

**GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA COM FOCO NA MELHORIA OPERACIONAL E REDUÇÃO DE PERDAS POR MEIO DE MODELOS HIDRÁULICOS: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE DIADEMA – SP.**

**Gabriela de Almeida Moura<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental e Urbana e Bacharel em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do ABC - UFABC. Encarregada, SABESP – SP.

**Marcos Tadeu dos Reis**

Tecnólogo pela Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo – FATEC – SP. Tecnólogo, SABESP – SP.

**Paulo Sérgio Macedo Ferreira**

Tecnólogo pela Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo – FATEC – SP. Pós graduado em Gestão Ambiental – ISITEC – Instituto Superior de Inovação e Tecnologia. Gerente de Divisão, SABESP – SP.

**Rogério Aparecido Alves**

Bacharel em Ciência da Computação, Universidade do Grande ABC. MBA em Gestão Empresarial - FGV. Gerente de Setor, SABESP – SP.

**Emerson José dos Santos**

Engenheiro Civil – UNICASTELO, MBA em Economia e Gestão Empresarial – FGV. Gerente de Departamento, SABESP – SP.

**Paulo Renato Vieira**

Graduado em Tecnologia Civil Modalidade Obras Hidráulicas - USP, Pós Graduado em Tecnologias de Controle Ambiental - FATEC, MBA em Gestão e Tecnologia Ambiental - USP. Técnico, SABESP – SP.

**Arnaldo Paulo Mello**

Encarregado, SABESP – SP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Paulo Di Favari, 60 – Bairro Rudge Ramos - São Bernardo do Campo – São Paulo - SP - CEP: 09618-100 - Brasil - Tel: (11) 4366-8631 - e-mail: [gamoura@sabesp.com.br](mailto:gamoura@sabesp.com.br)

**RESUMO**

O cenário de escassez hídrica que frequentemente afeta as principais metrópoles brasileiras, torna cada vez mais urgente a necessidade de ações efetivas para o combate às perdas de água. Esse trabalho tem como objetivo avaliar medidas adotadas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo-SABESP para redução de perdas e melhorias no abastecimento de água no Município de Diadema-SP, que apresentou expressiva redução nos índices de perdas no período de 2014 à 2019. O estudo foi desenvolvido por meio da utilização de modelos hidráulicos dos setores de distribuição, por meio do software WaterGEMS, da empresa Bentley, uma ferramenta de suporte à gestão e tomada de decisão, onde foram simulados os cenários para intervenções e diagnóstico de problemas, e com base nas pressões estáticas e dinâmicas identificadas, foram definidas áreas prioritárias de atuação, onde foi realizada a renovação da infraestrutura e implantação de dispositivos para controle das pressões. Os resultados mais relevantes observados foram a redução nas reclamações provenientes de problemas no abastecimento, e a redução em 51% no principal indicador de perdas do município, o IPDT – Índice de Perdas na Distribuição Total, que saiu do patamar de 494 litros por ligação por dia em 2014, para 238 em 2019. Por meio dos dados observados foi possível verificar que a utilização de modelos hidráulicos nos sistemas de distribuição é positiva para subsidiar a tomada de decisão nas ações de engenharia, contribuindo para o gerenciamento e combate às perdas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redução de perdas de água, modelagem hidráulica, sistemas de distribuição de água.

## OBJETIVO

Apresentar um estudo de caso sobre soluções empregadas nos sistemas de distribuição de água do município de Diadema, localizado na Região Metropolitana do Estado de São Paulo - RMSP, concebidas por meio da modelagem hidráulica dos setores de abastecimento, visando ao gerenciamento adequado dos sistemas de distribuição de água e a redução das perdas.

## INTRODUÇÃO

A distribuição espacial irregular dos recursos hídricos na superfície terrestre em relação à ocupação humana gera os mais diferentes cenários de disponibilidade hídrica para o consumo. Segundo a Organização das Nações Unidas - ONU, mais de um bilhão de pessoas já vivem em situação de escassez hídrica, e estima-se que em 30 anos, haverá 5,5 bilhões de pessoas vivendo em áreas com moderada ou severa falta de água, considerando o acelerado crescimento populacional (ONU, 2017).

Conforme definições da Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária – Embrapa (2001) encontra-se em situação crítica as regiões que apresentam disponibilidade hídrica abaixo de 1.500 m<sup>3</sup>/hab/ano. O Brasil apresenta disponibilidade hídrica de 36.566 m<sup>3</sup>/hab/ano (IBGE, 2017), no entanto, esta confortável situação não é sustentada, uma vez que toda esta disponibilidade hídrica está distribuída de modo bastante desigual no território nacional. Mais de 73% da água doce do país encontra-se na Bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população, restando 27% da água doce do país para os 95% restantes da população (EMBRAPA, 2001).

Para ilustrar esta situação, pode-se citar o caso da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, localizada Região Metropolitana do Estado de São Paulo - RMSP, uma das regiões mais adensadas do país, e que apresenta disponibilidade hídrica de apenas 201 m<sup>3</sup>/hab/ano (SINIS, 2015).

Assim como as cidades da RMSP, as principais metrópoles brasileiras encontram-se em um quadro de escassez hídrica, estando localizadas em regiões com elevada densidade populacional, que consequentemente apresentam elevada demanda de água potável para o consumo, mas que não possuem ofertas abundantes do recurso. Para agravar ainda mais este cenário, conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, a maior parte das concessionárias que administram os sistemas de tratamento e distribuição de água do país apresentam elevados índices de perdas (SNIS, 2017).

Definem-se perdas como toda perda real ou aparente de água no sistema, ou todo consumo não autorizado que determina aumento do custo do funcionamento ou que impeça a realização plena da receita operacional (FUNASA, 2014).

As perdas verificadas em sistemas de abastecimento de água se dividem em perdas aparentes, que estão relacionadas às perdas comerciais, decorrentes de problemas na medição e faturamento, e perdas reais, conhecidas como perdas físicas, que referem-se a toda água disponibilizada para distribuição que não chega aos consumidores, e acontecem por vazamentos em redes, ramais, conexões, reservatórios e outras unidades operacionais (TARDELLI, 2016)

Conforme levantamento do SNIS (2017), quase a totalidade das perdas reais e aparentes em um sistema de abastecimento acontecem na etapa de distribuição. Abaixo a Tabela 1 com a situação brasileira para as perdas na distribuição, onde é possível verificar os elevados índices de perdas nas regiões Norte e Nordeste do país, quando comparadas com as demais regiões.

Tabela 1 – Relação dos índices de perdas na distribuição no Brasil.

Região	Índice de Perdas na Distribuição (%)
Norte	55,1
Nordeste	46,3
Sudeste	34,4
Sul	36,5
Centro-Oeste	34,1

Fonte: SNIS, 2017

Diante deste cenário, à medida que as populações crescem e os ambientes naturais se tornam cada vez mais degradados, garantir que haja abastecimento de água suficiente e seguro para todos está se tornando cada vez mais desafiador. Uma fração importante para a solução deste problema é o adequado gerenciamento das águas que utilizamos em cada etapa do ciclo: captação, tratamento, distribuição e uso (TRATA BRASIL, 2012).

Este gerenciamento apropriado dos sistemas de abastecimento necessita ter como base ações que tenham foco no combate às perdas de água, maior eficiência operacional e redução de custos, esforços que promovem a preservação ambiental do recurso hídrico, e auxiliam na sustentabilidade econômica das próprias instituições.

Uma grande oportunidade de ganho em escala neste gerenciamento se dá por meio da análise de propostas e intervenções com base na modelagem hidráulica dos setores de abastecimento, possibilitando a simulação de uma enorme variedade de cenários e alternativas, além de proporcionar maior assertividade nas propostas empregadas e, conseqüentemente, otimização dos recursos investidos.

O presente trabalho tem o objetivo apresentar um estudo de caso referente aos resultados obtidos na redução das perdas de água no município de Diadema, Região Metropolitana do Estado de São Paulo, com base em intervenções planejadas a luz de modelos hidráulicos, subsidiando ações de melhoria na infraestrutura e gerenciamento do sistema, no período de 2014 a 2019.

## **METODOLOGIA**

### **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O presente trabalho teve como objetivo analisar as intervenções realizadas no município de Diadema, de 2014 a 2019, período no qual o saneamento básico do município passou a ser operado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, por meio da assinatura de um contrato de prestação de serviços pelo período de 30 anos com a prefeitura da cidade.

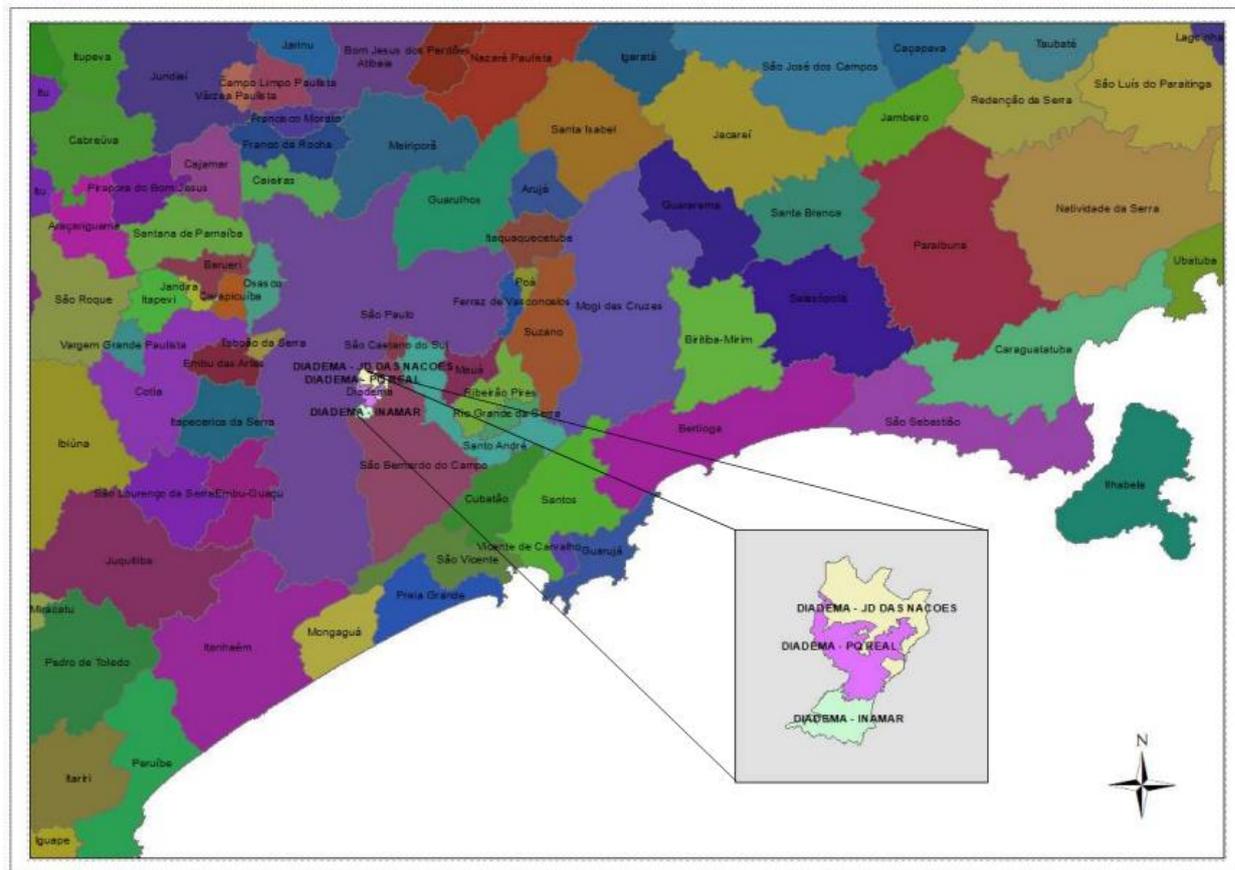
O município de Diadema integra a Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, e está inserido na região do Grande ABC, que é composta por sete cidades: Diadema, São Bernardo do Campo, Santo André, São Caetano do Sul, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e Mauá. Distante 17 km do marco zero de São Paulo, localizado na Praça da Sé, Diadema tem 30,7 km<sup>2</sup>, o que representa 4,94% de todo o território do ABC paulista e 0,01% do território estadual (PREFEITURA DE DIADEMA, 2015).

A população, segundo números do Censo IBGE 2010, é de 386.089 habitantes, o que ocasiona uma densidade demográfica de 12.536 habitantes/km<sup>2</sup>, a segunda maior do país e a primeira no estado de SP.

O relevo é acidentado, com pequenas colinas e morretes alongados. Com poucas áreas planas, a altitude predominante está na faixa de 700 a 800 metros. O clima da região possui duas estações bem definidas, com o verão pouco quente e chuvoso e o inverno ameno e subseco, onde as temperaturas médias

giram em torno de 25°C graus. Em relação as chuvas, o índice pluviométrico médio é de aproximadamente 1.400 a 1.500 mm por ano (PREFEITURA DE DIADEMA, 2015).

Figura 1 – Localização do município de Diadema na RMSP

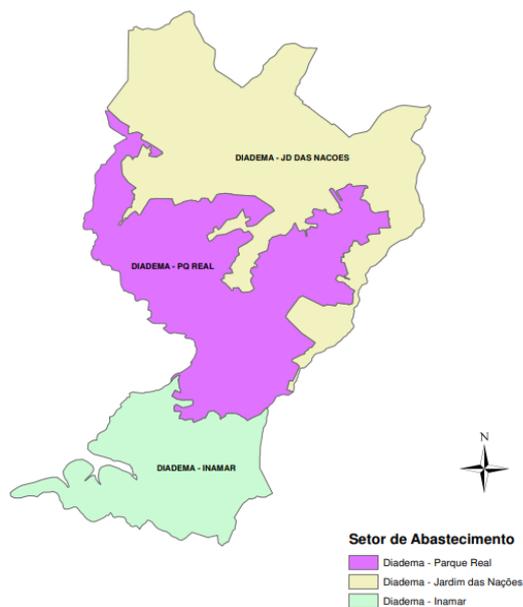


Fonte: (Autora, 2019)

Em termos de abastecimento de água, o município de Diadema tem sua configuração hidráulica dividida em 3 setores principais de distribuição, áreas atendidas por 3 reservatórios que abastecem a cidade, sendo eles: reservatório Jardim das Nações, reservatório Parque Real e reservatório Inamar.

No município, segundo dados da SABESP, existem 111.894 ligações de água ativas, e um índice de perdas de água no sistema de distribuição de 32,7%, com base no mês de julho/2019.

Figura 2 – Setores de abastecimento do município de Diadema: Jardim das Nações, Parque Real e Inamar.



Fonte: (SABESP, 2019)

## PREPARAÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO

A metodologia de preparação do modelo para uso foi obtida por meio de acompanhamento da utilização do software WaterGEMS na Unidade de Gerenciamento Regional Billings – UGR Billings, unidade autônoma da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, responsável pela operação dos serviços de saneamento básico nos municípios de Diadema, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e São Bernardo do Campo. As informações referentes à metodologia aplicada foram obtidas por meio de entrevista com os profissionais responsáveis pelo gerenciamento e utilização dos modelos hidráulicos em estudo.

A primeira etapa do trabalho realizado pela equipe foi a preparação do modelo por meio do software WaterGEMS. Para a adequada utilização do sistema, foi necessário inserir no software informações sobre a malha da rede de distribuição como localização das redes, material, idade, mapa de altimetria, instalações hidráulicas, válvulas de bloqueio, válvulas redutoras de pressão, estações de bombeamento, reservatórios, ventosas, entre outras informações referentes aos componentes do sistema de distribuição.

Estas informações foram lançadas no sistema por meio de arquivos *shapefile*, ou seja, arquivo contendo dados geoespaciais em forma de vetor usado por Sistemas de Informações Geográficas - SIG, onde todas as informações estão devidamente georeferenciadas, possibilitando a adequada localização das unidades hidráulicas para representação espacial no modelo.

A SABESP dispõe de uma tecnologia que mapeia instalações subterrâneas, trata-se do Sistema de Informações Geográficas no Saneamento - SIGNOS, fonte de onde foram obtidos os arquivos *shapefiles* com as informações. A ferramenta funciona como um banco de dados da companhia, contendo um mapa digital das estruturas de saneamento da empresa. Com esta ferramenta é possível, por exemplo, saber onde se encontra um registro ou uma rede específica, além de rastrear a localização dos imóveis atendidos pela Sabesp e quais serão afetados durante uma manutenção. São quase dois milhões de documentos técnicos registrados (SABESP, 2016).

Após estarem inseridos todos os componentes do sistema, a estrutura principal do sistema já pôde ser considerada como construída. Os engenheiros da unidade realizaram testes para avaliar se todos os dados exportados do sistema SIGNOS foram corretamente aderidos ao modelo hidráulico. E, quando necessário, foram realizados ajustes manuais nas redes de distribuição, como redes que aparecem desconectadas da malha de distribuição, mas que possuem a indicação de consumo, com ligações domiciliares conectadas, por exemplo, ou válvulas de bloqueio indicadas como fechadas, interrompendo o fluxo da água em determinado ponto do sistema. Estes problemas podem ocorrer devido alguma falha na transmissão dos dados, no entanto, são simples de serem solucionados, o modelo aponta os locais de incoerência e até que sejam resolvidos todos os problemas, o modelo não permite gerar uma análise. Após realizar todos os ajustes necessários, foi possível efetuar as simulações.

O modelo hidráulico representa as pressões e vazões nos nós do sistema, onde as vazões dentro da malha são distribuídas por estes nós. Ter um modelo bem representativo indica ter em mãos informações consistentes dos dados de campo, como pressões e vazões, perdas de carga nas redes de distribuição e velocidade do fluido nas redes do sistema.

Outra informação relevante que foi inserida no modelo por meio do arquivo de extensão *shape* das redes foi o material e a idade da rede, fato que subsidiou a informação sobre o coeficiente de rugosidade mais adequado a ser utilizado.

Posteriormente a alimentação do modelo com os dados dos componentes do sistema, foi necessário partir para o lançamento das setorizações dentro do sistema de distribuição, como limites das áreas de gravidade, áreas bombeadas (booster), setores de válvulas redutoras de pressão, microzonas, entre outros limites pertencentes ao sistema. Esta atividade foi realizada por meio de comando no software WaterGEMS onde é possível indicar se a válvula componente da malha do sistema de distribuição se encontra aberta, com passagem livre do fluxo d'água, ou fechada, com interrupção total do fluxo d'água.

As informações operacionais sobre as válvulas redutoras de pressão, como regulagem da pressão jusante, e das estações de bombeamento, como a programação da pressão de recalque (*setpoint* de recalque) são informações que foram inseridas manualmente, pois dependem da forma como o gerenciador do sistema optou por regular tais estações. De qualquer modo, vale destacar que é possível, por meio do modelo, avaliar qual a operação ideal para estes equipamentos.

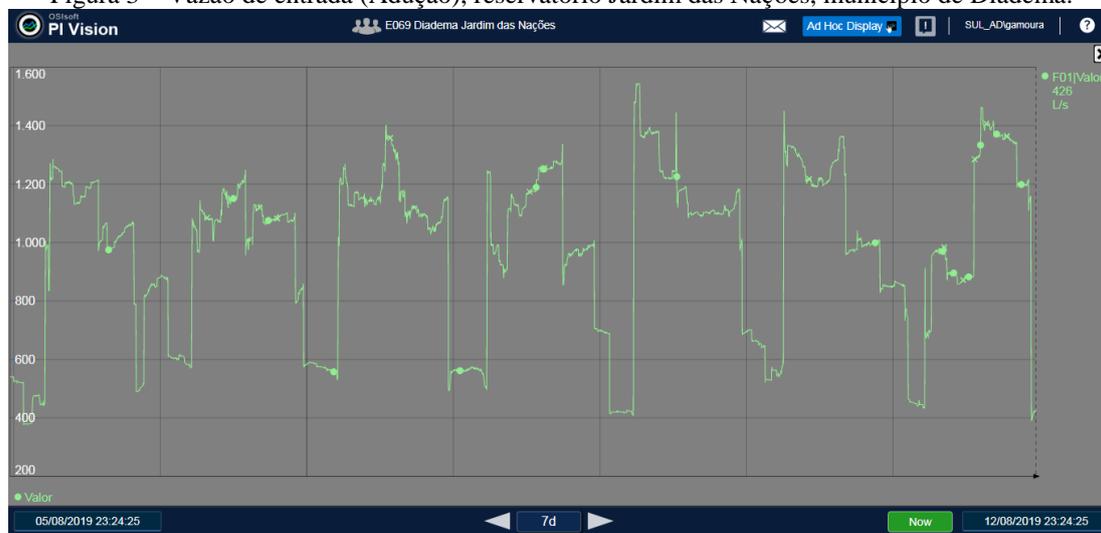
Após a alimentação do modelo com as informações de dados cadastrais, avaliação das inconsistências na malha de distribuição, lançamento dos limites de setores e informações de operação das estações que compõem o sistema, o modelo foi alimentado com as informações sobre as vazões do sistema, ou seja, volumes disponibilizados nos setores hidráulicos e volumes medidos nos pontos de consumo. Esta é a etapa que conferiu ao modelo a dinâmica do abastecimento do setor modelado.

As informações sobre a micromedição, ou seja, o consumo das ligações dentro da área de abrangência do sistema foi lançado por meio de um arquivo *shapefile* de ligações, que, no caso da unidade de estudo, possui interface com os sistemas comerciais, carregando informações sobre os volumes medidos nos hidrômetros (medidores) de cada ligação, sendo elas residências, indústrias, comércios, entre outros consumidores pertencentes ao sistema.

As informações sobre a macromedição, ou seja, as vazões de abastecimento do sistema, vazões medidas nas saídas ou entrada dos reservatórios por meio de macromedidores, também foram inseridas no software.

Na SABESP o controle da macromedição se dá por meio do Sistema SCOA – Sistema de Controle Operacional do Abastecimento. Nas imagens a seguir é possível ver a tela do sistema e as variações nas vazões de entrada (adução) e saída (consumo) do reservatório Jd das Nações, principal reservatório do município de Diadema.

Figura 3 – Vazão de entrada (Adução), reservatório Jardim das Nações, município de Diadema.



Fonte: (SABESP, 2019) Imagem obtida em sistema interno da SABESP.

Figura 4 – Vazão de saída (consumo) do reservatório Jardim das Nações, município de Diadema.



Fonte: (SABESP, 2019) Imagem obtida em sistema interno da SABESP.

Após estarem inseridas as informações sobre as vazões, o sistema foi capaz de simular a movimentação dos volumes dentro das redes, e fornecer dados sobre as variáveis da distribuição.

A etapa seguinte foi a etapa de correção das inconsistências do modelo quando comparado com os dados verificados em campo. Com as informações cadastrais inseridas no modelo, ele já foi capaz de organizar a estrutura do sistema de distribuição de água, no entanto, para a correta representação dos dados, foi realizada a validação do modelo hidráulico com os ajustes com base nos dados obtidos em campo.

Na unidade de estudo a obtenção de dados de campo foi realizada por meio da medição direta de pressão em determinados pontos por meio de manômetros, ou por meio da instalação de dispositivos registradores de pressão, os chamados *dataloggers*, que são instalados em pontos estratégicos do sistema por um período de, no mínimo, sete dias, registrando a pressão a cada 15 min, de modo a acumular os dados e formar uma curva horária de consumo do local, estabelecendo uma relação pressão/vazão x horário. Os equipamentos foram instalados por sete dias, para que fosse possível analisar o perfil de consumo do local durante a semana e durante os finais de semana, uma vez que os dois perfis de consumo normalmente são bem distintos, principalmente em áreas residenciais.

Com a conclusão de todas estas etapas, os modelos já puderam ser trabalhados para análise do sistema, trazendo informações relevantes como as velocidades dentro da malha de distribuição, as perdas de carga nos trechos, os trechos críticos ou comprometidos, que impediam o adequado abastecimento dos nós, pontos da rede com insuficiência ou com necessidade de intervenções para melhoria da qualidade de água, setorizações inadequadas, além de permitir a simulação de cenários, sendo este o principal benefício dos modelos hidráulicos, uma vez que por meio das simulações foram analisadas as propostas de intervenções.

## CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DAS INTERVENÇÕES

Após a modelagem dos setores hidráulicos, considerando as características da malha do sistema, foram definidas áreas prioritárias para intervenções, com base nas pressões estáticas e dinâmicas verificadas, de modo a adequar a operação do sistema à NBR 12218, de julho de 1994, que trata do Projeto de Rede de Distribuição de Água. Conforme a norma, temos que os valores estabelecidos para a pressão são 50 mca para pressão estática máxima e 10 mca para pressão dinâmica, em relação às velocidades dentro das tubulações, temos que 3,5 m/s é a velocidade máxima, e 0,6 m/s é a velocidade mínima indicadas na norma.

Para regiões com problemas na oferta de água, que apresentavam pressão abaixo de 10 mca, pontos intermitentes ou com excessiva perda de carga, foram analisadas as necessidades de implantação de redes de reforço, ou substituição das redes existentes por tubulações de maior diâmetro. Para as regiões com pressão elevada (acima de 50 mca), foram analisadas as regiões para instalação de dispositivos para controle das pressões, como as válvulas redutoras de pressão.

As propostas de intervenções foram baseadas em adequar a oferta de água, assegurar o abastecimento de todos os pontos de consumo, mesmo os mais desfavoráveis, e realizar o gerenciamento das pressões dentro do sistema de maneira condizente a curva de consumo.

## INTERVENÇÕES PARA ÁREA DE ESTUDO

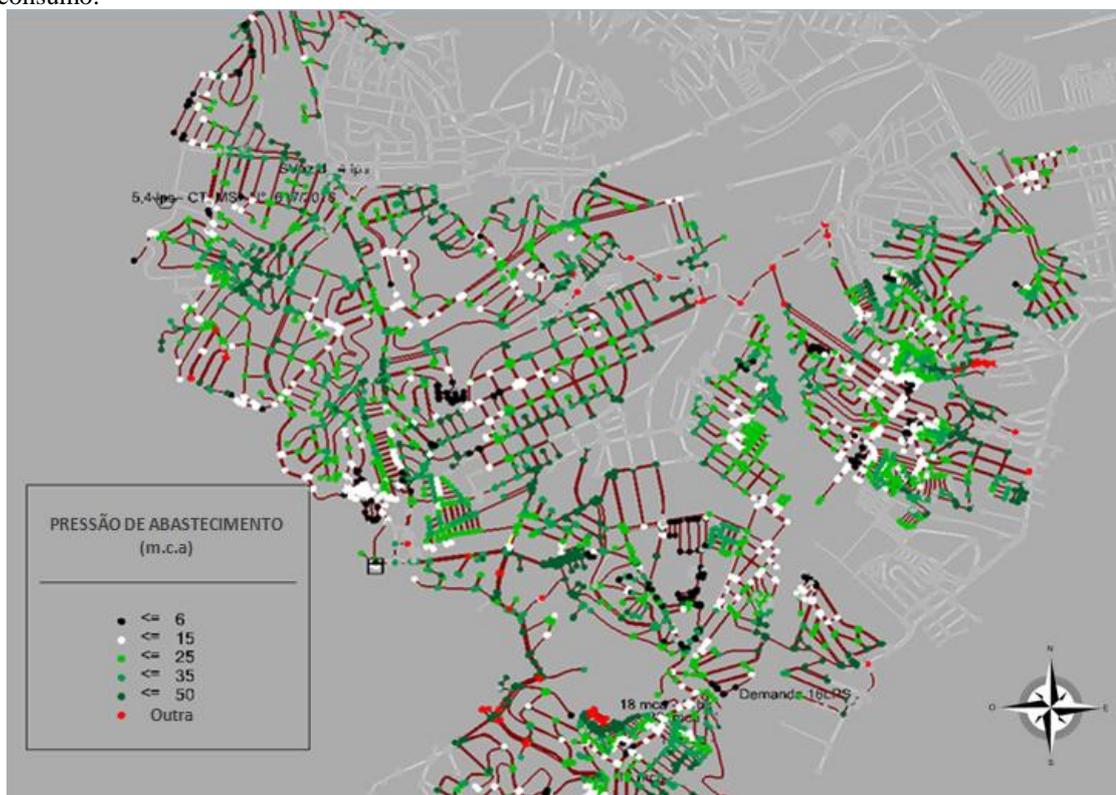
As primeiras análises desenvolvidas na área foram para melhoria da infraestrutura e oferta de água no sistema, com o objetivo de sanar os problemas de intermitência no abastecimento.

No município em estudo, pontos insuficientes no abastecimento eram verificados nos horários de maior de consumo, locais onde, por muitas vezes, a recuperação plena ocorria apenas durante a madrugada.

Por meio da interpretação da modelagem hidráulica, foi possível identificar quais eram os trechos insuficientes do sistema, e avaliar intervenções pontuais para sanar problemas localizados, ou propor grandes modificações na infraestrutura do sistema de distribuição, com o objetivo de sanar problemas mais relevantes.

Conforme informado pelos profissionais responsáveis pela operação do município, esta característica de intermitência no abastecimento nos horários de maior consumo se repetia nos demais setores do município, Jardim das Nações e Inamar, no entanto, o que apresentava maior relevância em relação a quantidade de reclamações, era o setor Parque Real. Na Figura 5, abaixo, esta situação de intermitência no abastecimento fica evidenciada neste setor, na imagem em questão estão destacados com pontos pretos os locais com pressões inferiores a 15 mca, simulação de um horário de maior consumo.

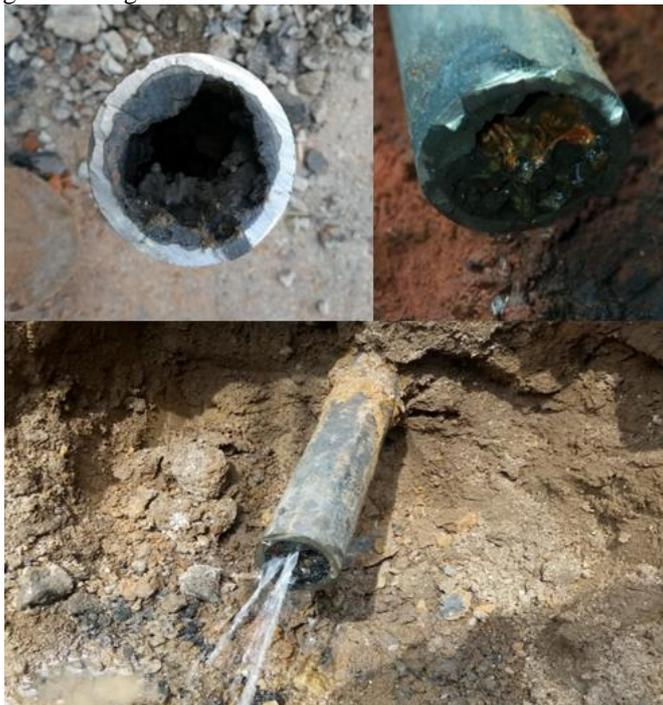
Figura 5 – Imagem dos pontos críticos de abastecimento obtida por meio do modelo hidráulico, recorte para o setor do reservatório Parque Real, município de Diadema. Simulação realizada no horário de pico de consumo.



Fonte: (Sabesp, 2016)

Na grande maioria dos casos, conforme relatado pelos engenheiros responsáveis pela elaboração dos modelos hidráulicos na unidade, estas áreas intermitentes tratavam-se de regiões que apresentavam insuficiência na distribuição, ou seja, a malha não tinha capacidade de suprir a demanda de vazão requerida pelos pontos de consumo nos horários de pico, este fato ocorria em virtude das redes possuírem diâmetros inferiores aos adequados, ou devido ao estado de deteriorização das mesmas, como ocorre com as redes comprometidas por incrustações, conforme exemplo das imagens abaixo.

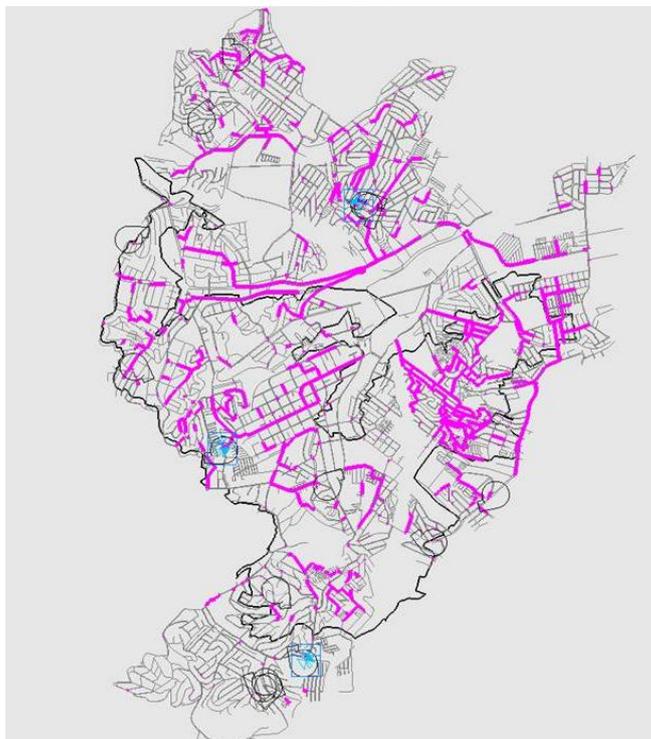
Figura 6 - Registros fotográficos de redes de ferro da malha do sistema com incrustações.



Fonte: Arquivo pessoal.

Por meio do modelo foi possível identificar trechos de redes com problemas críticos, como velocidades muito elevadas ou excessiva perda de carga. Na Figura 7, a seguir, estão destacados todos os trechos de redes identificados com problemas no município.

Figura 7 – Imagem do modelo hidráulico do município de Diadema, os trechos destacados em cor magenta indicam tubulações críticas com necessidade de substituição ou reforço de rede, redes primárias e secundárias.



Fonte: (SABESP, 2016)

Os trechos identificados como em estado crítico no ano de 2014, foram gradualmente substituídos, por meio de projetos específicos que contemplavam a substituição das redes ou implantação de linhas de reforço, dependendo da característica de cada caso. Conforme relatado pela área de engenharia da unidade, até o presente momento foram substituídos aproximadamente 80% da demanda inicial demonstrada na Figura 39.

De modo geral, em todos os setores do município foram desenvolvidas ações para melhoria dos sistemas de distribuição de água analisadas com a utilização dos modelos hidráulicos. Além das obras de melhoria na infraestrutura, também foram simuladas ações para controle e gerenciamento das pressões no setor, como a instalação de válvulas redutoras de pressão e demais obras, conforme melhor detalhado nos tópicos a seguir.

## **SETOR PARQUE REAL**

No setor Parque Real a primeira intervenção concebida a partir da modelagem hidráulica, foi a ampliação da vazão de saída do reservatório do setor. No ano de 2014, o setor Parque Real era considerado o mais crítico no indicador de regularidade do abastecimento, era onde se concentrava a maior parte da demanda por infraestrutura. O primeiro ponto frágil do sistema a ser vencido era a linha de saída do reservatório, uma rede de DN 500 mm, responsável por abastecer aproximadamente 50 mil ligações, tubulação que operava em seu nível crítico de trabalho, sempre com velocidades acima dos valores estabelecidos em norma devido ao alto consumo, promovendo elevada perda de carga ao sistema de distribuição, desgaste do material e tendo como consequência principal a intermitência no abastecimento, verificada nas cotas críticas do setor, trechos localizados em pontos desfavoráveis ao abastecimento, locais mais afastados ou regiões de elevada topografia.

Diante deste cenário, a proposta inicialmente estudada pela engenharia sem a utilização dos modelos para sanar o problema de limitação de vazão, era a substituição da linha de saída por uma rede de DN 800 mm, que seria capaz de suprir a vazão requerida pelo consumo do setor e solucionar os problemas no abastecimento. Porém, as adversidades para aplicação desta solução eram de elevada relevância, uma vez que tratava-se de alto investimento.

Por meio da modelagem hidráulica e dos estudos realizados com esta ferramenta, foi possível simular alternativas ao abastecimento com base na infraestrutura já existente no sistema, e por meio da análise da utilização de uma antiga tubulação de adução que estava desativada, foi possível encontrar uma solução muito mais econômica ao problema.

Analisando a alternativa proposta por meio do modelo, foi possível simular com consistência as condições de campo, sendo concebido o projeto de que fosse realizada uma derivação em marcha desta linha de adução citada, a ser conectada diretamente na malha da rede de distribuição.

A derivação em marcha é uma derivação atendida diretamente pelo sistema adutor, ou seja, possui regime de pressões que não dependem dos níveis dos reservatórios setoriais, ou dos equipamentos como válvulas redutoras de pressão ou estações de bombeamento à montante, mas sim do regime de pressões do próprio sistema adutor.

Após análise da viabilidade das intervenções, no início de 2017 foi realizada a obra, por meio de um prolongamento de 150 m de rede de DN 400 mm a partir da antiga adutora desativada, e posterior instalação de uma válvula redutora de pressão de mesmo diâmetro para controle e adequação das pressões e vazões de abastecimento, chamada VRP Rufino.

Na Figura 8 é possível verificar estas obras, em rosa está destacado o trecho apresentado na primeira proposta, a rede de DN 800 mm, e em vermelho está destacado o trecho de rede realmente construído, 150 m de rede de DN 400 mm, com base na modelagem. Em azul está destacada a antiga linha de adução, que na nova configuração passa a ser mais uma linha de distribuição proveniente do reservatório.

Figura 8 - Prolongamento de 150 m de rede de DN 400 mm, e posterior instalação de válvula redutora automatizada de DN 400 mm – VRP Rufino.



Fonte: (SABESP, 2016)

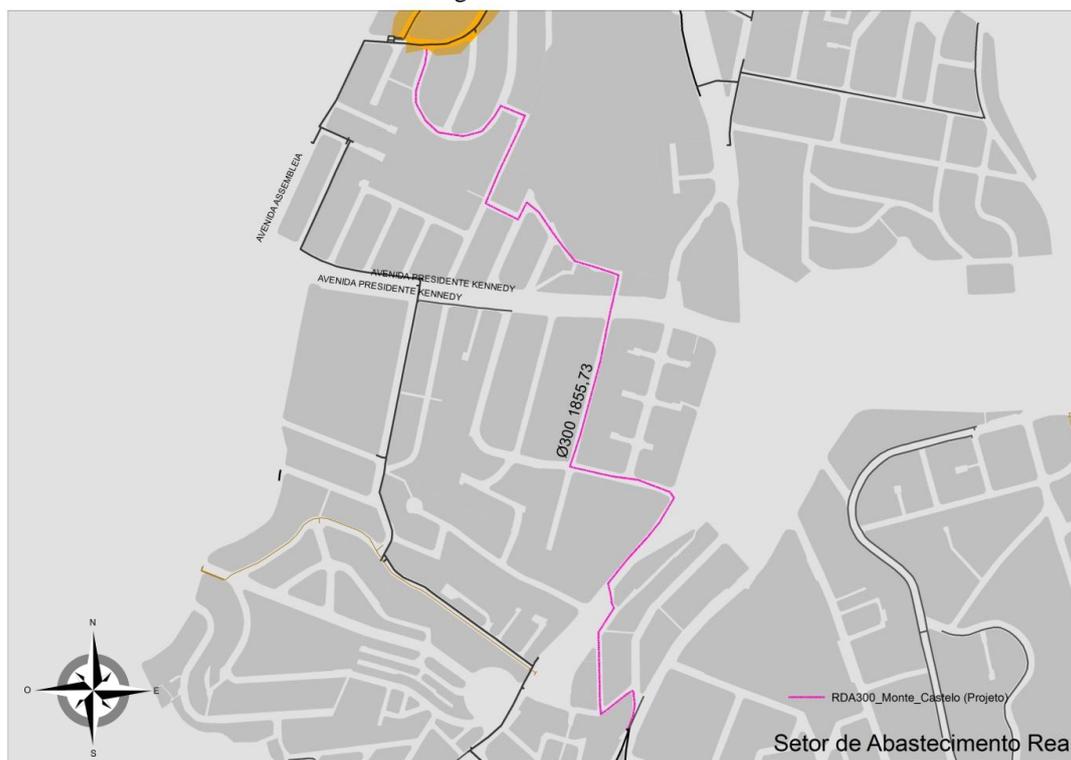
Com base nos estudos desenvolvidos a luz do modelo hidráulico do setor, foram desenvolvidas outras duas propostas de assentamento de rede para este setor: um anel de DN 200 mm na região da Rua Pau do Café, bairro Serraria, área crítica no abastecimento, e o assentamento de 3 km de rede de DN 355 mm, para melhora na oferta de água na região da Vila Elida, bairro localizado na divisa com o município de São Paulo e também com críticos problemas no abastecimento. Os detalhes destes dois projetos estão descritos nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Projeto para construção de um anel de DN 200 mm na região do bairro Serraria.



Fonte: (SABESP, 2016)

Figura 10 – Projeto para assentamento de 3 km de rede de DN 355 mm, para melhora na oferta de água na região da Vila Elida.



Fonte: (SABESP, 2016)

Além das obras de melhoria de infraestrutura para sanar problemas na oferta de água, foi estudada e instalada a válvula redutora de pressão VRP Real, na linha de saída de DN 500 mm, possibilitando, junto com a VRP Rufino, o gerenciamento do sistema e o controle da pressão em 100 % do setor atendido pela gravidade, conforme destacado na Figura 43.

Com o objetivo de ampliar o controle das pressões no sistema, foi proposta a implantação de 3 mini estações de bombeamento, para operar com baixa vazão e atender as áreas de coroa dos setores, pontos mais elevados, e a implantação de outras 11 novas áreas de válvulas redutoras de pressão, para adequar as pressões nas cotas mais baixas do sistema e promover a redução de vazão, conforme melhor detalhado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Ações previstas por meio da modelagem – Setor Parque Real.

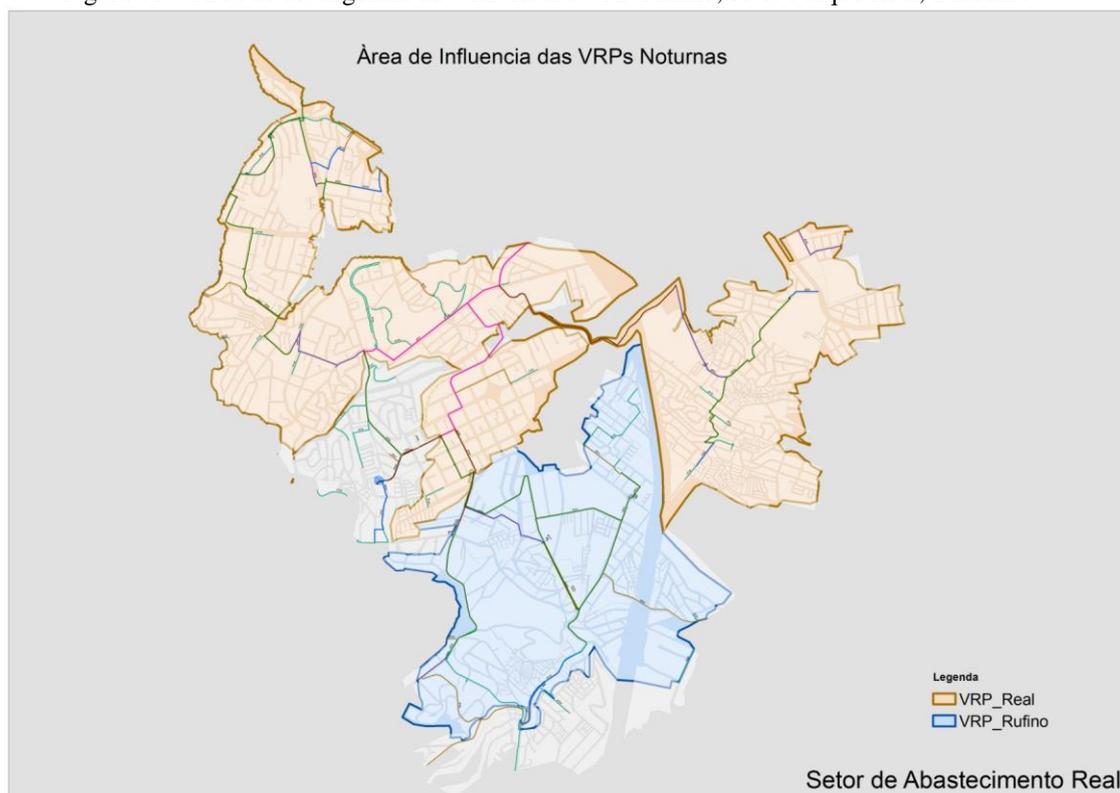
VRP	Ligações	Economias	Vazão Média (L/s)	Vazão Média Após Operação VRP (L/s)	Volume Economizado (L/s)	Volume Economizado (m <sup>3</sup> /mês)	VRP	Cota VRP (m)	Pressão Montante Média (mca)	Pressão Jusante Média (mca)	Cota Ponto Crítico (m)	Pressão Ponto Crítico (mca)
VRP Gazuzza	919	1378	12,16	10,72	1,44	3781	VRP Gazuzza	790	39	16	791	12
VRP Três Meninas	1779	2668	25,01	20,75	4,26	11203	VRP Três Meninas	810	24	16	810	13
VRP Sto. Onofre	220	330	3,15	2,57	0,58	1534	VRP Sto. Onofre	788	38	28	801	12
VRP Piraporinha	418	627	5,72	4,88	0,84	2220	VRP Piraporinha	796	29	16	796	13

<b>VRP Der. Inamar</b>	341	512	4,59	3,98	0,61	1591	<b>VRP Der. Inamar</b>	780	44	21	786	12
<b>VRP_Tanque</b>	1597	2396	23,06	18,64	4,42	11604	<b>VRP_Tanque</b>	811	32	25	820	13
<b>VRP_Kennedy</b>	398	597	5,57	4,64	0,93	2434	<b>VRP_Kennedy</b>	802	31	20	806	12
<b>VRP Natal</b>	507	760	7,31	5,91	1,40	3672	<b>VRP Natal</b>	802	39	30	818	11
<b>VRP Prudente</b>	1251	1876	17,59	14,59	3,00	7877	<b>VRP Prudente</b>	793	39	26	804	12
<b>VRP Manoel da Nobrega</b>	841	1261	12,03	9,81	2,22	5846	<b>VRP Manoel da Nobrega</b>	821	22	16	822	12
<b>VRP Pero de Souza</b>	1440	2160	19,38	16,80	2,58	6773	<b>VRP Pero de Souza</b>	784	42	20	789	12
<b>Total</b>	<b>9.711</b>	<b>14.565</b>	<b>135,56</b>	<b>113,29</b>	<b>22,00</b>	<b>58.535</b>	<b>Média</b>	<b>798</b>	<b>34</b>	<b>21</b>	<b>804</b>	<b>12</b>

Fonte: (SABESP, 2016)

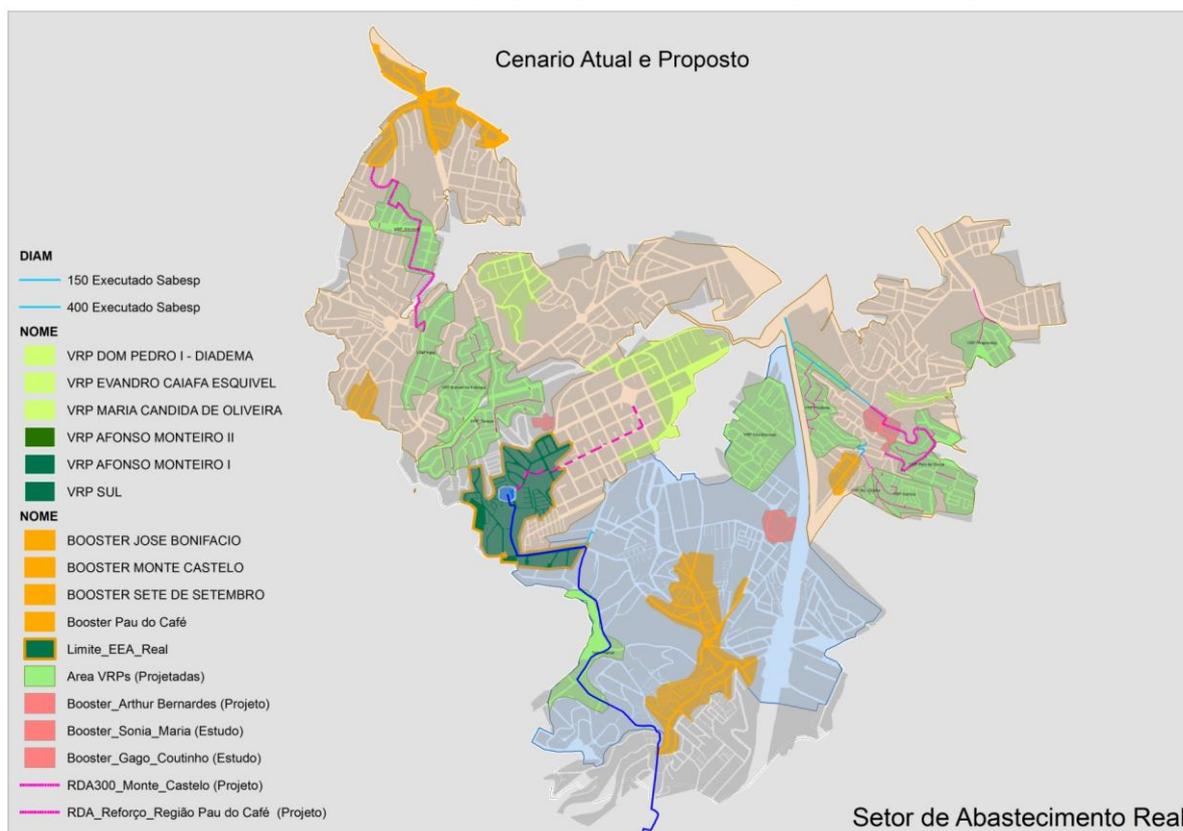
Na Figura 11 é possível verificar a área de abrangência das VRPs Real e Rufino, e na Figura 12, é possível verificar o cenário simulado no modelo hidráulico com todas as intervenções propostas.

Figura 11 – Área de abrangência da VRP Real e VRP Rufino, setor Parque Real, Diadema



Fonte: (SABESP, 2016)

Figura 12 – Cenário atual e cenário proposto por meio da modelagem – Setor Parque Real.



Fonte: (SABESP, 2016)

## SETOR INAMAR

No setor Inamar, que não apresentava grandes problemas estruturais, a principal intervenção planejada e executada foi a instalação de uma válvula redutora de pressão na linha de saída, DN 500 mm, na qual, de acordo com os dados do modelo hidráulico, foi prevista uma redução de vazão no sistema de 14.215 m<sup>3</sup>/mês, redução que representa 6% do volume mensal do setor, além da manutenção da regularidade do abastecimento em todos os pontos do setor.

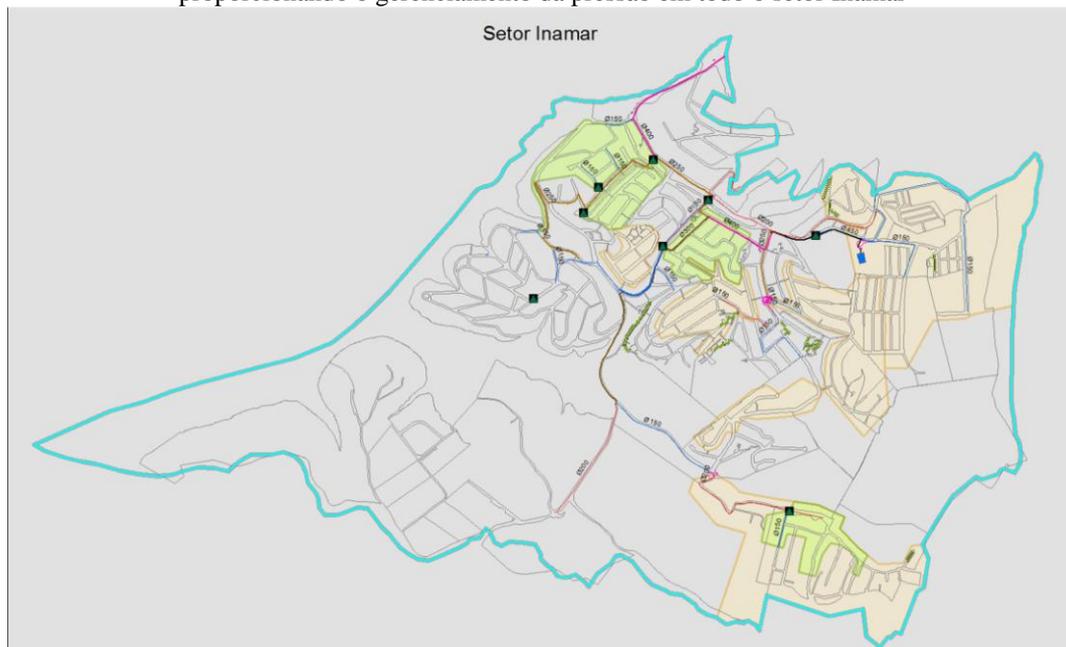
Posterior a válvula na linha de saída, também foram projetadas outras 4 válvulas redutoras para as cotas mais baixas do sistema, como objetivo de controlar a pressão e reduzir as vazões do sistema, conforme melhor detalhado na Tabela 3.

Tabela 3 – Ações previstas por meio da modelagem – Setor Inamar

Ação Prevista	Economias	Vazão Média (L/s)	Vazão Média após operação VRP (L/s)	Volume Economizado (L/s)	Volume Economizado (m <sup>3</sup> /mês)	Pressão Montante (mca)	Pressão Jusante (mca)
VRP ARAUJO	2.560	18,62	11,26	7,36	19.331	54,56	33,00
VRP HELOISA	120	0,90	0,66	0,24	630	50,09	37,00
VRP ORLANDO MATOS	80	0,60	0,28	0,32	840	52,75	25,00
VRP PEROBAS	85	0,63	0,23	0,40	1051	62,42	23,00
Total	2.845	20,75	12,43	8,32	21.852		

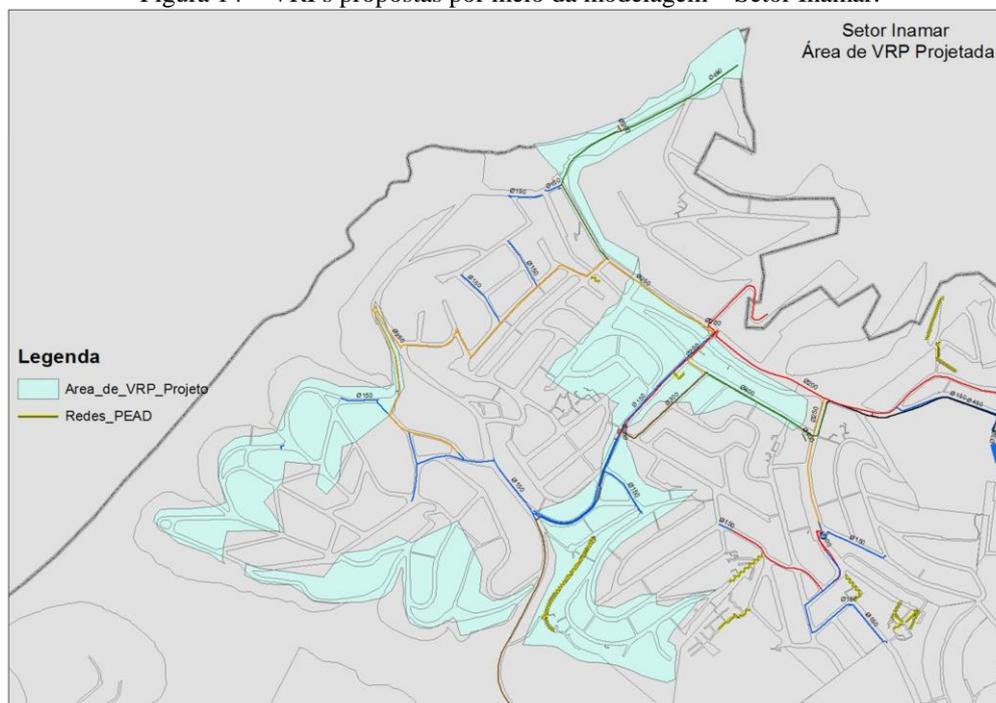
Fonte: (SABESP, 2017)

Figura 13 – Imagem da área de abrangência da VRP Inamar, limite destacado em azul, DN 500 mm, proporcionando o gerenciamento da pressão em todo o setor Inamar



Fonte: (SABESP, 2017)

Figura 14 – VRPs propostas por meio da modelagem – Setor Inamar.



Fonte: (SABESP, 2017)

## SETOR JARDIM DAS NAÇÕES

No setor Jardim das Nações, além da renovação das redes comprometidas, foi realizado por meio da modelagem o estudo para instalação de 17 válvulas redutoras de pressão, com o objetivo de regularizar a pressão dentro do sistema de distribuição, também foi realizada a proposta de modernização das bombas da zona alta, trocas de ramais, pesquisa de vazamentos não visíveis e reparos de vazamentos, ações onde se planejou chegar a uma redução de 99,63 L/s, que representa uma redução de aproximadamente 3,1 milhões de m<sup>3</sup> por ano.

As ações foram realizadas por meio de um contrato de performance com o Consórcio Performance Diadema, que venceu a licitação proposta para execução do pacote de obras e remuneração por performance, ou seja, proporcional ao resultado atingido, sendo o 100% a redução de 99,63 L/s na vazão média disponibilizada no setor. A empresa atuou no setor hidráulico nos anos de 2017 a 2019, sendo responsável pela implantação da infraestrutura necessária para atingir o resultado de redução no volume disponibilizado estabelecido em contrato. O contrato era responsável por realizar a implantação da infraestrutura necessária, como renovação das redes, instalação das válvulas redutoras de pressão, pesquisa e reparo de vazamentos, renovação de ramais, substituição de medidores, entre outras ações que fizessem parte do escopo de trabalho para atingir o resultado e, conseqüentemente, a remuneração por performance estabelecida em contrato.

Os dados das ações propostas estão detalhados na Tabela 4, a seguir.

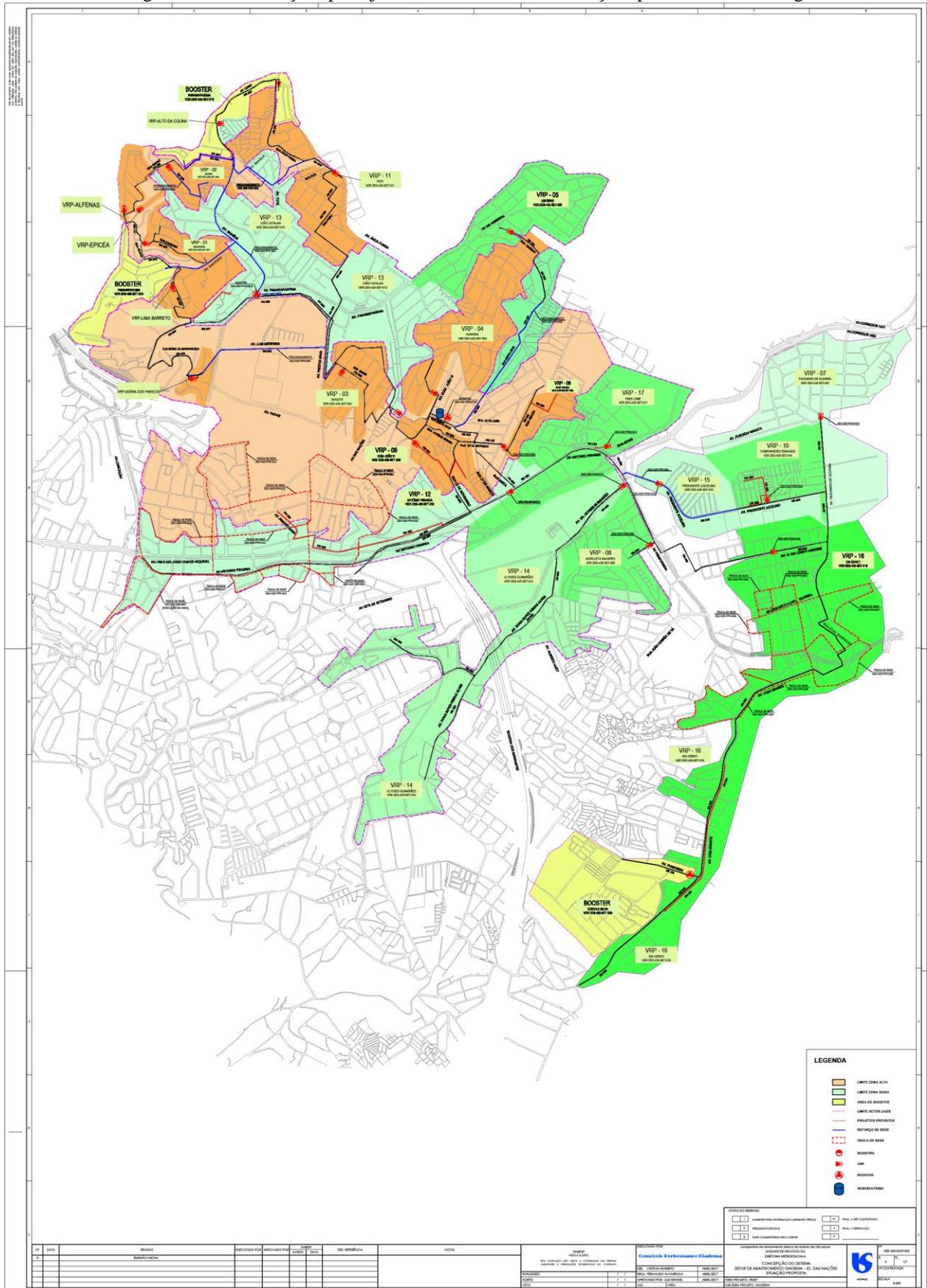
Tabela 4 – Ações previstas por meio da modelagem – Setor Jardim das Nações

Ação Prevista	Cota VRP (m)	Cota Ponto Crítico (m)	Cota Ponto Médio (m)	Ligações	Vazão média (L/s)	Vazão Média após operação VRP (L/s)	Vazão Prevista para Economia (l/s)	Volume Economizado (m³/mês)
VRP-01_MACAHUBA	795	798	788	569	7,28	6,25	1,03	2.700
VRP-02_JAÇANÃ	794	800	788	543	4,84	4,39	0,44	1.164
VRP-03_BOGOTÁ	802	816	799	1162	3,51	3,24	0,27	709
VRP-04_HUNGRIA	808	780	800	2182	32,51	22,80	9,71	25.528
VRP-05_DN200	759	786	769	2222	24,69	22,18	2,51	6.593
VRP-06_29 DE MARÇO	795	794	796	380	6,10	4,71	1,38	3.632
VRP-07_dn300	756	767	754	1894	39,61	31,30	8,31	21.834
VRP-08_200	779	786	771	1228	11,18	10,13	1,05	2.749
VRP-09_100	811	782	785	966	12,57	9,84	2,74	7.192
VRP-10_dn100	772	766	775	788	16,16	13,19	2,97	7.807
VRP-11_POTI	794	804	794	810	7,87	6,93	0,94	2.472
VRP-12_ANTÔNIO PIRANGA I	770	775	786	2159	46,88	45,74	1,14	3.008
VRP-13_J.CATALAN-F600	782	762	788	4409	127,88	112,82	15,06	39.586
VRP-14_ULYSSES_G.	756	769	791	3138	25,78	25,18	0,60	1.586
VRP-15_JUCELINO	762	770	783	813	52,76	49,43	3,33	8.759
VRP-16_IDA_CERATTI	775	768	778	4688	95,74	95,31	0,43	1.132
VRP-17_ANTÔNIO PIRANGA II	758	776	786	1355	12,11	11,94	0,17	439
Booster Zona Alta	800			10260	191,63	167,50	24,13	63.418
Troca de rede e ramais							17,87	46.968
Reparo vazamentos							5,54	14.573
<b>Total de vazão economizada (l/s)</b>							<b>99,63</b>	<b>261.850</b>

Fonte: (SABESP, 2017)

A seguir, na Figura 15 é possível ver em planta o detalhamento das ações propostas para o setor.

Figura 15 – Intervenções planejadas no setor Jardim das Nações por meio da modelagem



Fonte: (SABESP, 2017)

## DESEMPENHO CONSIDERANDO AS INTERVENÇÕES PROPOSTAS

Em 2014, conforme dados da Sabesp, o município de Diadema contava com 106.426 ligações ativas, e um índice de perdas de 48%. Além do elevado índice de perdas, aproximadamente 20% dos clientes atendidos no município de Diadema sofriam com falta de água em algum período do dia, conforme relatado pela administradora.

Com as intervenções propostas por meio dos estudos de engenharia embasados em modelos hidráulicos dos setores de abastecimento, os primeiros resultados obtidos foram a melhoria na regularidade do abastecimento, e ampliação da satisfação dos clientes atendidos. Posteriormente o resultado relevante foi a adequação do gerenciamento das pressões dentro do sistema, contribuindo com a redução das perdas reais. A seguir os resultados em cada setor hidráulico.

### SETOR PARQUE REAL

No setor do reservatório Parque Real, que era considerado mais crítico na regularidade do abastecimento, foi verificada expressiva redução nas reclamações relacionadas a falta de água. Logo no primeiro ano após as intervenções realizadas para melhoria do abastecimento, ou seja, o ano de 2017, foi verificada uma redução de 53% no número de reclamações, comparando-se o resultado ao obtido no ano de 2016, conforme detalhado na Tabela 5, abaixo.

Tabela 5 - Reclamações acatadas nas centrais de atendimento no ano de 2016 e 2017, setor de abastecimento do reservatório Parque Real.

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO ACATADO	ANO	
	2016	2017
FALTA DE ÁGUA GERAL	141	57
POUCA PRESSAO DE ÁGUA GERAL	52	10
FALTA DE ÁGUA LOCAL	110	85
POUCA PRESSAO DE ÁGUA LOCAL	66	21
CARRO TANQUE – GRATUITO	3	1
<b>TOTAL</b>	<b>372</b>	<b>174</b>

Fonte: (SABESP, 2017)

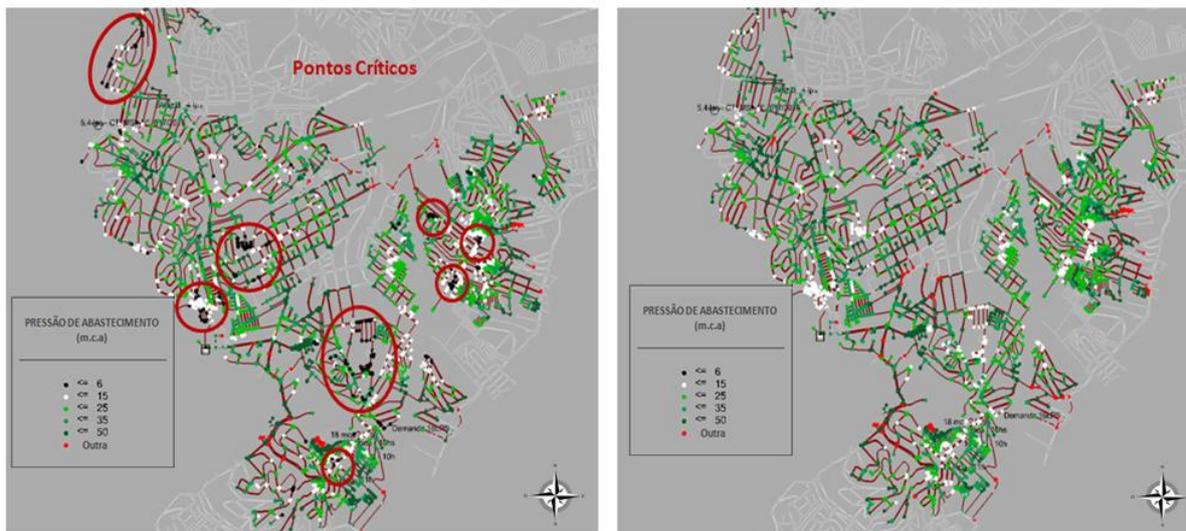
Os mapas abaixo (Figura 16) refletem os dois cenários de abastecimento no horário de maior consumo para este setor, e demonstram a situação do abastecimento antes das obras (figura da esquerda) e após as obras de melhoria na infraestrutura (figura da direita). Na figura após as obras é possível verificar que não são mais encontrados pontos com pressões abaixo dos 15 mca, na simulação do abastecimento no horário crítico (pico de consumo), ou seja, após as obras de melhoria na infraestrutura foram eliminados todos os pontos intermitentes do sistema, cenário no qual todos os clientes do setor estão sendo satisfatoriamente abastecidos de maneira regular.

Além das ações de melhoria na oferta de água por meio do assentamento de novas redes, 4 área das VRPs estudadas neste setor já foram implantadas – VRP Real, VRP Rufino, VRP Tanque e VRP Kennedy, e conforme relato dos profissionais da área de engenharia, estão operando e representando em campo os dados que foram simulados no modelo, atendendo satisfatoriamente os parâmetros operacionais que eram esperados

Figura 16 – Situação do abastecimento nos pontos críticos antes e após obras de melhoria da infraestrutura. Verifica-se a eliminação da intermitência no abastecimento.

**Antes**

**Depois**



Fonte: (SABESP, 2016)

## SETOR INAMAR

No setor Inamar o resultado satisfatório verificado foi na atuação da válvula redutora modelada na linha de saída, onde estava prevista uma redução de vazão no sistema de 14.215 m<sup>3</sup>/mês, e de acordo com o acompanhamento das vazões do equipamento, foi verificada uma redução real de 14.533 m<sup>3</sup>/mês, mostrando a eficiência nas estimativas realizadas por meio dos modelos hidráulicos. Neste setor em questão foi possível realizar a medição de vazão, pois o mesmo está configurado em uma única zona de gravidade, regulada pela válvula citada.

As 4 VRPs estudadas posteriormente a implantação da VRP na linha principal também foram implantadas, atendendo satisfatoriamente os parâmetros operacionais simuladas no modelo.

## SETOR JARDIM DAS NAÇÕES

No setor Jardim das Nações todas as ações planejadas foram implantadas, sendo responsáveis pela melhora no abastecimento e o gerenciamento das pressões no sistema de distribuição. O principal resultado foi na redução das perdas, que foi o fator utilizado na apuração e remuneração do contrato de performance que atuou no município. Seu desempenho está demonstrado no gráfico a seguir, por meio do indicador IPDT - Índice de Perdas na Distribuição Total, que considera o volume em litros perdido por cada ligação ativa da área pelo período de um dia.

Tabela 6 – Índices de Perdas Setor Nações

### IPDT (L/Lig\*dia) – Setor Nações

2017	2018	2019
321	217	172

Fonte: SABESP, 2019.

## MUNICÍPIO DE DIADEMA

O controle de vazões dentro do município de Diadema é realizado de modo integrado, entre todos os dispositivos de medição do município, não sendo possível analisar separadamente o resultado de redução de

perdas de cada setor em todo o período de estudo. De qualquer forma, analisando o desempenho do município de 2014 à 2019, que contempla os resultados dos três setores analisados neste trabalho, verifica-se expressiva redução nos volumes perdidos.

Tabela 7 – Índices de Perdas em junho/2014 e junho/2019 no município de Diadema.

<b>Índices de Perdas - JUNHO/2014</b>			
<b>Índice de Perdas na Distribuição Total- IPDT (L/lig*dia)</b>	<b>Índice de Perdas (%)</b>	<b>Ligações - Junho/2014</b>	<b>Litros perdidos (L/ano)</b>
494	47,63%	106.426	19.189.672.060
<b>Índices de Perdas - JUNHO/2019</b>			
<b>Índice de Perdas na Distribuição Total- IPDT (L/lig*dia)</b>	<b>Índice de Perdas (%)</b>	<b>Ligações - Junho/2019</b>	<b>Litros perdidos (L/ano)</b>
238	32,73%	111.894	9.720.231.780

Fonte: (SABESP, 2019 - Dados obtidos por meio dos sistemas internos da SABESP – COP – Controle Online de Perdas).

No gráfico a seguir está o demonstrado o resultado do principal indicador do IPDT - Índice de Perdas na Distribuição Total, onde é possível verificar que o indicador saiu do patamar de 494 L/lig\*dia em 2014, para 238 L/lig\*dia em 2019.

Tabela 8 – Índices de Perdas Município de Diadema.

<b>IPDT (L/Lig*dia) – Município de Diadema</b>					
<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
494	403	340	323	272	238

Fonte: SABESP, 2019. Dados obtidos por meio dos sistemas internos da SABESP – COP – Controle Online de Perdas.

Com todas as ações realizadas, o município de Diadema economiza hoje 9,5 bilhões de litros de água por ano. Considerando o período de junho/2014 até o junho/2019, ou seja, um período de 5 anos, a economia obtida com as ações de combate às perdas já representou o volume de 47 milhões de metros cúbicos de água, reduzindo o resultado do principal indicador de perdas da unidade.

Vale destacar que, no período em análise, as ações de infraestrutura foram complementadas com outros pilares que fazem parte do combate às perdas, como agilidade no reparo de vazamentos, renovação do parque de medidores - hidrômetros, pesquisa de vazamentos não visíveis, renovação de redes e ramais, ações de combate às fraudes, instalação de controladores automatizados nas válvulas redutoras de pressão e instalação de inversores frequência nas estações de bombeamento que ajustam automaticamente operação destes equipamentos a curva de consumo, entre outras ações que certamente somaram esforços e contribuíram para redução das perdas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme análise dos dados obtidos, pode-se concluir que a avaliação das propostas de intervenção a luz de modelos hidráulicos é positiva, tendo resultados efetivos muito próximos aos simulados e esperados.

As primeiras análises desenvolvidas na área de estudo foram para melhoria da infraestrutura e oferta de água no sistema, com o objetivo de sanar os problemas de intermitência no abastecimento, ações que tiveram resultado satisfatório em todas as intervenções planejadas.

Por meio do modelo hidráulico foi possível identificar as redes com problemas críticos, como velocidade elevada e perdas de carga também elevadas, realizar simulações consistentes de alternativas e propor ações efetivas para solução dos problemas, otimizando os recursos destinados para este fim.

As ações de combate às perdas físicas de água no cenário atual do saneamento, onde frequentemente são enfrentadas situações de escassez hídrica, são indispensáveis, vale destacar que o combate às perdas de água representa preservação ambiental do recurso hídrico, perenidade do abastecimento com água de qualidade para as próximas gerações, redução nos altos custos relacionados a gastos com energia elétrica, tratamento e distribuição, e conseqüentemente, a sustentabilidade econômica para as empresas de saneamento.

Sendo assim, diante do estudo de caso apresentado no trabalho em questão, pode-se concluir que os modelos hidráulicos são ferramentas avançadas e modernas para a gestão da infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água, e quando devidamente aplicados e operados, trazem benefícios e subsídios para as ações de gerenciamento e combate às perdas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA – Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo. Embrapa Cerrados, Planaltina, 2001. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/555374/1/doc33.pdf>. Acesso em: 01 jun.2019

FUNASA - Fundação Nacional da Saúde. REDUÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA - 2ª Edição. Brasília, 2014. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/reducao\\_de\\_perdas\\_em\\_saa74.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/reducao_de_perdas_em_saa74.pdf). Acesso em 05 mai. 2020

INSTITUTO TRATA BRASIL. O Manual do Saneamento Básico. 2012. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/pesquisa16/manual-imprensa.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. PERDAS DE ÁGUA 2018 (SNIS 2016): DESAFIOS PARA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E AVANÇO DA EFICIÊNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2019.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Qualidade da Água e Águas Residuais. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.unwater.org/water-facts/quality-and-wastewater/>. Acesso em: 20 jul. 2019.

PREFEITURA DE DIADEMA. Histórias. Diadema, SP. 19 de Fev. de 2015. Disponível em: <http://www.diadema.sp.gov.br/cidade/conheca-diadema/historia>. Acesso em: 28 jul. 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2015. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2017. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental.

TARDELLI Fº, Jairo. CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS NOS SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. Posicionamento e contribuições técnicas da ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - 1ª Edição, Rio de Janeiro, 2016. 105 pg.