança vertical seja da ordem de 2×10^2 mm anuais.

5 – CONCLUSÕES

O modelo de fluxo apresentado inclui o aquífero Bauru, no município de Araguari, MG, tendo sido calibrado através de medições de nível estático realizadas em 22 poços da região. O modelo calibrado apresentou valores de potenciometria variando entre 780 e 960m e fluxo subterrâneo dirigindo-se da parte central da região para as áreas periféricas, com velocidade máxima estimada pelo modelo em 2×10^{-3} cm/s.

A análise dos resultados do modelo apontou claramente a necessidade de considerar a influência do aquífero Serra Geral no modelo de fluxo subterrâneo da região. De fato, os aquíferos Bauru e Serra Geral são muito conectados, sendo difícil realizar uma análise do aquífero Bauru isoladamente. A necessidade do uso de uma recarga inferior ao valor estimado para a região para se obter a calibração do modelo e a consequente subestimação das vazões que deixam a área através dos drenos, em comparação com as vazões de base estimadas para duas sub-bacias da região, são evidências dessa conclusão. Entretanto, dados sobre o aquífero Serra Geral na região não estão disponíveis na literatura, tornando impossível sua modelagem matemática, de forma realista, no momento. Ressalta-se, entretanto, que com o desenvolvimento dos estudos apresentados, foi possível avaliar uma recarga indireta da ordem de 12% da precipitação média do aquífero Bauru para o Serra Geral, ou seja, estima-se que a drenança vertical seja da ordem de 2×10^2 mm anuais.

Apesar de ser um modelo preliminar, os resultados do modelo possibilitaram confirmar o modelo conceitual de fluxo estabelecido para a área e constitui uma base sobre a qual novos componentes podem ser adicionados, gerando um modelo mais completo e realista que possibilite seu uso como ferramenta de gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos da região.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos as seguintes instituições e pessoas: Secretaria Geral do Projeto Sistema Aquífero Guarani e programa “Bank Netherlands Partnership Program Environmental Window” (BNPPW) pelo apoio financeiro ao projeto; Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e Superintendência de Água e Esgoto do município de Araguari (SAE) pela parceria durante a execução do projeto; Rafael de Ávila Rodrigues, Carlos Ernani Vieira, Sebastião Luiz Fiumari e Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG) pelo apoio e/ou fornecimento de dados.

BIBLIOGRAFIA

- MCDONALD, M. G., HARBAUGH, W. (1988). *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model*. Techniques of Water-Resources Investigation, Book6, chapter A1 USGS. Washington D.C, U.S.A., 576p.
- IBGE (2000). *Censo Populacional do Brasil*. In www.almg.gov.br.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG), CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN) E UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO (UFMT) (2006). *Avaliação dos recursos hídricos do Sistema Aquífero Guarani no município de Araguari, Minas Gerais, Brasil*. Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible Del Sistema Acuífero Guaraní, Fondo de Universidades, SG/OEA, Belo Horizonte, 326p.
- MAPA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. In www.sg-guarani.org.
- WATERLOO HYDROGEOLOGIC. *Visual MODFLOW User's manual*, versão 4.1.0, Waterloo, Canadá, 2005.
- FIUMARI, S. L. (2004). *Caracterização do Sistema Hidrogeológico Bauru no Município de Araguari – MG*. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Hidrogeologia na área de concentração em Geologia Econômica e Aplicada. Belo Horizonte, 122 p.