

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

INTEGRAÇÃO E MONITORAMENTO HIDROGEOLÓGICO EM BACIA EXPERIMENTAL NA CABECEIRA DO RIO BATALHA: BASE PARA MODELAGEM RIO-AQUÍFERO

*Carolina Fernanda dos Santos¹; Lina Maria Osorio Olivos²; Ricardo Hirata³; Arisvaldo Vieira
Méllo Júnior⁴; Alexandra Suhogusoff⁵*

Abstract: Integrated surface and groundwater modeling has gained prominence in studies focused on water resources management, especially in heavily anthropized basins with a seasonal tropical climate. This work presents the structure of an experimental basin at the headwaters of the Batalha River (Bauru, SP, Brazil) based on a monitoring network that includes piezometric wells, a streamflow gauge station, and Leaf Area Index (LAI) measurements. The collected data will help identify key hydrological and hydrogeological responses, providing insight into local water dynamics, with a particular emphasis on river–aquifer interaction zones. These elements will support the calibration of a coupled model integrating the distributed hydrological model RUBEM and the groundwater flow model MODFLOW, which will be used to simulate water allocation and management scenarios. As a result, the study aims to assess the impact of different strategies to mitigate water scarcity and enhance water availability in this strategic region for Bauru's urban water supply.

Resumo: A modelagem integrada de águas superficiais e subterrâneas tem ganhado destaque em estudos voltados à gestão hídrica, especialmente em bacias hidrográficas com forte antropização e clima tropical sazonal. Este trabalho apresenta a estruturação de uma bacia experimental na cabeceira do rio Batalha (Bauru, SP), com base em uma rede de monitoramento que inclui poços piezométricos, estação fluviométrica e medições do Índice de Área Foliar (LAI). Os dados levantados permitirão identificar respostas hidrológicas e hidrogeológicas fundamentais para a compreensão da dinâmica hídrica local, com ênfase nas zonas de interação rio-aquífero. Esses elementos subsidiarão a calibração de um modelo acoplado entre o modelo hidrológico distribuído RUBEM e o modelo de fluxo subterrâneo MODFLOW, com o qual serão simulados cenários de gestão e alocação de água. Espera-se, como resultado, avaliar o impacto de diferentes estratégias para mitigar a escassez e aumentar a disponibilidade hídrica nessa região estratégica para o abastecimento urbano de Bauru.

Palavras-Chave – monitoramento, integração rio-aquífero, uso e ocupação do solo.

¹) Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS|USP), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago 562. São Paulo (SP), 05508-080, (11) 3091-4230, carolina.fernanda.santos@alumni.usp.br

2) Laboratório de Sistema de Suporte à Decisão – LabSid da Escola Politécnica da USP. lina@labsid.eng.br

3) Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS|USP), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago 562. São Paulo (SP), 05508-080, (11) 3091-4230, rhirata@usp.br

4) Dep. de Eng. Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP. São Paulo-SP. arisvaldo@usp.br

5) Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS|USP), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago 562. São Paulo (SP), 05508-080, (11) 3091-4230, suhogusoff@usp.br

INTRODUÇÃO

A gestão sustentável dos recursos hídricos demanda o entendimento integrado dos processos que conectam os compartimentos que armazenam águas superficiais e subterrâneas. Essa integração é ainda mais necessária quando se consideram bacias hidrográficas sob intensa pressão antrópica, onde o uso conjuntivo de água superficial e subterrânea pode desempenhar papel estratégico na segurança hídrica (De Vries & Simmers, 2002; Foster et al., 2010; Olivos, 2023). A literatura destaca que, embora tradicionalmente tratados de forma separada, rio e aquífero constituem um sistema contínuo, no qual fluxos bidirecionais e interações dinâmicas ocorrem em diferentes escalas espaciais e temporais (Sophocleous et al., 1999; Zomlot et al., 2015).

A crescente demanda por água, associada à variabilidade climática e à ocupação intensiva do solo, exige ferramentas analíticas robustas que permitam avaliar o comportamento integrado dos sistemas hídricos. Nesse contexto, a modelagem hidrológica e hidrogeológica tem se consolidado como recurso fundamental para compreensão dos fluxos de água em bacias hidrográficas, além de permitir simular cenários futuros e subsidiar decisões de planejamento e gestão (Andersen et al., 2001; Araújo et al., 2024). Modelos distribuídos e fisicamente baseados são especialmente úteis em regiões tropicais, onde a diversidade de uso e de cobertura do solo influencia diretamente os padrões de recarga, escoamento superficial e vazão de base (Scanlon et al., 2006; Méllo Júnior et al., 2022). A cidade de Bauru (SP), com mais de 350 mil habitantes, é abastecida em cerca de 25% pelo rio Batalha, cuja vazão tem apresentado quedas expressivas, especialmente em períodos de estiagem prolongada. Para enfrentar essa vulnerabilidade, tornou-se essencial investigar estratégias de aumento da disponibilidade hídrica a partir da integração entre águas superficiais e subterrâneas e o possível uso combinado das fontes para atender a demanda. Nesse contexto, a recarga subterrânea representa a principal via de reposição dos aquíferos que, por sua vez, sustentam a vazão de base nos rios durante os períodos secos. Entender os mecanismos naturais de recarga permite o planejamento de intervenções eficazes que garantam maior resiliência hídrica ao sistema rio-aquífero.

Estudos evidenciam a importância da caracterização hidrogeológica e da simulação de fluxos subterrâneos para a avaliação da disponibilidade hídrica e do comportamento de aquíferos livres sob uso intensivo (Bertol, 2007; Carvalho, 2013; DAEE, 2015; Terada et al., 2022). Além disso, a conexão entre armazenamento subterrâneo e regimes de vazão de base tem implicações significativas para a manutenção de cursos d'água perenes e para o equilíbrio hidrológico em escala de bacia (Bart & Hope, 2014).

Diante desse cenário, o presente trabalho apresenta a estruturação para análise de uma bacia experimental na cabeceira do rio Batalha, com o objetivo de realizar o monitoramento hidrológico necessário à calibração de um modelo hidrogeológico acoplado RUBEM-MODFLOW, considerando as condições hidrogeológicas locais e os múltiplos usos do solo. A iniciativa justifica-se pela necessidade de aprimorar a compreensão dos mecanismos de recarga, escoamento e troca entre aquíferos e rios, especialmente em regiões tropicais com alta variabilidade hidrológica. Espera-se que os resultados contribuam para o avanço da modelagem integrada e para a formulação de estratégias mais eficazes de gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas fortemente antropizadas, possibilitando ainda a avaliação de cenários futuros e dos potenciais impactos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade e a segurança hídrica.

METODOLOGIA

Levantamento Bibliográfico

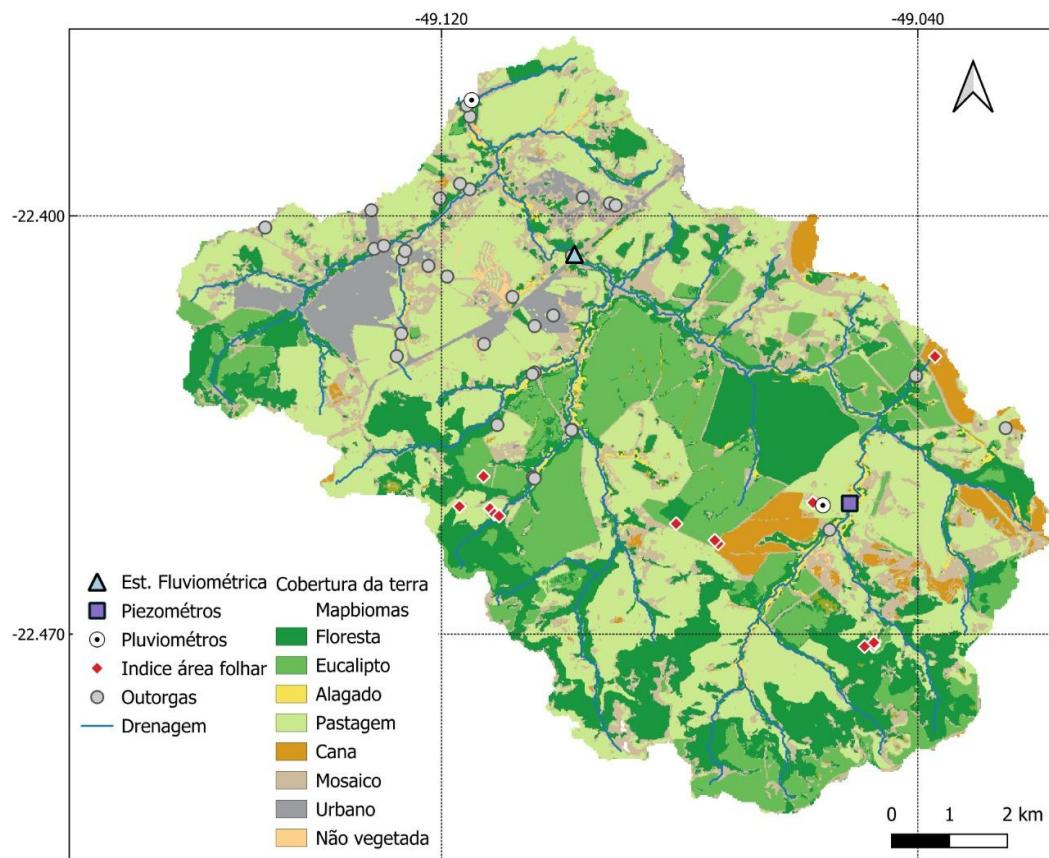
A primeira etapa do estudo consistiu em um levantamento bibliográfico abrangente sobre a integração entre águas superficiais e subterrâneas, com foco nas abordagens de modelagem acoplada em bacias hidrográficas sob forte pressão antrópica. Essa etapa foi fundamental para a construção do modelo conceitual da bacia experimental e para a definição dos parâmetros necessários à modelagem numérica integrada. Foram identificadas estratégias e estruturas metodológicas aplicadas em estudos prévios — como a combinação dos modelos RUBEM Hydrological (Rainfall rUnoff Balance Enhanced Model) e MODFLOW — que fundamentaram a escolha pelo acoplamento desses modelos no presente trabalho (Olivos et al., 2023). Além disso, a revisão bibliográfica permitiu reconhecer a necessidade de dados de entrada confiáveis, o detalhamento hidrogeológico e a representação adequada dos processos de recarga e interação rio-aquífero.

A recarga foi identificada como uma variável crítica, pois conecta os componentes superficiais e subterrâneos, influenciando tanto o nível do lençol freático quanto a manutenção dos fluxos nos cursos d'água. Diversos estudos analisados destacam que a acurácia na estimativa da recarga é determinante para o sucesso da calibração e da representatividade dos modelos acoplados.

Área de estudo

A bacia experimental situa-se na cabeceira do rio Batalha, abrangendo área de drenagem de 125 km² nos municípios de Bauru, Agudos e Piratininga. O rio Batalha abastece diretamente a cidade de Bauru e é alimentado por contribuições de base do Sistema Aquífero Bauru (SAB), unidade livre a semiconfinada constituída pelas formações geológicas Marília (topo) e Adamantina (base). A região apresenta clima tropical com índice pluviométrico médio de 1.300 mm/ano, com forte sazonalidade tendo a maior parte das chuvas concentrada entre os meses de outubro e março e com os meses de abril a setembro caracterizados como uma estiagem relativa, com baixos volumes de precipitação. A área de estudo apresenta predominantemente uso rural, com destaque para as culturas de eucalipto (15,7%), cana-de-açúcar (17,6%), pastagens (33,9%) e remanescentes de vegetação nativa (23,4%). Na área há predominância de solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, além de Latossolo Vermelho, Neossolos Litólicos e pequenas áreas de Gleissolos. A bacia e as informações coletadas têm sua localização apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Área de estudo e localização dos principais pontos de monitoramento instalados na bacia experimental do Batalha.



Monitoramento hidrológico da bacia do Batalha

- Hidrometeorologia: A rede de monitoramento contempla uma estação fluviométrica instalada pelo SPÁguas (ex-DAEE) a montante do ponto de captação do Departamento de Água e Esgoto (DAE), de modo a garantir o monitoramento contínuo da vazão do rio Batalha. A estação foi instalada a aproximadamente 12 km da nascente do rio, em local estratégico que combina facilidade de acesso e condições favoráveis de operação e manutenção dos equipamentos. Adicionalmente, existem na área dois pluviômetros, um automático perto da captação gerenciado pelo CEMADEN funcionando desde 2013 e outro manual instalado próximo aos poços de monitoramento instalados em 2025 (Figura 1), isto para garantir cobertura espacial da precipitação com boa resolução temporal.

- Vegetação e Uso do Solo: Para a caracterização da vegetação foram realizadas medições in-situ com o equipamento LAI-2200C Plant Canopy Analyzer, que permite estimar o Índice de Área Foliar (LAI) com base em medições da radiação difusa acima e abaixo da copa vegetal. As medições abrangem áreas com diferentes coberturas (e.g., pastagem, cana-de-açúcar, florestas secundárias) e complementados com séries temporais do MapBiomas e cálculos de NDVI obtidos por sensoriamento remoto fornecem insumos para o cálculo da evapotranspiração e escoamento no modelo RUBEM.

- Outros dados de entrada para simulação: Para a aplicação do modelo, além dos dados monitorados, foram integradas informações sobre tipo de solo (classificação textural e pedológica), modelo digital de terreno com resolução de 10 m - extraído do projeto COPERNICUS (AIRBUS,

2020) - e dados climáticos de temperatura e umidade relativa obtidos de estações meteorológicas da região (AGUDOS (2248019) - D5-041, BAURU (PDV) (2249012) - D6-088 e VAL DE PALMAS (2249010) -D6-057.

- Monitoramento Piezométrico, Modelo Geológico e Interação Rio-Aquífero: Foi realizado um levantamento detalhado dos poços cadastrados na bacia hidrográfica, priorizando aqueles com informações hidrogeológicas relevantes, como perfil construtivo e litoestratigráfico, profundidade, cota de referência, níveis estático e dinâmico, vazões e resultados de testes de bombeamento. Esses dados subsidiarão a representação da recarga, através de cálculos, e da exploração no modelo MODFLOW. A caracterização geológica e hidrogeológica da bacia foi conduzida com base em dados secundários disponíveis em estudos prévios, complementada por sondagens tipo SPT realizadas antes da perfuração dos poços de monitoramento, além de bancos de dados oficiais. Durante a perfuração, foram coletadas amostras de solo para descrição e caracterização e avaliação da profundidade do nível d'água para auxiliar na determinação da profundidade dos poços de monitoramento a serem instalados.

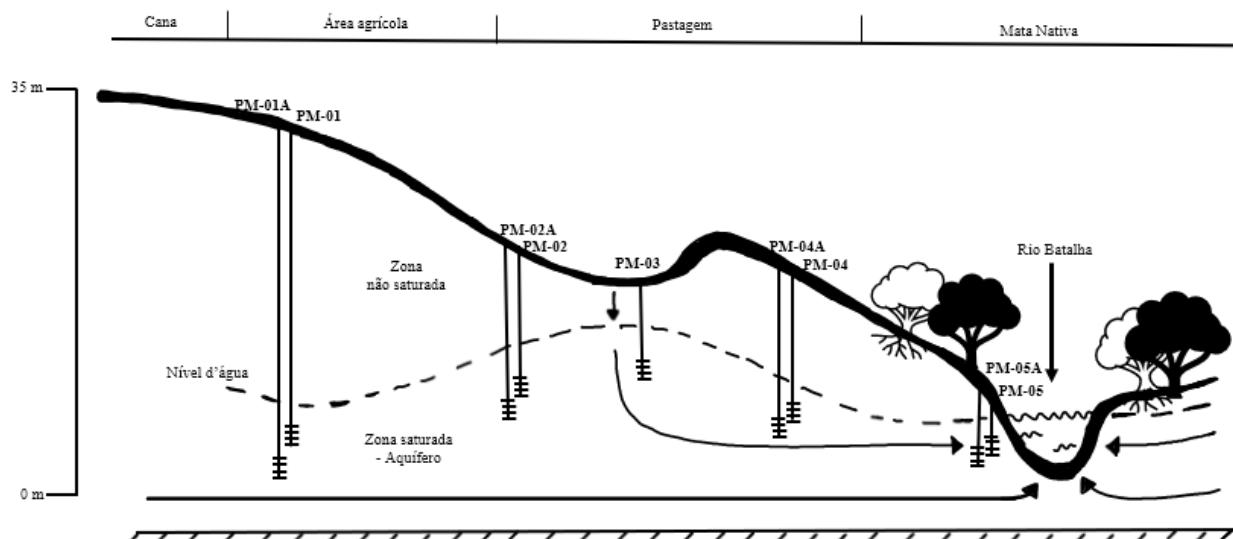
O levantamento de dados dos poços cadastrados, com presença de interpretação estratigráfica dos perfis, juntamente aos poços instalados em 2025, contribuirá para a definição das unidades hidroestratigráficas e parametrização espacial do modelo numérico.

Com o objetivo de avaliar a variação do lençol freático, considerando critérios como a topografia, o uso do solo, as características pedológicas, proximidade ao rio Batalha, facilidade de acesso com equipamentos e a anuência de proprietários do imóvel rural, e juntamente aos insumos compilados, procedeu-se à seleção de áreas com potencial para instalação de poços de monitoramento. Nessas propriedades, também foram levantadas informações sobre poços privados existentes.

A área escolhida para instalação dos poços está situada a cerca de 5 km da nascente do rio Batalha e aproximadamente 70 m de sua margem esquerda, em uma propriedade com solo predominantemente arenoso e nível d'água freático, variando entre 5 e 8 m de profundidade. Durante a perfuração dos poços, amostras de solo foram coletadas em diferentes profundidades para análise de propriedades físicas relevantes à modelagem, como permeabilidade, porosidade e condutividade hidráulica, que permitirão a construção de um modelo geológico conceitual e matemático 3D para incorporação ao MODFLOW. Foram instalados ao todo nove poços de monitoramento (Figuras 2 e 3), sendo 4 pares multiníveis e um poço simples, com a finalidade de monitorar a variação do nível d'água entre 5 m (PM-X) e 11 m (PM-XA) de profundidade, com frequência inicialmente, e, em breve, diária, após a instalação de transdutores de pressão em alguns dos poços. Deste modo, os dados servirão como base para o detalhamento do modelo conceitual e posteriormente, calibração e validação do modelo numérico o acoplado RUBEM-MODFLOW.

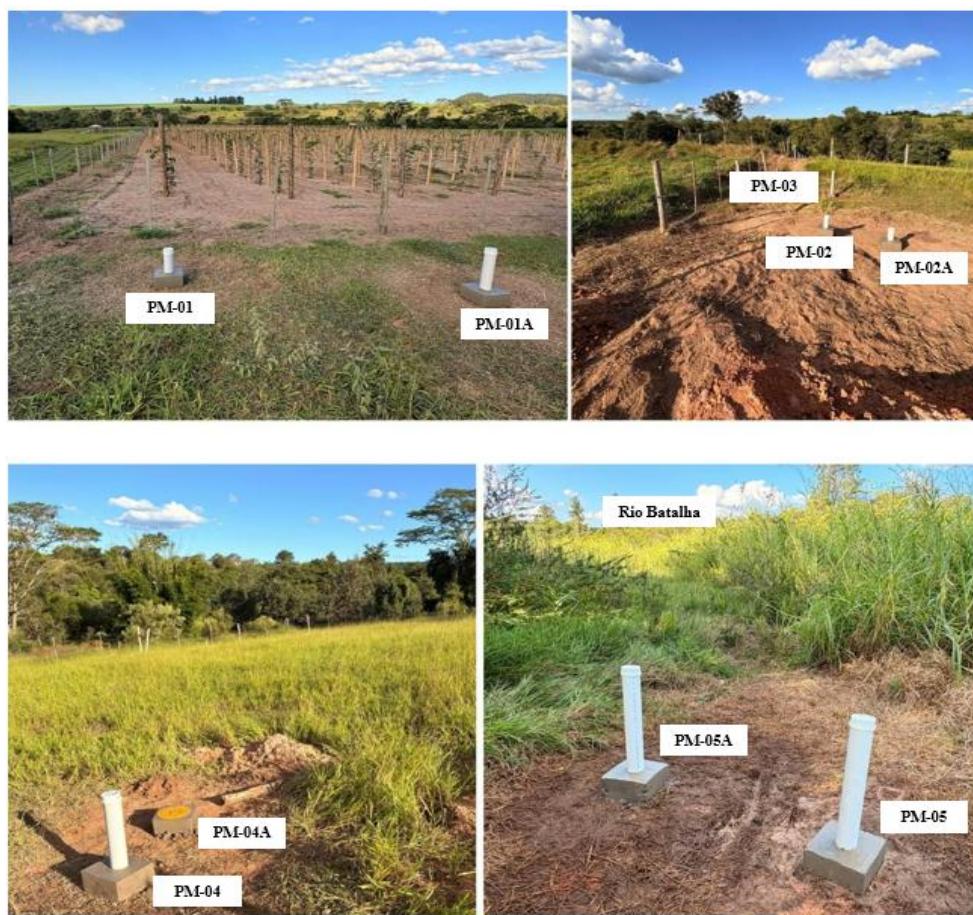
As informações obtidas até o momento servirão como base para as etapas subsequentes do estudo, que incluem a instrumentação para monitoramento contínuo de níveis d'água e vazão, além do desenvolvimento do modelo conceitual e posterior implementação do modelo numérico integrado para águas superficiais e subterrânea.

Figura 2. Conjunto de poços de monitoramento instalados na margem esquerda do rio Batalha - esquemático.



*PM-X – são poços de monitoramento rasos; PM-XA – são seus respectivos pares, instalados três metros mais profundos

Figura 3. Poços de monitoramento instalados.



FORMULAÇÃO DO MODELO ACOPLADO RUBEM-MODFLOW

A modelagem matemática constitui uma ferramenta poderosa para a simulação de processos hidrológicos e hidrogeológicos, possibilitando a representação de fluxos, balanços hídricos e simulação de cenários voltados à gestão de recursos hídricos. Modelos distribuídos, como o RUBEM (*Rainfall rUnoff Balance Enhanced Model*), permitem a incorporação da heterogeneidade espacial do uso do solo, relevo, solos e precipitação, sendo especialmente úteis em contextos tropicais (Méllo Júnior et al., 2022). Quando acoplados a modelos de fluxo de água subterrânea, como o MODFLOW, ampliam-se as possibilidades de representação da dinâmica integrada dos sistemas aquífero-rio (Sophocleous et al., 1999; Andersen et al., 2001).

A aplicação de modelos integrados tem avançado no Brasil, com destaque para estudos que consideram a recarga difusa, a extração por poços e a variação temporal de nível d'água em rios e aquíferos (Carvalho, 2013; Olivos, 2023). Araújo et al. (2024) reforçam a importância da modelagem hidrológica como apoio à gestão, destacando a necessidade de dados de entrada de qualidade e calibração adequada às condições locais.

Em regiões tropicais e subtropicais, como o Sudeste brasileiro, os desafios da gestão hídrica são intensificados pela forte sazonalidade das chuvas, uso intensivo do solo e alta densidade populacional. O Sistema Aquífero Bauru, por exemplo, é um importante sistema aquífero freático que abastece diversos municípios e sofre pressões relacionadas à captação, urbanização e alterações no uso da terra (Bertol, 2007; DAEE, 2015). A identificação de áreas de recarga e a compreensão dos mecanismos que conectam os diferentes compartimentos hídricos tornam-se então, de extrema importância para subsidiar políticas públicas eficazes.

Estudos como o conduzido pelo DAEE (2015) têm contribuído para o diagnóstico hidrogeológico regional, mas, ainda são escassos os trabalhos que promovem a simulação acoplada dos fluxos superficiais e subterrâneos. Além disso, a variabilidade climática e as incertezas associadas aos dados tornam essencial o desenvolvimento de modelos calibrados e adaptáveis a diferentes cenários (Scanlon et al., 2006; Zomlot et al., 2015).

O modelo RUBEM é um modelo hidrológico distribuído baseado em balanço hídrico, estruturado para operar com séries temporais e dados espaciais em grade regular. O balanço hídrico na zona radicular adotado no modelo tem como objetivo obter o escoamento total (Equação 1)

$$TU_R = TU_{R,t-1} + P_E - SR - LF - REC - ET_{REAL} \quad (1)$$

$$P_E = P_m - I \quad (2)$$

em que TU_R é o conteúdo de umidade na zona radicular (mm), $TU_{R,t-1}$ é o conteúdo de umidade no passo anterior (mm), P_E é a precipitação efetiva (mm) calculada na Equação 2, onde P_m é a precipitação mensal total (mm), I é a interceptação (mm) calculada com base nos valores de LAI e NDVI da área, SR representa o escoamento superficial (mm), LF o fluxo lateral (mm), REC a recarga para o aquífero (mm), e ET_{REAL} a evapotranspiração real total (mm).

No modelo, o escoamento lateral e a recarga são baseados no teor de umidade da camada radicular, no coeficiente de condutividade hidráulica, e em um coeficiente de particionamento que direciona o fluxo horizontal e verticalmente. As parcelas são calculadas para cada pixel da grade

definida pelo usuário, sendo no final acumuladas nas drenagens. A recarga líquida para o aquífero é dada pela Equação 3:

$$REC = (1 - f) \cdot K_R \cdot \left(\frac{TU_R}{TU_{SAT}} \right)^2 \quad (3)$$

E a Equação 4 define o escoamento lateral:

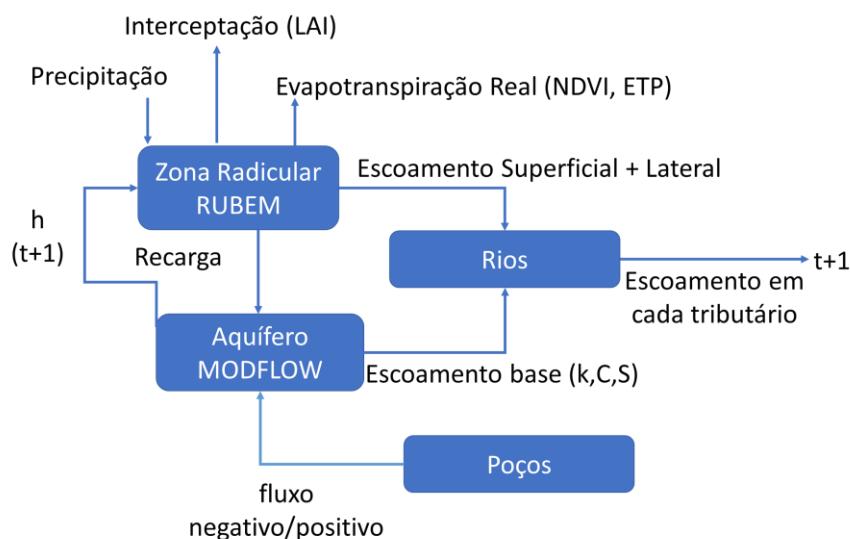
$$EL = f \cdot K_R \cdot \left(\frac{TU_R}{TU_{SAT}} \right)^2 \quad (4)$$

em que REC (mm) é a recarga por pixel, EL (mm) o escoamento lateral do pixel, f (-) o coeficiente de particionamento do fluxo horizontal e vertical, K_R (mm/mês) coeficiente de condutividade hidráulica da zona radicular, TU_R (mm) o teor de umidade para a zona radicular e TU_{SAT} (mm) o teor de umidade para saturação da zona radicular.

A integração com o MODFLOW é feita por meio de acoplamento explícito entre o fluxo subterrâneo e o escoamento superficial. O RUBEM fornece a recarga para o lençol freático, enquanto o MODFLOW calcula o nível piezométrico (h) e as trocas com o rio, com base na parametrização hidráulica, usando parâmetros como condutividade hidráulica na zona saturada (K), a condutância hidráulica (C) e o coeficiente de armazenamento (S). A interação permite modelar a resposta hidrológica integrada sob diferentes cenários de operação de sistemas de recarga.

A implementação considera uma estrutura sequencial RUBEM-MODFLOW, com o diagrama esquemático da estrutura de simulação adotada neste trabalho apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Esquema conceitual RUBEM-MODFLOW.



CONSIDERAÇÕES FINAIS E ETAPAS FUTURAS

A estruturação de uma bacia experimental com monitoramento multidisciplinar oferece uma base robusta para avanços em modelagem hidrológica e hidrogelogica acoplada. A integração dos

dados de campo permitirá compreender a recarga com foco no aumento da vazão do rio Batalha, fortalecendo a resiliência hídrica da cidade de Bauru.

A partir do conjunto de trabalhos realizados e dos resultados do monitoramento, será possível:

1. Avaliar a efetividade da recarga no modelo RUBEM-MODFLOW e como a replicação de sistemas de recarga impactaria a descarga no rio. Serão criados e avaliados cenários considerando operacionalidade, custos e oportunidades.
2. Avaliar como sistemas rio-aquífero podem contribuir para o aumento da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas com grandes usuários de água, como o município de Bauru.
3. Consolidar a infraestrutura de uma bacia experimental como produto metodológico e replicável, valorizando o papel do monitoramento contínuo para a gestão integrada dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Proc. 2020/15434-0) pelo apoio financeiro pelas bolsas de estudos das autoras.

REFERÊNCIAS

- AIRBUS. Copernicus DEM: Copernicus Digital Elevation Model Product Handbook, Version: 2.1. 2020. Disponível em <<https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>>. Acesso em 15 mai. 2020.)
- ANDERSEN, J., REFGAARD, J. C., & JENSEN, K. H. (2001). “*Distributed hydrological modelling of the Senegal River Basin—Model construction and validation*”. *Journal of Hydrology*, 247(3–4), 200–214.
- ARAÚJO, L., CIRILO, J., SILVA, J., & OLIVEIRA, D. (2024). “*Aplicação da modelagem hidrológica na gestão dos recursos hídricos: Uma revisão sistemática*”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17(4), 3084–3098.
- BART, R.; HOPE, A. (2014). “*Inter-seasonal variability in baseflow recession rates: The role of aquifer antecedent storage in central California watersheds*”, *Journal of Hydrology*, vol. 519, Part A, 2014, p205–213, ISSN 0022-1694.
- BERTOL, G. A. (2007). “*Avaliação da recarga anual no aquífero Bauru no município de Araguari, Minas Gerais*”. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais].
- CARVALHO, A. M. (2013). “*Modelagem numérica como ferramenta para a gestão das águas subterrâneas em São José do Rio Preto (SP)*”. [Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo].
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. (2015). “*Diagnóstico hidrogeológico e a elaboração de propostas para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município de Bauru/SP*”. (Relatório Técnico Final). São Paulo: DAEE/C3 Consultoria.
- DE VRIES, J. J., & SIMMERS, I. (2002). “*Groundwater recharge: An overview of processes and challenges*”. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 5–17.
- FOSTER, S., VAN STEENBERGEN, F., ZULETA, J., & GARDUÑO, H. (2010). “*Conjunctive use of groundwater and surface water: From spontaneous coping strategy to adaptive resource management*” (Strategic Overview Series No. 2). GWMATE – World Bank.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. (2000). “*Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes para a elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Pardo – Relatório Final*”. Relatório nº 40.670, 367 p.

MÉLLO JÚNIOR, A.V., OLIVOS, L.M.O., BILLERBECK, C., MARCELLINI, S.S., VICHETE, W.D., PASETTI, D.M., SILVA, L.M., SOARES, G.A.S., TERCINI, J.R.B. (2022). “*Rainfall runoff balance enhanced model applied to tropical hydrology*”. Water, 14(12), 1958.

OLIVOS, L.M.O. (2023). “*Proposta metodológica para a gestão do uso conjunto de água superficial e subterrânea aplicada numa bacia do Estado de São Paulo*”. [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo].

OLIVOS, L.M.O.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; SORAES, G.A. dos S. (2023). “*An approach for water allocation with a couple surface and groundwater model*”. Journal of Applied Water Engineering and Research pp. 1-15. Doi 10.1080/23249676.2023.2253151

SCANLON, B. R.; KEESE, K.E.; FLINT, A.L.; FLINT, L.E.; GAYE, C.B.; EDMUNDS, W.M.; SIMMERS, I. (2006) “*Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions*”, Hydrol. Processes, 20(15), 3335–3370.

SOPHOCLEOUS, M.A., PERKINS, S.P., MARTIN, D.A., MCALLISTER, J., & KNOLL, M.S. (1999). “*Integrated numerical modeling for basin-wide water management: The case of the Rattlesnake Creek Basin in south-central Kansas*”. Journal of Hydrology, 214, 179–196.

TERADA, RAFAEL & HIRATA, RICARDO & GALVÃO, PAULO & SARAIVA, FERNANDO & TASSE, NORIO & LUIZ, MARIANA & CONICELLI, BRUNO. (2022). “*Hydraulic relationship between aquifer and pond under potential influence of eucalyptus and sugarcane in tropical region of São Paulo, Brazil*”. Environmental Earth Sciences. 81. 10.1007/s12665-022-10349-1.

ZOMLOT, Z.; VERBEIREN, B.; HUYSMANS, M.; BATELAAN, O. (2015). “*Spatial distribution of groundwater recharge and base flow: Assessment of controlling factors*”, Journal of Hydrology: Regional Studies, vol.4, Part B, 2015, p349-368, ISSN 2214-5818.