

I-125 - UTILIZAÇÃO DE MODELAGEM HIDRÁULICA NA AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE ADUÇÃO NO ÂMBITO DO PLANO DIRETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA RMSP

Gladys Fernandes Januário Serzano ⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Mestre em Engenharia Hidráulica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Engenheira da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

Vagner Almeida Lima

Engenheiro Civil pela Universidade Guarulhos. Tecnólogo pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Engenheiro da ENCIBRA S. A. Estudos e Projetos de Engenharia.

Renan Friedrich Paul Schultze

Engenheiro Ambiental pela Universidade São Paulo. Tecnólogo pela Escola Técnica Estadual de São Paulo. Engenheiro da ENCIBRA S. A. Estudos e Projetos de Engenharia.

Endereço⁽¹⁾: Rua Nicolau Gagliardi, 313, Pinheiros, São Paulo, SP - CEP: 05429-010 - Brasil - Tel: (11) 3388-8826 - e-mail: gfjanuario@sabesp.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta a modelagem hidráulica do Sistema Adutor Metropolitano (SAM), da Região Metropolitana de São Paulo, desenvolvida no âmbito do PDAA RMSP, como ferramenta para representação e avaliação da configuração atual (ano de 2013) e das propostas para configuração futura do sistema de abastecimento de água da RMSP, cujo horizonte de planejamento é o ano de 2045.

A RMSP é caracterizada por sua grande dimensão, refletida na complexidade do Sistema Adutor Metropolitano (SAM), com suas inúmeras adutoras proporcionando a interligação entre os vários sistemas produtores de água com possibilidades de transferências de água entre suas áreas de influência. O artigo se propõe a apresentar a utilização de um modelo hidráulico representando toda a malha de adutoras do SAM e sua extrema importância e utilidade para facilitar as análises técnicas necessárias, trazendo mais agilidade ao processo, principalmente tendo em vista o grande número de tubulações, estações elevatórias, boosters e sistemas produtores que precisam ser representados.

A modelagem hidráulica é uma ferramenta amplamente reconhecida para representação e avaliação de sistemas de abastecimento representados por suas adutoras, elevatórias e boosters. Em sistemas complexos, como é o caso do sistema que atende a RMSP, composto por dezenas de adutoras e todo interligado, foi fundamental a utilização de um software de modelagem hidráulica a fim de proporcionar agilidade e confiança na obtenção dos resultados. Com a utilização desta ferramenta, foi possível, além de efetuar a avaliação hidráulica do sistema na condição atual (2013), também obter a avaliação hidráulica do sistema para diferentes configurações futuras, que no caso foram nove alternativas diferentes avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE: Plano Diretor, RMSP, Adução de Água Tratada, Modelagem Hidráulica.

INTRODUÇÃO

O Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo (PDAA RMSP) constitui-se num importante instrumento de referência de planejamento e gestão no âmbito da RMSP. Planos diretores de abastecimento de água são estudos fundamentais para o planejamento dos prestadores de serviços de saneamento, indicando as necessidades de ampliação e melhoria de seus sistemas ao longo do tempo a fim de garantir o abastecimento de água à população com confiabilidade, qualidade adequada e segurança do sistema de infraestrutura.

O objetivo de um Plano Diretor de Abastecimento de Água é compor diretrizes de planejamento para o aproveitamento dos recursos hídricos destinados ao abastecimento público, sob a forma de mananciais, bem como para os sistemas de tratamento, adução e reservação. Para isso, identifica obras, ações e providências que

visam implantar e operar, com eficácia e flexibilidade, todos os sistemas, existentes e propostos, para o abastecimento de água de uma região.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é uma área caracterizada por grande densidade populacional, escassa oferta de recursos hídricos e por possuir dimensões gigantescas em sua infraestrutura física para abastecimento de água. O Sistema Integrado Metropolitano (SIM) é responsável pelo abastecimento de água da maior parte da RMSP, atendendo, total ou parcialmente, a 31 (trinta e um) municípios da RMSP. É composto, atualmente, por dez sistemas produtores de água principais que atendem a região. O SAM foi concebido de forma a abranger a maior parte da RMSP e interligar os principais Sistemas Produtores da RMSP, que atualmente são Cantareira, Guarapiranga, Alto Tietê, Rio Grande, Rio Claro, Alto Cotia, Baixo Cotia, Ribeirão da Estiva, Capivari (ETA Embu-Guaçu) e o mais novo sistema implantado, Sistema Produtor São Lourenço. Os sistemas produtores possuem áreas de influência proporcionais a suas produções e as quais caracterizam-se, em suas “bordas”, por áreas de interface entre os sistemas, podendo ser abastecidas por mais de um sistema produtor através de seu sistema de adução de água tratada, possibilitando flexibilidade no atendimento de algumas áreas, permitindo que tais áreas sejam atendidas em determinados momentos por um ou outro sistema produtor.

Os Sistemas Produtores da RMSP fornecem água aos centros de consumo através de adutoras e estações elevatórias componentes do SAM (Sistema Adutor Metropolitano). O Sistema Integrado Metropolitano – SIM esteve em constante evolução em função do histórico de implantação e ampliação dos sistemas produtores e da evolução das demandas de água na RMSP, tendo o papel de transportar as águas desde os sistemas produtores até os centros de distribuição de água tratada. A Figura 1 apresenta a setorização da RMSP e a área de influência dos Sistemas Produtores.

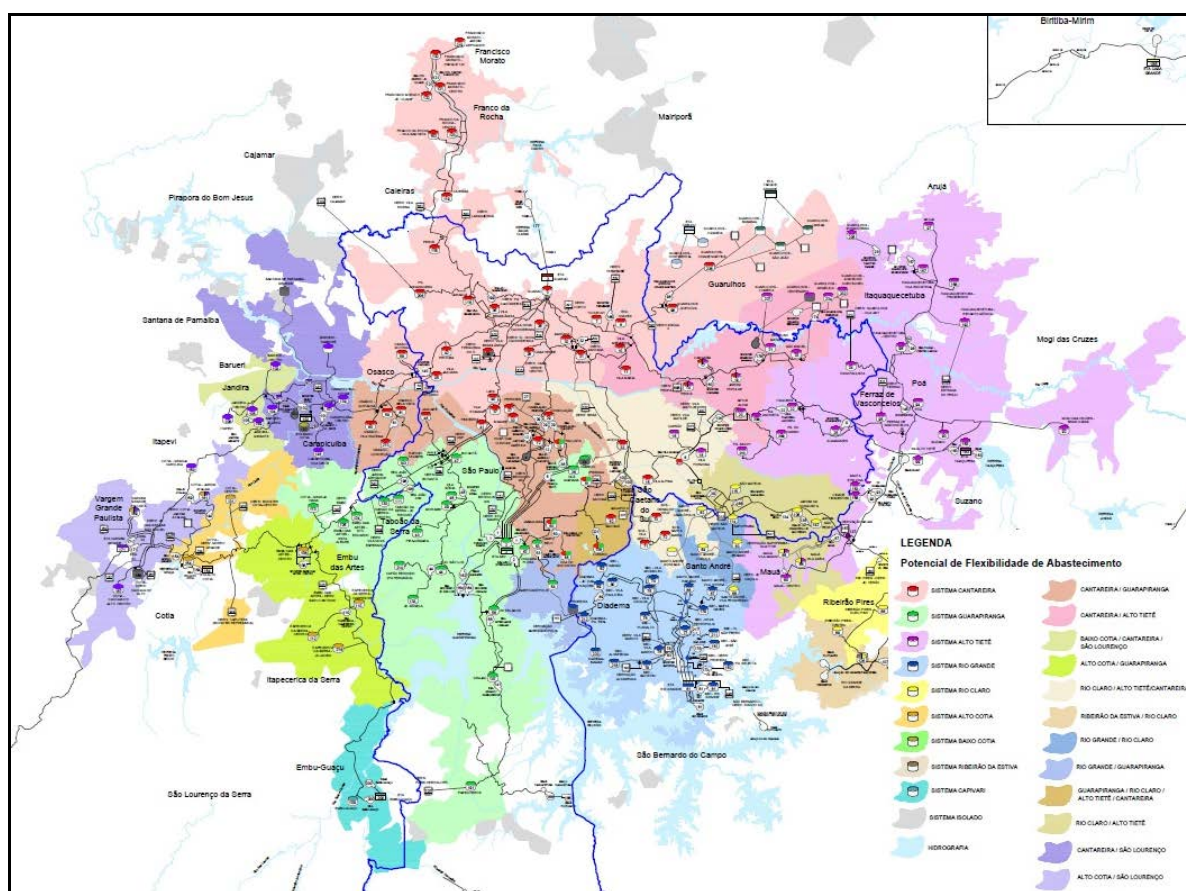


Figura 1: Sistema Integrado Metropolitano - área de influência dos Sistemas Produtores de Água (SABESP, MAGG, 2019)

Parte importante de um PDAA é avaliar os sistemas de adução de água tratada, apresentando o diagnóstico do sistema existente e, a partir da previsão das demandas por água, elaborar propostas de ampliação e melhoria desse sistema adutor. Uma ferramenta útil nessa avaliação é a utilização de modelos hidráulicos que vão representar toda a malha de adutoras do sistema. No caso da RMSP, cabe frisar a grande dimensão e complexidade do Sistema Adutor Metropolitano (SAM), com suas adutoras proporcionando a interligação entre os vários sistemas produtores de água com possibilidades de transferências de água entre suas áreas de influência. A utilização de um modelo hidráulico representando toda a malha de adutoras do SAM é muito útil para facilitar as análises técnicas necessárias e trouxe mais agilidade ao processo, principalmente tendo em vista o grande número de tubulações, estações elevatórias, boosters e sistemas produtores que foram representados. Além disso, a agilidade proporcionada pela utilização de um “software” de modelagem tornou possível a avaliação do grande número de alternativas de abastecimento que foram elencadas no Plano, sendo nove ao todo.

OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar a modelagem hidráulica do Sistema Adutor Metropolitano (SAM) desenvolvida no âmbito do PDAA RMSP como ferramenta para representação e avaliação da configuração atual (ano de 2013) e das propostas para configuração futura do sistema de abastecimento de água da RMSP, cujo horizonte de planejamento é o ano de 2045.

METODOLOGIA UTILIZADA

No PDAA RMSP, foram desenvolvidas as etapas de diagnóstico e prognóstico do Sistema Integrado Metropolitano (SIM) com apoio de uma empresa de consultoria e por equipes internas da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP. As premissas e a forma do desenvolvimento do trabalho foram discutidas em cada etapa com as equipes envolvidas. Todas as alternativas propostas foram verificadas no modelo matemático hidráulico e analisadas em termos de custos e outras restrições relevantes (conflitos pelo uso da água, restrições ambientais, dificuldades construtivas).

Para avaliação do Sistema Adutor Metropolitano (SAM) nos cenários atual (2013 - diagnóstico) e no cenário futuro (2045 - prognóstico), foi utilizado o aplicativo WaterGEMS V8i da Bentley Systems como solução de modelagem hidráulica. Esse aplicativo contém o WaterCAD, em versão com valor ilimitado para adição de tubos, e apresenta alguns módulos adicionais como o Darwin Calibrator (ferramenta de calibração), o Darwin Designer (comparação de alternativas visando o menor custo), o Darwin Scheduler (operação de otimização de bombas e reservatórios), o Pipe Renewal Planner (ferramenta para reabilitação de redes) e o SCADAConnect (permite a integração com o Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados - SCADA).

Os conceitos de conservação de massa e conservação de energia é que definem a influência dos elementos de uma rede hidráulica conectados entre si. Como os efeitos da compressão em um sistema de distribuição de água são muito pequenos, as equações utilizadas nas simulações hidráulicas consideraram a água como um fluido incompressível. Em qualquer nó do sistema contendo um fluido incompressível, o volume ou massa total de entrada deve ser igual ao de saída menos o volume armazenado ou retirado do sistema através daquele nó. Assim sendo obtém-se a equação de conservação de massa. O princípio da conservação de energia propõe que a diferença de energia entre dois pontos de uma rede hidráulica conectada deve ser igual aos ganhos de energia devido às bombas e às perdas em tubulações e componentes hidráulicos presentes no caminho entre eles. Para a modelagem de um sistema de distribuição de água desenvolve-se uma série de equações (continuidade e energia) que descrevem a hidráulica do sistema, e no caso do programa WaterCAD são resolvidas em forma de matriz segundo o Método dos Gradientes. Embora o número padrão de iterações do WaterCAD seja 40, adotou-se um valor de 75000 iterações, em virtude das dimensões e complexidade do modelo do SIM.

O programa de modelagem escolhido permite realizar a análise do sistema em dois modos diferentes, em período estendido e regime permanente. No caso do modelo em estudo foi utilizada a simulação em regime permanente, portanto, os níveis operacionais de reservatórios, demandas hidráulicas, operações de bombas e válvulas permanecem constantes no instante de simulação. Como método de cálculo de perdas optou-se pelo uso da equação de Hazen-Williams.

O diagnóstico do SAM foi feito com base no sistema e demandas de água existentes em 2013, período ainda não afetado pela crise hídrica que atingiu o Sudeste do Brasil, e particularmente a RMSP, e que acarretou severa modificação dos volumes veiculados no SIM. Compreendeu a caracterização sucinta e o diagnóstico completo dos Sistemas de Abastecimento de Água da RMSP, incluindo o sistema adutor de água tratada (SAM). Foi feita coleta de dados e levantamento das condições hidráulicas e operacionais das adutoras, estações elevatórias e boosters, com o objetivo de apurar os problemas existentes e os pontos críticos da adução.

Para a identificação dos pontos críticos da adução, como pressões elevadas ou sub-pressões, velocidades de escoamento elevadas nas adutoras, déficits de abastecimento e elevatórias e boosters operando fora de sua capacidade, foi feita a análise hidráulica do sistema adutor primeiramente no Cenário atual, considerando as demandas máximas do ano de **2013** e a simulação em regime permanente. Todos os pontos de controle (medidores de vazão e pressão existentes no sistema) foram calibrados e validados com base em cenários históricos. A topologia da rede de adução foi obtida através dos dados cadastrais do Sistema de Informações Georreferenciadas no Saneamento da Sabesp (SIGNoS). Compreendeu os seguintes elementos: reservatórios, adução, boosters, estações elevatórias, válvulas de controle, de bloqueio, e de retenção. Foi feita uma confirmação dos dados cadastrais inseridos no modelo e verificada sua consistência hidráulica.

Na etapa de modelagem do cenário atual (configuração do sistema do ano de 2013) foi feita primeiramente a calibração do modelo, baseada em dados coletados no Sistema de Controle Operacional da Adução (SCOA-SABESP) das vazões de 19 de março de 2014 (às 12:55h). Para a determinação do período de dados que foram selecionados, utilizou-se como critério de escolha o período que mais se aproximava de um regime estável do sistema, no qual os valores de pressão e consumo mantinham-se sem maiores alterações. A calibração é essencial para o bom funcionamento do modelo hidráulico, pois neste momento se ajustam as características gerais para que este se comporte de acordo com a realidade e, portanto, possa auxiliar na previsão e implementação de obras e seus efeitos no sistema de adução. Neste caso, a calibração foi dividida em duas etapas a fim de otimizá-la. Primeiramente o SIM foi dividido em 28 subsistemas e feita sua calibração, e numa segunda etapa foi feita a calibração do modelo integrado.

Com o sistema já calibrado de forma a representar o SIM, iniciou-se a etapa de validação da calibração, incluída para ratificar a eficácia dos resultados. A validação foi baseada em dados coletados no sistema SCOA das vazões de 05 de junho de 2014 (à 01:15h), data na qual também se pode verificar um intervalo relativamente estável em todo o sistema. Assim sendo, inseriu-se, no modelo hidráulico, as vazões detectadas no período indicado para os ajustes finais (adequando-se o modelo para refletir o funcionamento do SIM nesta data) buscando correspondência entre as cargas hidráulicas aferidas e os resultados de alturas piezométricas obtidos pelo modelo. Com os dados de vazão coletados, foi possível ajustar o modelo hidráulico para obtenção de correspondência satisfatória na maioria dos pontos de comparação de pressão utilizados. Os valores que não obtiveram correspondência adequada aos critérios de aceitação, em sua maioria, apresentaram-se próximos dos valores meta. Em alguns casos, os mais extremos, não se conseguiu adequar os coeficientes de rugosidade dentro de parâmetros realistas para que se atingissem, a partir do modelo, valores próximos aos medidos em campo, evidenciando alguma diferença entre os dados existentes e o modelo hidráulico.

A partir dos resultados dos trabalhos de calibração do modelo hidráulico foram iniciados os estudos de simulação hidráulica e avaliação do Sistema Integrado Metropolitano. Nestes estudos, foram avaliadas a capacidade do SIM de atender às demandas dos setores de abastecimento e as velocidades, pressões e perdas de carga resultantes nos componentes do sistema. A partir das projeções de demanda e das capacidades dos sistemas de abastecimento existentes, foram definidas as necessidades de ampliação destes sistemas e de implantação de novos sistemas para o atendimento da população no período de planejamento do PDAA RMSP. Para o Sistema Integrado Metropolitano (SIM), foi feita uma avaliação mais detalhada em relação à evolução da demanda nas áreas de influência de cada sistema produtor, de forma a estruturar a melhor concepção para o sistema de forma global. E foram feitas, ainda, avaliações das propostas de integração de Sistemas Isolados ao SIM.

Assim, foi realizada a modelagem hidráulica dos cenários e alternativas propostas (prognóstico) com os objetivos de atender às demandas projetadas médias e máximas de 2020 até 2045, de eliminar estrangulamentos e de propor flexibilização ao sistema, possibilitando ampliar a integração entre as áreas de influência dos

sistemas produtores que compõem o Sistema Integrado. Ressalta-se a importância de interação entre as alternativas propostas com as diversas etapas do sistema de abastecimento de água (aporte de água bruta, tratamento e adução), garantindo a melhor concepção para o sistema de forma global.

Foram formuladas nove alternativas de configuração dos sistemas produtores e adutores, com alcance até 2045, procurando cercar a maioria das opções mais viáveis técnica, econômica, ambiental e institucional. A partir do modelo utilizado para elaboração do diagnóstico do sistema foram criados novos estudos de modelagem em regime permanente que abrangeram, para cada uma das nove alternativas propostas, simulações para os anos de 2020, 2025, 2030, 2035, 2040 e 2045, para os diferentes cenários de demanda média e máxima previstos. Para cada um desses cenários, de acordo com a respectiva alternativa, foram previstas:

- Alterações das capacidades de produção dos sistemas produtores;
- Eliminação ou Redução das derivações em marcha;
- Alterações das áreas de influência dos sistemas produtores;
- Propostas e pré-dimensionamento de novas adutoras, estações elevatórias e boosters para eliminar os pontos críticos existentes e os prognosticados;
- Proposta de localização de novos centros de reservação com seus respectivos sistemas de adução.

Da mesma forma que foi usada para auxiliar na análise e proposta de alternativas para o atendimento da demanda projetada, a modelagem hidráulica também foi utilizada para diagnosticar e avaliar propostas nos cenários de flexibilidade do SIM, ou seja, possibilidades de aumentar a transferência de água tratada entre as áreas de influência dos sistemas produtores. Os cenários de Flexibilidade são baseados em situações propostas de crise envolvendo a redução da capacidade dos sistemas produtores.

Para cada um desses cenários de crise, de acordo com a respectiva alternativa, foram previstas:

- Alterações das áreas de influência dos sistemas produtores;
- Propostas e pré-dimensionamento de novas adutoras, estações elevatórias e boosters para eliminar os pontos críticos existentes e os prognosticados.

Baseando-se no modelo referente ao cenário de demanda média de 2045 de cada alternativa, foram desenvolvidos sete novos cenários destinados à avaliação e previsão de melhorias para a flexibilidade do SIM. Muitas obras de flexibilidade são comuns à todas as alternativas por representarem um grande aumento na segurança de atendimento e por conectarem importantes sistemas produtores, como, por exemplo, a conexão proposta entre os sistemas Guarapiranga e Cantareira.

RESULTADOS

A modelagem hidráulica efetuada no PDAA RMSP forneceu importantes avaliações para caracterização do diagnóstico e do prognóstico dos sistemas de abastecimento de água da RMSP.

No diagnóstico, a modelagem hidráulica forneceu um importante mapeamento dos pontos críticos do SAM, representados por trechos de adutoras com velocidades de escoamento elevadas, pressões elevadas ou subpressões, com elevada perda de carga, com déficits de abastecimento nos setores, e elevatórias e boosters operando fora de sua capacidade. A seguir, apresenta-se o mapa com a indicação dos pontos críticos observados na configuração do sistema de abastecimento em 2013, para as demandas máximas deste ano.

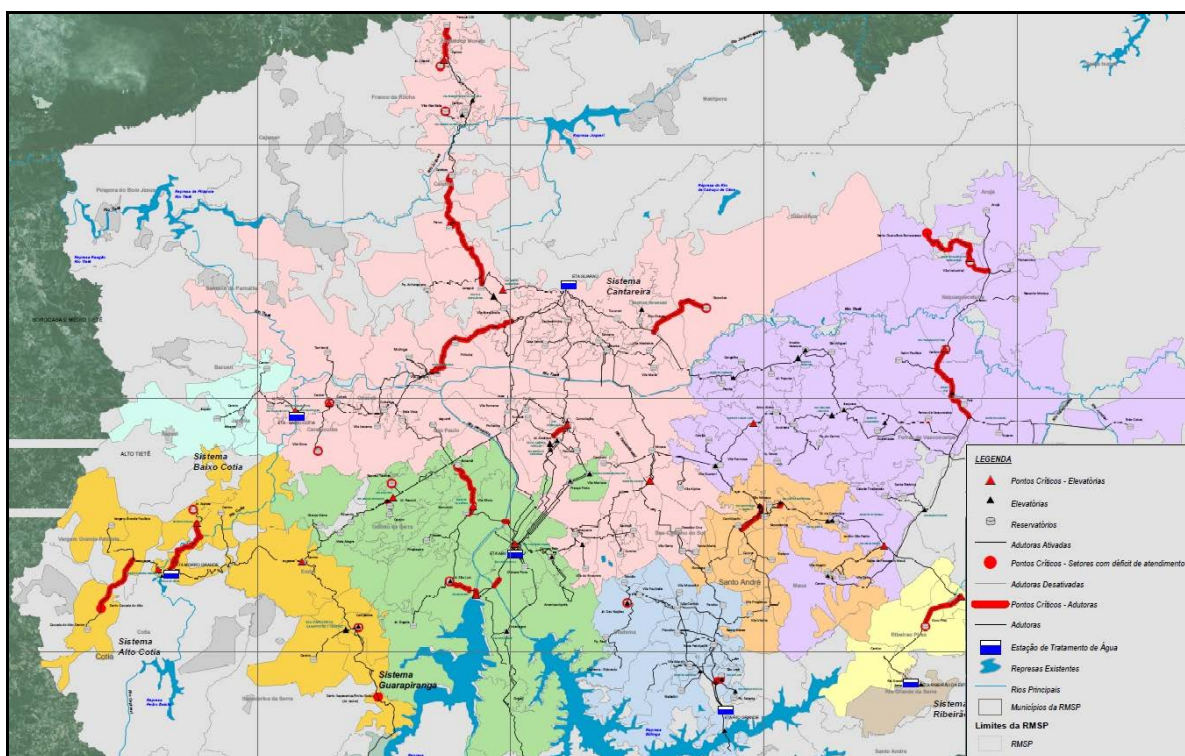


Figura 2: RMSP - Pontos críticos do Sistema Integrado Metropolitano - 2013 (PDAA RMSP, 2018)

Para o prognóstico, foi possível, com a modelagem hidráulica, fazer a previsão e a simulação de nove alternativas de diferentes configurações estudadas para o sistema adutor metropolitano, apontando as necessidades de ampliação ou melhoria da adução e do sistema de elevatórias a fim de atender as demandas até o fim do período de planejamento, o ano de 2045. A seguir, apresenta-se, como exemplo, um dos nove mapas produzidos com a indicação das obras propostas para atendimento às demandas máximas de água de 2045. Refere-se à alternativa 1 estudada no PDAA RMSP.

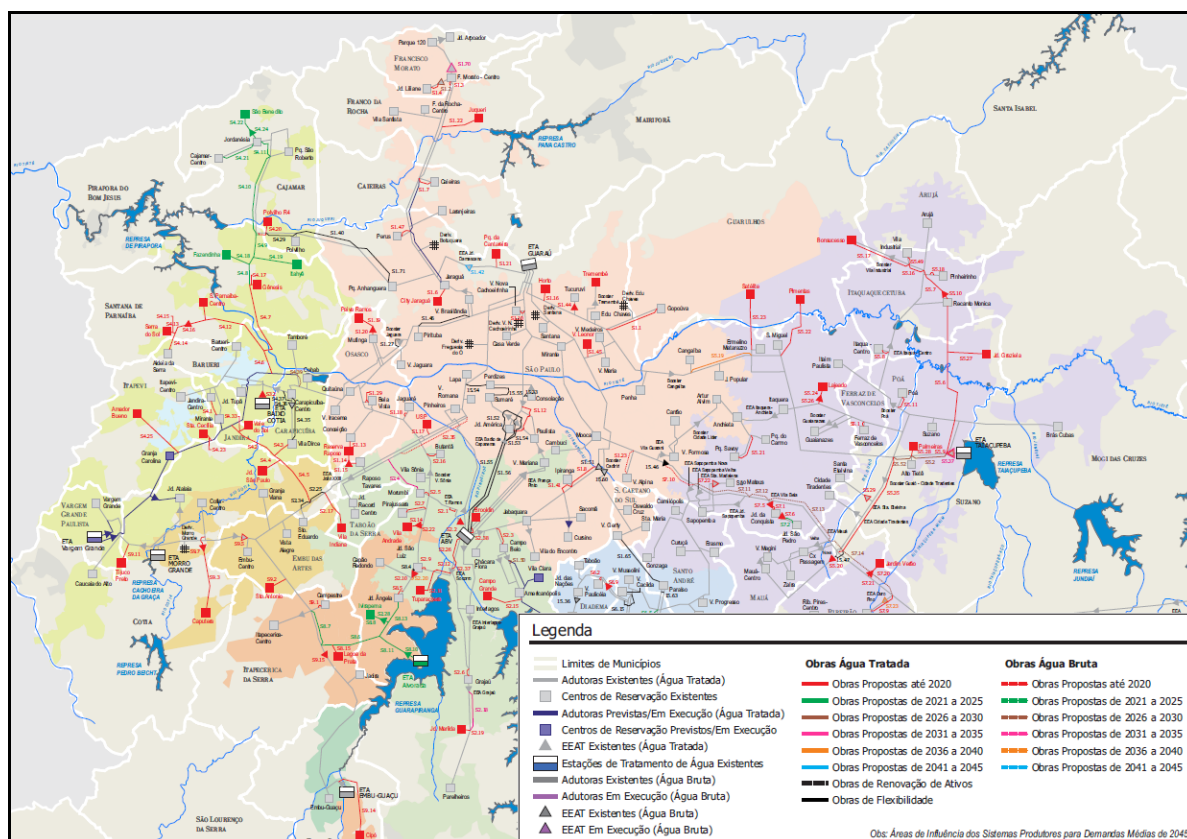


Figura 3: RMSP - Alternativa 1 - Obras de Adução propostas para o Sistema Integrado Metropolitano - 2045 (PDAA RMSP, 2018)

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A utilização da modelagem hidráulica é uma importante ferramenta para previsão e simulação dos sistemas de adução. Utilizada no Plano Diretor, proporcionou agilidade e confiabilidade na obtenção de dados e informações sobre o sistema adutor.

Na fase de diagnóstico, a calibração e a validação do modelo feitos mostraram-se altamente aderentes aos dados reais observados. Com isso, ganhou-se confiança para a fase das modelagens das propostas elaboradas, garantindo que os resultados obtidos com a simulação muito provavelmente estarão condizentes com a projeção.

Os resultados da simulação, com a obtenção das ampliações e adequações a serem feitas no sistema de abastecimento, traduzem-se num conjunto de obras necessárias, as quais podem ser associados custos, cumprindo com o papel do Plano Diretor no quesito planejamento.

Mais do que isso, o PDAA forneceu um leque com o estudo de 9 alternativas propostas, que podem ser utilizadas em separado ou ainda agrupadas em diferentes partes, conseguindo-se novas proposições para a solução dos desafios do abastecimento numa região tão complexa quanto a RMSP.

CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs-se a apresentar a utilização da modelagem hidráulica para avaliação do Sistema Adutor Metropolitano (SAM) desenvolvida no âmbito do PDAA RMSP. A modelagem foi aplicada tanto na fase de diagnóstico quanto na fase de elaboração e avaliação das propostas de ampliação do sistema de abastecimento.

A modelagem hidráulica é uma ferramenta amplamente reconhecida para representação e avaliação de sistemas de abastecimento representados por suas adutoras, elevatórias e boosters. Em sistemas complexos, como é o caso do sistema que atende a RMSP, composto por dezenas de adutoras e todo interligado, conectando os vários sistemas produtores existentes, foi fundamental a utilização de um software de modelagem hidráulica a fim de proporcionar agilidade e confiança na obtenção dos resultados. Com a utilização desta ferramenta, foi possível, além de efetuar a avaliação hidráulica do sistema na condição atual (2013), também obter a avaliação hidráulica do sistema para diferentes configurações futuras, que no caso foram nove alternativas diferentes avaliadas.

Com a utilização de ferramentas de modelagem hidráulica, é possível fazer a análise de um número maior de alternativas, de maneira mais rápida e com confiabilidade. Um sistema complexo, como é o SAM, com várias possibilidades de ampliações e configurações, demanda esse tipo de ferramenta para tornar possíveis as análises necessárias. Assim, com o estudo de alternativas apresentado, o plano diretor cumpre com seu papel de orientar e ao mesmo tempo torna-se ajustável à realidade, o que é desejável devido às peculiaridades da RMSP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ENCIBRA S. A. Estudos e Projetos de Engenharia. Revisão e Atualização do Plano Diretor de Abastecimento de Água da RMSP - PDAA RMSP. São Paulo, 2018. (Estudo Técnico ENCIBRA/SABESP).
2. WALSKI, T. M. et al. Water Distribution Modeling. First Edition, Waterbury (EUA), 2001.
3. WALSKI, T. M. et al. Advanced Water Distribution Modeling and Management. First Edition, Exton (EUA), 2003.