GESTÃO DO AQUÍFERO PARA AUMENTO DE VAZÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA DO VALE DO PARAÍBA

Rodrigo da Silva Prado[(1)]
Engenheiro Civil (UEGP), especialista em Gerenciamento de Projetos (FGV) e Engenharia Diagnóstica (UNIP). Atua há 5 anos na Sabesp, com foco em gestão de contratos e projetos no Departamento Técnico e Qualidade da Implementação Interior e Litoral Norte – ERQ.

Endereço[(1)]**:** Avenida do Estado, 561 - Unidade III - Ponte Pequena - São Paulo - São Paulo - 01107-900 - Brasil – Tel.: +55 (11) 3388-6345 - e-mail: rodrigoprado@sabesp.com.br

RESUMO

A resiliência hídrica é essencial para garantir o abastecimento em regiões com alta demanda e recursos hídricos limitados. Na Bacia do Vale do Paraíba, onde 25% do abastecimento de água é proveniente de poços tubulares profundos, a Sabesp enfrentou desafios relacionados à infraestrutura comprometida, ausência de telemetria e práticas de manutenção inadequadas. A exploração hídrica realizada sem critérios técnicos adequados resultou em uma redução de 30% na capacidade produtiva dos poços. Para mitigar esses desafios, a Sabesp implementou um projeto pioneiro de gestão integrada dos aquíferos, através de estudos hidrogeológicos, revitalização, reativação e perfuração de poços. A revitalização incluiu limpeza, substituição de bombas submersas, tubulações, cabos elétricos e cavaletes. A reativação focou em poços inativos, recondicionados e reintegrados ao sistema, enquanto novos poços foram perfurados seguindo estudos hidrogeológicos, superando as expectativas de vazão. A implementação da telemetria permitiu o monitoramento em tempo real da vazão, dos níveis dos poços e do consumo energético, otimizando a gestão e reduzindo perdas operacionais. As intervenções realizadas têm potencial de aumentar a vazão em 840,74 L/s e reduzir o consumo de energia em 36,75%, demonstrando que a gestão integrada, modernização da infraestrutura e tecnologias avançadas são essenciais para um abastecimento mais eficiente e resiliente.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Aquíferos; Resiliência Hídrica; Águas Subterrâneas

INTRODUÇÃO

O Vale do Paraíba, situado entre o Sudeste do Estado de São Paulo e o Oeste do Estado do Rio de Janeiro, desempenha um papel estratégico no abastecimento público de água. Historicamente, a região depende predominantemente de mananciais superficiais, mas a crescente pressão sobre esses recursos, causada pelo despejo inadequado de efluentes e práticas insustentáveis de uso tem comprometido a qualidade das águas, ampliando os custos de tratamento e dificultando a segurança hídrica.

Nesse cenário, a captação de águas subterrâneas por meio de poços tubulares profundos surge como uma solução estratégica para aumentar a resiliência hídrica regional. Com maior qualidade e menores custos operacionais, os aquíferos representam cerca de 25% do abastecimento público no Vale do Paraíba, sendo explorados por 109 poços operados pela Sabesp, com uma produção total de 1.158,45 L/s. Apesar da relevância desses sistemas, parte das instalações encontra-se em operação há mais de três décadas, o que reforça a importância de investimentos contínuos na modernização da infraestrutura e no aprimoramento de rotinas de manutenção, com foco na eficiência operacional e na preservação da vida útil dos ativos.

Além disso, a exploração dos aquíferos por grandes consumidores não vinculados ao serviço público de abastecimento muitas vezes ocorre de forma não controlada, levando à superexploração e ao rebaixamento dos níveis dos mananciais subterrâneos. Essa realidade reflete a necessidade de uma gestão mais robusta e integrada, capaz de equilibrar a demanda crescente com a preservação sustentável das reservas aquíferas.

Reconhecendo esse contexto, a Sabesp empreendeu um projeto pioneiro na Unidade de Negócio Vale do Paraíba, integrando estudos hidrogeológicos detalhados, modernização tecnológica e melhorias operacionais.

Com a implantação de sistemas de telemetria, foi possível monitorar em tempo real a operação dos poços, enquanto ações de revitalização, reativação e perfuração de novos poços, direcionadas por estudos hidrogeológicos realizados, ampliaram significativamente a produção e eficiência dos sistemas.

Esse trabalho destaca como a integração de dados operacionais, modernização tecnológica e intervenções direcionadas podem não apenas revitalizar sistemas de captação desgastados, mas também estabelecer um modelo sustentável para a gestão hídrica em regiões com desafios semelhantes.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar a experiência da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) na implantação de um projeto de modernização e gestão integrada dos sistemas de captação de águas subterrâneas no Vale do Paraíba. Por meio de estudos hidrogeológicos detalhados, implantação de telemetria e intervenções operacionais, como a revitalização, reativação e perfuração de novos poços, a Sabesp buscou ampliar a produção de água, otimizar a eficiência energética e preservar a vida útil dos aquíferos, garantindo a resiliência hídrica e a sustentabilidade do abastecimento regional.

Os objetivos específicos do projeto executado são:

- Atualização tecnológica e recuperação dos ativos ligados à captação de águas subterrâneas;
- Incremento da reserva hídrica com o aumento da vazão dos poços com expectativa na ordem de 400 L/s;
- Incremento da eficiência operacional e redução de 20% no parâmetro de consumo de energia por volume produzido (kWh/m³ produzido);
- Preservar a integridade e a vida útil dos aquíferos locais através da modelagem continuada e gestão dos aquíferos e garantir a segurança das águas;
- Recuperação de níveis de água por meio de limpeza e desobstrução das seções filtrantes dos poços;
- Readequação do regime operacional dos poços a partir da execução de testes de vazão e dimensionamento de conjuntos motobomba mais eficientes;
- Cumprimento das exigências legais estabelecidas pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) com a implantação de sistemas de telemetria e geração do controle documental;
- Propiciar rapidez e agilidade na execução das manutenções corretivas preditivas e preventivas evitando o desabastecimento e a reclamação dos clientes;
- Orientar os planos de expansão através do mapeamento e indicação de áreas potenciais para a captação de águas subterrâneas por meio de novos poços;
- Aferir o volume produzido pelos mananciais de forma confiável;
- Redução das perdas comerciais através da identificação e cadastro atualizado de usuários que possuem poços tubulares profundos nos municípios de concessão da Sabesp, com a consequente medição e cobrança dos serviços relacionados à coleta e tratamento dos esgotos;
- Atualização tecnológica das ferramentas utilizadas no controle operacional dos sistemas de bombeamento e controle com o uso de automação;
- Subsidiar, com o envio de informações específicas, o futuro Plano de Segurança das Águas a ser elaborado pela Sabesp conforme estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde.

METODOLOGIA UTILIZADA

a) Implantação e Pré-Operação

A fase de implantação e de pré-operação iniciou-se com visitas técnicas aos poços tubulares profundos em quinze municípios da Unidade de Negócio Vale do Paraíba da Sabesp, seguida da elaboração de relatórios contendo informações básicas, como dados hidrodinâmicos (vazão, nível estático e nível dinâmico), dados elétricos (condições do painel de acionamento, transformador, padrão de entrada) e dados de infraestrutura (condições de acesso, segurança, cercamento e iluminação da área).

A compilação dos dados e visitas sistemáticas em período mínimo de 30 dias permitiram o estabelecimento do momento t0, que determina valores para o desempenho operacional (vazão explorada e tempo de bombeamento diário) e eficiência energética (consumo em kWh/m³) dos poços antes das intervenções e limpezas.

As intervenções realizadas envolveram tanto a revitalização de poços em operação quanto a reativação de poços inativos. O processo de revitalização incluiu a retirada dos equipamentos de bombeamento originais, a realização de perfilagem óptica para inspeção das condições construtivas e a aplicação de produtos desincrustantes e removedores de óxidos e argilominerais, em conjunto com jateamento e escovação das seções filtrantes. Após a limpeza, foi realizado o bombeamento para remoção dos resíduos gerados, seguido da instalação de novos conjuntos motobomba dimensionados para atender ao melhor regime de operação, otimizando vazão e tempo de bombeamento. Os testes de vazão realizados ao final do processo foram interpretados de forma a determinar o dimensionamento ideal dos equipamentos e maximizar a eficiência energética.

A reativação de poços inoperantes seguiu etapas semelhantes às de revitalização, porém com foco na adequação das condições estruturais e operacionais para retorno à produção. Além disso, foram instalados novos componentes como tubulação edutora, cavaletes e painéis de comando de motor para garantir a confiabilidade e eficiência do sistema.

A perfuração de novos poços tubulares profundos foi realizada em conformidade com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2006; 2017), Sabesp (Sabesp, 2020; 2025) e Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 2019). A locação desses poços foi direcionada pelos resultados dos estudos hidrogeológicos conduzidos, priorizando áreas com maior favorabilidade hídrica e alinhando a escolha das localidades às necessidades de abastecimento da Sabesp.

b) Estudos Hidrogeológicos

Para a elaboração dos estudos de avaliação hidrogeológica, foi realizado o levantamento e a digitalização das informações existentes da área de estudo, no que diz respeito a informações de 1.163 poços cadastrados nos Sistemas de Informações de Águas Subterrâneas SIDAS e SIAGAS, contendo dados de identificação do poço, coordenadas UTM (SIRGAS2000), elevação e profundidade do poço, perfil construtivo, perfil geológico, profundidades (intervalos) das seções filtrantes, diâmetros de perfuração e revestimento, dados de vazão (em m³/h), nível estático, nível dinâmico e parâmetros físico-químicos da água. Além disso, foram compilados dados do cadastro de áreas contaminadas da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), mapas diversos, séries históricas das vazões de bombeamento nos pontos de captação de água, informações de monitoramento de vazão dos rios, monitoramento hidroquímico (qualidade), dados climáticos, dados históricos de precipitação, evaporação, evapotranspiração potencial, localização das estações climáticas (locais, regionais) e identificação de poços de terceiros, para posterior ação da Sabesp de medição e cobrança dos serviços relacionados à coleta e tratamento dos esgotos.

De modo conjunto ao levantamento da base de dados, foi estruturado um banco integrado de dados, que serve como ferramenta de apoio na análise das informações obtidas. A base de dados permite a interação com softwares de Sistema de Informações Geográficas - SIG (ex.: ArqGis, QGIS, etc.), sistema de gerenciamento de dados ambientais e de água subterrânea (Hydro GeoAnalyst HGA, ou similar) e de gestão operacional de poços. O software de sistema de gerenciamento de dados ambientais e de água subterrânea permite armazenar dados ambientais de monitoramento, dados construtivos e geológicos de poços tubulares cadastrados e outras informações adquiridas na etapa de levantamento de dados. A estruturação do banco de dados permitiu a elaboração de 11 modelos hidrogeológicos conceituais (Tabela 1).

O modelo hidrogeológico conceitual representa uma síntese do que se conhece sobre a área de interesse do ponto de vista do seu contexto hidrogeológico, incluindo o entendimento teórico de como a água se move no subsolo (velocidade, vazão e direção de fluxo), bem como dos mecanismos relacionados à sua entrada (recarga) e saída (descarga) do meio hídrico subterrâneo. Em trabalhos relacionados à gestão de recursos hídricos, um dos propósitos principais do modelo hidrogeológico conceitual é estabelecer a capacidade

produtiva do(s) sistema(s) aquífero(s) de modo que se possa estabelecer limites adequados para sua explotação e desta forma assegurar o abastecimento hídrico de longo prazo.

Tabela 1: Modelos hidrogeológicos conceituais elaborados

Modelo Hidrogeológico Conceitual
1. Canas e Lorena
2. Roseira e Pindamonhangaba
3. Taubaté e Tremembé
4. Caçapava
5. São José dos Campos
6. Bananal e Arapeí
7. Silveiras
8. Jambeiro
9. Guararema
10. Santa Isabel
11. Monteiro Lobato

Fonte: O Autor, 2025.

Os modelos hidrogeológicos conceituais serviram como base para a construção do modelo geológico 3D e modelo de fluxo regional dos aquíferos nos softwares LeapFrog e MODFLOW (malha não estruturada), respectivamente. Um modelo hidrogeológico 3D é uma representação tridimensional detalhada que descreve a distribuição das características geológicas em uma determinada área. Esse modelo integra dados geológicos, como camadas de rochas, falhas e outras características estruturais, para fornecer uma visão abrangente da estrutura geológica. Utilizando ferramentas de modelagem avançadas, como o Leapfrog, ele permite uma compreensão precisa das características geológicas, essencial para a análise e gestão de recursos naturais.

Para o desenvolvimento dos modelos geológicos 3D, as seguintes atividades foram cumpridas: (i) integração de informações geológicas, como descrições de sondagens, modelos de blocos, dados geofísicos, mapas geológicos e medidas estruturais na geração do modelo geológico; (ii) exportação direta das litologias para a grade/malha numérica desenvolvida para o software de modelagem de fluxo a ser utilizado; (iii) exportação para o pacote de modelagem de fluxo um modelo 3D que considere as principais feições de interesse hidrogeológico (contatos, estruturas, orientação e mergulho das unidades litológicas, etc.) para que estas sejam representadas e consideradas no modelo numérico de fluxo subterrâneo.

Para o desenvolvimento do modelo de fluxo regional, as seguintes etapas foram executadas: (i) definição dos objetivos; (ii) caracterização do sistema natural/modelo conceitual; (iii) seleção do código numérico; (iv) construção do modelo (domínio, malha numérica, condições de contorno, propriedades); (v) exportação do arcabouço geológico/estratigráfico diretamente do software de modelagem geológica escolhido para o software de modelagem de fluxo. Este arcabouço definirá a geometria do modelo de fluxo, sobre a qual serão inseridos os dados de entrada do modelo. Estes dados de entrada incluem as várias unidades hidroestratigráficas (que podem coincidir com a geologia definida anteriormente), dados topográficos, propriedades hidrodinâmicas dos aquíferos e aquitardes (valores de condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento); (vi) verificação da discretização do modelo e introdução de condições de contorno; (vii) apresentação das condições de nível de água subterrânea observados nos poços existentes, além de outras medições indiretas, tais como fluxo de base para cursos de água superficial; (viii) calibração do modelo; (ix) identificação dos parâmetros-chave do sistema de fluxo; (x) quantificação das incertezas associadas aos mesmos e simulações preditivas.

A compilação das informações dos modelos hidrogeológicos conceituais, modelos de fluxo e modelagem 3D permitiram a elaboração do mapa de favorabilidade hídrica e, posteriormente, do plano de monitoramento, do mapa de zoneamento explotável para os aquíferos cristalino e sedimentar e do plano de gestão de recursos hídricos.

O mapa de favorabilidade hídrica reúne informações de taxas de recarga, litologia dos aquíferos, capacidade específica, vazão dos poços cadastrados, proximidade de drenagens, presença/densidade de lineamentos e outras feições estruturais, condutividade elétrica e/ou outro parâmetro indicativo da qualidade da água.

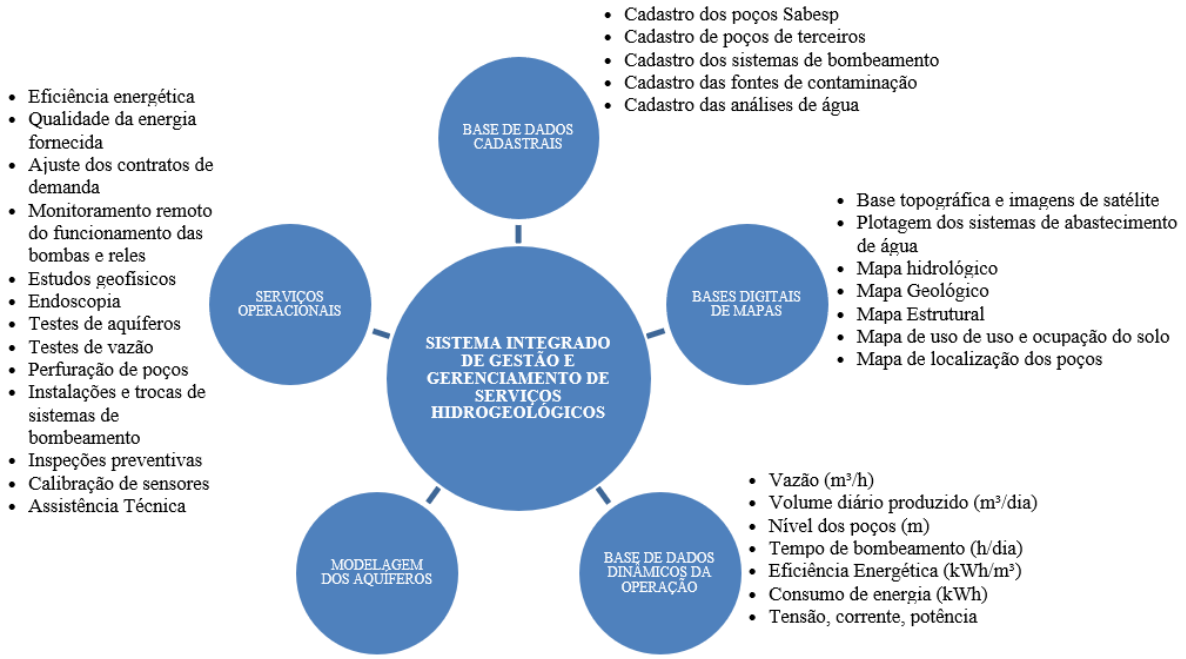
O plano de monitoramento contém dados de locais a serem considerados para monitoramento hidrogeológico, aquífero(s) a serem monitorado(s), parâmetros de interesse, frequência recomendada de leituras/medições, ajustes necessários nos poços e outros pontos relevantes para a implantação do sistema de monitoramento.

A elaboração do mapa de zoneamento explotável inclui zonas de restrição de uso e perímetro de proteção de poços, com base em critérios de tempo de transporte de eventuais contaminantes presentes no aquífero. Além disso, o balanço hídrico setorial divide a área em compartimentos distintos, considerando a disponibilidade hídrica, o nível de rebaixamento e a qualidade da água subterrânea.

O plano de gestão de recursos hídricos utiliza o modelo numérico de fluxo e aponta zonas de superexploração, assim como os locais/setores mais indicados para instalação de novos poços pela Sabesp e para aumento da oferta de água nos sistemas de abastecimento.

A Figura 1 ilustra a estruturação do Sistema Integrado de Gestão e Gerenciamento de Serviços Hidrogeológicos, destacando a integração da modelagem dos aquíferos, bases de dados cadastrais, bases digitais de mapas, bases de dados dinâmicos da operação e serviços operacionais.

Figura 1: Esquema do Sistema Integrado de Gestão e Gerenciamento de Serviços Hidrogeológicos



Fonte: O Autor, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Implantação e Pré-Operação

A validação do momento t0 dos poços, que representa a avaliação de seu desempenho operacional (vazão explorada e tempo de bombeamento diário) e eficiência energética (consumo em kWh/m³) antes das intervenções e limpezas obteve uma produção média de 1158,45 L/s.

As revitalizações e limpezas foram realizadas em 105 dos 109 poços da Sabesp (96,33% dos poços atendidos). Os testes de vazão realizados serviram para embasar o dimensionamento dos novos conjuntos motobomba, os quais têm potencial para gerar incremento de 558,16 L/s. Até o momento, foram instalados 71 CMB's do total dimensionado (65,14% dos CMB's).

Quanto às perfurações, 10 novos poços já foram construídos (incremento de 147,44 L/s) e 1 poço está em fase de construção, do total de 11 poços a serem perfurados.

Quanto às reativações de poços parados, foram executadas as limpezas de todos os 6 poços a serem reativados. Os testes de vazão indicaram aumento potencial de 135,14 L/s.

O aumento potencial total de vazão até o momento, considerando todas as intervenções, é de 840,74 L/s.

b) Estudos Hidrogeológicos

b.1.) Modelos hidrogeológicos conceituais

A compilação e interpretação sistemática de informações de 1.163 poços (Sabesp e particulares), incluindo dados de localização, nível estático, nível dinâmico, profundidade, posição de seções filtrantes, vazão, perfil construtivo e perfil litológico, aliada a informações de dados climáticos (precipitação, evapotranspiração e temperatura), dados de monitoramento de corpos hídricos (vazão de rios) e geológicos/geomorfológicos (declividade, porosidade de solos) permitiu a construção de uma extensa base de dados, que subsidiou a elaboração de 11 modelos hidrogeológicos conceituais, cujos resultados são apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Resultados dos modelos hidrogeológicos conceituais elaborados

MUNICÍPIO	RECARGA (L/s) (ENTRADA)	PRODUÇÃO POÇOS (L/s) (SAÍDA)	VOLUME DISPONÍVEL (L/s)
Bananal e Arapeí	6.463,61	22,22	6.441,39
Caçapava	7.851,39	634,17	7.217,22
Guararema	6638,8889	194,44	6.444,44
Jambeiro	1.377,222	63,33	1.313,89
Lorena e Canas	8.586,39	993,33	7.592,78
Monteiro Lobato	3.264,44	44,44	3.220,00
Roseira e Pindamonhangaba	11.200,28	180,56	11.019,72
Santa Isabel	3.520,28	25,83	3.494,44
São José dos Campos	18.623,33	4.600,28	14.023,05
Silveiras	3.494,44	17,22	3.477,22
Taubaté e Tremembé	14.206,67	350,00	13.856,67
TOTAL	**85.226,94**	**7.125,82**	**78.101,12**

Fonte: O Autor, 2025.

Conforme observado, nos 15 municípios integrantes do estudo, há uma disponibilidade de 78.101,12 L/s de água que podem ser captados por meio de poços tubulares profundos.

b.2.) Plano de Gestão e Monitoramento e modelagem numérica

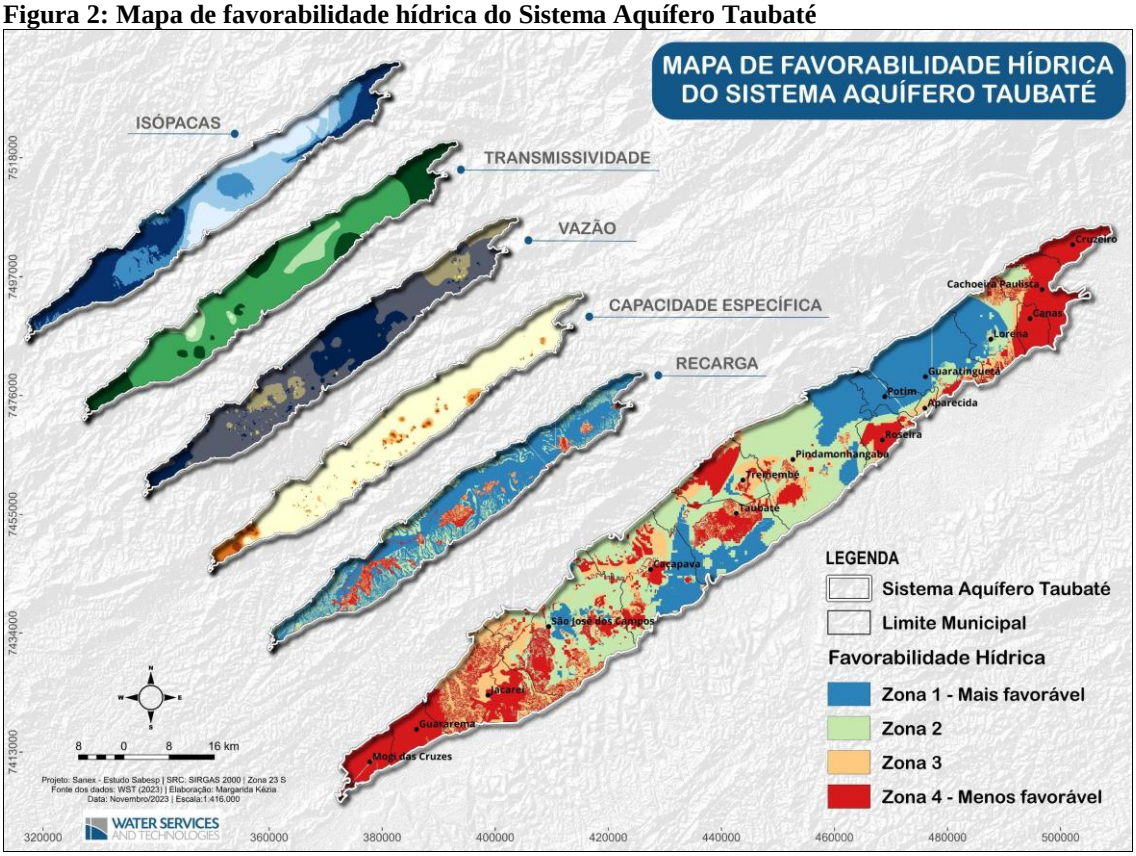
O plano de gestão e monitoramento de recursos hídricos no Vale do Paraíba apontou duas áreas distintas quanto à favorabilidade hídrica.

O Sistema Aquífero Taubaté (SAT) possui boa favorabilidade hídrica na maior parte de sua extensão. A Figura 2 apresenta o mapa de favorabilidade hídrica do SAT. As zonas mais favoráveis localizam-se nos municípios de São José dos Campos, Caçapava e Lorena, e isso se deve principalmente a maiores espessuras de sedimentos da Bacia de Taubaté e maior transmissividade, vazões e capacidade específica dos poços. As regiões menos favoráveis localizam-se nas bordas da bacia, nos municípios de Mogi das Cruzes, Guararema, Canas e Cruzeiro. Localmente há zonas de baixa favorabilidade hídrica na bacia localizadas na porção central de São José dos Campos, Caçapava, Taubaté e Tremembé, em função da maior ocorrência de camadas de sedimentos finos, principalmente nas regiões de Taubaté e Tremembé e do alto estrutural do embasamento localizado na região de Caçapava.

O Sistema Aquífero Cristalino (SAC) apresenta uma complexidade mais alta em relação ao SAT devido às suas características hidrogeológicas (fluxo em meio fraturado). A Figura 3, apresenta o mapa de favorabilidade hídrica do SAC. Este sistema aquífero possui alta favorabilidade apenas no entorno imediato dos lineamentos estruturais mapeados. Entretanto, foi possível identificar regiões de baixa favorabilidade hídrica, considerando

os parâmetros utilizados, sendo estas: Guararema, sul de Santa Isabel e Lorena, norte de Tremembé e Pindamonhangaba e oeste de Bananal.

Figura 2: Mapa de favorabilidade hídrica do Sistema Aquífero Taubaté



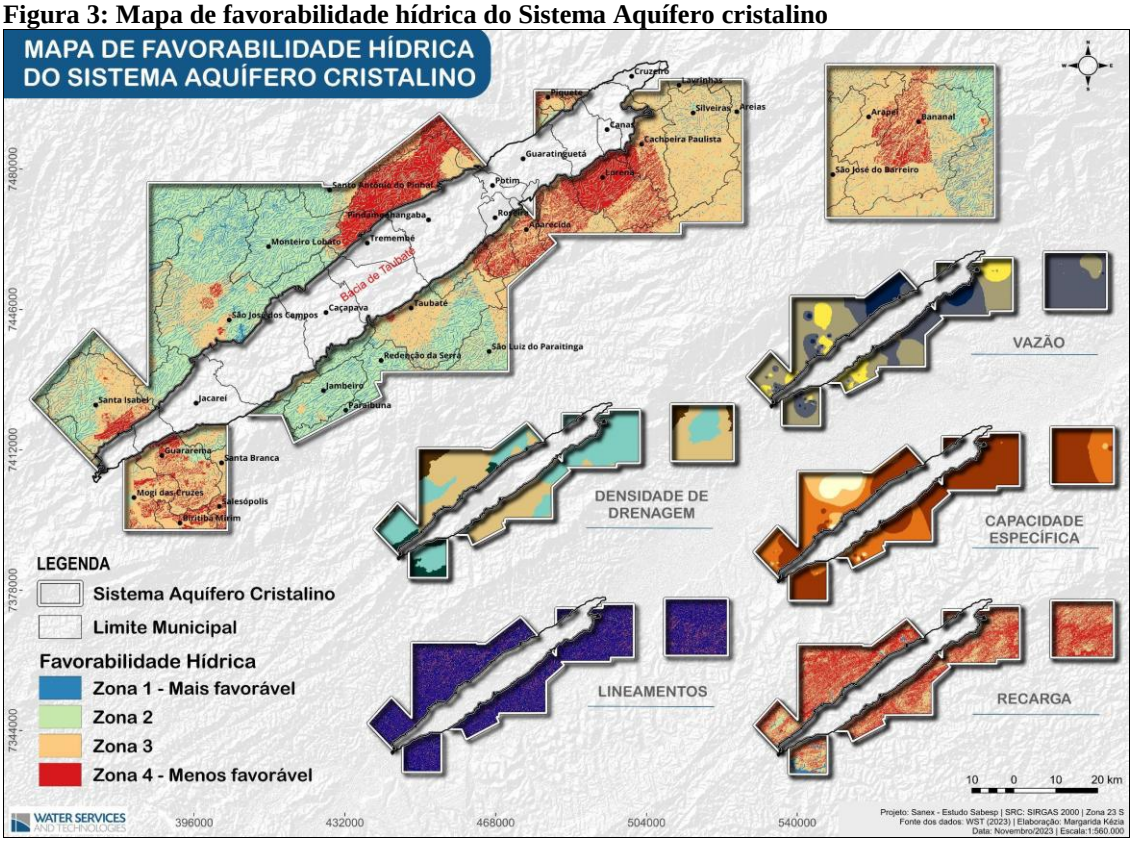
Fonte: O Autor, 2025.

Com respeito ao mapa de zoneamento hídrico explotável (Figura 4), o SAT possui uma extensa área onde é possível expandir os sistemas de captação hídrica subterrânea por meio da instalação de novos poços tubulares, com destaque para a região norte do município de Lorena e região sul dos municípios de Caçapava, Tremembé e São José dos Campos. Para São José dos Campos, existe um cenário favorável para a construção de 40 novos poços tubulares profundos até 2035, na região Sul, que teria potencial de fornecer um incremento de 48.000 m³/dia, sem causar impactos significativos nos poços já existentes ou no rebaixamento do aquífero.

Foram delimitadas também zonas onde não é recomendável a expansão do sistema de captação (Figura 5). Para a delimitação destas zonas foram utilizadas algumas premissas como: raio de influência dos poços tubulares em operação, zonas com alta concentração de poços e potencial para rebaixamento excessivo dos níveis d'água e áreas de proteção relacionadas a corpos hídricos superficiais. Estas zonas estão localizadas no entorno de todos os poços tubulares ativos, na zona nordeste de São José dos Campos e noroeste de Caçapava e nas zonas centrais de Lorena e Caçapava.

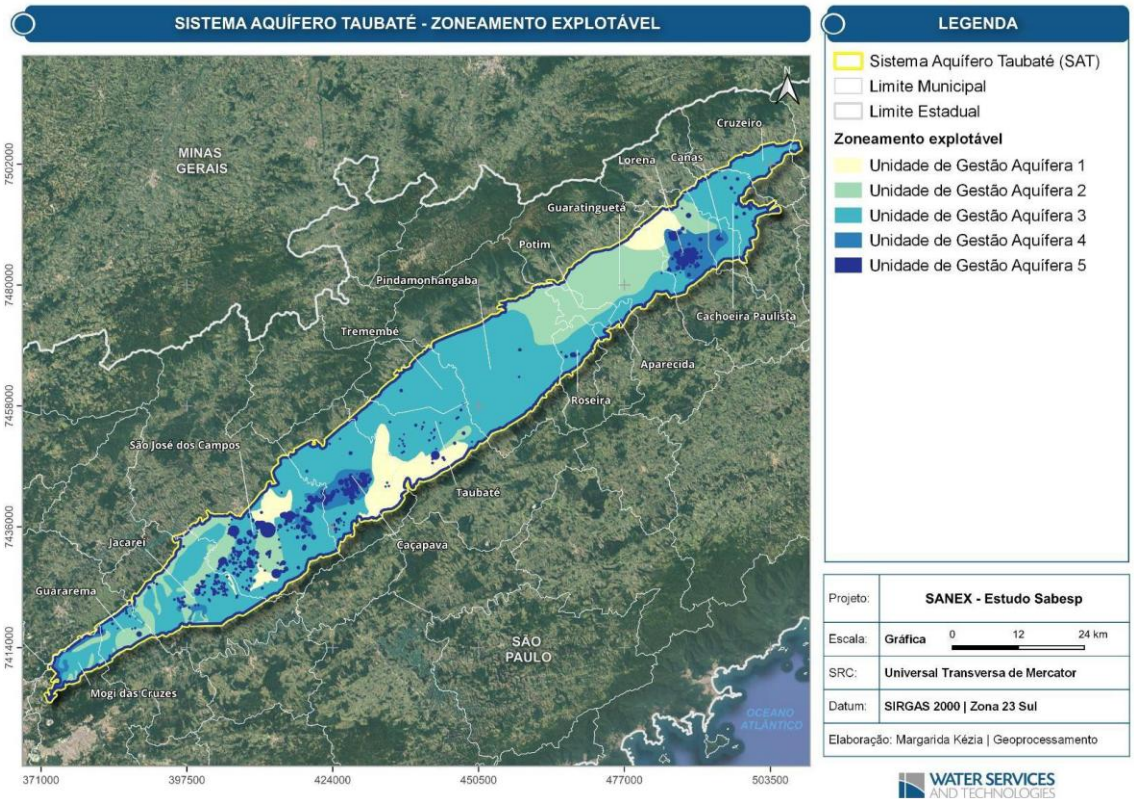
Para o SAC, o mapa de zoneamento hídrico explotável é similar ao mapa de favorabilidade hídrica, uma vez que não há restrições significativas para a expansão dos sistemas de captação, pois não há zonas potencialmente rebaixadas. Além disso, foi identificado um excedente hídrico em todas as sub-bacias analisadas. Desse modo, foram delimitadas 4 unidades de gestão de aquífero, sendo as unidades 1 e 2 as áreas as mais propícias para a instalação de novos poços de captação de água subterrânea e para a expansão dos sistemas de abastecimento, em virtude da presença de lineamentos estruturais expressivos. A unidade 4 corresponde a áreas de restrição (entorno de poços tubulares e corpos hídricos superficiais). Destaca- se que para a implantação de novos poços de captação do SAC, independente da zona considerada, é necessária a investigação prévia, utilizando métodos geofísicos de superfície, para determinar os locais com maior probabilidade de interceptação de estruturas condutoras de água subterrânea.

Figura 3: Mapa de favorabilidade hídrica do Sistema Aquífero cristalino



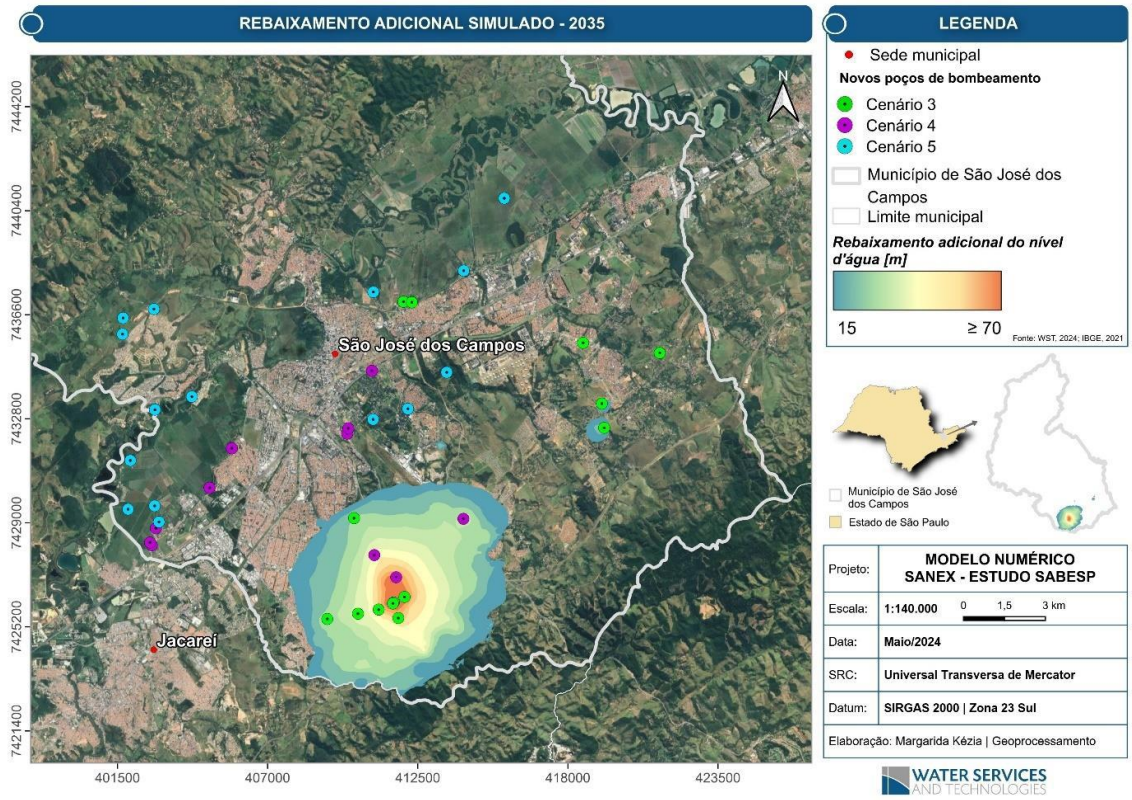
Fonte: O Autor, 2025.

Figura 4: Zoneamento explotável do Sistema Aquífero Taubaté



Fonte: O Autor, 2025.

Figura 5: Exemplo de rebaixamento adicional simulado – 2035



Fonte: O Autor, 2025.

b.3.) Ferramentas para Gestão de Recursos Hídricos

A compilação de todos os dados de poços, informações de clima, pluviometria, fluviometria, mapas e estudos foi importada no software de gestão de recursos hídricos Hydro GeoAnalyst – HGA. No HGA é possível alimentar e monitorar as informações referentes aos poços de propriedade da Sabesp, além de atualizar dados referentes a poços de terceiros. Além disso, na área de Data Management, o HGA permite importar diferentes formatos de dados, criar templates padrões para importação, realizar a padronização de listas suspensas de opções, cores e imagens, padronizar texturas e litologias e controlar a qualidade e validação dos dados.

Para análise e interpretação de dados, o HGA oferece conexão direta com o software Aquifer Test, visualização 2D e 3D de plumas de contaminação, seções e mapas, além da criação de mapas 2D e mapas de contorno. Ele também permite a elaboração de perfis construtivos, litológicos, geofísicos e de amostragem de solo, e inclui ferramentas para a interpretação automatizada de seções geológicas e hidrogeológicas, além de coleções automatizadas de gráficos.

Na seção de colaboração, o HGA possui um editor de eventos com notificações e planejamento de campo, permite o controle de usuários e segurança da informação, e o compartilhamento online do projeto.

Por fim, a ferramenta dispõe de um módulo de linguagem R e de uma calculadora de balanço iônico e permite a edição e a padronização de parâmetros analíticos, a elaboração de reports automatizados, o controle de amostras e análises de duplicatas e a determinação de grupos de pontos personalizados e controle de limites da legislação.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados deste estudo demonstram um aumento significativo na vazão potencial dos sistemas de captação subterrânea, alcançando 840,74 L/s, valor que supera expressivamente a previsão inicial de 400 L/s.

Quanto à eficiência energética, as ações realizadas, como estudos hidrogeológicos, revitalizações de poços, limpeza de filtros e dimensionamento de novos conjuntos de bombeamento, resultaram em uma redução potencial significativa de 36,75% no consumo de energia elétrica por volume produzido, diminuindo de 115 kWh/m³ para 73 kWh/m³, comprovando a eficiência das medidas adotadas.

Os estudos identificaram que as regiões norte de Lorena e sul de Caçapava, Tremembé e São José dos Campos apresentam os maiores potenciais para expansão dos sistemas de captação de água subterrânea no Sistema Aquífero Taubaté. Em particular, na zona sul de São José dos Campos, há a possibilidade de instalação de 40 poços tubulares até 2035, com capacidade de produção de 48.000 m³/dia. Por outro lado, as áreas não recomendadas para instalação de novos poços incluem o entorno de poços ativos, a zona nordeste de São José dos Campos, noroeste de Caçapava e áreas centrais de Lorena e Caçapava.

Para o Sistema Aquífero Cristalino, não há restrições significativas à expansão dos sistemas de captação. No entanto, as áreas mais propícias para a instalação de poços tubulares profundos localizam-se em zonas com grandes lineamentos estruturais. Dessa forma, para a implantação dos poços nessas localidades são fortemente recomendados estudos geofísicos complementares para identificação de zonas de baixa resistividade.

Os modelos hidrogeológicos conceituais revelaram que apenas 8,36% do manancial subterrâneo da região do Vale do Paraíba está atualmente explorado. Em outras palavras, há grande espaço para ampliação do abastecimento público de água por meio da construção de novos poços tubulares profundos. Contudo, qualquer expansão deve ser acompanhada por estudos detalhados e gerenciamento adequado dos aquíferos, priorizando áreas com alto potencial hídrico ainda pouco exploradas por poços existentes.

Este estudo reforça que a adoção de práticas de gestão integrada, associada à modernização da infraestrutura existente e ao uso de tecnologias inovadoras, se mostra uma abordagem eficaz para garantir a sustentabilidade e a resiliência dos recursos hídricos subterrâneos. Os serviços realizados não apenas melhoraram a eficiência na produção de água, mas também asseguraram o uso racional e sustentável dos aquíferos, criando um modelo replicável para outras regiões enfrentando desafios semelhantes.

Diante dos resultados obtidos neste estudo, recomenda-se:

- Monitoramento contínuo e ajustes nos modelos hidrogeológicos;
- Expansão dos estudos geofísicos para novas áreas;
- Desenvolvimento de estratégias de gestão integrada dos recursos hídricos;
- Planejamento de contingência e segurança hídrica para o futuro;
- Aplicação do projeto de gestão integrada dos aquíferos em outras Unidades de Negócio da Sabesp com potencial de captação subterrânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12212: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12244: Poço tubular – Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

3. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (Sabesp). Especificações Técnicas, Regulamentação de Preços e Critérios de Medição. 3. Ed. São Paulo: Sabesp, 2025.

4. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (Sabesp). Poços Tubulares Profundos: procedimento. Norma Técnica Sabesp NTS0326 – Ver 0, 2020.

5. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). Portaria DAEE nº 4.905, de 9 de setembro de 2019. Define os procedimentos que disciplinam a fiscalização de usos e interferências em recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo, bem como o enquadramento das infrações e as respectivas penalidades. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 14 set. 2019. Seção I, p. 123.