

## SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO FLUXO SUBTERRÂNEO NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE - RS

PAULA JOSYANE DOS SANTOS FRANCISCO<sup>1</sup>; JULIANA PERTILLE DA SILVA<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – Laboratório de Geociências – paula.josyane.eng@gmail.com*

<sup>2</sup> *Universidade Federal de Pelotas – Laboratório de Geociências – juliana.pertill@gmail.com*

### 1. INTRODUÇÃO

A água utilizada para consumo doméstico é retirada, em sua maioria, de cursos d'água superficiais. Partindo para os dados estatísticos, que comprovam esta afirmação, tem-se que segundo a ANA (2021), 43% das sedes urbanas brasileiras são abastecidas exclusivamente por cursos d'água superficiais, enquanto os aquíferos e sistemas aquíferos abastecem 40% das sedes urbanas. O restante desses centros urbanos (17%) utiliza mananciais superficiais e subterrâneos para se manterem abastecidos. Ao longo dos anos, os mananciais superficiais sofreram certa degradação na sua qualidade, o que consequentemente aumentou o valor do tratamento dessa água e custos gerais com a sua operação. Nesse sentido, as águas subterrâneas encontram um terreno fértil, envolvendo a instalação e operação de poços tubulares, mas como toda exploração é necessário cuidado e respeito às normas técnicas vigentes, e aos órgãos ambientais. Diferentemente dos cursos superficiais que são, em sua maioria, visíveis, os aquíferos não são visíveis e podem estar a quilômetros de distância abaixo do solo. A exploração dessas águas ainda impõe outros desafios sendo necessário o extremo cuidado para sua manutenção através de monitoramento contínuo.

Nesse panorama, o propósito deste trabalho é contribuir com o conhecimento hidrogeológico utilizando informações da principal plataforma de dados referente às águas subterrâneas no Brasil, o SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) e MODFLOW, que é um dos códigos mais difundidos utilizados para solucionar a equação governante do fluxo subterrâneo por meio do método das diferenças finitas (HARBAUGH, 2005; ANDERSON; WOESSNER; HUNT, 2015, USGS, 2019). Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho é demonstrar qual o comportamento da carga hidráulica, em um centro urbano, que usa intensamente mananciais subterrâneos utilizando como ferramenta de análise, a modelagem numérica. Os objetivos específicos incluem a construção de modelo conceitual e a tradução desse modelo conceitual para interface numérica.

### 2. METODOLOGIA

A sequência metodológica deste trabalho baseia-se nas etapas necessárias para realização da modelagem numérica do fluxo subterrâneo. As etapas necessárias são: escolha da localidade a ser modelada, construção do modelo conceitual, configuração do modelo numérico e a execução do código contendo a equação tridimensional do fluxo subterrâneo. A área modelada inclui o perímetro urbano de Alegrete, município localizado na região oeste do Rio Grande do Sul com 185,41km<sup>2</sup> e um perímetro de 77,65km e pertence a bacia hidrográfica do rio Ibicuí. Esse município foi escolhido, basicamente por dois motivos, o primeiro por envolver uma zona confinada e aflorante do sistema aquífero Guarani e segundo porque

89,6% da população de Alegrete, em 2010, residia na zona urbana fazendo com que os poços nessa região fossem intensamente explorados (IBGE, 2019).

Os elementos utilizados na construção do modelo conceitual foram: MDE (Modelo Digital de Elevação), coordenadas e profundidades dos poços que permitiram a construção das camadas Serra Geral e Botucatu, como mostrado na Figura 1; descrição detalhada da hidrografia contendo, largura, comprimento e o valor da condutância; informações geológicas e hidrogeológicas obtidas em mapas geológicos e hidrogeológicos regionais a fim de estabelecer valores iniciais de condutividade hidráulica e zonas aflorantes e confinadas.

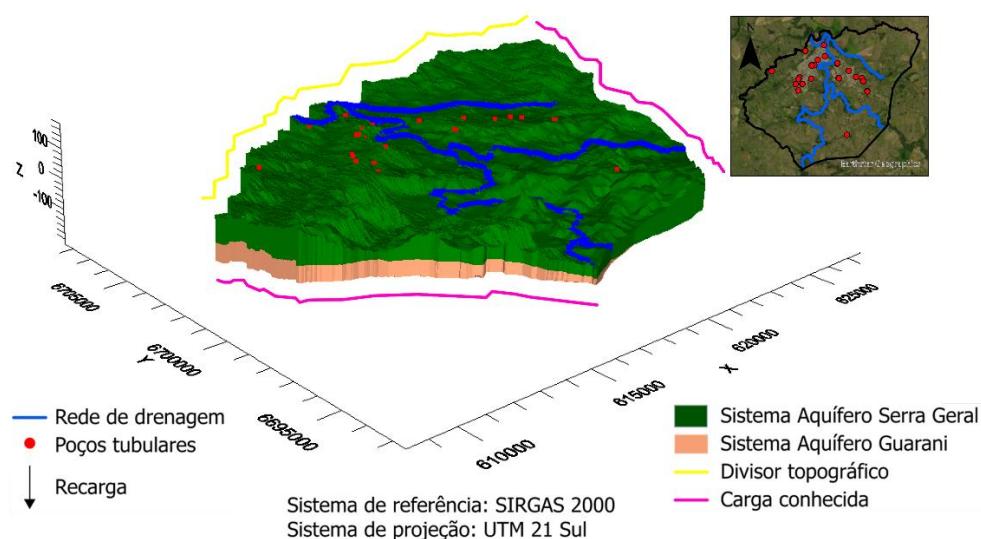


Figura 1 - Modelo conceitual da área modelada.

Fonte: Francisco, 2022 adaptado.

A compilação dessas informações permitiu a construção do modelo conceitual da Figura 1. A configuração do modelo numérico é o transporte e a tradução das informações obtidas na construção do modelo conceitual. Anderson *et al.* (2015) atribui ao processo de configuração do modelo numérico como responsável pela discretização espacial, seleção das condições de contorno, atribuição dos parâmetros dos aquíferos inseridos no modelo e o regime de escoamento escolhido. Ao final dessa etapa, tem-se que o modelo foi discretizado em 195 colunas e 160 linhas, totalizando 31200 células, cada uma com um espaçamento lateral de 100m. Com relação a discretização vertical, foram inseridas 3 superfícies: Model\_top (MDE), base do SASG (Sistema Aquífero Serra Geral) e a base do SAG (Sistema Aquífero Guarani) totalizando duas camadas. Os parâmetros inseridos no modelo numérico estão contidos na Tabela 1. Após a conclusão da etapa de configuração do modelo numérico foi possível executar o modelo.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados no modelo numérico.

Parâmetro	Valor	Unidade	Fonte
Precipitação-Evapotranspiração	642,8	mm/ano	Mattiuzzi, 2013
Taxa de recarga - SASG	8,35	mm/ano	Gómez <i>et al.</i> , 2010
Taxa de recarga - SAG	52,06	mm/ano	Gómez <i>et al.</i> , 2010
Carga hidráulica – borda leste	110	m	Francisco, 2022
Carga hidráulica – borda oeste	105	m	Francisco, 2022
Condutividade hidráulica horizontal - SASG	1,157E-06	m/s	Wottrich, 2012

Condutividade hidráulica horizontal - SAG	3,125E-05	m/s	Wottrich, 2012
Condutividade hidráulica vertical - SASG	1,157E-05	m/s	Wottrich, 2012
Condutividade hidráulica vertical - SAG	3,125E-06	m/s	Wottrich, 2012

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da modelagem foram separados em duas camadas, as cargas hidráulicas para a camada Serra Geral e Botucatu. Os valores de carga hidráulica da camada Serra Geral variam de 78m a 176m. As regiões com a carga hidráulica mais alta da camada 1 (Serra Geral) ficam localizadas próximas a curva mais acentuada do rio Ibirapuitã. Com relação a exploração de poços tubulares, do total de poços (27 poços), 11 desses extraem água exclusivamente e parcialmente da formação Serra Geral totalizando 309,967m<sup>3</sup>/h, e ainda 9 desses 11 poços estão localizados no lado esquerdo do rio Ibirapuitã, deformando assim as linhas equipotenciais e gerando cones de depressão tendo como centro ao poço 4300001340. Cabe lembrar que a distância do poço 4300001340 para o poço mais próximo (4300009362) é de 270,19m e adicionado a outro cone de depressão que gera um rebaixamento progressivo da superfície freática do SASG.

As linhas equipotenciais da camada 2 (Botucatu) se assemelham às linhas equipotenciais da camada 1. Os valores de carga hidráulica variam entre 78m e 166m. A porção oeste do rio Ibirapuitã apresenta dois principais cones de depressão diretamente ligados à vazão extraída nos poços da região. No primeiro cone de depressão, o seu centro é o poço 4300001340 que extraí 120m<sup>3</sup>/h de água das camadas 1 e 2 (SASG e SAG), destoando significativamente da vazão média extraída de 29,11m<sup>3</sup>/h. O segundo cone de depressão é exibido na parte direita da Figura 2, próximo ao limite sudoeste do perímetro urbano, e é causado pela vazão extraída do poço 4300001638 de 42,3m<sup>3</sup>/h da camada 2 (SAG), também acima da vazão média extraída.

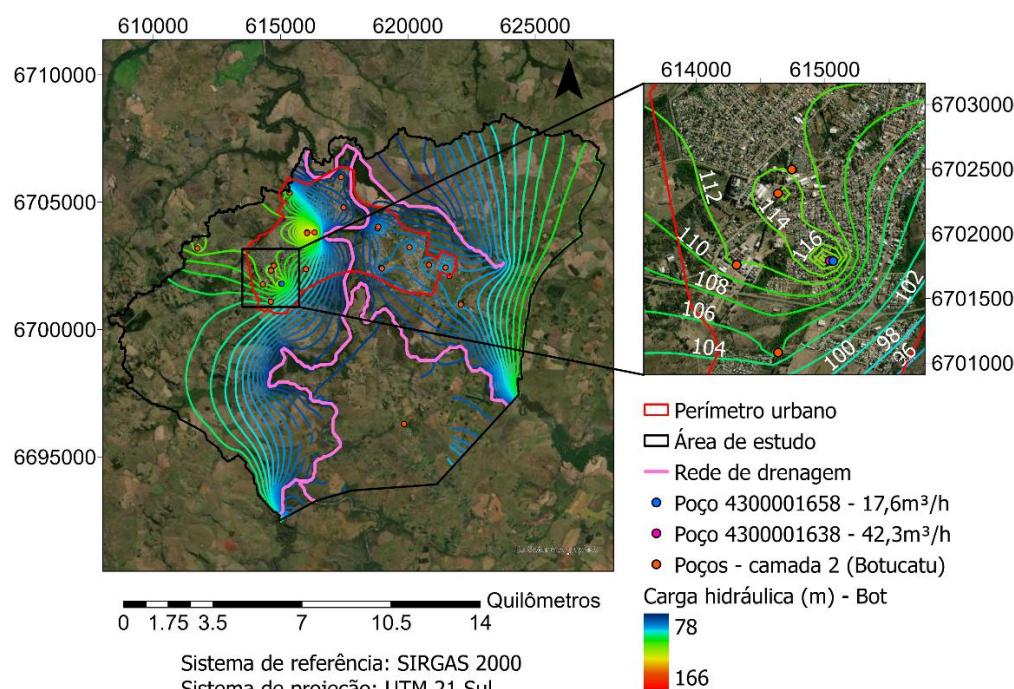


Figura 2 - Mapa potenciométrico da camada 2 (Botucatu).  
Fonte: Francisco, 2022 modificada.

## 4. CONCLUSÕES

De uma forma geral, a superfície freática do SASG e a superfície potenciométrica do SAG sofrem um rebaixamento progressivo principalmente na região à esquerda do perímetro urbano. Algumas linhas equipotenciais herdam o formato da rede de drenagem e desta forma a água extraída dos poços que abasteceria os cursos d'água da região migra para os poços. Cabe lembrar que parte da vazão que mantém os cursos d'água perene ao longo do tempo é a chamada vazão de base, que é fruto da contribuição dos aquíferos. A outra conclusão é que no processo de análise dos perfis dos poços é evidente a discrepância temporal, de 54 anos, com relação aos valores de vazão, o que dificulta o processo de modelagem numérica e impossibilita a calibração do modelo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília: ANA, 2021. 332 p.
- ANDERSON, Mary P.; WOESSNER, William W.; HUNT, Randall J. **Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport**. Academic press, 2015.
- FRANCISCO, Paula Josyane dos Santos. **Modelagem numérica do fluxo subterrâneo no perímetro urbano do município de Alegrete - RS**. 2022. 105f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.
- GÓMEZ, Andrea A.; RODRÍGUEZ, Leticia B.; VIVES, Luis S. The Guarani Aquifer System: estimation of recharge along the Uruguay–Brazil border. **Hydrogeology Journal**, v. 18, n. 7, p. 1667-1684, 2010. DOI: 10.1007/s10040-010-0630-0.
- HARBAUGH, A.W. **MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—The Ground-Water Flow Process**. Reston: U.S. Geological Survey, 2005. Disponível em: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/tm6A16>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Portal Cidades@**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/23/27652?localidade1=430040>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- MATTIUZI, C.D.P. **Estimativa de recarga a partir da separação de escoamento de base na bacia hidrográfica do rio Ibicuí/RS**. 2013. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- USGS (United States Geological Survey). **MODFLOW and Related Programs**. USGS, 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- WOTTRICH, Ingo. **Uso de ferramentas computacionais na construção de modelos estocásticos de fluxo e delimitação de perímetro de proteção de poços**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.