

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL DO ALTO DA BACIA DO RIO BATALHA

Henrique Svolinski

Monografia

TF 23/28

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Alexandra Vieira
Suhogusoff

Coorientadora: MSc. Mariana Bernardino
Luiz

SÃO PAULO

2023

Aos meus pais, Eugênio e Márcia, e ao meu
irmão Junior, por sempre me apoiar.

RESUMO

Este trabalho propõe um estudo hidrogeológico detalhado da região de Bauru, uma localidade que tem enfrentado desafios significativos decorrentes de crises hídricas, impactada por diversos fatores, como crescimento populacional, urbanização acelerada e variabilidade climática, que têm exercido pressão sobre os recursos hídricos.

O escopo primordial da pesquisa é a criação de um modelo hidrogeológico conceitual tridimensional, concentrando-se na parte alta da bacia do Rio Batalha, cujas águas desempenham um papel crítico no abastecimento local. O estudo insere-se no âmbito do projeto temático FAPESP "SACRE - Soluções Integradas Para Cidades Resilientes", conduzido pela Universidade de São Paulo (USP) e outros parceiros.

A metodologia adotada envolve uma abordagem de coleta, interpretação e análise de um conjunto de dados. Isso compreende informações detalhadas sobre perfis construtivos de poços, análises litológicas, resultados de ensaios de bombeamento, além de dados históricos de precipitação, níveis piezométricos, modelos digitais de terreno e modelagem tridimensional.

A contribuição final deste estudo resultou na criação de um modelo hidrogeológico conceitual, combinando as águas subterrâneas e superficiais da região. Esse modelo é apresentado mediante seções detalhadas e representações gráficas. Essas visualizações permitem uma compreensão tanto da estruturação geológica quanto da interação entre os sistemas aquíferos pertinentes, juntamente com os parâmetros hidrogeológicos que direcionam os padrões de fluxo d'água na área.

Palavras-chave: hidrogeologia; crises hídricas; rio Batalha; modelagem hidrogeológica.

ABSTRACT

This work proposes a detailed hydrogeological study of the Bauru region, a locality facing significant challenges due to water crises, impacted by various factors such as population growth, rapid urbanization, and climate variability, which have exerted pressure on water resources.

The primary scope of the research is the creation of a three-dimensional conceptual hydrogeological model, focusing on the upper part of the Batalha River basin, whose waters play a critical role in local water supply. The study is part of the FAPESP thematic project "SACRE - Integrated Solutions for Resilient Cities," conducted by the University of São Paulo (USP) and other partners.

The adopted methodology involves an approach to the collection, interpretation, and analysis of a dataset. This includes detailed information on well construction profiles, lithological analyses, pumping test results, as well as historical data on precipitation, piezometric levels, digital terrain models, and three-dimensional modeling.

The final contribution of this study resulted in the creation of a conceptual hydrogeological model, combining both groundwater and surface water in the region. This model is presented through detailed sections and graphical representations. These visualizations allow for an understanding of both the geological structure and the interaction between relevant aquifer systems, along with the hydrogeological parameters that guide water flow patterns in the area.

Key words: hydrogeology; water crises; Batalha river; hydrogeological modeling.

SUMÁRIO

RESUMO.....	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS	9
3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 Localização.....	10
3.2 Clima	10
3.3 Geologia	11
3.3.1 Formação Adamantina (Vale do Rio do Peixe)	13
3.3.2 Formação Marília (Membro Echaporã)	14
3.3.3 Formação Serra Geral.....	15
3.3.4 Formação Botucatu	16
3.3.5 Formação Pirambóia	16
3.4 Geomorfologia.....	16
3.5 Hidrogeologia	17
3.5.1 Sistema Aquífero Bauru.....	17
3.5.2 Sistema Aquífero Serra Geral.....	18
3.5.3 Aquífero Guarani	18
3.6 Hidrografia.....	18
3.7 Balanço Hídrico	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 Levantamento Bibliográfico.....	20
4.2 Levantamento de dados	20
4.3 Caracterização Física da Área.....	21
4.4 Elaboração do Modelo Hidrogeológico Conceitual Tridimensional.....	22
5. RESULTADOS OBTIDOS	23
5.1 Caracterização Física	23
5.1.1 Modelo Digital de Terreno.....	23
5.1.2 Mapa geológico	24
5.1.3 Mapa Geomorfológico	24

5.1.4	Mapa Hidrográfico	25
5.2	Balanço Hídrico	26
5.3	Hidrogeologia	27
5.3.1	Mapa Potenciométrico	27
5.3.2	Base de Dados	28
5.3.3	Modelagem Conceitual Hidrogeológica no Leapfrog Works.....	29
5.3.4	Seções Hidrogeológicas	32
6.	CONCLUSÃO	35
7.	REFERÊNCIAS	37
8.	ANEXOS.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da localização da área de estudo. (Google Earth Pro, 2022).....	10
Figura 2 – Temperatura e precipitação na estação A705- Bauru, referente ao ano de 2022. Fonte: INMET (2022).....	11
Figura 3 - Mapa litoestratigráfico da porção oriental da Bacia Bauru (Fernandes, 2004), onde a seta em vermelho mostra a localização da área de estudo.	12
Figura 4 - Carta litoestratigráfica da Bacia Bauru (Fernandes & Coimbra 2000a).	13
Figura 5 - Mapa hipsométrico do alto da Bacia do Rio Batalha	23
Figura 6 – Mapa geológico da área de estudo.	24
Figura 7 – Mapa geomorfológico da área de estudo.	25
Figura 8 – Mapa hidrográfico da área de estudo.....	26
Figura 9 – Mapa potenciométrico.....	27
Figura 10 – Distribuição dos poços utilizados para a modelagem hidrogeológica.	29
Figura 11 – Elaboração do Modelo Hidrogeológico: Superfícies de contato litológico.	30
Figura 12 - Elaboração do Modelo Hidrogeológico: Superfície potenciométrica.....	31
Figura 13 - Elaboração do Modelo Hidrogeológico: Volumes gerados.	32
Figura 14- Seção 1: Sentido SE-NW na área de estudo, utilizando os poços da base dados e as ferramentas do Leapfrog Works. NA é o nível de água estático local. A seção possui exagero vertical 3x.	33
Figura 15 – Seção 2: Sentido SW-NE na área de estudo, utilizando os poços da base dados e as ferramentas do Leapfrog Works. NA é o nível de água estático local. A seção possui exagero vertical 3x.	34

1. INTRODUÇÃO

O município de Bauru (SP), que conta com aproximadamente 381.706 habitantes (IBGE, 2021), é abastecido em sua maior parte por águas subterrâneas (65%), através de 35 poços tubulares públicos que exploram o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e por poços privados que exploram o Sistema Aquífero Bauru (SAB), além de água superficial (35%), proveniente da lagoa de captação do rio Batalha (DAE, 2021).

Nos últimos anos, Bauru vem sofrendo com crises hídricas e longos períodos de estiagem, mesmo com a presença de importantes sistemas aquíferos e dos rios Bauru e Batalha, o que pode ser devido a uma combinação de mudanças climáticas, desmatamento, uso e ocupação inadequado do solo, gestão de recursos hídricos inadequada e aumento na demanda de água devido ao aumento populacional. Com esse quadro, torna-se necessário aprofundar os estudos hidrológicos e hidrogeológicos com a apresentação de um modelo conceitual tridimensional do alto da bacia do rio Batalha para determinar a disponibilidade hídrica dessa bacia e sua contribuição para a resiliência hídrica da cidade de Bauru e das propriedades rurais de entorno.

O modelo conceitual da bacia do rio Batalha irá ajudar a entender os processos hidrológicos e hidrogeológicos que ocorrem na bacia, como fluxo de águas superficiais e subterrâneas, relações hidráulicas entre aquíferos e drenagens, balanço hídrico e armazenamento de água na bacia. Esses modelos são importantes para o planejamento e gestão de recursos hídricos, sendo utilizados em modelos matemáticos mais complexos utilizados para tomadas de decisão (Rosen & LeGran, 2000).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste Trabalho de Formatura consiste em elaborar um modelo conceitual tridimensional do alto da bacia do rio Batalha (Figura 1), por meio da análise e tratamento de dados acerca do meio físico, como geomorfologia, clima, geologia, hidrologia, hidrogeologia, e uso e ocupação do solo.

Dentre os objetivos específicos desse trabalho, destacam-se:

- Definição do balanço hídrico do alto da bacia do Batalha;
- Entendimento da dinâmica de fluxo de águas subterrâneas e superficiais do alto da bacia do Batalha e de seu contorno com bacias adjacentes;
- Estimação da disponibilidade hídrica do alto da bacia do rio Batalha e sua contribuição no abastecimento da cidade de Bauru, situada na bacia do rio Bauru.

3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, são discutidas algumas características da área de estudo, baseadas nas informações obtidas no levantamento bibliográfico.

3.1 Localização

A área de estudo localiza-se na porção centro-oeste do estado de São Paulo, a aproximadamente 316km da capital, situada entre as divisas dos municípios de Bauru (à leste), Agudos (à sudoeste) e Piratininga (à oeste). Os limites do alto da bacia do rio Batalha abrangem a área urbana de Piratininga e a lagoa de captação para o abastecimento da cidade de Bauru, responsável por 35% do suprimento de água para a população (BAURU, 2021).

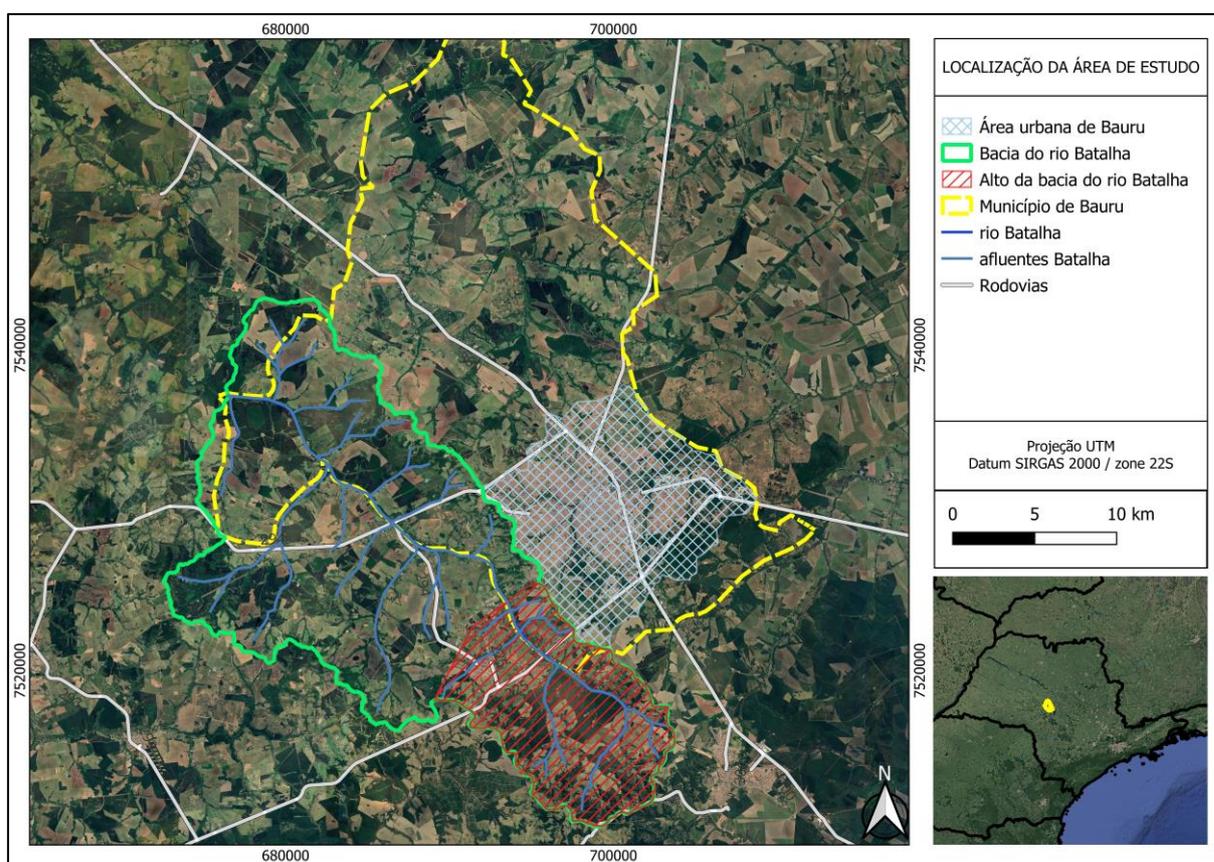


Figura 1 - Mapa da localização da área de estudo. (Google Earth Pro, 2022)

3.2 Clima

Para a definição do clima, foi utilizado a classificação climática de Köppen-Geiger e segundo os dados obtidos de 2022 pelo INMET a área de estudo é classificada como Cwa (subtropical úmido com inverno seco), com verão acima de 22°C e 70% da precipitação anual e inverno seco.

Considerando os dados da estação A705 - Bauru para o ano de 2022, o período chuvoso encontra-se entre os meses de dezembro a fevereiro e o período seco entre maio e agosto (Figura 2). A precipitação máxima ocorreu em dezembro, com valor de 315,4 mm/mês. O valor mínimo mensal registrado foi em julho, com 1 mm/mês. A precipitação média anual correspondeu a 1.196,54 mm.

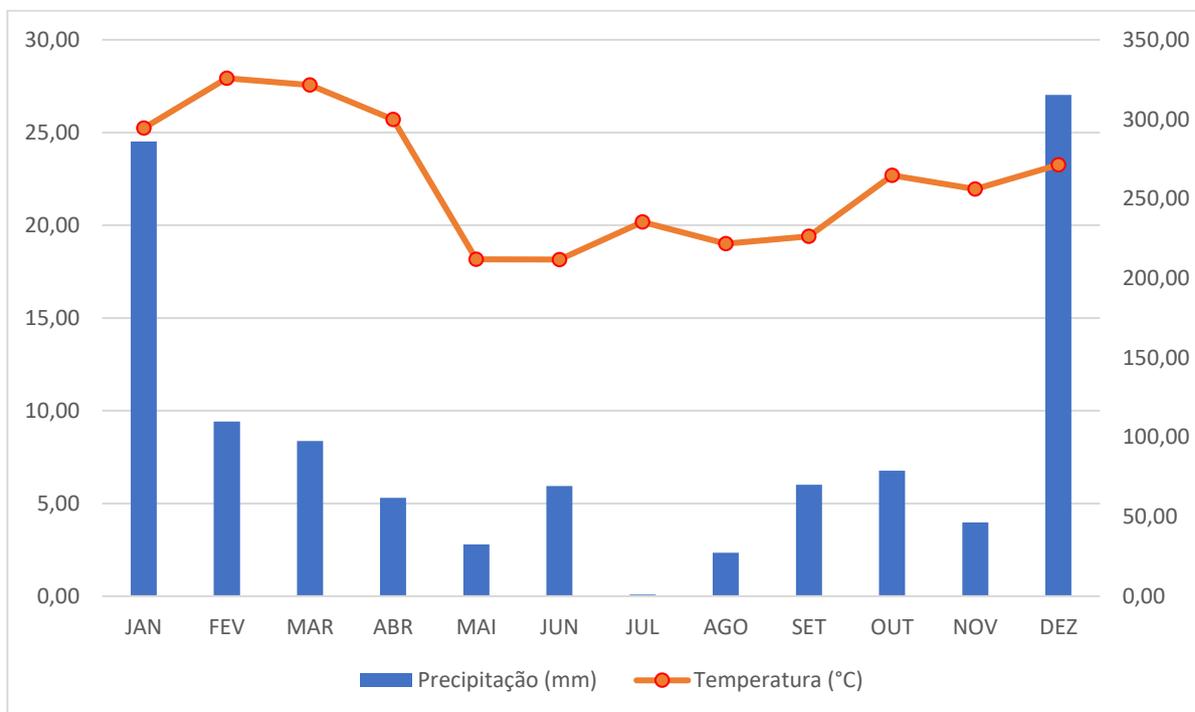


Figura 2 – Temperatura e precipitação na estação A705- Bauru, referente ao ano de 2022. Fonte: INMET (2022).

3.3 Geologia

A área de estudo encontra-se sobre a Bacia Sedimentar Bauru, que, em sua maior parte, abrange a região centro-oeste do Estado de São Paulo (Planalto Ocidental Paulista), representado na Figura 3, além de se estender para o noroeste do Paraná, leste do Mato Grosso do Sul, Triângulo Mineiro e sul de Goiás. A formação dessa bacia é interpretada como resultado da compensação isostática causada pelo acúmulo de lavas basálticas, em associação com o magmatismo Serra Geral. Do ponto de vista estratigráfico, a sequência sedimentar é composta pelos Grupos Caiuá e Bauru, os quais apresentam uma transição gradual e interdigitação entre si, com seu contato basal discordante em relação as rochas do Grupo São Bento, composto pelas formações Serra Geral, Botucatu e Pirambóia (Fernandes & Coimbra, 2000).

O Grupo Caiuá é encontrado sobreposto aos basaltos da Formação Serra Geral e ocorre nas regiões do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Esse grupo pode ser subdividido nas formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio, cujas camadas

sedimentares são compostas por arenitos quartzosos finos a muito finos de tonalidades marrom avermelhada e arroxeadas. Predominam estratificações cruzadas de médio a grande porte, frequentemente alternando com bandas de espessura milimétrica a centimétrica. Essa configuração é resultado de um ambiente deposicional vinculado a dunas eólicas de grande porte (Batezelli, 2010).

A demarcação entre as sequências do Grupo Caiuá (base) e do Grupo Bauru (topo) é indicativa de uma descontinuidade sedimentar. Essa descontinuidade separa os arenitos da Formação Santo Anastácio (Grupo Caiuá) dos siltitos esverdeados da Formação Araçatuba (Grupo Bauru). Essa transição caracteriza-se por uma camada espessa e extensa de paleossolo, sugerindo uma reestruturação tectônica que teve lugar entre o Cretáceo Inferior e Superior, resultando no deslocamento do depocentro da bacia em direção ao norte (Batezelli, 2010).

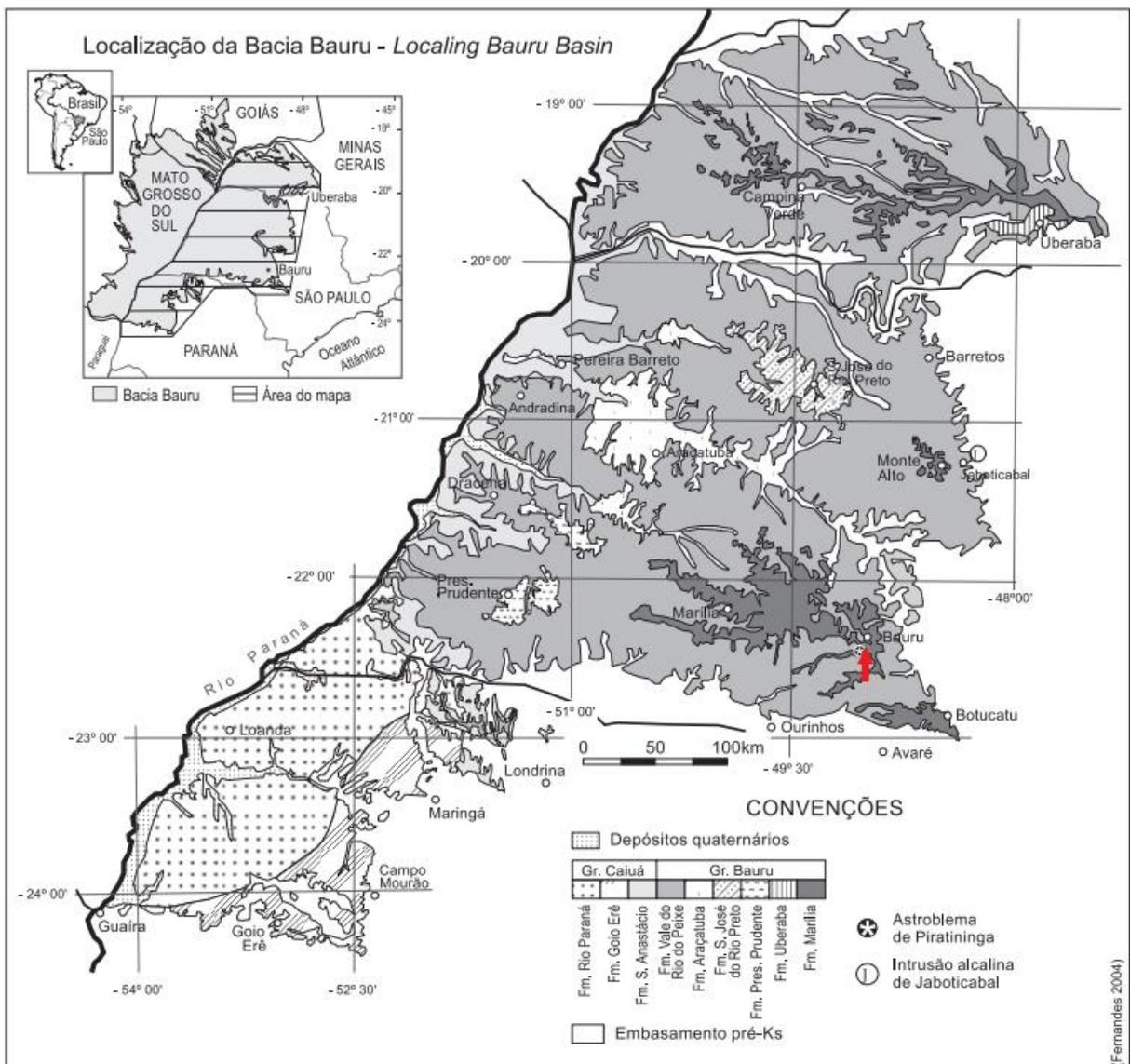


Figura 3 - Mapa litoestratigráfico da porção oriental da Bacia Bauru (Fernandes, 2004), onde a seta em vermelho mostra a localização da área de estudo.

O Grupo Bauru tem sua ocorrência no estado de São Paulo, compreendendo as formações Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília. Petrograficamente, esse grupo é caracterizado por rochas lamíticas na base (Formação Araçatuba), que transicionam para arenitos e conglomerados no topo (Formações Adamantina, Uberaba e Marília). As fácies sedimentares indicam processos deposicionais subaquosos (decantação), característicos de fluxos de correntes (fluviais ou lacustres), bem como processos subaéreos (eólicos), ocorrendo em condições climáticas áridas a semiáridas (Figura 4).

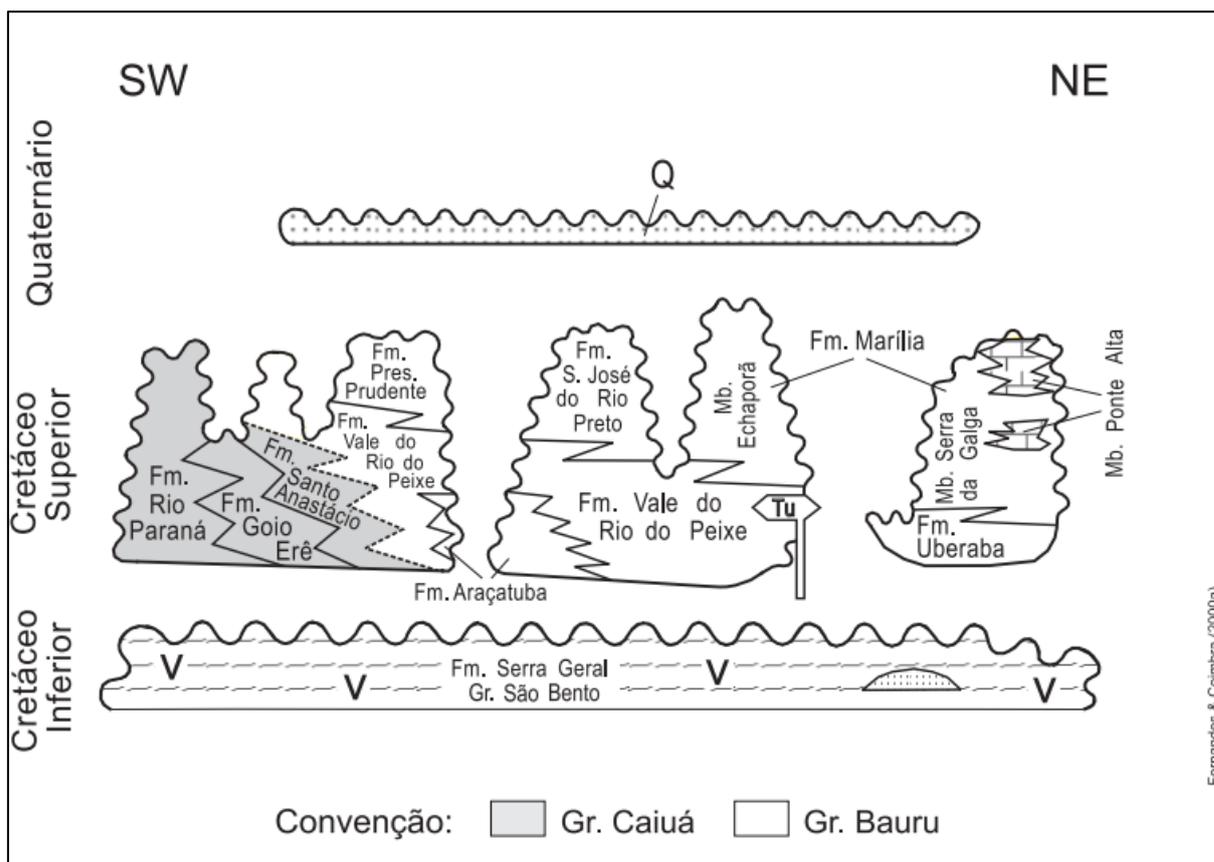


Figura 4 - Carta litoestratigráfica da Bacia Bauru (Fernandes & Coimbra 2000a).

3.3.1 Formação Adamantina (Vale do Rio do Peixe)

A Formação Adamantina descrita em Soares et al. (1980), e denominada posteriormente por Fernandes (1998) como Formação Vale do Rio do Peixe, constitui boa parte do substrato no oeste de São Paulo e do Triângulo Mineiro, essa unidade possui a maior extensão da parte leste da bacia e tem espessura máxima preservada da ordem de 100 m, medida em perfurações de poços de água subterrânea.

A Formação Vale do Rio do Peixe assenta-se diretamente sobre os basaltos da Formação Serra Geral e, em algumas "janelas", sobre a Formação Botucatu. A Formação Vale do Rio do Peixe transiciona gradualmente a oeste e sudoeste para a Formação Santo

Anastácio, encobrendo-a. O contato com a Formação Araçatuba é normalmente gradual e toda via pode apresentar passagem brusca local, às vezes recorrente com contatos sub-horizontais, não erosivos (Fernandes, 2004; Fernandes e Coimbra, 2000). Para o topo da Formação Vale do Rio do Peixe, há uma transição gradual para o Membro Echaporã que faz parte da Formação Marília, e tem contato marcado por apresentar passagens bruscas (diastema) com as formações Presidente Prudente e São José do Rio Preto. A Formação Vale do Rio do Peixe transiciona gradualmente para unidades do Grupo Caiuá, no sudoeste e oeste da bacia (Fernandes, 2004).

Segundo Fernandes (1998), a Formação Vale do Rio do Peixe é composta por camadas de espessura submétrica, estruturação tabular típica de arenitos intercalados com siltitos ou lamitos arenosos. Os arenitos são muito finos a finos, marrom-claro rosado a alaranjado, de seleção moderada a boa e possuem estrutura maciça ou estratificação cruzada tabular e acanalada de médio a pequeno porte. Nos estratos “maciços”, podem ocorrer zonas de estratificação/laminação plano-paralela grosseira, formadas por: a) superfícies onduladas (amplitude e comprimento de onda centimétricos), às vezes com laminação interna (climbings eólicos); b) ondulações de adesão; ou c) planos bem definidos, com lineação de partição. Localmente apresenta intensa cimentação carbonática. Intercalam-se camadas também tabulares com estrutura maciça ou estratificação plano-paralela pouco definida, de siltitos de cor creme a marrom. Localmente podem ocorrer lentes de arenito conglomerático com estratificação cruzada de pequeno porte e contendo intraclastos argilosos ou carbonáticos por (Fernandes 1998; Fernandes e Coimbra 2000; CPRM, 2006).

O ambiente deposicional é caracterizado como essencialmente eólico, constituído por lençóis de areia e pequenas dunas eólicas, alternados com depósitos de loess. Localmente ocorrem lamitos, relacionados a corpos aquosos rasos e efêmeros, criados em períodos de elevação do nível freático. O conteúdo fossilífero é composto por fragmentos de ossos de répteis, moluscos e artrópodes. Há ainda moldes de raízes, oogônios de algas caráceas e, possivelmente, tubos de pequenos animais no topo dos estratos (Fernandes, 2004).

3.3.2 Formação Marília (Membro Echaporã)

A Formação Marília é subdivida em três membros: Ponte Alta, Serra de Galga e Echaporã. No nordeste do Triângulo Mineiro, ocorrem apenas os membros Serra de Galga e Ponte Alta (Fernandes e Coimbra, 2000). O membro Echaporã é o único que aflora no estado de São Paulo e ocorre na região de Marília, Echaporã e Monte Alto. Este membro tem contatos graduais e interdigitados com a Formação Vale do Rio do Peixe e com os

demais membros da Formação Marília. No estado de São Paulo, faz contato diretamente com a Formação Serra Geral (basaltos) na borda leste da bacia. Nas margens norte e leste da bacia, a Formação Marília sustenta os planaltos escarpados e possui maiores espessuras em São Paulo, no qual alcança até 180 m (Fernandes e Coimbra, 2000; Fernandes, 2004).

A Formação Marília é composta por arenitos finos a médios, imaturos, com frações grossas de grânulos em quantidades subordinadas, principalmente nas zonas marginais da bacia (Fernandes, 2004). O membro Echaporã é descrito por Fernandes (2004) como arenito de estratos tabulares de aspecto maciço, com espessura média em torno de 1 m até 2,5 m, limitados por superfícies planas sub-horizontais. No topo são comuns zonas de maior desenvolvimento de nódulos e crostas carbonáticas, assim como intercalações de delgadas lentes de lamitos arenosos. Na base dos estratos, podem ocorrer pequenas concentrações de clastos. Os estratos apresentam estrutura maciça, de cores bege a rosa, com cimentação e nódulos carbonáticos. As intercalações de lamitos e arenitos lamíticos possuem cor marrom e espessuras centimétricas a decimétricas (até 1 m), sendo mais frequentes nas partes interiores da bacia como a oeste de Marília.

Segundo Batezelli (2010), esses arenitos também possuem intercalações conglomeráticas, na forma de ciclos granodecrescentes e granocrescentes, com clastos de quartzo, gnaisse, quartzito, basalto e kamalfugitos. De forma geral, os arenitos maciços possuem marcas de raízes.

O ambiente de deposição interpretado para a Formação Marília é de um sistema de leques aluviais, onde os membros Serra da Galga e Ponte Alta representariam porções medianas e distais destes leques, com depósitos de canais entrelaçados e de fluxos densos, e presença subordinada de dunas eólicas de pequeno porte. A deposição do Membro Echaporã ocorreria na forma de fluxos em lençol, em contexto de franja de leque aluvial, representando as porções distais dos depósitos dos outros dois membros. Seu contato gradual com litotipos da Formação Vale do Rio do Peixe indica a transição do sistema de leques aluviais para a planície eólica (Fernandes 1998; Fernandes e Coimbra 2000; CPRM, 2006).

3.3.3 *Formação Serra Geral*

A Formação Serra Geral é constituída por derrames basálticos, resultantes de intenso magmatismo fissural, com a formação de uma extensa cobertura de lavas, com espessura de até 1500 m no centro da Bacia Sedimentar do Paraná, associada a uma extensa rede de diques e múltiplos níveis de soleiras intrudidos na pilha sedimentar (Milani, 1997; CPRM, 2004). Os basaltos afloram por toda a região oeste e central do Estado de São

Paulo, em uma extensão de aproximadamente 20.000 km². Os derrames são constituídos principalmente por basaltos toleíticos e andesi-basaltos toleíticos, com augita e pigeonita. Os derrames assentam-se sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu com inclinações subhorizontais de até 5° em direção ao centro da bacia (Marques e Ernesto, 2004).

3.3.4 Formação Botucatu

A Formação Botucatu é composta principalmente por arenitos finos a grossos, quartzosos, de coloração avermelhada, foscas, bem arredondados e com estratificação cruzada, planar ou acanaladas, de médio a grande porte até 30m. A Formação Botucatu tem seu contato basal com a Formação Pirambóia através de uma discordância regional, marcando uma mudança nas características dos arenitos, como a dimensão dos estratos cruzados. O contato superior com a Formação Serra Geral é concordante e marcado pelo primeiro derrame vulcânico, com interdigitações com o topo da Formação Botucatu. O sistema pode ser interpretado como eólico seco, por não haver depósitos interdunas úmidos (Milani, 1997; Scherer, 2006).

Na região do município de Bauru, foi realizado um estudo por Simonato et al (2016), no qual identificaram que as formações Botucatu e Pirambóia do Grupo São Bento estão em contato direto com as formações do Grupo Bauru. Essa condição de “janela” dos basaltos da Formação Serra Geral é uma condição peculiar na sequência estratigráfica vulcano-sedimentar do Grupo São Bento.

3.3.5 Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia é composta principalmente por arenitos finos a grossos, com cores esbranquiçadas, avermelhadas e alaranjadas, e geometria lenticular bem desenvolvida, com estratificações cruzadas de grande porte, podendo ser interpretadas como depósitos de dunas eólicas com sentido de mergulho para SE, que se assenta sob depósitos lacustres da Formação Rio do Rastro (Lavina et al. 1993).

3.4 Geomorfologia

Para a descrição da geomorfologia da área de estudo, foram utilizados a Carta Geomorfológica 1:250.000, versão de 2021, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, e o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo 1:500.000, por Ross & Moroz (2011).

Foi possível identificar três principais unidades geomorfológicas na região: o Planalto Residual de Marília, o Planalto Rebaixado do Rio Tietê e as Planícies e Terraços Fluviais. Os dois primeiros predominam na região e fazem parte da unidade morfoestrutural Planalto Ocidental Paulista, que ocupa cerca de 50% da área do Estado de São Paulo. Essa unidade faz parte da unidade morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná e é caracterizada por relevo levemente ondulado com predomínio de colinas amplas e baixas com topos aplanados (Ross e Moroz, 2011). Já as Planícies e Terraços Fluviais ocorrem em áreas restritas, associados a depósitos a montante de níveis de base locais e regionais, correspondendo a áreas essencialmente planas, geradas por deposição de origem fluvial. Essa unidade faz parte da unidade morfoestrutural Bacias Sedimentares Cenozoicas (Ross & Moroz, 2011).

3.5 Hidrogeologia

3.5.1 Sistema Aquífero Bauru

O Sistema Aquífero Bauru (SAB) possui extensão regional e aflora em todo o Planalto Ocidental do estado de São Paulo, sendo caracterizado como uma unidade hidrogeológica contínua, livre a semiconfinada, e de porosidade granular. É constituído de arenitos finos e mal selecionados na base (Adamantina) e de arenitos argilosos e calcíferos no topo (Marília), do período Cretáceo, com uma espessura média variando entre 100 a 200m, assentados sobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral (Campos, 1993). A principal forma de recarga é pela infiltração das águas pluviométricas e a descarga ocorre ao longo do Rio Batalha, na área de estudo.

De acordo com os relatórios DAEE (2005), os dados de transmissividade na região apresentam uma variação significativa, situando-se entre 10 m²/d a 100 m²/d, com uma média de 35 m²/d. A porosidade efetiva, conforme esses relatórios, oscila entre 5% e 15%, e as vazões de poços instalados nesse aquífero podem variar entre 5 e 50 m³/h, com média de 13m³/h.

Em estudos mais recentes, conduzidos pela C3 Consultoria (2015), os valores de transmissividade no Sistema Aquífero Bauru (SAB) mostram uma variação mais ampla, situando-se entre 0,55 e 312,72 m²/d, com uma média de 43,8 m²/d. Além disso, a condutividade hidráulica nessa região possui uma variação muito elevada, de aproximadamente 0,002 a 3,66 m/d.

Segundo o estudo de Simonato et al. (2016) realizado no município de Bauru, na área de ocorrência de janela dos basaltos da Formação Serra Geral, não há conexão hidráulica entre o Sistema Aquífero Bauru (SAB) e o Sistema Aquífero Guarani, pois um dos

pontos abordados no estudo é que há diferença no gradiente hidráulico entre as superfícies potenciométricas dos dois aquíferos, demonstrando que os fluxos subterrâneos são independentes.

3.5.2 Sistema Aquífero Serra Geral

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) está associado aos basaltos toleíticos em derrames tabulares superpostos, sendo um aquífero livre a semiconfinado, descontínuo, com elevada anisotropia. Seus parâmetros hidrogeológicos estão relacionados a valores variáveis, por estarem associados a descontinuidades e falhas (PBH-TB, 2008).

O Sistema Aquífero Serra Geral está situado estratigraficamente acima do Aquífero Guarani e abaixo do Aquífero Bauru. Possui espessura variada dentro da bacia, de poucos metros até 1000 m no sentido do Rio Paraná a oeste. Sua recarga está associada à precipitação pluvial diretamente sobre os basaltos, podendo ocorrer conexão hidráulica com os aquíferos sedimentares adjacentes. Segundo os resultados de monitoramento da CETESB (2004), os valores de vazão específica variam entre 0,08 e 50 m³/h/m., com média de 1,0 m³/h/m.

3.5.3 Aquífero Guarani

O Aquífero Guarani é uma unidade hidrogeológica transfronteiriça, com ocorrências no Brasil, Uruguai, Paraguai e Argentina, estendendo-se à aproximadamente 1,2 milhão de km². É composto por um pacote de camadas arenosas depositadas na bacia sedimentar do Paraná, durante o Mesozóico, entre 200 e 132 milhões de anos, até o início da deposição dos basaltos da Formação Serra Geral. No Brasil, é constituído pelas formações Botucatu e Pirambóia (Rocha, 1997).

O Aquífero Guarani é contínuo, possui extensão regional, parcialmente livre e predominantemente confinado, possui transmissividade alta de aproximadamente 260 m²/dia na área aflorante, aumentando progressivamente para oeste até atingir valores superiores a 1.200 m²/dia e condutividade hidráulica média de 3 m/d. A vazão explorável para o Aquífero Guarani é de 40 a 360 m³/h (Rocha et al, 2006).

3.6 Hidrografia

A área de estudo está inserida na UGRHI 16 – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Batalha, correspondente ao alto da bacia hidrográfica do rio Batalha, com aproximadamente 123 km² de área de drenagem (Figura 8). Dentro dos limites da área, há o ribeirão do Veado, que passa por Piratininga (SP), e outros afluentes menores

para o rio Batalha, que possui a cabeceira localizada na Serra de Jacutinga, em Agudos (SP), sendo um dos principais corpos d'água da bacia, com aproximadamente 2.416 km² de área de drenagem (CBH-TB, 2016). Segundo a resolução CONAMA N° 357 de 2005, os corpos hídricos dentro da área de estudo são classificados como classe 2.

Segundo um estudo realizado pela SHS (2008), para a prefeitura de Bauru, foram medidas as vazões fluviais de referência em sete seções diferentes ao longo do rio Batalha no município de Bauru. Os pontos mais próximos da área de captação (montante) mediram $Q_{(7,10)}$ de 0,131 e 0,249 m³/s, enquanto os pontos mais a norte (jusante) mediram vazões $Q_{(7,10)}$ de 1,366 e 1,064 m³/s.

Em um estudo mais recente do DAE (2014), a vazão no ponto de captação, próximo ao exutório da área de estudo, corresponde a $Q_{(7,10)}$ de 0,405 m³/s e a vazão média anual é de 0,980 m³/s. A captação atual outorgada para a retirada de água do rio Batalha com destino ao abastecimento público da cidade de Bauru é de 0,347 m³/s (1250 m³/h), ultrapassando o limite prescrito na Instrução Técnica DPO n° 5 de 10/11/2011, que define que a vazão total disponível para outorga de captação a fio de água deveria ser igual a 0,5* $Q_{(7,10)}$ medido naquela seção (0,405 m³/s), ou seja, 0,203 m³/s, portanto, a vazão outorgada para o DAE corresponde a 85,7%.

3.7 Balanço Hídrico

Em estudos prévios, Santos et al. (2021) analisaram a recarga do aquífero que contribui para o Rio Batalha, utilizando metodologias hidrológicas e hidrogeológicas distintas para analisar a sua disponibilidade hídrica e os impactos do uso e ocupação do solo no balanço hídrico. Utilizando o método de balanço hídrico no solo, esses autores obtiveram 386,2 mm/ano de recarga do aquífero, que percola na zona insaturada abaixo do solo, considerando a ocupação atual, evapotranspiração e armazenamento de água no solo.

O balanço hídrico consiste na aplicação do princípio da conservação de massa, portanto, a diferença entre o total do volume de entrada e saída de água de uma bacia hidrográfica, durante o tempo analisado, deve ser igual à quantidade de água armazenada no meio (Wahnfried & Hirata 2005). O balanço hídrico definido pela equação (1) de Thornthwaite & Mather (1955) é:

$$(1) \Delta S = P - (ETR + ES + I)$$

onde ΔS é a variação de armazenamento de água no solo, P é a precipitação total, ETR é a evapotranspiração real, ES é o escoamento superficial e I é a infiltração de água no solo.

Em alguns casos, ao se utilizar um período anual de análise, pode-se desprezar a variável de armazenamento de água e infiltração, obtendo-se a simplificação na equação (2):

$$(2) P = Q - ETR$$

A vazão superficial de saída do sistema é representada por Q.

O coeficiente de escoamento superficial (C) pode ser definido como a razão entre a vazão superficial e o volume de precipitação. Esse parâmetro pode ser influenciado pela declividade do terreno, tipo de solo e cobertura vegetal. No estudo realizado por Santos et al. (2021), esse coeficiente variou entre 0,1 e 0,4 na área de estudo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Levantamento Bibliográfico

Durante todo o desenvolvimento do trabalho, foi realizado um amplo levantamento bibliográfico, através da consulta de teses e artigos. Essa revisão bibliográfica teve como objetivo o levantamento das principais características sobre a geologia, geomorfologia, clima, hidrologia e hidrogeologia da área de estudo para a modelagem conceitual.

4.2 Levantamento de dados

Os dados foram adquiridos por meio de consultas aos bancos de dados e publicações de relatórios relacionadas às instituições governamentais, com o objetivo de adquirir os seguintes dados:

- Distribuição dos poços
- Nível de água estático e dinâmico
- Condutividade hidráulica em poços de abastecimento e de monitoramento
- Perfis construtivos e litológicos dos poços
- Dados climáticos

A descrição da geologia foi realizada através da bibliografia, do banco de dados da CPRM - Serviço Geológico do Brasil e de perfis litológicos dos poços na área de estudo, pelo banco de dados do SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (CPRM). A Geomorfologia foi classificada segundo o IBGE e a bibliografia.

Os dados sobre temperatura e pluviosidade foram obtidos pela estação automática Bauru A705, no site do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, DAEE - abrangendo a média anual do ano de 2022 para caracterização do regime climático.

Sobre os parâmetros hidrológicos e hidrogeológicos, foram consultados relatórios do DAE – Departamento de Água e Esgoto de Bauru, Prefeitura de Bauru, DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, CBH/TB - Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha, a base de dados do SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (CPRM) e a bibliografia.

O levantamento de dados em campo baseou-se em identificar os poços na região rural e entrar em contato com as empresas locais de perfuração de poços para a compilação da base de dados, embora a grande maioria desses poços não possuísse registro dos perfis construtivos e parâmetros hidrogeológicos.

4.3 Caracterização Física da Área

Para a caracterização física da área, foram realizados o processamento e o tratamento dos dados geológicos, hidrogeológicos e climáticos levantados nas etapas anteriores.

Os limites do alto da bacia do Rio Batalha foram definidos através de processamento digital, utilizando-se imagens e modelos digitais de elevação, obtidos através do TOPODATA – Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. Utilizando a ferramenta watershed no QGIS (QGIS Development Team, 2022 – Versão 3.30.3), foi possível delimitar a área de escoamento superficial para o exutório da área de estudo.

Os mapas do meio físico foram elaborados a partir do geoprocessamento dos dados levantados e de shapefiles obtidos pelo banco de dados GEOSGB do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e dos limites da área de estudo.

O mapa potenciométrico foi elaborado através dos poços da base de dados do projeto SACRE e SIAGAS (CPRM), selecionando-se apenas os poços que continham a seção filtrante nos aquíferos Adamantina e Marília e suas informações do nível d'água. Os valores de nível estático de água, utilizados para o cálculo de cargas hidráulicas, apresentaram diferenças em locais próximos, uma vez que foram medidos às épocas de instalação dos poços.

A partir da subtração da cota do poço e do nível estático, foram adquiridos os valores de carga hidráulica. As cotas dos poços foram obtidas através dos perfis construtivos e, na ausência deles, foram obtidas pela topografia e modelo digital de elevação. Os valores foram interpolados utilizando o software Surfer® (Golden Software, LLC) pelo método de krigagem ordinária.

4.4 Elaboração do Modelo Hidrogeológico Conceitual Tridimensional

Para a elaboração do modelo hidrogeológico tridimensional, foram empregados o software Leapfrog Works® (Seequent, 2023) e o fluxo de trabalho proposto pelo manual. O fluxo de trabalho iniciou-se com a importação do compilado de dados obtidos de topografia, sondagem e parâmetros hidrogeológicos. Com a validação desses dados, foi realizada a interpolação topográfica com a geológica, obtendo-se o modelo tridimensional.

Os dados topográficos foram obtidos por meio do modelo digital de elevação, através do levantamento realizado anteriormente e importado como uma superfície georreferenciada para o software.

Para os dados geológicos, foram selecionados apenas 20 poços para a interpolação do modelo. Essa escolha deu preferência aos poços mais próximos da área de estudo, os quais continham perfis capazes de auxiliar na definição da espessura e apresentavam dados hidrogeológicos do Sistema Aquífero Bauru, o principal foco deste estudo.

Dos poços selecionados, 12 continham dados sobre o nível de água e foram utilizados na elaboração de uma superfície potenciométrica. Os dados de carga hidráulica coletados foram inseridos no software como uma malha de pontos e, mediante a interpolação, uma superfície potenciométrica tridimensional foi gerada no modelo.

A revisão e validação dos dados foram realizadas por meio da ferramenta “Fix Errors”, na interface do software, possibilitando a identificação de erros no banco de dados, como a ausência de valores, discordâncias, sobreposição de informações, valores inválidos ou intervalos ausentes dentro do banco de dados.

Seguindo o fluxo de trabalho, iniciou-se a elaboração do modelo hidrogeológico tridimensional após a validação dos dados, criando-se as superfícies de contato litológico através da ferramenta “Depósitos”, utilizado para camadas sedimentares pouco complexas. Segundo a Seequent (2017), o Leapfrog Works utiliza o método de modelagem implícita, em que é gerada uma rápida e automatizada formação de superfícies diretamente baseada nos dados geológicos. O seu método de modelagem utiliza os algoritmos de FastRBF™ (Radial Basis Functions) que determinam como os pontos de dados conhecidos são usados para indicar e estimar pontos de dados desconhecidos para criar superfícies. A partir das superfícies criadas, foram gerados os volumes do modelo tridimensional.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Caracterização Física

Os dados obtidos foram processados e interpretados para a confecção de mapas e caracterização do Alto da bacia Rio Batalha.

5.1.1 Modelo Digital de Terreno

O mapa hipsométrico apresenta a variação altimétrica da topografia em relação ao nível de base local (Figura 5). Analisando-se o mapa, é possível observar que o declive é no sentido NW, em direção ao Rio Batalha que flui sentido Rio Tietê. As altitudes variam entre 724 m, em sua cota máxima em SE, e 478 m próximo à lagoa de captação do Rio Batalha no limite NW da bacia.

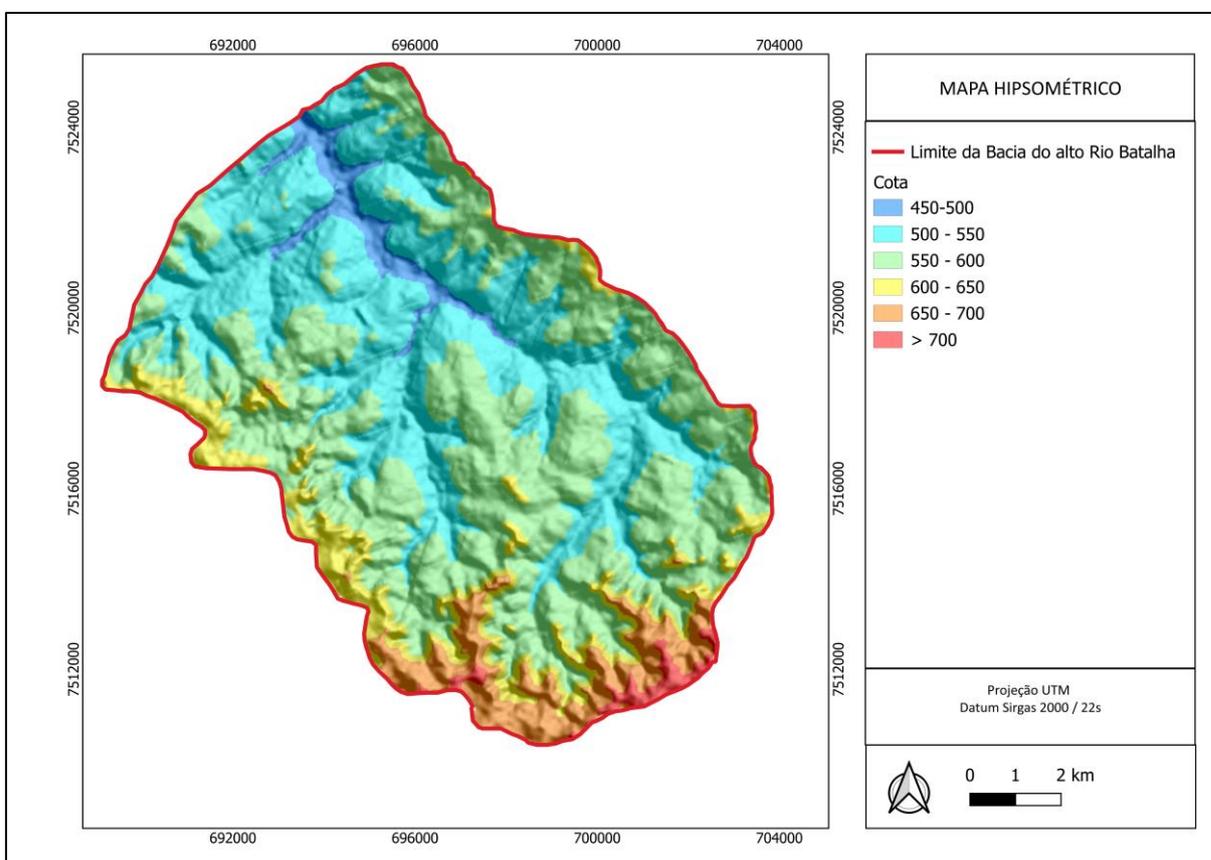


Figura 5 - Mapa hipsométrico do alto da Bacia do Rio Batalha.

É possível observar pelo mapa que a nascente do Rio Batalha se encontra nas áreas mais elevadas em vermelho e laranja, seguindo para as regiões mais baixas em azul até a foz da área de estudo. A declividade da região pode variar entre 2% nas áreas mais planas ao norte e 6% nas regiões mais ao sul da área.

5.1.2 Mapa geológico

O mapa geológico da área de estudo (Figura 6), elaborado a partir dados obtidos da CPRM, mostra as unidades aflorantes da Formação Marília (topo) e Formação Vale do Rio do Peixe (base) na área de estudo, no qual foi discutido anteriormente sua relação estratigráfica. As duas formações fazem parte do Grupo Bauru da Bacia Sedimentar de Bauru, com a Formação Marília ocupando as regiões de maior altitude e a Formação Vale do Rio do Peixe ocorrendo nas áreas mais baixas.

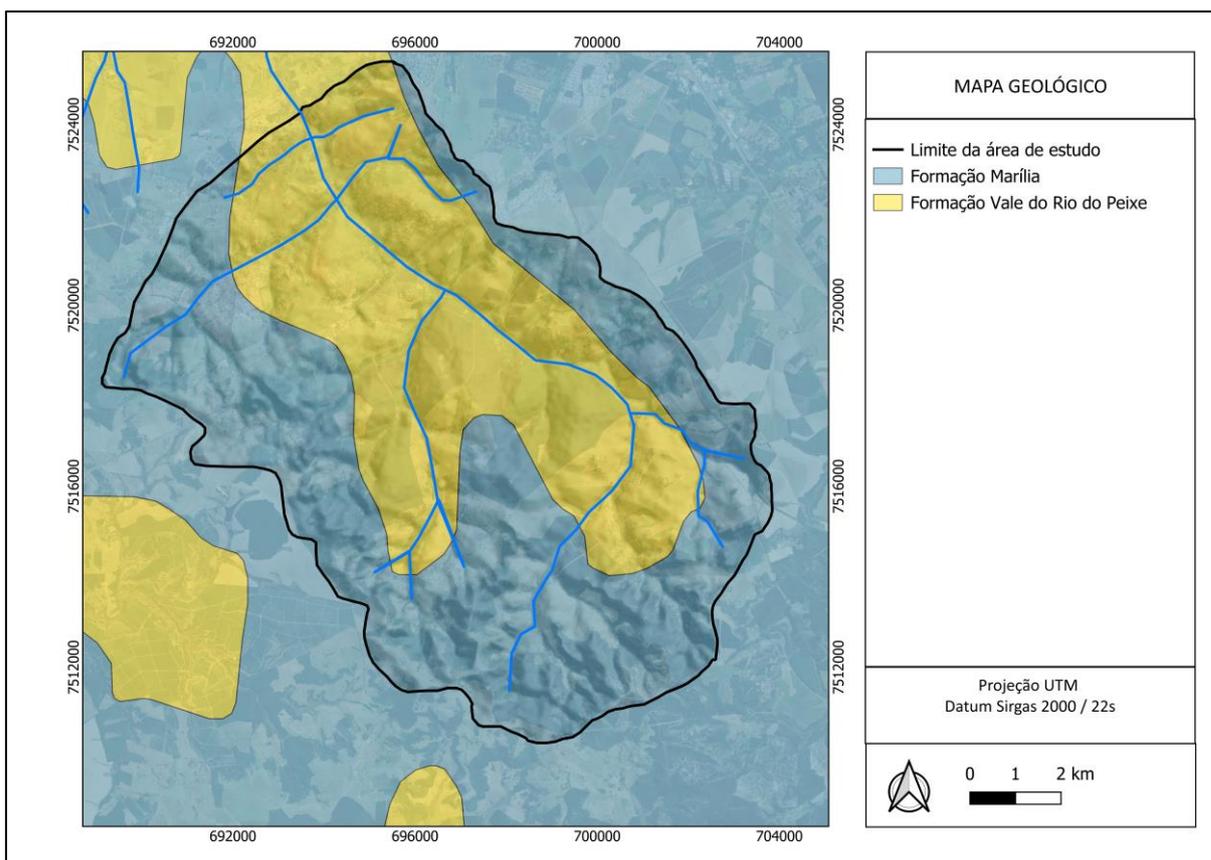


Figura 6 – Mapa geológico da área de estudo.

5.1.3 Mapa Geomorfológico

Observando-se o mapa geomorfológico da área de estudo (Figura 7), elaborado a partir do dados obtidos do IBGE, é possível identificar três unidades geomorfológicas que foram discutidas anteriormente: o Planalto residual de Marília ocupando as áreas mais elevadas pela sua posição estratigráfica e cimentação carbonática; o Planalto rebaixado do rio Tietê que ocupa a maior parte da área de estudo e caracteriza o relevo levemente ondulado com predomínio de colinas amplas e baixas com topos aplanados; e as Planícies e Terraços Fluviais ocupando as regiões mais baixas, correspondentes às áreas mais planas e deposição de origem fluvial.

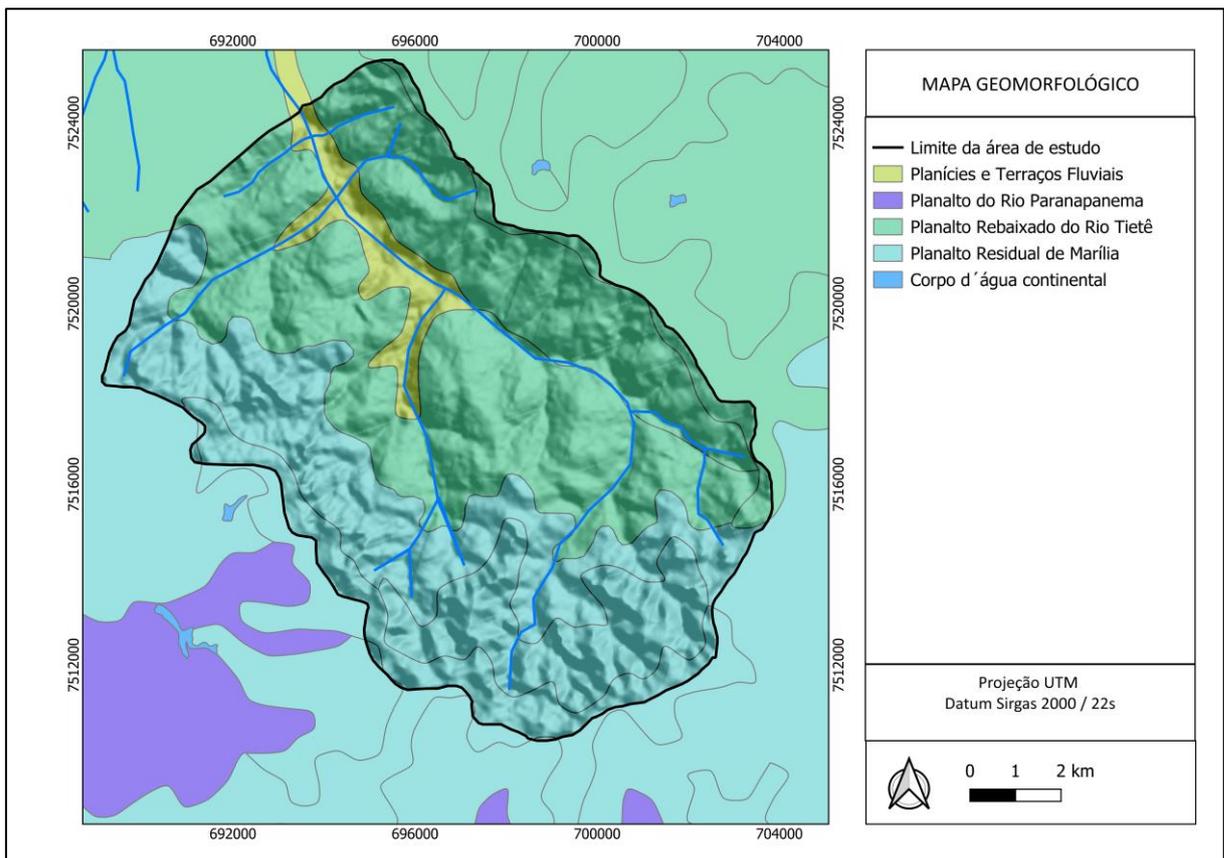


Figura 7 – Mapa geomorfológico da área de estudo.

5.1.4 Mapa Hidrográfico

O mapa hidrográfico (Figura 8) indica o curso do Rio Batalha, o Ribeirão do Veado e a rede de drenagens contribuintes do Rio Batalha, obtidos pelo Comitê de Bacias Hidrográficas Tietê-Batalha (2018).

Segundo o SigRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, os cursos d'água na área de estudo são classificados como “classe 2” e as águas podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, proteção de comunidades aquáticas, recreação, irrigação, agricultura e atividade de pesca.

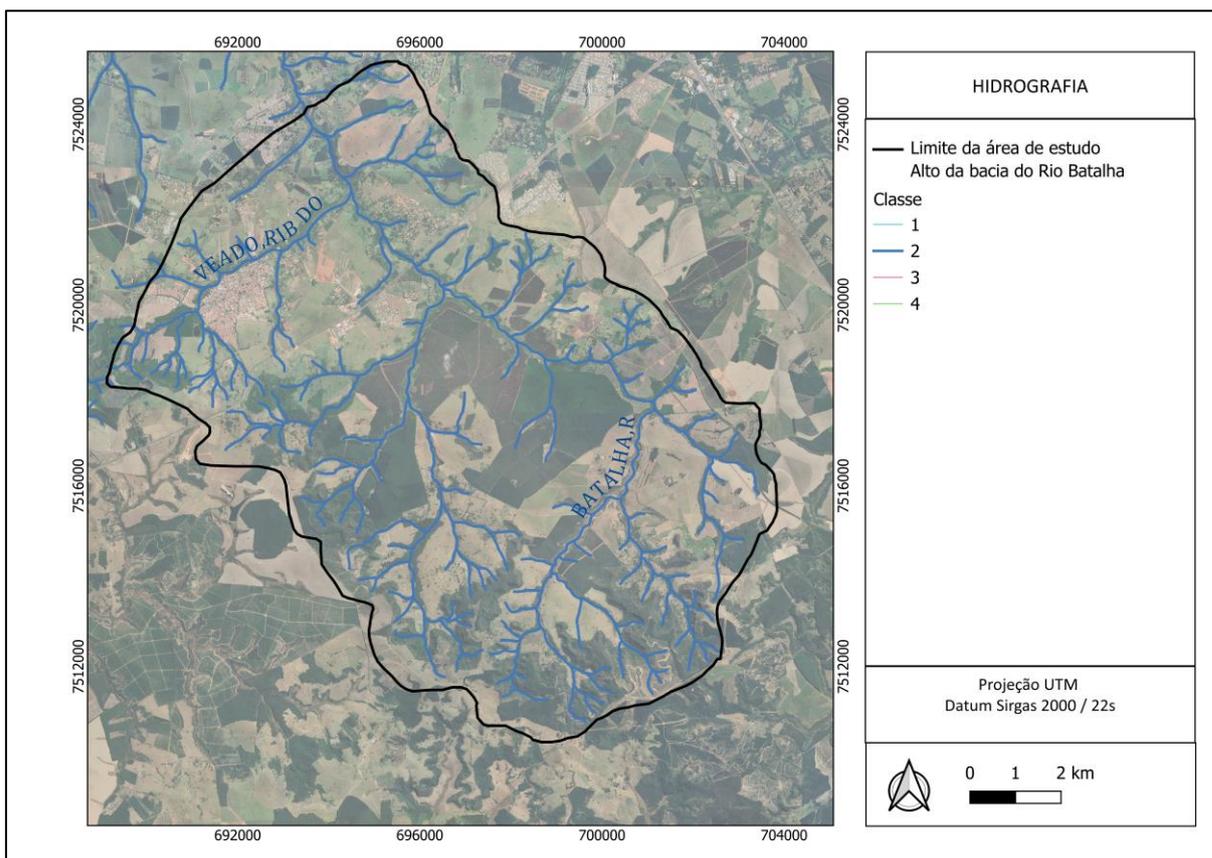


Figura 8 – Mapa hidrográfico da área de estudo.

5.2 Balanço Hídrico

Para a determinação do balanço hídrico da área de estudo, utilizaram-se os parâmetros hidrológicos e hidrogeológicos coletados nas etapas anteriores, juntamente com a Equação (1) proposta por Thornthwaite & Mather (1955).

A precipitação média (P) na área foi estabelecida em 1234 mm/ano, calculada a partir de uma média pluviométrica dos últimos 10 anos de dados registrados na estação A705 – Bauru (INMET).

A vazão média plurianual de escoamento superficial adotada foi de 0,980 m³/s ou 251,26 mm por ano, conforme dados fornecidos pelo DAE – Bauru (2014). Com base nesses valores, o coeficiente de escoamento superficial (C) foi calculado, resultando em 20,36%, consistente com estudos de escoamento superficial apresentados por Santos et al. (2021) na área de estudo.

O parâmetro de infiltração (recarga) para a área foi determinado como 386,2 mm/ano, conforme o estudo conduzido por Santos et al. (2021), indicando uma taxa total de infiltração de 31,29% na região.

Assim, aplicando-se a Equação (1) e utilizando-se os dados levantados, foi possível calcular a Evapotranspiração Real (ETR) e concluir o balanço hídrico. O valor aproximado da Evapotranspiração Real na área de estudo correspondeu a 600,54 mm/ano.

5.3 Hidrogeologia

5.3.1 Mapa Potenciométrico

Para este estudo, foram considerados os parâmetros de carga hidráulica na bacia, utilizando-se o Surfer®, apenas para os poços que possuíam seção filtrante no Sistema Aquífero Bauru (SAB).

O mapa potenciométrico (Figura 9) foi gerado com o objetivo de visualizar os sentidos de fluxo de água subterrânea no Sistema Aquífero Bauru (SAB). Ele revela o fluxo dos pontos de maior carga hidráulica ao sul (em laranja), próximos à nascente do Rio Batalha, para os de menores valores ao norte (em azul), próximo à bacia de captação do Rio Batalha. Os valores de carga hidráulica variaram de 540 a 450m.

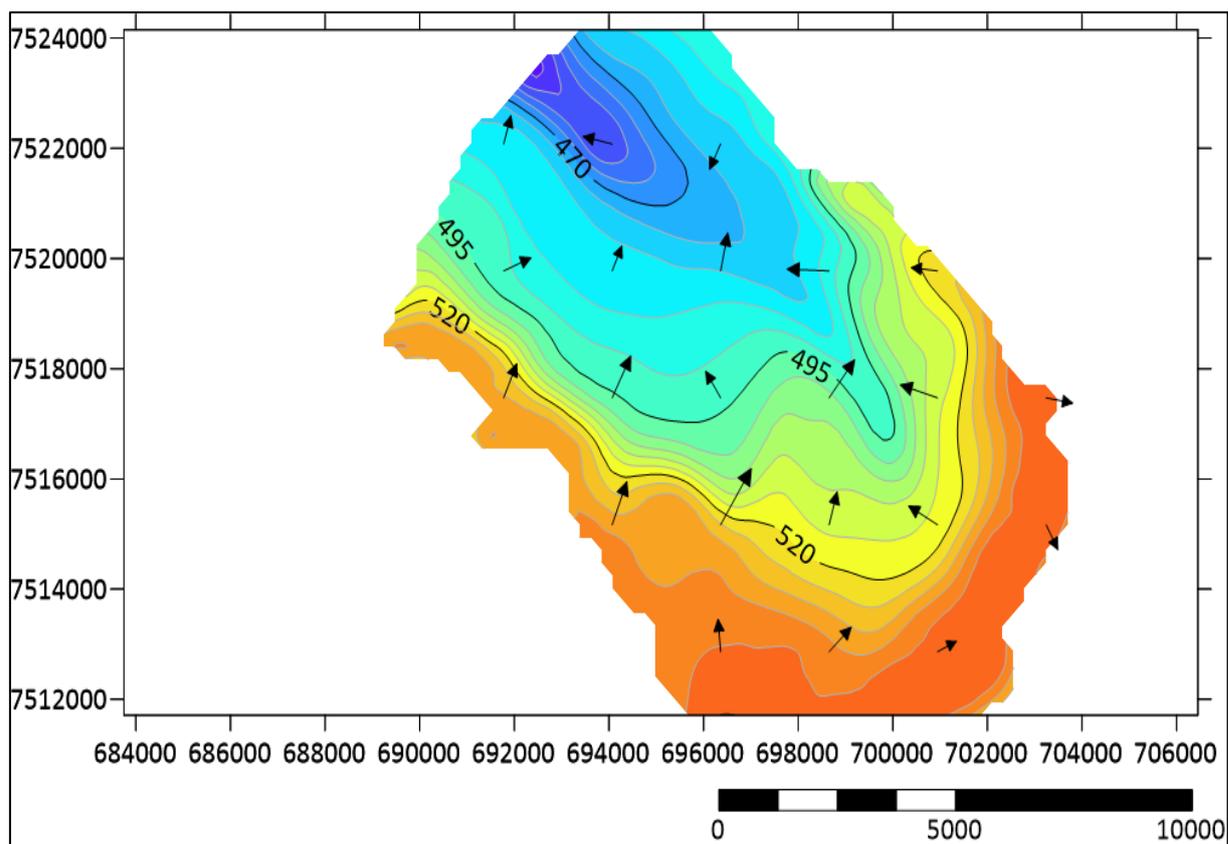


Figura 9 – Mapa potenciométrico e de fluxo de águas subterrâneas da área de estudo.

5.3.2 Base de Dados

Para a elaboração do modelo hidrogeológico conceitual tridimensional, foram utilizadas as informações de 19 poços tubulares, apresentados na Tabela 1, e distribuídos espacialmente conforme a Figura 10. As informações na Tabela 1 apresentam os números de cadastro dos poços, as suas coordenadas, os valores de nível estático e de vazão e as profundidades. Os poços com ID P009, P617, P618, P619 e P620 foram obtidos através da base de dados do Projeto SACRE, e os demais da base de dados do SIAGAS – CPRM, com acesso aos perfis construtivos através do ID (Anexo I).

Tabela 1 – Dados dos poços tubulares utilizados para o estudo.

ID	UTM Y (m)	UTM X (m)	Nível estático (m)	Vazão (m³/h)	Profundidade(m)
P009	7523030	696160	30,0	2,5	100
P617	7520289	691425	10,0	4,0	60
P618	7520916	692333	28,0	6,0	86
P619	7517704	702940	38,1	4,0	90
P620	7520900	692260	12,1	1,8	30
3500029562	7520910	692330	28,0	6,0	86
3500008285	7521100	692900	-	-	86
3500056864	7520150	695890	-	-	154
3500008284	7521750	693600	-	-	140
3500008283	7522150	693900	27,0	45,5	144
3500029565	7520280	691420	10,0	4,0	60
3500008286	7519500	691800	-	-	131
3500008287	7519500	692050	-	-	142
3500007708	7515950	683750	40,7	12,0	154
3500056877	7525130	697121	-	-	110
3500025809	7522050	698150	115,2	40,8	248
3500056835	7524930	698180	-	-	299
3500007455	7511860	706135	122,5	96,2	302
3500007057	7512900	706450	81,2	153,0	406

Fonte: Projeto SACRE; SIAGAS.

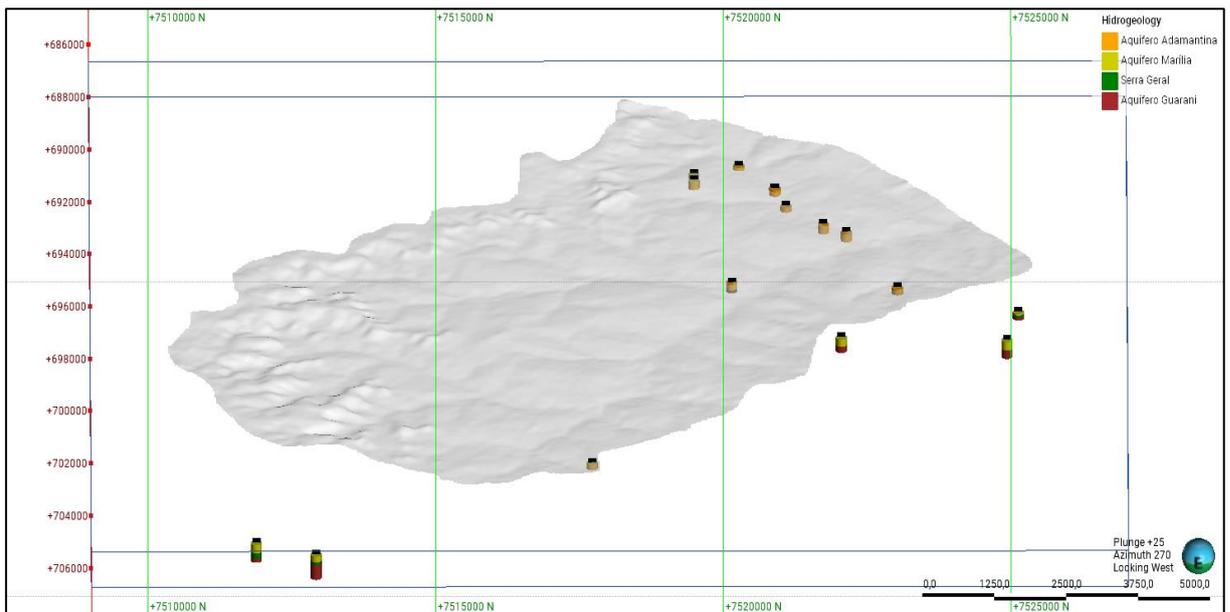


Figura 10 – Distribuição dos poços utilizados para a modelagem hidrogeológica.

A análise da Figura 10 permite observar que a quantidade de poços tubulares cadastrados na área de estudo é bastante reduzida, com sua maior concentração ao norte, próximo à cidade de Piratininga. Este estudo considerou apenas os poços cadastrados nos bancos de dados mencionados. Os poços não cadastrados levantados nas áreas rurais em atividade de campo não puderam ser utilizados, pois não continham registros dos parâmetros geológicos e hidrogeológicos.

5.3.3 Modelagem Conceitual Hidrogeológica no Leapfrog Works

A partir da interpolação dos dados topográficos, geológicos e hidrogeológicos, foram elaboradas as superfícies de contato litológico e a superfície potenciométrica do modelo tridimensional. A superfície potenciométrica foi gerada a partir dos níveis de água obtidos e das cargas hidráulicas calculadas, gerando-se uma malha de pontos. Após a elaboração das superfícies de contato geológico, conduziu-se a validação dessas estruturas. Este procedimento envolveu a análise da concordância entre as superfícies e os intervalos identificados nas sondagens. Uma vez validadas as superfícies de contato, procedeu-se à geração dos volumes finais (Figura 11).

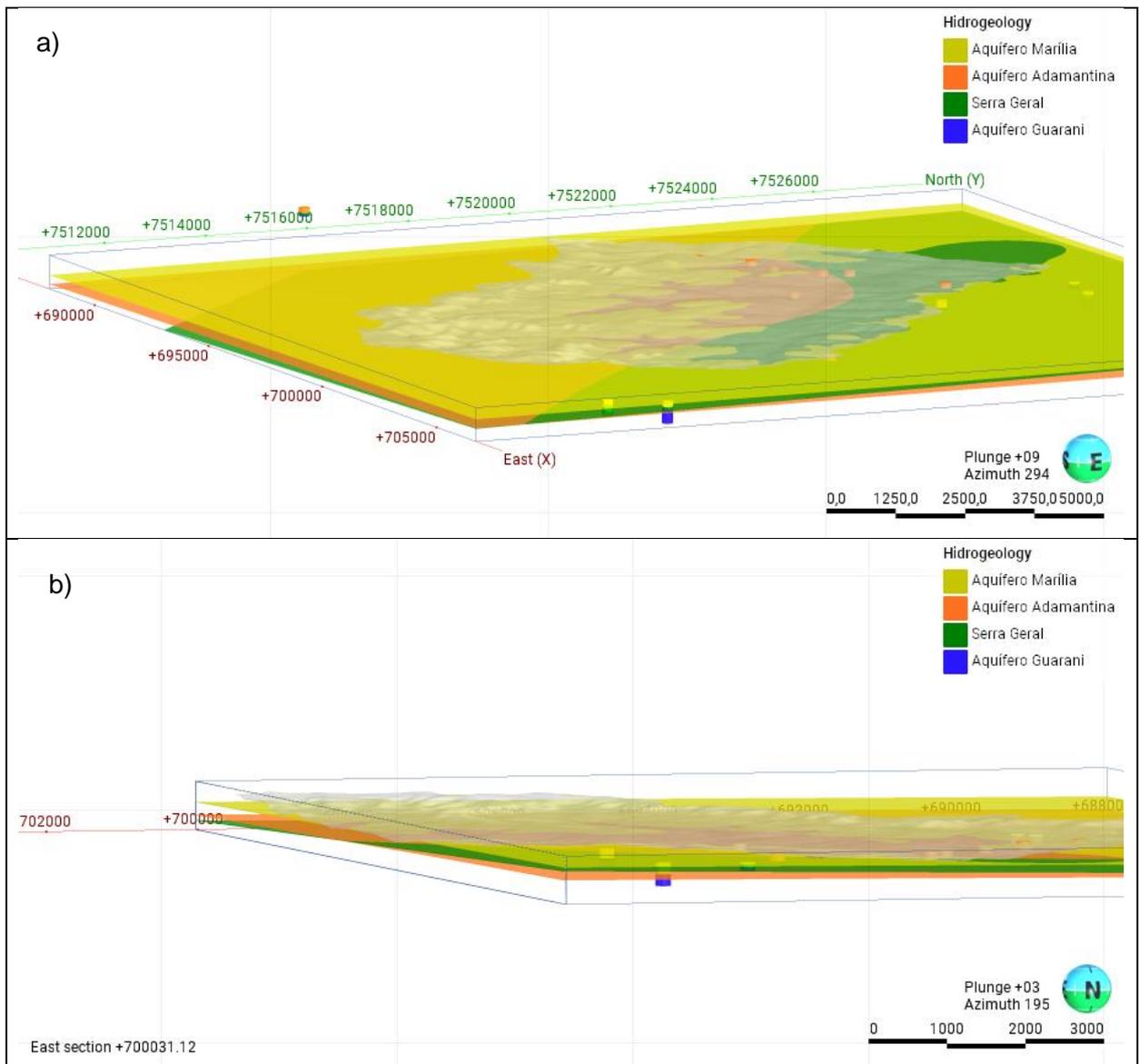


Figura 11 – Elaboração do Modelo Hidrogeológico: Superfícies de contato litológico.

A Figura 12 a seguir mostra a superfície potenciométrica representada no modelo tridimensional.

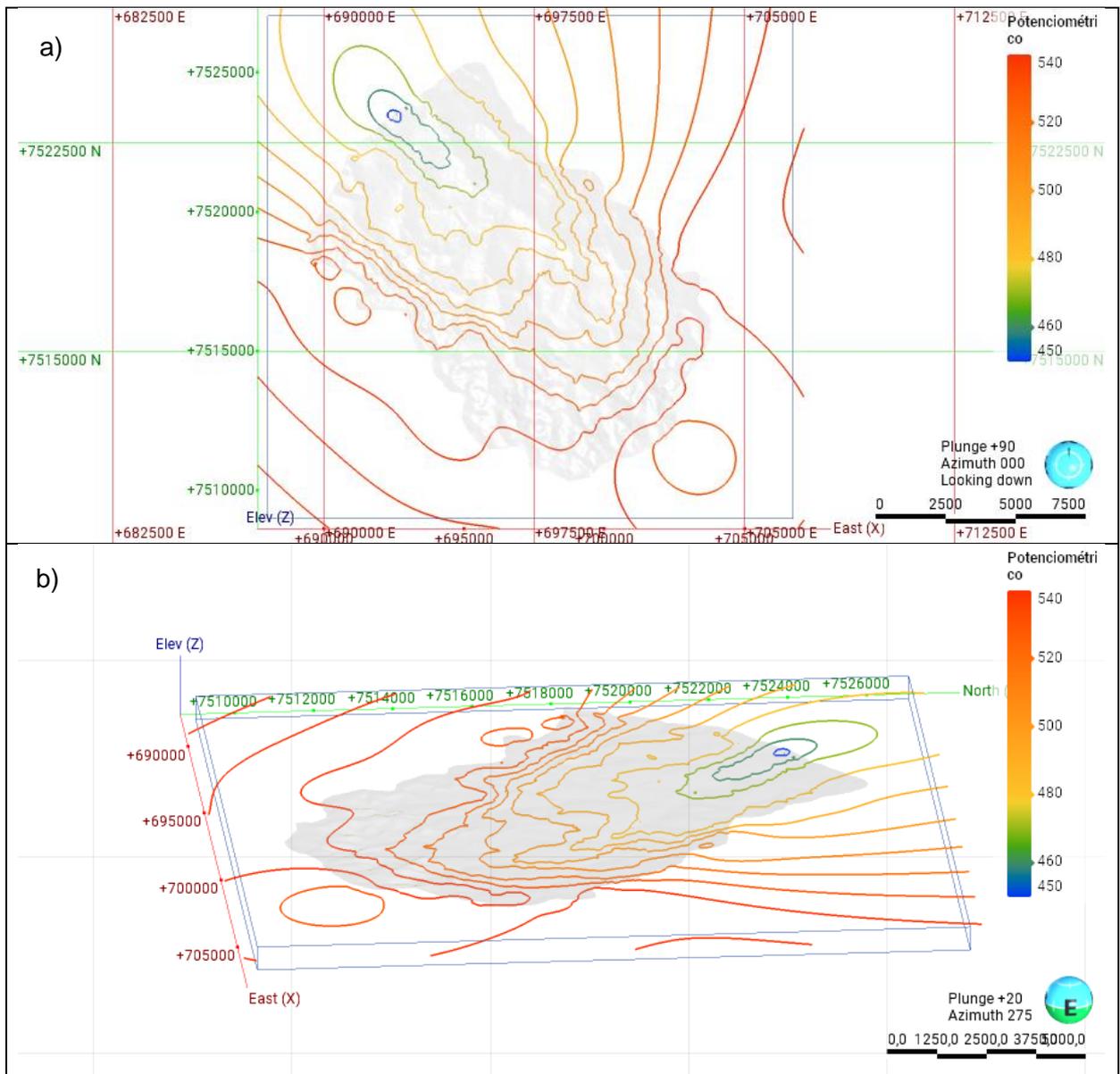


Figura 12 - Modelo Hidrogeológico 3D da área de estudo: superfície potenciométrica.

A Figura 13 a seguir mostra os volumes gerados a partir das superfícies de contatos do modelo tridimensional.

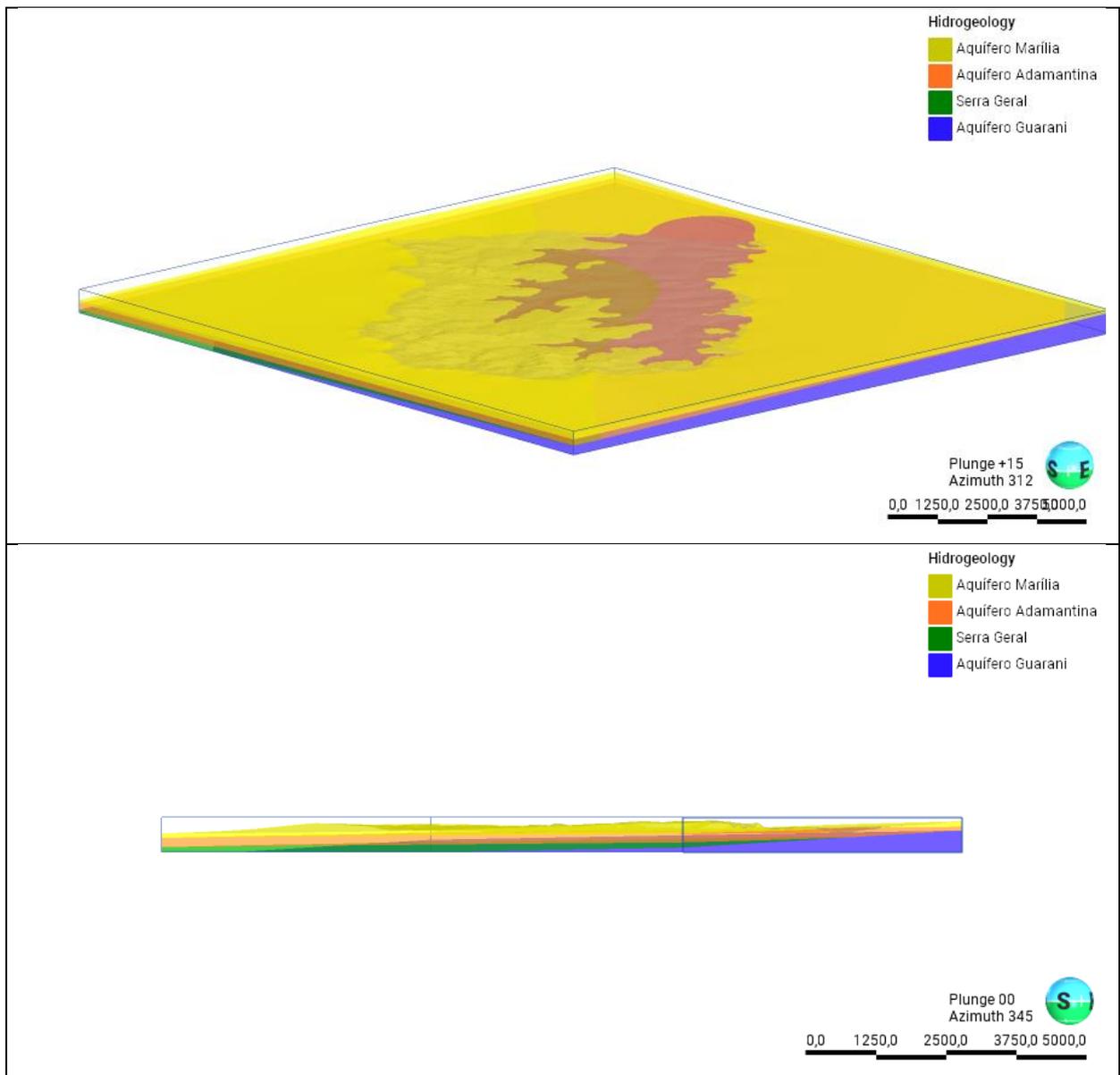


Figura 13 - Modelo Hidrogeológico 3D da área de estudo: volumes gerados.

5.3.4 Seções Hidrogeológicas

Utilizando-se a ferramenta de “seções” do Leapfrog Works, foram realizadas duas seções no modelo tridimensional da área de estudo, de direções SE-NW (Figura 14) e SW-NE (Figura 15), com o objetivo de melhorar a visualização e interpretação do modelo com e maior detalhe na variação de espessura e nível de água.

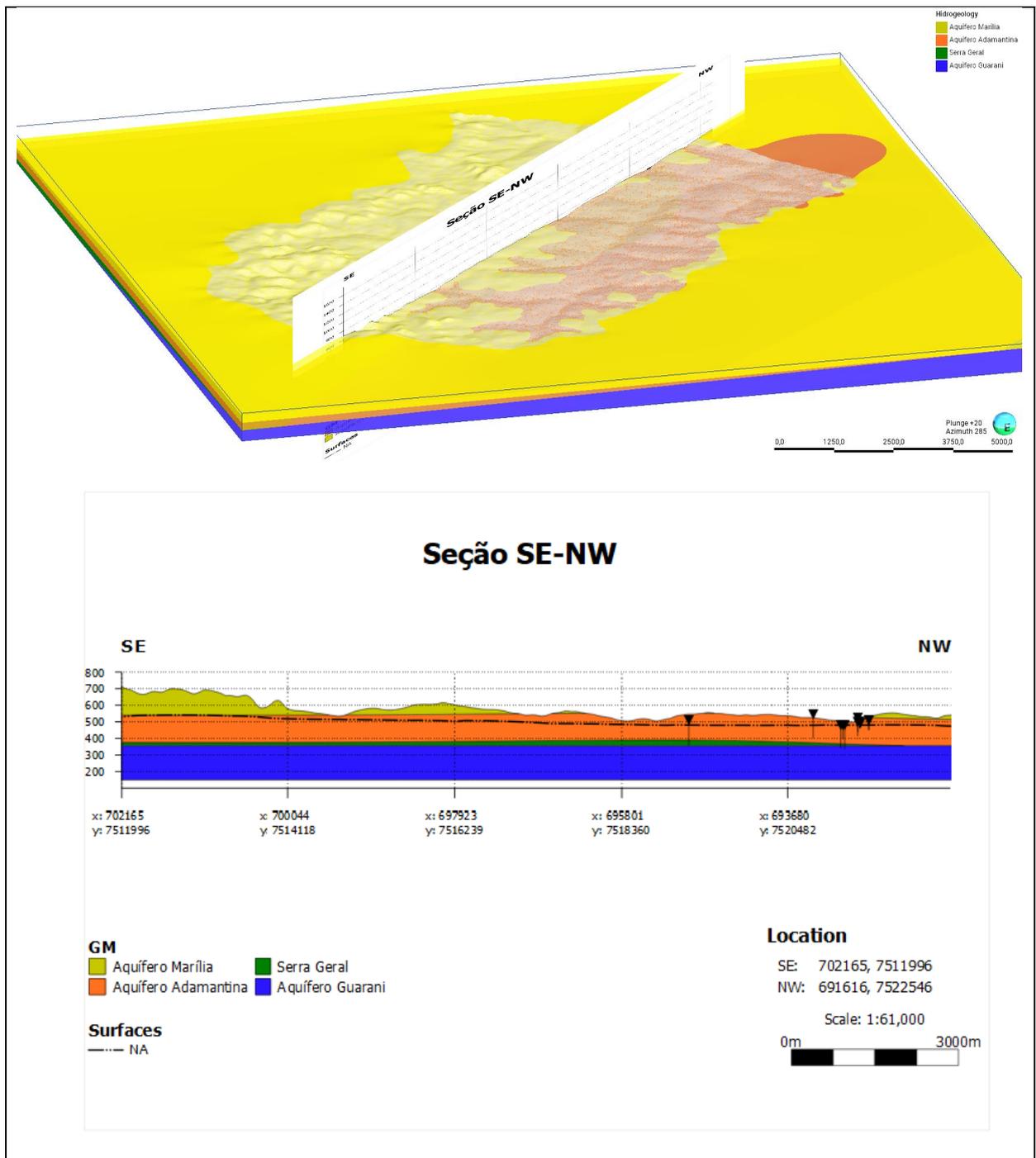


Figura 14- Seção 1: Direção SE-NW na área de estudo, utilizando-se os poços da base dados e as ferramentas do Leapfrog Works. NA é o nível de água estático local. A seção possui exagero vertical de 3x.

Analisando-se a seção 1 (Figura 14), é possível notar o adelgaçamento da Formação Marília em direção ao exutório da área de estudo, seguindo o sentido NW, ao passo que a área de afloramento da Formação Vale do Rio do Peixe (Adamantina) aumenta, especialmente nas proximidades do leito do Rio Batalha. Na porção sul e oeste da área, a Formação Marília pode atingir uma espessura de até 150m, enquanto a Formação Vale do

Rio do Peixe (Adamantina) mantém uma espessura média de cerca de 150m em toda a região. Observa-se que o nível potenciométrico diminui em direção NW.

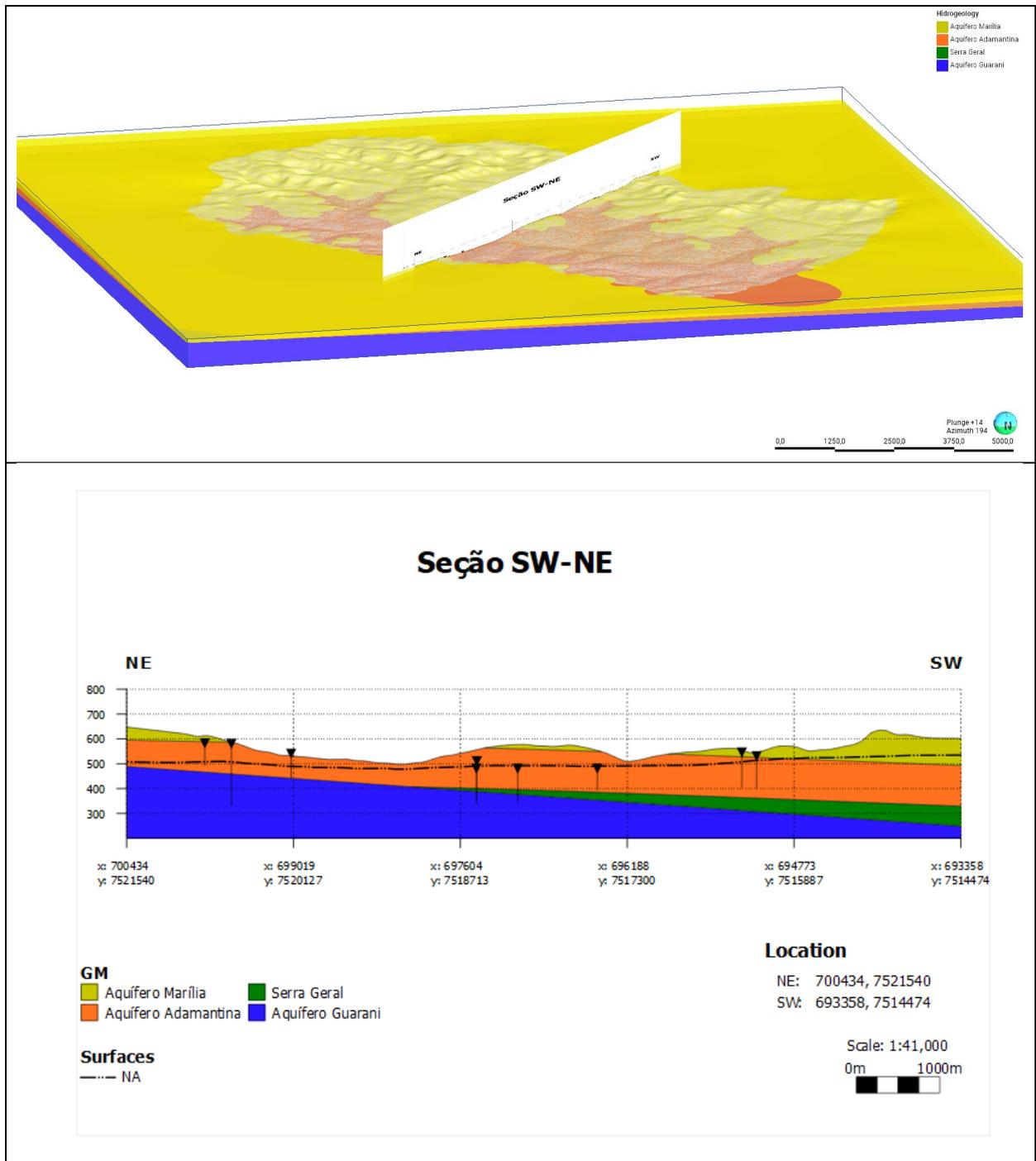


Figura 15 – Seção 2: Direção SW-NE na área de estudo, utilizando os poços da base dados e as ferramentas do Leapfrog Works. NA é o nível de água estático local. A seção possui exagero vertical de 3x.

Ao analisar a seção 2 (Figura 15), transversal à área de estudo, observa-se a Formação Marília sustentando o relevo nas bordas da área, com um notável afinamento em direção ao centro da bacia. A Formação Vale do Rio do Peixe apresenta variação de

espessura na região da calha do Rio Batalha, resultado do processo erosivo. Além disso, a cota potenciométrica diminui em direção ao centro da área.

É possível notar um caimento em sentido W das camadas, visíveis na Formação Serra Geral e nas formações que compõem o Sistema Aquífero Guarani.

6. CONCLUSÃO

Na área de estudo, afloram duas unidades hidrogeológicas pertencentes ao Sistema Aquífero Bauru, o principal foco deste estudo, sendo divididas em Aquífero Marília e Aquífero Vale do Rio do Peixe (Adamantina). A Formação Marília aflora em 54% da bacia nas áreas mais altas topograficamente, enquanto a Formação Vale do Rio do Peixe, litoestratificamente abaixo, aflora em 46%, nas áreas mais baixas e próximas ao leito do Rio Batalha.

O Aquífero Marília está associado a um sistema deposicional continental desértico/leques aluviais, composto por arenitos finos a grossos, com porções conglomeráticas, com intercalações de lentes lamíticas e crostas de cimentação carbonática. Já o Aquífero Vale do Rio do Peixe é associado ao ambiente deposicional desértico/eólico, composto por arenitos finos a muito finos, com intercalações de siltitos tabulares maciços e cimentação carbonática.

Os resultados do balanço hídrico na área de estudo revelam uma precipitação média de 1234 mm/ano, com uma vazão média pluriannual de escoamento superficial de 0,980 m³/s ou 251,26 mm por ano. Isso resulta em um coeficiente de escoamento superficial (C) de 20,36%, consistente com estudos anteriores na região. A infiltração (recarga) foi estimada em 386,2 mm/ano, representando uma taxa total de infiltração de 31,29%. Utilizando esses dados, a Evapotranspiração Real (ETR) foi calculada, resultando em um valor aproximado de 600,54 mm/ano.

Para os valores de condutividade hidráulica (K) e transmissividade (T) do Sistema Aquífero Bauru (SAB), foram adotados os dados regionais levantados, onde a condutividade hidráulica (K) varia de 0,002 a 3,66 m/dia e a transmissividade (T) de 0,55 e 312,72 m²/d, apresentando uma média de 43,8 m²/d. Dos poucos poços instalados na área, com parâmetros hidrogeológicos, observaram-se valores de vazão variando entre 1,8 a 45,5 m³/h, e vazão específica entre 0,2 a 6,5 m³/h/m.

O fluxo de água subterrânea e superficial da bacia, analisado pelo mapa potenciométrico, segue em sentido ao nível de base local, controlado pela gravidade, em direção ao Rio Batalha. Em geral, o fluxo de água subterrânea profundo do Sistema Aquífero Bauru (SAB) segue em sentido oeste para o Rio Paraná.

A disponibilidade hídrica da região concentra-se principalmente no Rio Batalha, onde a vazão outorgada para o município de Bauru já excede o limite de vazão total disponível para outorga de captação a fio de água. A outorga para captação de água é de 347,2 m³/s (1250 m³/h) e a vazão Q_{7,10} no ponto de captação de água do Departamento de Água e Esgoto (DAE) é de 0,405 m³/s e a máxima outorgável é de 50% do Q_{7,10}, portanto a captação atua do Rio Batalha já ultrapassa 85,7% permitidos pela legislação, impossibilitando o aumento da vazão de captação do Rio Batalha.

Durante a elaboração do modelo conceitual tridimensional, foi clara a dificuldade em desenvolver um entendimento aprofundado e preciso, devido à limitada disponibilidade de poços e informação na área de estudo, principalmente ao sul e centro da área, portanto é fundamental expandir a rede de monitoramento hidrogeológico da região para obter uma compreensão mais abrangente do aquífero e atualização dos poços já cadastrados com níveis atuais de nível estático e vazão.

Recomenda-se, adicionalmente, que este estudo sirva como uma fonte importante de informação para embasar a gestão sustentável de recursos hídricos e o desenvolvimento de modelos matemáticos mais complexos, que desempenham um papel crucial nas tomadas de decisões relacionadas ao manejo eficiente dos recursos hídricos.

7. REFERÊNCIAS

- BATEZELLI, A. (2010). Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das Bacias Caiuá e Bauru no Sudeste brasileiro. *Brazilian Journal of Geology*, v. 40, n. 2, p. 265-285.
- Bauru, 2021, Prefeitura decreta Emergência Hídrica no Município de Bauru e DAE anuncia medidas de enfrentamento: <https://www2.bauru.sp.gov.br/materia.aspx?n=39570>. (Acessado julho 2023).
- BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005.
- C3 CONSULTORIA. Diagnóstico hidrogeológico e a elaboração de propostas para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município de Bauru/SP. Bauru: C3 Consultoria, 2015.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), 2022b, Mapas Temáticos do Enquadramento dos Corpos Hídricos: Mapa da Hidrografia conforme Decreto 10.557/77 – UGRHI 16: UGRHI16.pdf (cetesb.sp.gov.br). (Acessado setembro 2023).
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Serviço Geológico do Brasil, 2004, Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – escala 1:1.000.000, Sistema de Informações Geográficas, Programa Geologia do Brasil, Brasília – DF.
- DAE - Departamento de Água e Esgoto de Bauru, 2014, PLANO DIRETOR DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE BAURU-SP, Volume 01, Tomo III. https://sapl.bauru.sp.leg.br/sapl_documentos/materia/6282.pdf (Acessado setembro 2023)
- DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 2005. Síntese dos Planos de Bacia - Plano Estadual de Recursos Hídricos São Paulo: DAEE/Consórcio JMRENGECORPS (Relatório nº 1/2005).
- FERNANDES L.A. & COIMBRA A.M. 2000a. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Rev. Bras. Geociências*, 30(4):717-728.
- FERNANDES, L. A. (1992). A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo, 1992.
- FERNANDES, L. A. (1998). Estratigrafia e Evolução Geológica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

- Golden Software. 2023. Surfer. Versão 26.0. Golden Software.
<https://www.goldensoftware.com/products/surfer/>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2021, Carta Geomorfológica – escala 1:250.000.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2022, Mapa de Estações.
<https://mapas.inmet.gov.br/>. (acessado setembro 2023).
- Lavina, E.L.C.; Faccini, U.F. & Ribeiro, H.J.S. 1993. A Formação Pirambóia (Permo-Triássico) no Estado do Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, 38 (1): 179- 197.
- Marques, L. S., & Ernesto, M. (2004). O magmatismo toleítico da bacia do Paraná [CD-ROM]. In *Recursos Minerais e Desenvolvimento Socioeconômico: Anais. Araxá: SBG*.
- Menegazzo, M. C. (2016). Sedimentação da Bacia Bauru: cenário tectônico, idade dos depósitos e ambientes paleodeposicionais. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2016.
- Milani, E.J. (1997) Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. *Revista Brasileira de Geociências*, volume 39 (3), 2009 579 Tese (Doutorado). pp. 254 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Prefeitura de Bauru. DAE e USP lançam convênio para projeto pioneiro de águas subterrâneas, 05/04/2022.
- QGIS Development Team. 2023. QGIS Geographic Information System. Versão 3.24. QGIS Association.
- Rocha, G., J. Fernandes, A., A. Mancuso, M., E. Campos, J., Takahashi, A. T., H. Oda, G., M. Perrotta, M., D. Salvador, E., Albuquerque F^o., J. L., Gimenez Fo., A., G. de Azevedo, S., Denser, M., G. Pizzatto, L., & Paulon, N. (2006). MAPA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Águas Subterrâneas*. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23049>.
- Ross, J. L. S., & Moroz, I. C. (2011). MAPA GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Revista Do Departamento De Geografia*, 10, 41- 58
<https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004>.

- SANTOS, C. F.; HIRATA, R.; MARCELLINI, S.; BARBATI, D. Surface and groundwater relationship in an anthropically modified area. *An. Acad. Bras. Ciênc.* v. 93, n. 1. 2021.
- Scherer, C.M.S., Lavina, L.C.E. (2006) Stratigraphic evolution of a fluvial–eolian succession: The example of the Upper Jurassic—Lower Cretaceous Guar and Botucatu formations, Paraná Basin, Southernmost Brazil. *Gondwana Research – volume 9* (4). pp. 475-484
- Seequent, 2017, User Manual for Leapfrog Works: Seequent.
- Seequent, 2023, ‘Implicit Modelling’, Disponível em: <https://www.seequent.com/pt-br/comunidade/saiba-mais-sobre-geociencias/modelamento-implicito/>. (Acessado em setembro 2023).
- Seequent. 2023. Leapfrog Works 2023.1. Seequent. <https://www.seequent.com/products-solutions/leapfrog-geo/>.
- SHS – Consultoria e Projetos de Engenharia, 2008, Diagnostico Ambiental e dos Recursos Hídricos do Município de Bauru – SP, contrato n 4.294/04 e processo n 37.456/03, Volume de Texto.
- Simonato, M.D., Campos, J.E., Leitão, A.C. de F., Brandão, D., Paula e Silva. F., e Paula, V.F., 2016. Há conexão hidráulica entre os sistemas aquíferos Guarani e Bauru na “janela” de basalto, em Bauru-SP? XIX Congresso Brasileiro De guas Subterrâneas, p. 1–20, <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28706%0A>.
- Soares, P. C., Landim, P. M., Fulfaro, V. J., & Sobreiro Neto, A. F. (1980). Ensaio de caracterizaco estratigráfica do Cretáceo no Estado de Sao Paulo: Grupo Bauru. *Rev. Bras. Geociênc*, 10(3).
- TUNDISI, J. G. (2008). Recursos hídricos no futuro: problemas e soluces. *Estudos avançados*, v. 22, p. 7-16,
- USO, M. (2020). Modelagem hidrológica HEC-HMS da bacia hidrográfica do Rio Bauru. 2020. Dissertao de Mestrado em Agronomia (Irrigao e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronmicas da Unesp Campus de Botucatu.

8. ANEXOS

Anexo I – Dados dos poços inseridos no LeapFrog Works, contendo a espessura das camadas litológicas e descrições obtidas pelas bases de dados da CPRM e Projeto SACRE.

ID HOLE	from	to	Geology	Aquífero
P009	0	6	Solo alterado	Aquífero Bauru
P009	6	100	Arenito Argiloso	Aquífero Bauru
P617	0	20	Arenito Fino	Aquífero Bauru
P617	20	60	Arenito e Siltito	Aquífero Bauru
P618	0	50	Arenito Fino	Aquífero Bauru
P618	50	86	Arenito branco	Aquífero Bauru
P619	0	8	Solo alterado	Aquífero Bauru
P619	8	90	Arenito fino	Aquífero Bauru
P620	0	30	Arenito	Aquífero Bauru
3500047181	0	30	Arenito Médio	Aquífero Bauru
3500029562	0	50	Arenito Fino	Aquífero Bauru
3500029562	50	86	Arenito Fino	Aquífero Bauru
3500008285	0	70	Arenito	Aquífero Bauru
3500008285	70	86	Siltito	Aquífero Bauru
3500056864	0	28	Argilito	Aquífero Bauru
3500056864	28	36	Arenito	Aquífero Bauru
3500056864	36	76	Argilito	Aquífero Bauru
3500056864	76	77	Arenito	Aquífero Bauru
3500056864	77	102	Arenito	Aquífero Bauru
3500056864	102	121	Basalto	Serra Geral
3500056864	121	142	Arenito	Aquífero Guarani
3500056864	142	151	Arenito	Aquífero Guarani
3500056864	151	154	Arenito	Aquífero Guarani
3500008284	0	48	Arenito Calcífero	Aquífero Bauru
3500008284	48	134	Arenito Médio	Aquífero Bauru
3500008284	134	140	Argilito	Aquífero Bauru
3500008283	0	46	Arenito Calcífero	Aquífero Bauru
3500008283	46	140	Arenito Argiloso	Aquífero Bauru
3500008283	140	144	Siltito	Aquífero Bauru
3500029565	0	20	Arenito Fino	Aquífero Bauru
3500029565	20	60	Arenito Fino	Aquífero Bauru
3500008286	0	5	Arenito Fino	Aquífero Bauru
3500008286	5	16	Arenito Médio	Aquífero Bauru
3500008286	16	27	Arenito Calcífero Argiloso	Aquífero Bauru
3500008286	27	34	Arenito Calcífero	Aquífero Bauru
3500008286	34	50	Arenito Calcífero Argiloso	Aquífero Bauru
3500008286	50	58	Arenito Grosso	Aquífero Bauru
3500008286	58	103	Arenito Calcífero Argiloso	Aquífero Bauru
3500008286	103	123	Arenito Fino	Aquífero Bauru
3500008286	123	131	Siltito	Aquífero Bauru
3500008287	0	8	Areia Média	Aquífero Bauru

3500008287	8	16	Arenito Médio	Aquífero Bauru
3500008287	16	20	Arenito Médio	Aquífero Bauru
3500008287	20	24	Arenito Médio	Aquífero Bauru
3500008287	24	29	Arenito Argiloso	Aquífero Bauru
3500008287	29	34	Arenito Calcífero	Aquífero Bauru
3500008287	34	41	Arenito Argiloso	Aquífero Bauru
3500008287	41	49	Arenito Médio	Aquífero Bauru
3500008287	49	58	Arenito Médio	Aquífero Bauru
3500008287	58	63	Arenito Calcífero	Aquífero Bauru
3500008287	63	78	Arenito Médio	Aquífero Bauru
3500008287	78	99	Arenito Argiloso	Aquífero Bauru
3500008287	99	106	Arenito Argiloso	Aquífero Bauru
3500008287	106	114	Arenito Calcífero Argiloso	Aquífero Bauru
3500008287	114	139	Arenito Argiloso	Aquífero Bauru
3500008287	139	142.2	Siltito	Aquífero Bauru
3500007708	0	86	Formação Bauru	Aquífero Bauru
3500007708	86	123	Formação Serra Geral	Serra Geral
3500007708	123	154	Formação Botucatu	Aquífero Guarani
3500056877	0	26	Argilito	Aquífero Bauru
3500056877	26	60	Basalto	Serra Geral
3500056877	60	110	Arenito	Aquífero Guarani
3500025809	0	126	Grupo Bauru	Aquífero Bauru
3500025809	126	234	Formação Botucatu	Aquífero Guarani
3500056835	0	150	Grupo Bauru	Aquífero Bauru
3500056835	150	299	Arenito fino	Aquífero Guarani
3500007455	0	140	Grupo Bauru	Aquífero Bauru
3500007455	140	235	Basalto	Serra Geral
3500007455	235	302	Arenito fino	Aquífero Guarani
3500007057	0	100	Formação Bauru	Aquífero Bauru
3500007057	100	141	Formação Serra Geral	Serra Geral
3500007057	141	186	Formação Botucatu	Aquífero Guarani
3500007057	186	234	Formação Serra Geral	Aquífero Guarani
3500007057	234	404	Formação Botucatu	Aquífero Guarani
3500007057	404	406	Formação Estrada Nova	Aquífero Guarani