

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

Jose Francisco Gomes Junior

Guilherme Antonio Adani

Rodrigo da Silva Prado

RESUMO

Este trabalho técnico tem como objetivo disseminar a expertise da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) na gestão dos aquíferos na Bacia do Vale do Paraíba. O foco desta gestão foi aumentar a vazão e melhorar a eficiência energética dos sistemas de captação de águas subterrâneas. A captação de águas subterrâneas se mostrou uma alternativa vantajosa devido à melhor qualidade da água e aos menores custos de tratamento, especialmente na renovação de ativos e na eficiência operacional. Este trabalho visa compartilhar a experiência da Sabesp na gestão integrada dos aquíferos, preservando os mananciais, aumentando a produção de água e otimizando a eficiência energética dos poços. Isso foi alcançado através de estudos hidrogeológicos integrados com sistemas de telemetria, revitalização de poços existentes, reativação e perfuração de novos poços, além de fundamentar futuras expansões dos sistemas de produção de água. A metodologia incluiu visitas técnicas e estruturação de informações de poços tubulares profundos da Sabesp e de terceiros na Região do Vale do Paraíba, com elaboração de estudos hidrogeológicos modelados em sistemas integrados por telemetria, coleta de dados hidrodinâmicos e elétricos, revitalização e limpeza, testes de vazão, dimensionamento de motobombas e perfuração de novos poços. Resultados parciais mostraram melhorias significativas no incremento da vazão potencial, com um aumento de 682,37 L/s na vazão, e na eficiência energética dos poços, com uma redução de 59,74% no consumo de energia elétrica, superando as expectativas iniciais. Conclui-se que a gestão integrada dos aquíferos no Vale do Paraíba pela Sabesp é eficaz para aumentar a produção de água, melhorar a eficiência energética e preservar os recursos hídricos, assegurando um abastecimento sustentável para a região.

Palavras-chave: Gestão de Aquíferos, Eficiência Energética, Captação de Águas Subterrâneas.

1. INTRODUÇÃO

O Vale do Paraíba, localizado na região Sudeste do Estado de São Paulo e Oeste do Estado do Rio de Janeiro, utiliza mananciais superficiais como forma de abastecimento público de água em boa parte de seus municípios. No entanto, usos inadequados e despejo de efluentes residenciais e industriais têm comprometido a qualidade dessas águas e onerado seu tratamento e produção.

Em resposta a esses desafios, a captação de águas subterrâneas por meio de poços tubulares profundos emerge como uma alternativa viável e complementar aos recursos superficiais. As águas provenientes dos aquíferos geralmente possuem melhor qualidade e requerem menores custos de tratamento e produção. Em 2023, a Unidade de Negócio Vale do Paraíba - OV operava 109 poços tubulares profundos distribuídos em 15 municípios, com uma produção total de 1.156,97 L/s.

Além das operações da Sabesp, empresas privadas, indústrias e outros grandes consumidores exploram os mananciais subterrâneos, muitas vezes sem fiscalização adequada ou respeito às normas de outorga, o que pode resultar na superexploração do aquífero e no seu rebaixamento ao longo do tempo.

No contexto geológico do Vale do Paraíba, há uma interação significativa entre os mananciais de superfície e as águas subterrâneas. Durante as estações chuvosas, o aquífero se recarrega, enquanto nas estações mais secas, contribui para a manutenção das vazões dos corpos hídricos locais. Compreender essa interação, avaliar o volume e a disponibilidade das reservas exploráveis, e coletar dados operacionais dos aquíferos (como nível de água, volume extraído e tempo de bombeamento) são cruciais para uma gestão responsável da vida útil dos aquíferos e para a operação eficiente dos sistemas de captação, permitindo a expansão e criação de novos sistemas conforme necessário.

2. OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é divulgar a experiência da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp ao realizar, de forma integrada, a gestão dos aquíferos e o gerenciamento continuado das condições de operação dos poços tubulares profundos da Unidade de Negócios do Vale do Paraíba – OV, com o intuito de preservar

a vida útil dos mananciais subterrâneos, incrementar a produção de águas e otimizar a eficiência energética destes sistemas de captação.

2.1. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Atualização tecnológica e recuperação dos ativos ligados a 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 de suas seções filtrantes;
- 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 através 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 a 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 (antiga 2914/2011) do Ministério da Saúde.

3. METODOLOGIA

3.1. Implantação e Pré-operação

A fase de implantação e de operação iniciou-se com visitas técnicas aos poços tubulares profundos em quinze municípios da Unidade de Negócios do 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 t_0 , que determina valores para a performance operacional (vazão explorada e tempo de bombeamento diário) e eficiência energética (consumo em kWh/m³) dos poços antes das intervenções e limpezas.

Os serviços de revitalização de poços em operação e de reativação de poços inoperantes contou com a retirada do equipamento de bombeamento original, a realização de perfilagem óptica para verificação das condições construtivas do poço, a aplicação de produtos desincrustantes e removedores de óxidos e argilominerais em conjunto com jateamento e escovação das seções filtrantes, o bombeamento para remoção dos produtos aplicados, a instalação de conjunto motobomba superdimensionado e a execução de teste de vazão. A interpretação do teste de vazão permitiu o dimensionamento de 01 par de conjunto motobomba para cada poço, levando em consideração o melhor regime de operação (vazão e tempo de bombeamento) e a eficiência energética do equipamento.

Os serviços de perfuração de novos poços tubulares seguiram as normas estabelecidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). A locação dos poços levou em consideração as necessidades de abastecimento da Sabesp, respeitando as zonas de maior favorabilidade hídrica apontadas pelo estudo hidrogeológico.

3.2. 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 no Sistema 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 (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 servirá como ferramenta de apoio na análise da informação obtida. 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).

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

Tabela 1: Modelos hidrogeológicos conceituais elaborados

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 exploração e desta forma assegurar o abastecimento hídrico de longo prazo.

Os modelos hidrogeológicos conceituais serviram como base para a construção do modelo geológico 3D e modelo de fluxo regional dos aquíferos no software 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 as mesmas 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) Exportar o 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 aquíferos (valores de condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento); (vi) Verificar a discretização do modelo e introduzir condições de contorno; (vii) Apresentar 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) Calibrar o modelo; (ix) Identificar os parâmetros-chave do sistema de fluxo; (x) Quantificar as incertezas associadas aos mesmos e simulações predições.

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 explorável 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 explorável 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, em função da disponibilidade hídrica, nível de rebaixamento da água e 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.

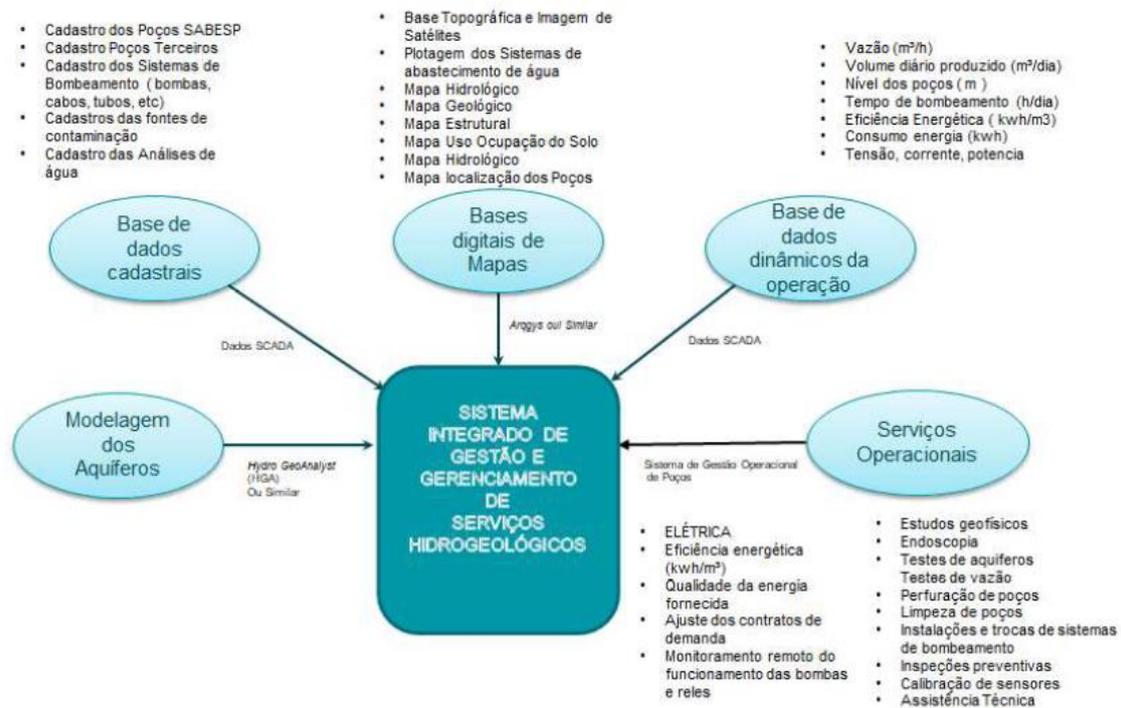


Figura 1: Esquema do Sistema Integrado de Gestão e Gerenciamento de Serviços Hidrogeológicos

4. RESULTADOS

4.1. Implantação e Pré Operação

A validação do momento t_0 dos poços, que representa a avaliação de sua performance operacional (vazão explorada e tempo de bombeamento diário) e eficiência energética (consumo em kWh/m³) antes das intervenções e limpezas, foi realizada em 108 dos 109 poços da Sabesp (99,08% dos poços avaliados), obtendo uma produção média de 1156,97 L/s.

A instalação dos painéis de telemetria foi executada em somente 23 poços, devido à necessidade da construção de abrigos específicos para instalação dos referidos painéis.

As revitalizações e limpezas foram realizadas em 103 dos 109 poços da Sabesp (94,50% dos poços atendidos). Dentre os poços limpos, foram realizados 91 testes de vazão (83,49% do total de testes realizados) e dimensionados 66 pares de conjuntos motobomba (60,55% dos CMB's dimensionados), os quais têm potencial para gerar incremento de 543,62 L/s. Até o momento, foram instalados 35 CMB's do total dimensionado (32,11% dos CMB's).

Em relação às perfurações, 04 novos poços já foram construídos (incremento de 68,61 L/s), 06 poços estão em fase de construção e 01 poço está em fase de análise de projeto, do total de 11 poços a serem perfurados.

Com relação às reativações de poços parados, foram executadas as limpezas de todos os 06 poços a serem reativados. Os testes de vazão indicaram aumento potencial de 70,14 L/s.

O aumento potencial total de vazão até o momento, considerando todas as intervenções, é de 682,37 L/s.

4.2. Estudos Hidrogeológicos

4.2.1. 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 1/Tabela 2 a seguir.

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	3.203,89
Taubaté e Tremembé	14.206,67	350,00	13.856,67
TOTAL	85.226,94	7.125,82	77.827,49

Tabela 2: Resultados dos modelos hidrogeológicos conceituais elaborados

Conforme observado, nos 15 municípios integrantes do estudo, há uma disponibilidade de 77.827,49 L/s de água que podem ser captados por meio de poços tubulares profundos.

4.2.2. 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.

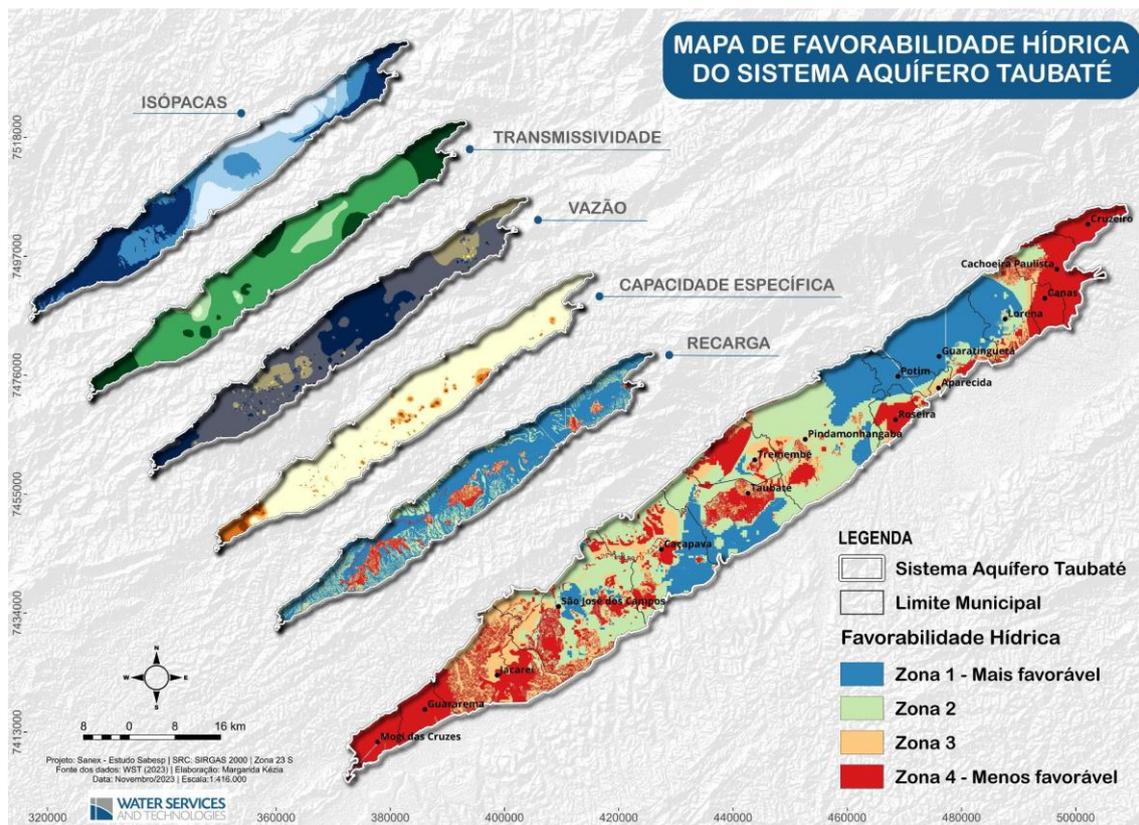


Figura 2: Mapa de favorabilidade hídrica do Sistema Aquífero Taubaté

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.

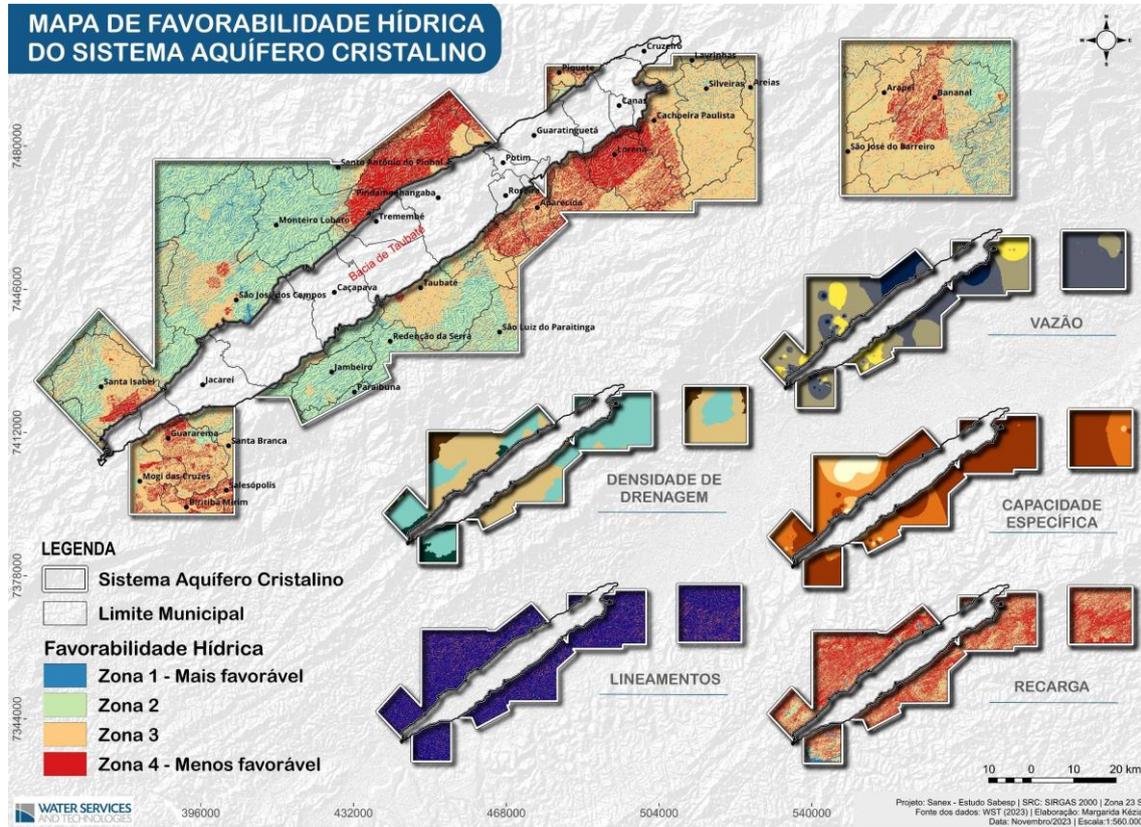


Figura 3: Mapa de favorabilidade hídrica do Sistema Aquífero Cristalino

Com respeito ao mapa de zoneamento hídrico explorável (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.

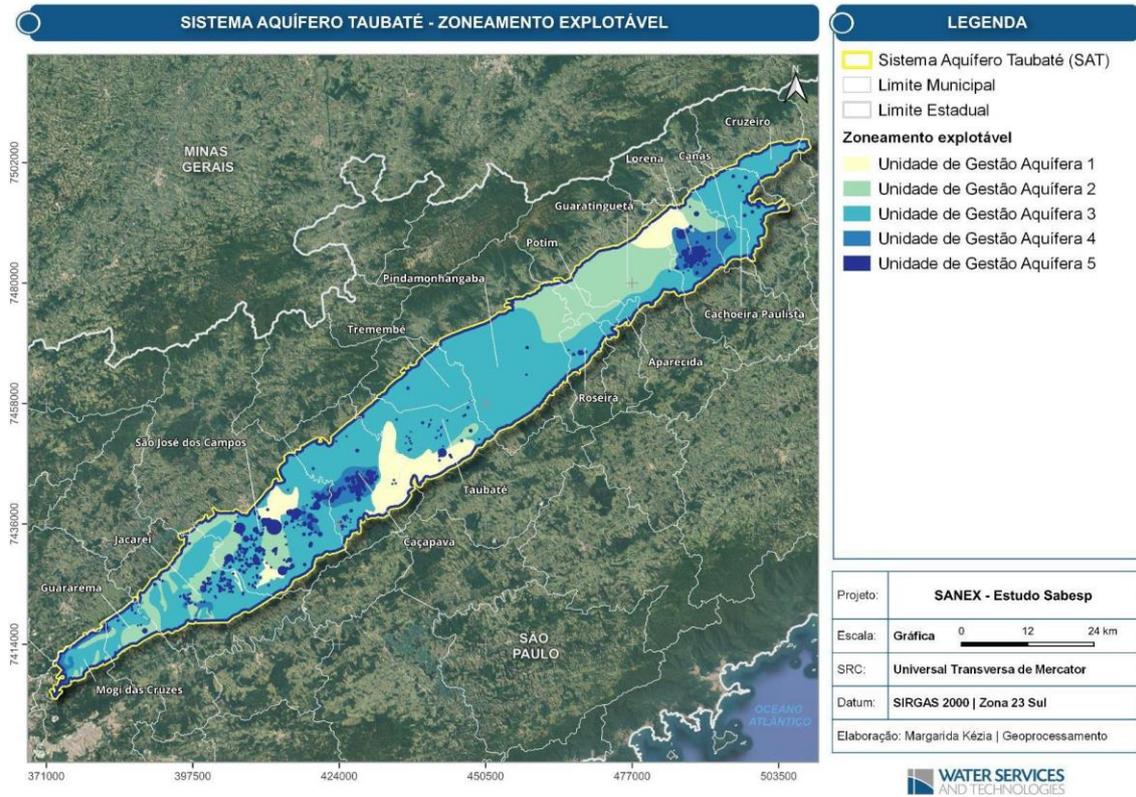


Figura 4: Zoneamento explotável do Sistema Aquífero Taubaté

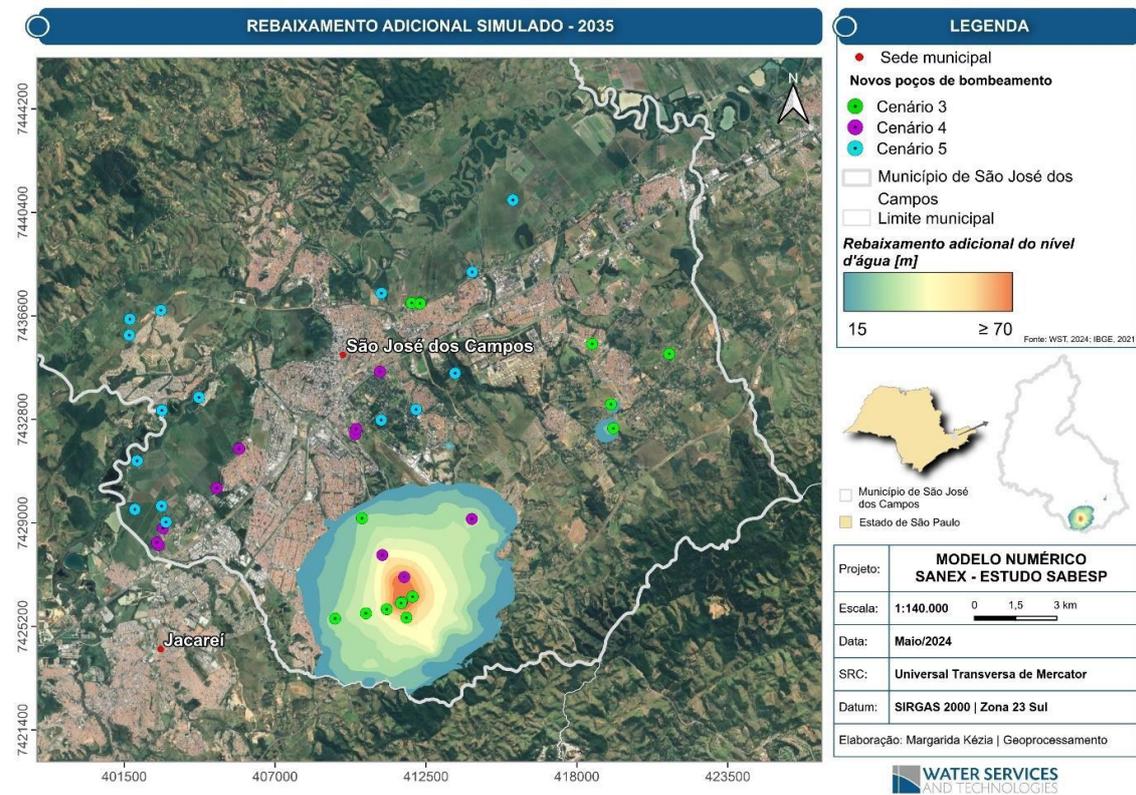


Figura 5: Rebaixamento adicional simulado – 2035

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.

4.2.3. 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.

A Figura 6 apresenta relatórios que podem ser extraídos através da base de dados do HGA.

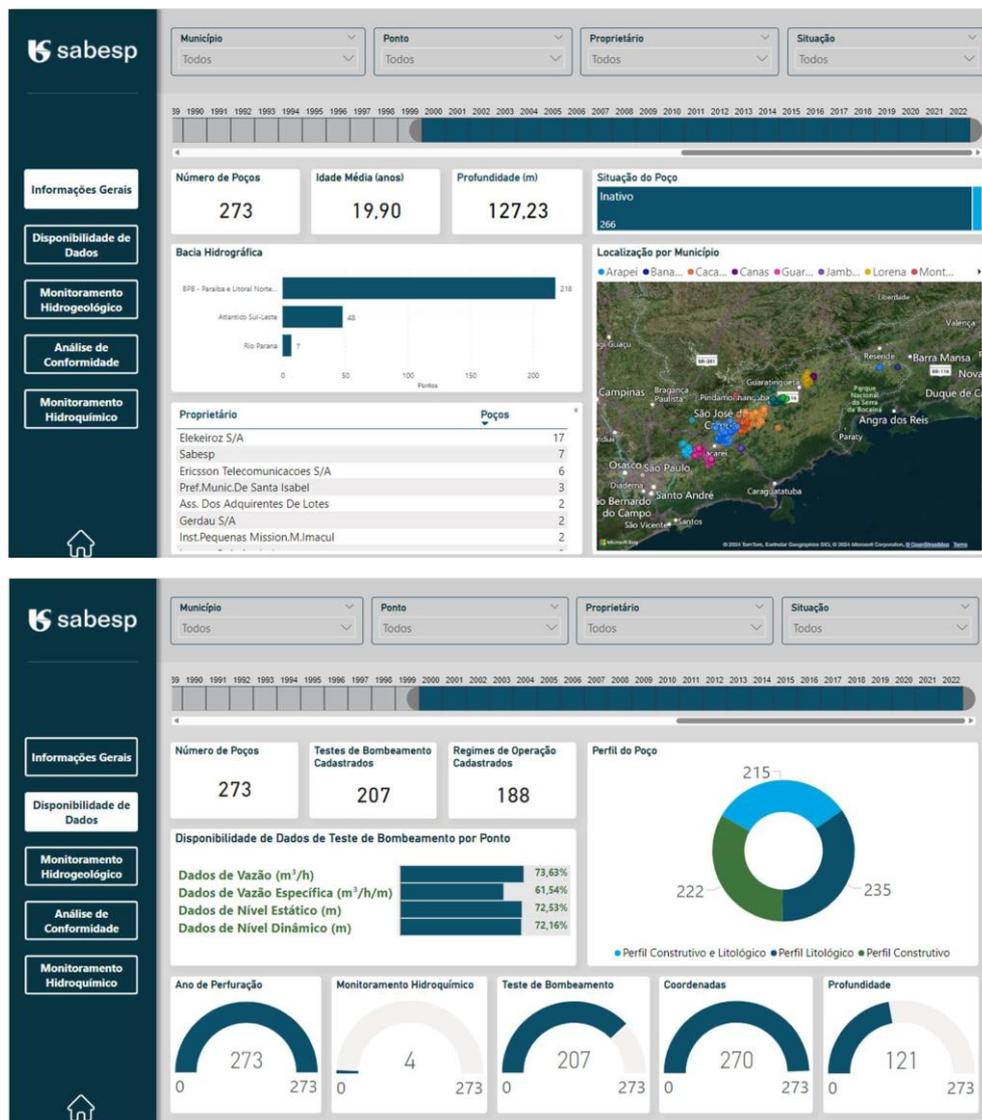


Figura 6: Telas dos relatórios extraídos do HGA.

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo evidenciam um aumento na vazão potencial de 682,37 L/s, superando 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 significativa de 59,74% no consumo de energia elétrica por volume produzido, diminuindo de 107 kWh/m³ para 43 kWh/m³.

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.

Por fim, 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.