

MODELAGEM NUMÉRICA COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Ana Maciel de Carvalho¹; Ricardo Hirata²; Mateus Delatim Simonato³ e José Luiz Albuquerque Filho⁴

¹Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) – Morro do Cruzeiro – Ouro Preto/MG. anamcarv@gmail.com

²Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS/USP) – Butantã – São Paulo/SP. rhirata@usp.br

³Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS/USP)–Butantã– São Paulo/SP. madelatim@gmail.com

⁴Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – Butantã – São Paulo/SP. albuzeu@ipt.br

Palavras-Chave: Modelagem numérica; gestão de águas subterrâneas; quantidade hídrica

INTRODUÇÃO

O abastecimento por água, em grandes centros urbanos brasileiros, tem-se tornado uma preocupação devido a fatores como concentração populacional, aumento da demanda, desenfreada perfuração de poços tubulares sem o devido controle, lacunas no conhecimento do potencial hidrológico, variações climáticas, além da contaminação dos cursos d'água.

Uma vez que as águas subterrâneas são menos vulneráveis aos impactos antrópicos e até economicamente mais viável, a exploração desse recurso para consumo humano, industrial e agrícola aumentou ao longo das últimas décadas de maneira descontrolada. Cerca de 80% dos municípios paulistas são abastecidos, de forma parcial ou total, por água subterrânea (CETESB, 2010).

Esses fatores, associados à maior acessibilidade às tecnologias de perfuração de poços e inadequada gestão das águas subterrâneas, incentivaram estudos hidrogeológicos em determinadas regiões que apresentam altas demandas e indícios de um maior e localizado rebaixamento do nível freático, tais como Bacia Hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu – município de Guarulhos-SP (Sistema Aquífero Sedimentar), municípios de Bauru-SP (Sistema Aquífero Guarani), de São José do Rio Preto-SP (Sistema Aquífero Bauru) e de São José dos Campos-Caça-pava-Jacareí-SP (Sistema Aquífero Taubaté). A Figura 1 ilustra a localização das regiões estudadas e o Quadro 1 traz informações sobre população, aquífero explorado e número de poços cadastrados.



Figura 1. Localização dos municípios estudados.

Quadro 1. Características de cada região estudada.

Município	Habitantes*	Sistema Aquífero estudado	Número de poços cadastrados
Bauru	343.937	Guarani	80
São José dos Campos	629.921	Taubaté	391
Caçapava	84.752		
Jacareí	211.214		
São José do Rio Preto	408.258	Bauru	2008
Guarulhos	1.221.979	Sedimentar	416

*Censo IBGE (2010)

Desta forma, a modelagem matemática é uma importante ferramenta para o entendimento dinâmico de sistemas complexos de hidrogeologia e pode ser utilizada como orientativa para um programa de gestão dos recursos de longo prazo.

O artigo se insere neste contexto, pois, por meio da definição do modelo conceitual do fluxo das águas subterrâneas de cada região, elaborou-se a modelagem numérica e alguns cenários preditivos de exploração de água nas regiões permitindo, assim, sugerir critérios para um uso mais racional do recurso, subsidiando sua gestão.

MATERIAIS E MÉTODOS

A realização deste artigo envolve a elaboração e resultados de modelagem numérica de fluxo, em regime estacionário, que auxiliam na gestão das águas subterrâneas dos municípios paulistas.

A elaboração da modelagem matemática é embasada no modelo conceitual da área. Assim, a discretização da malha e a delimitação das condições de contorno e das condições iniciais são introduzidas de modo que o aplicativo matemático represente as condições reais do sistema hidrogeológico, a partir da calibração do modelo numérico aos dados de carga hidráulica e de fluxo de água do modelo conceitual. Os elementos principais para a definição da simulação matemática estão ilustrados na Figura 2.

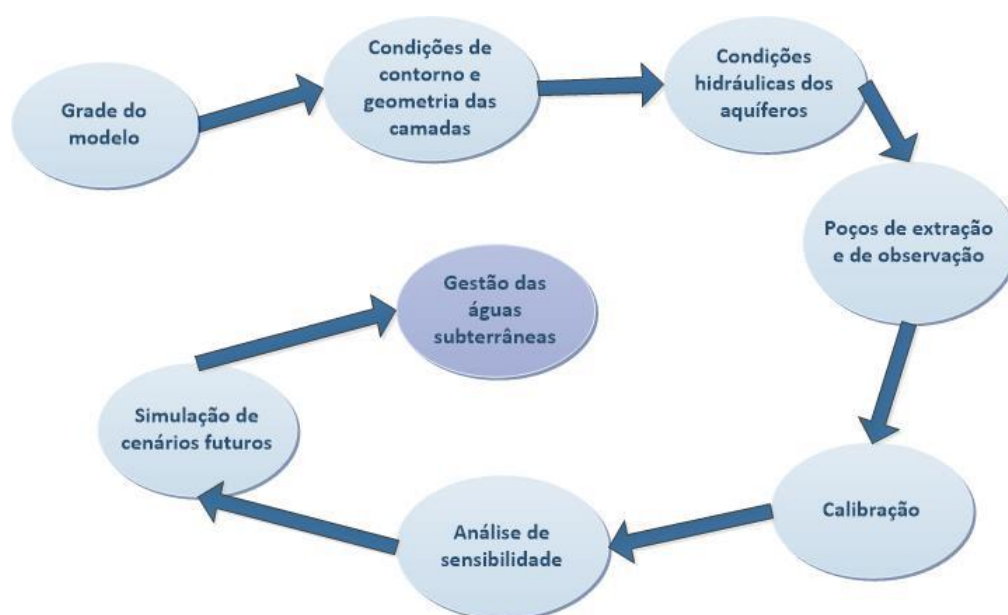


Figura 2. Etapas para a modelagem numérica visando a gestão de águas subterrâneas.

Os modelos numéricos de fluxo apresentados é do tipo pré-exploração. Para desenvolvê-los, utilizou-se o código MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988), que resolve as equações de fluxo em 3D através do método das diferenças finitas por meio da utilização do software Visual MODFLOW, versão 2010 (Guiguer & Franz, 1996), rodado em estado estacionário, como requerem os modelos para avaliação da exploração de aquíferos.

MODELAGEM NUMÉRICA DOS AQUÍFEROS

As etapas desenvolvidas da modelagem numérica dos aquíferos e os resultados do modelo calibrado são apresentadas na Figura 3.

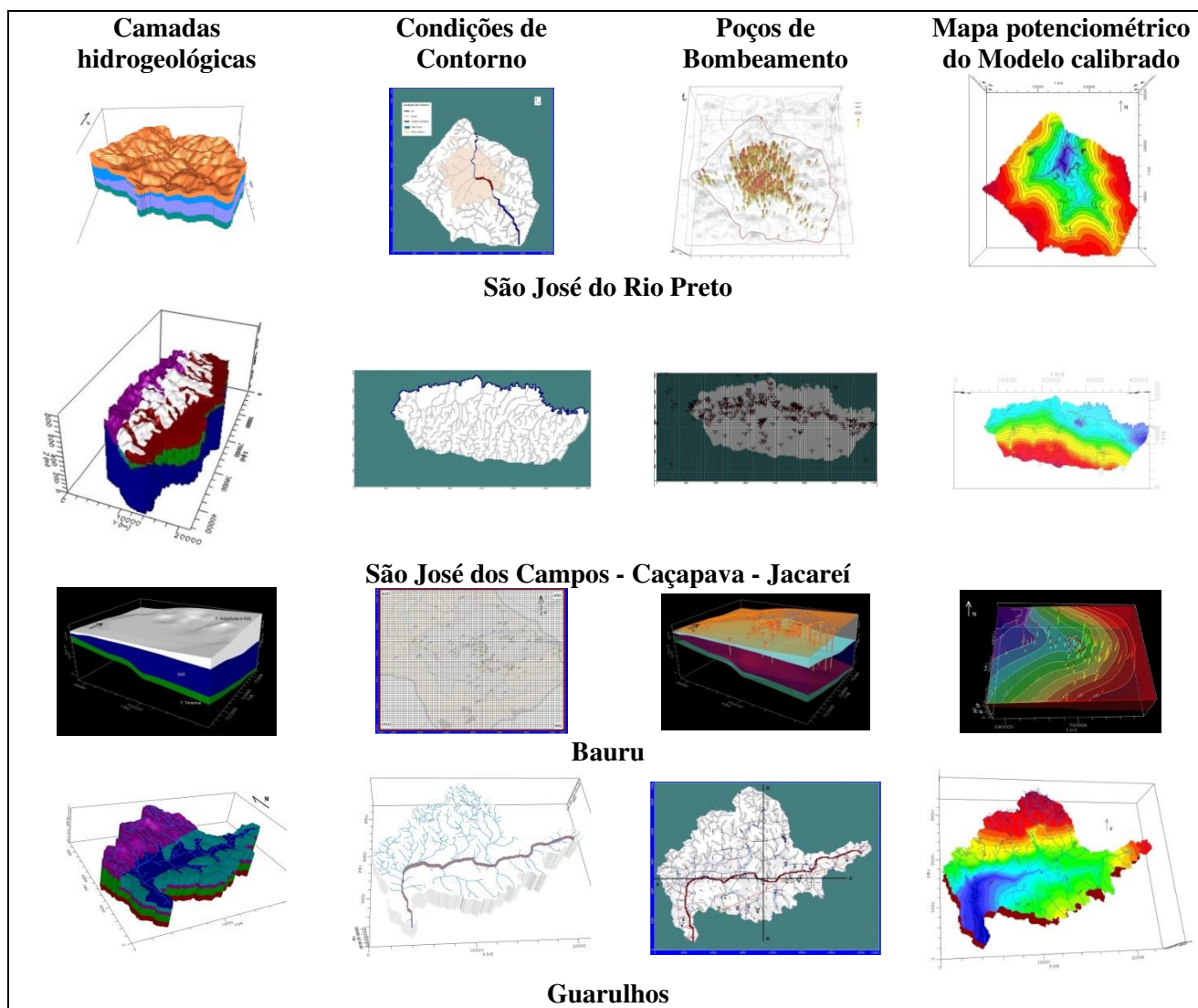


Figura 3. Etapas desenvolvidas da modelagem numérica dos aquíferos.

As simulações numéricas de fluxo das águas subterrâneas para os Sistemas Aquíferos Guarani e Taubaté correspondem às condições normais de recarga e drenagem a uma situação de bombeamento atual. Já os Sistemas Aquíferos Bauru e Sedimentar correspondem a uma situação de pré-bombeamento, ou seja, sem influência do uso da água ou poços de exploração perfurados após a década de 1980. Isso porquê ocorreu um aumento significativo de poços após essa década nos municípios de São José do Rio Preto e Guarulhos, este associado à inauguração do Aeroporto Internacional de Guarulhos.

A área modelada foi delimitada através dos divisores de águas, delimitando uma bacia hidrográfica, sendo esta amplamente cortada por rios e córregos de porte variado, exceto apenas para o município de Bauru, no qual foi realizada a modelagem do Sistema Aquífero Guarani confinado, tendo como limites cargas hidráulicas conhecidas.

Com base no estado atual e no crescimento da cidade e em sua ocupação, foram criados cenários prospectivos para antecipar problemas relacionados ao stress do aquífero, que se reflete, consequentemente, no prejuízo do abastecimento por água subterrânea.

CONCLUSÕES

Devido a crescente demanda por águas subterrâneas é evidente a necessidade de planejamento e gestão de recursos hídricos visando um uso sustentável. Uma ferramenta estratégica de gestão é a modelagem numérica de fluxos de águas subterrâneas, que permite análises atuais e futuras de exploração, além da alimentação progressiva e interativa dos dados a medida que são inseridas informações de novos poços e monitoramentos.

As decisões de gestão visam minimizar o custo da extração e aumentar os benefícios das águas subterrâneas, podendo essas decisões serem relacionadas com a definição de regime de bombeamento e vazão dos poços; da localização mais adequada para a perfuração de novos poços; de programas de incentivo ao uso ou restrição; de programas de benefícios ou compensações financeiras, controle de uso do solo, entre outras.

Conforme o histórico de crise hídrica vivida atualmente e as condições que se encontram o abastecimento público em determinados municípios é necessário estudar e avaliar os aspectos hidrogeológicos dos sistemas aquíferos para, então, construir um modelo numérico de fluxo das águas subterrâneas, avaliar cenários futuros e realizar uma adequada gestão das águas para cada caso.

Ressalta-se a importância da regularização das outorgas dos poços tubulares, junto ao órgão competente e, a partir da outorga, integrar e permitir que as informações dos poços sejam disponibilizadas de forma fácil de ser consultada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), à Servmar Ambiental e Engenharia, à C3 Planejamento, Consultoria e Projeto e ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), pela disponibilização dos dados, além do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), pelo apoio financeiro da pesquisa e ao Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Ouro Preto (PROPP/UFOP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro para divulgação do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2013. Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: 2010-2012. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/rede_resultados.asp.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo de 2010, consultado em 20 de junho de 2018.

MACDONALD, M.G. E HARBAUGH, A.W. A modular three dimensional finite difference groundwater flow model. Techniques of Water Resources Investigation of U.S. Geological Survey. USGS. Washington – D.C. EUA. 56p. 1988.

GUIGUER, N. & FRANZ, T. 1996. Visual MODFLOW. User's manual. Waterloo, Waterloo Hydrogeologic Inc. 176 pp.