

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DO PROJETO DE SETORIZAÇÃO DO SUBSISTEMA EBAT
CASCATINHA/ RESERVATÓRIO CATUMBI**

LEONARDO GUARAGNI FRAGA

Porto Alegre

Maio 2021

LEONARDO GUARAGNI FRAGA

**ANÁLISE DO PROJETO DE SETORIZAÇÃO DO SUBSISTEMA EBAT
CASCATINHA/ RESERVATÓRIO CATUMBI**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Comissão de Graduação do
Curso de Engenharia Civil da Escola de
Engenharia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Gino Roberto Gehling

Porto Alegre

Maio 2021

CIP - Catalogação na Publicação

Guaragni Fraga, Leonardo
Análise do Projeto de Setorização do Subsistema
EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi / Leonardo
Guaragni Fraga. -- 2021.
100 f.
Orientador: Gino Roberto Gehling.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Civil, Porto Alegre,
BR-RS, 2021.

1. Perdas de Água. 2. Sistemas de Abastecimento de
Água. 3. Distritos de Medição e Controle. I. Gehling,
Gino Roberto, orient. II. Título.

LEONARDO GUARAGNI FRAGA

**ANÁLISE DO PROJETO DE SETORIZAÇÃO DO SUBSISTEMA EBAT
CASCATINHA/ RESERVATÓRIO CATUMBI**

Porto Alegre, maio de 2021

Prof. Gino Roberto Gehling
Doutor em Engenharia Ambiental pela Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Maria Cristina de Almeida Silva (UFRGS)
Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS

Prof. Juan Martin Bravo (UFRGS)
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS

Prof. Gino Roberto Gehling (UFRGS)
Doutor em Engenharia Ambiental pela Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha

Dedico este trabalho aos meus pais.
Sempre foram meu maior suporte e
minha principal motivação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço meu orientador, Gino Roberto Gehling, por aceitar ser meu orientador de estágio, de TCC e por sempre estar disposto a ajudar da melhor maneira possível.

Agradeço a todos os funcionários da UFRGS, especialmente aos professores, por fazerem desta universidade uma das melhores do país.

Agradeço aos meus colegas que me acompanharam nessa jornada que foi a graduação e acabaram se tornando grandes amigos.

Agradeço aos chefes e colegas de estágio que tive nos últimos anos. Tive o privilégio de trabalhar com profissionais excelentes que me ensinaram muito e me fizeram evoluir como profissional.

Agradeço ao DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgotos e à empresa responsável pelo empreendimento, ENOPS Engenharia, por me disponibilizarem os dados para a realização deste trabalho.

Por último agradeço à minha família, especialmente meus pais. Sem eles não teria chegado até aqui.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo”

Wiston Churchill

RESUMO

A água é o recurso natural mais importante do planeta. É essencial para a manutenção de vida no nosso planeta e é indispensável para diversas atividades realizadas pelo ser humano. Com o crescimento populacional global e o constante avanço da industrialização, a água começou a ser cada vez mais usada, tornando-se importante reduzir as perdas da mesma. As perdas de água se classificam em dois tipos: Perdas reais e aparentes. As perdas reais são caracterizadas por vazamentos em uma ou mais partes do sistema e extravasamento em reservatórios de água tratada, ou seja, são as perdas físicas de água. Já as perdas aparentes são definidas como as águas que são consumidas, mas acabam não sendo faturadas pela companhia de saneamento, essa também chamada de perda comercial. Neste trabalho, o foco será na perda real. Estudos realizados nos últimos anos mostraram que a separação de uma rede em setores, DMC (Distritos de Medição e Controle) e o controle da pressão com VRP (Válvulas Redutoras de Pressão), contribuem significativamente para a redução de perdas no sistema. Com o objetivo de reduzir perdas, o DMAE por meio de licitação, irá realizar em 2021 uma obra de setorização no subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi, que se localiza na zona sul de Porto Alegre. Essa obra consistirá em separar o subsistema em DMC e implementar VRP para reduzir as pressões médias da área. Este trabalho consiste em uma análise do projeto da obra de setorização do subsistema. Na parte inicial são explicados os conceitos básicos sobre sistemas públicos de abastecimento de água, depois os conceitos de perdas reais e aparentes, VRP e DMC e ferramentas de auxílio à gestão de DMC. Posteriormente há uma descrição das características operacionais do subsistema, as etapas da modelagem e calibração do modelo do subsistema em software do mesmo e também a descrição da concepção do projeto. Por fim há a análise da estimativa de redução de perdas reais que a obra de setorização irá causar.

Palavras-chave: Água, Perdas, Pressão, Controle, Redução, Sistema.

ABSTRACT

Water is the most important natural resource on the planet. It is essential to maintaining life on Earth and indispensable for various human activities. As the world population grew and with the constant advance of industrialization, water began to be used increasingly, and it became important to reduce its losses. There are two types of water losses: real and apparent losses. Real losses are characterized by leakages in one or more parts of the system, and overflow from potable water systems, i.e, these are physical losses of water. On the other hand, apparent losses are defined as water that is consumed, but ends up not being charged for by the sanitation companies. This is also called commercial loss. This study will focus on real losses. Studies performed in recent years have shown that the separation of a system into sectors, DMC Measurement and Control Districts (Distritos de Medição e Controle) and the control of pressure with VRP Pressure reducing valves (Válvulas Redutoras de Pressão) provide a significant contribution to reduce losses in the system. Aiming to reduce losses, DMAE (Municipal Department of Water and Sewage of Porto Alegre), through a call for bids, in 2021 will perform a sectorization in the EBAT Cascatinha/Catumbi Reservoir subsystem, in the south zone of Porto Alegre. This work will consist of separating the subsystem into DMC and implementing VRP to reduce mean pressures in the area. This study consists of an analysis of the subsystem sectorization work project. It begins by explaining the basic concepts of public water supply systems, and then the concepts of real and apparent losses, VRP and DMC and tools to help manage the DMC. Later there is a description of the operational characteristics of the subsystem, the modeling and calibration system of the subsystem model in its software and also the description of the project concept. Finally an estimate of reduction of real losses that will be caused by the sectorization work is analyzed.

Keywords: Water, Losses, Pressure, Control, Reduction, System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Posições dos reservatórios em relação ao terreno.....	22
Figura 2 - Tipos de vazamentos e síntese de ações para redução de perdas...	31
Figura 3 - Classificação dos vazamentos segundo a IWA.....	31
Figura 4 - Relação de vazões de vazamentos com a variação de pressão	33
Figura 5 - Estratégia de controle de perdas de água.....	35
Figura 6 - Válvula redutora de pressão.....	39
Figura 7 - Macromedidor eletromagnético	44
Figura 8 - Representação simplificada de um modelo de redes hidráulicas	47
Figura 9 - Sistemas / ETAs da cidade de Porto Alegre.....	51
Figura 10 - Subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi	52
Figura 11 - EBAT localizadas na área de projeto	54
Figura 12 - Pressões estáticas - Potencial hidráulico EBAT Cascatinha	56
Figura 13 - Pressões estáticas - Potencial hidráulico reservatório Catumbi	57
Figura 14 - Balaço de vazões da área de estudo	63
Figura 15 - Balanço de vazões final da área de estudo.....	64
Figura 16 - Setores do subsistema	72
Figura 17 - Perda de carga na adutora.....	73
Figura 18 - Cotas da área do subsistema	74
Figura 19 - Pressões de máximo consumo do subsistema	75
Figura 20 - Pressões de mínimo consumo no subsistema	76
Figura 21 - Traçado dos DMC	77
Figura 22 - Comparação dos DMC com mapa de cotas.....	78
Figura 23 - Áreas de influência das VRP	81
Figura 24 - Pressões do subsistema e áreas de influência das VRP	82
Figura 25 - Assentamento de rede no DMC 8	84
Figura 26 - Assentamento nos DMC 22 e 23.....	84
Figura 27 - Pressões de máximo consumo com VRP	85
Figura 28 - Pressões de mínimo consumo com VRP	86

Figura 29 - Pressões de máximo consumo antes e depois da setorização	87
Figura 30 - Pressões de mínimo consumo sem e com VRP	88
Figura 31 - Pressões de máximo consumo no DMC 13	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização geral das perdas	25
Tabela 2 - Matriz do balanço hídrico.....	27
Tabela 3 - Índices percentuais de perdas	28
Tabela 4 - Características dos vazamentos.....	32
Tabela 5 - Sistemas de abastecimento de água em Porto Alegre (2014).....	50
Tabela 6 - Características do reservatório Catumbi.....	53
Tabela 7 - Características das ligações de água do subsistema em estudo	58
Tabela 8 - Economias totais por categoria de uso.....	58
Tabela 9 - Economias ativas por categoria de uso	58
Tabela 10 - Informações gerais demográficas.....	59
Tabela 11 - Volume faturado mensal das ligações residenciais	60
Tabela 12 - Volume faturado mensal das ligações não residenciais	61
Tabela 13 - Vazão dos bombeamentos	62
Tabela 14 - Coeficientes de Rugosidade.....	66
Tabela 15 - Parâmetros por DMC.....	79
Tabela 16 - VRP dimensionadas	83
Tabela 17 - Pressões médias no sistema	89
Tabela 18 - Índices de perda do subsistema	91
Tabela 19 - Índices de perda hipotéticos para Porto Alegre	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AESBE	Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento
CMB	Conjunto Motor Bomba
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgotos
DMC	Distrito de Medição e Controle
DN	Diâmetro Nominal
EBAT	Estação de Bombeamento de Água Tratada
ETA	Estação de Tratamento de Água
EP	Estação Pitométrica
FC	Fibrocimento
FD	Ferro Dúctil
FOFO	Ferro Fundido
IWA	Associação Internacional de Água
MCA	Metros de Coluna de Água
NBR	Norma Brasileira
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PVC	Poli Cloreto de Vinila
SRP	Sistema Redutor de Pressão
VRP	Válvula Redutora de Pressão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS DO TRABALHO	17
2.1. DELIMITAÇÕES	17
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1. SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	18
3.2. VARIAÇÕES TEMPORAIS DE CONSUMO	19
3.3. RESERVATÓRIOS	20
3.4. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA	22
3.5. ZONAS DE PRESSÃO	23
3.6. PERDAS DE ÁGUA	24
3.6.1. Balanço Hídrico	26
3.6.2. Indicador Percentual de Perdas (IP)	28
3.6.3. Perdas Aparentes	29
3.6.4. Perdas Reais	30
3.6.4.1. Relação entre Pressão e Vazamentos	32
3.6.4.2. Causas das Perdas	33
3.6.4.3. Ações para Redução de Perdas Reais	34
3.7. VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO	39
3.8. DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE	40
3.8.1. Critérios para Implantação	41
3.8.2. Limites	42
3.8.2.1. DMC em Áreas de VRP e Boosters	42
3.8.3. Tamanho	43
3.8.4. Controle da Vazão	44
3.8.5. Sistemas de Suporte à Gestão de DMC	45
3.9. PITOMETRIA	48
4. ESTUDO DE CASO	49
4.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXISTENTE	49
4.1.1. Descrição do Macro Sistema	50
4.1.2. Análise Operacional	51

4.1.2.1.	Produção e reservação	53
4.1.2.2.	Bombeamentos	53
4.1.2.3.	Redes de Distribuição	54
4.1.2.4.	Setorização Existente e Macromedição	55
4.1.2.5.	Pressões Estáticas.....	55
4.1.3.	Dados Comerciais	58
4.1.4.	Dados Populacionais	59
4.1.5.	Estimativas de Consumo.....	59
4.1.6.	Balanço de Vazões.....	62
4.2.	ELABORAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO	65
4.2.1.	Parametrização	65
4.2.2.	Calibração	68
4.3.	PROJETO DE SETORIZAÇÃO DO SUBSISTEMA	70
4.3.1.	Premissa de Projeto.....	70
4.3.2.	Análise do Sistema Atual.....	71
4.3.3.	Concepção	77
4.3.3.1.	DMC.....	77
4.3.3.2.	VRP.....	80
4.3.3.3.	Reforço de Redes	84
4.3.4.	Resultados	85
4.4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	90
5.	CONCLUSÕES	93
6.	REFERÊNCIAS	95

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos mais importantes recursos naturais do planeta. Além de ser essencial para a manutenção de vida na terra, também é essencial para as atividades humanas.

Com o aumento da população e a constante evolução industrial, este recurso passou a ser cada vez mais usado como um recurso abundante e infinito e com pouca preocupação com sua poluição ou escassez. Porém estima-se que apenas 3% da água do planeta seja potável. No entanto, nas últimas décadas o interesse pela preservação da água e utilização de forma racional da mesma vem crescendo.

Devido ao crescimento populacional e o constante avanço tecnológico / industrial, os valores de perdas de água se elevaram. Esse crescimento dos valores de perdas de água fez com que os métodos de redução das mesmas fossem mais estudados e disseminados.

As perdas de água classificam-se em dois tipos: Perdas reais e perdas aparentes:

- Perdas reais: Se caracterizam pelo volume de água produzido que não chega ao consumidor final. Ocorre por vazamentos nas adutoras e nas redes de distribuição, bem como por vazamentos e extravasamentos em reservatórios.
- Perdas aparentes: Se caracterizam pela água que é produzida e não é faturada pela companhia de saneamento. Também é conhecida como perda comercial. É ocasionada por erros na medição de hidrômetros, fraudes, ligações clandestinas e falhas no cadastro comercial.

“A redução de perdas reais de água permite a economia de investimentos em novos recursos de água, barragens, reservatórios e estações de tratamento desnecessárias ou, pelo menos, permite adiar o investimento. Além disso, como a redução anual de perdas por vazamento é mensurável, e requer considerável habilidade técnica e administrativa das Prestadoras de Serviços de Saneamento, o sucesso na implantação de estratégias para controle das perdas é visto como um excelente indicador de performance. Isto, em termos, proporciona crédito e valorização perante as organizações internacionais (ARIKAWA, 2005)”.

Dentre as alternativas mais praticadas para a redução de perdas reais, estão o controle de pressão nas redes e a separação de um sistema de abastecimento em DMC.

“Controlar pressões possibilita reduzir o volume perdido em vazamentos, economizando recursos de água e custos associados. Permite também reduzir a frequência de arrebentamentos de tubulações e consequentes danos que têm reparos onerosos, minimizando também as interrupções de fornecimento e os perigos causados ao público usuário de ruas e estradas. Além disso, permite prover ao consumidor um serviço com pressões mais estabilizadas, diminuindo a ocorrência de danos às suas instalações internas até a caixa d'água (tubulações, registros e boias), e reduzir os consumos relacionados com as altas pressões da rede (SPERLING, 2011).”

Separar um sistema de abastecimento em DCM consiste em dividir uma rede de água em áreas menores. A partir de DMC, é mais fácil gerenciar o controle de vazão e pressão no sistema. Assim é possível conseguir um controle maior em cada setor, objetivando reduzir as perdas.

Com estes conceitos em vista, o DMAE, por meio de licitação, contratou uma empresa para realizar uma obra de setorização no sistema de abastecimento da EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi, localizado na Zona Sul de Porto Alegre. Esta obra consistirá em separar a área em DMC e instalar VRP.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

OBJETIVO GERAL

O trabalho buscou avaliar as reduções de perdas reais em sistemas de distribuição de água, passíveis de serem alcançadas pela adoção de projetos de setorização em sistemas de abastecimento de água.

OBJETIVO ESPECÍFICO

. O objetivo específico do trabalho foi analisar especificamente o projeto de setorização do subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi, com foco na redução de perdas reais. Essa região faz parte do sistema de abastecimento Menino Deus em Porto Alegre, e possui esse nome por ser abastecido pela EBAT Cascatinha e pelo Reservatório Catumbi. Ressalte-se que em relação à cálculos de análise, elaboração do modelo hidráulico e projeto, estes foram feitos pela empresa contratada pelo DMAE, enquanto os cálculos referentes às análises dos resultados foram realizados pelo autor deste trabalho

2.1. DELIMITAÇÕES

Este trabalho está limitado apenas a avaliação teórica das perdas reais na região, tendo em vista que a previsão de término das intervenções é o segundo semestre 2021.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os sistemas públicos de abastecimento de água são constituídos por todas as estruturas responsáveis, desde a captação da água em seu estado bruto até a distribuição final para o consumo.

Segundo TSUTIYA (2006), os componentes de um sistema de abastecimento são os seguintes:

- Manancial: É definido como sendo o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento. Para sua escolha devem ser considerados a qualidade e quantidade de água que ele dispõe;
- Captação: Conjunto de equipamentos e instalações que têm como objetivo retirar a água do manancial;
- Estação elevatória: Conjunto de obras e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte;
- Adutora: Tubulação que liga a captação ao tratamento ou o tratamento até a rede de distribuição;
- Estação de tratamento de água: Conjunto de unidades que tem como objetivo tratar a água para adequar a qualidade da mesma aos padrões de potabilidade necessários;
- Reservatório: Unidade que serve para armazenar água com propósito de regularizar as vazões em função da variação de consumo, e também manter uma pressão mínima na rede;
- Rede de distribuição: Conjunto de tubulações que leva a água do reservatório ou da adutora para os pontos de consumo;
- Ramal domiciliar: Ligação feita das tubulações da rede de distribuição para os consumidores.

Um sistema pode ser dividido em subsistemas. Cada subsistema é delimitado pela área de abrangência de alguma ETA, ou por algum reservatório, ou por outro

componente hidráulico. Os critérios para delimitar um subsistema variam de acordo com as características do sistema.

3.2. VARIAÇÕES TEMPORAIS DE CONSUMO

De acordo do TSUTIYA (2006), em sistemas de abastecimento o consumo de água não é uniforme ao longo do tempo. Variações significativas de consumo se comportam de maneiras distintas ao longo de horas, dias, meses e anos. Essas variações devem ser levadas em consideração no momento de levantar volumes consumidos. O autor ainda explica como essas variações tendem a se comportar:

- **Variações anuais:** O consumo per capita tende a aumentar com o passar do tempo e com o crescimento populacional. Em geral aceita-se um incremento de 1% ao ano;
- **Variações mensais:** Mensalmente são levadas em consideração as variações climáticas. Quanto mais altas as temperaturas, mais altos são os valores de consumo. No inverno o consumo é aproximadamente 80% da média anual e no verão aproximadamente 125%;
- **Variações diárias:** O volume distribuído em um ano dividido por 365 dias permite conhecer a vazão média anual. A relação entre o maior consumo diário verificado e a vazão média diária anual fornece o coeficiente do dia de maior consumo, denominado de k_1 . O valor deste coeficiente varia entre 1,2 e 2,0, sendo dependente das características do local. No Brasil o valor deste coeficiente é geralmente considerado igual a 1,2.
- **Variações horárias:** O consumo de água possui uma alta variação ao longo de um dia. O pico de consumo em um sistema geralmente ocorre por volta de 12:00. A relação entre a maior vazão horária observada em um dia e a vazão média horária do mesmo dia define o coeficiente da hora de maior consumo, chamado de k_2 . O valor de k_2 varia de 1,5 a 3,0. Para fins de projeto, é usualmente adotado o valor de 1,5.

3.3. RESERVATÓRIOS

Reservatórios são unidades de água destinadas ao armazenamento e a passagem de água.

Segundo TSUTIYA (2006), as finalidades dos reservatórios são:

- Regularizar a vazão, acumulando água durante as horas do dia em que o consumo é menor que a média diária, com o objetivo de fornecer uma vazão complementar quando o consumo for maior que a média;
- Segurança no abastecimento, no sentido de fornecer água em ocasiões de interrupções no funcionamento normal de adução, seja por paralisação da captação ou da estação de tratamento, ou ainda por falta de energia elétrica;
- Reserva de água para suprir vazões extras para combater situações de incêndio;
- Redução da variação de pressões na rede.

Os reservatórios de distribuição precisam ser localizados de forma que a distribuição de água atenda os seguintes limites de pressão: Pressão estática máxima de 500 KPa e pressão dinâmica mínima de 100 KPa.

Em relação à posição à rede de distribuição, os reservatórios podem ser classificados como reservatório de montante, jusante ou de posição intermediária.

RESERVATÓRIOS DE MONTANTE

De acordo com TSUTIYA (2006), reservatórios de montante são os que se localizam à montante da rede de distribuição, sendo os que sempre fornecem água à rede de distribuição, ou seja, por eles passam toda a água distribuída à jusante.

Esse tipo de reservatório possui entrada pelo nível máximo de água e saída pelo nível mínimo.

Em alguns sistemas de abastecimento de água pode ser utilizado um reservatório complementar de inferior capacidade, além do reservatório principal, ambos à montante. Essa configuração funciona com o reservatório principal abastecendo a rede nos momentos de baixo consumo e o reservatório complementar nos momentos de alto consumo. É uma configuração que proporciona uma segurança adicional para o

funcionamento do sistema. Além disso é uma alternativa adequada para quando se torna necessário aumentar a capacidade de reservação, devido ao aumento do consumo de água acima do previsto ou por falta de pressão na rede.

RESERVATÓRIOS DE JUSANTE

TSTUTIYA (2006) cita que os reservatórios de jusante são os que se localizam à jusante do sistema de distribuição. Também são chamados de reservatórios de sobras, pois recebem a água durante as horas de menor consumo e auxiliam o abastecimento nas horas de maior consumo. Este tipo de reservatório diminui a oscilação de pressão nas zonas à jusante da rede.

A particularidade deste tipo de reservatório é existir uma tubulação única, afogada, para entrada e saída de água.

RESERVATÓRIOS DE POSIÇÃO INTERMEDIÁRIA

TSUTIYA (2006) cita que reservatórios de posição intermediária são reservatórios intercalados nos sistemas de adução e servem para regularizar as transições entre bombeamento e/ou adução por gravidade.

LOCALIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS NO TERRENO

Segundo TSUTIYA (2006), em relação à posição no terreno, os reservatórios podem ser classificados como:

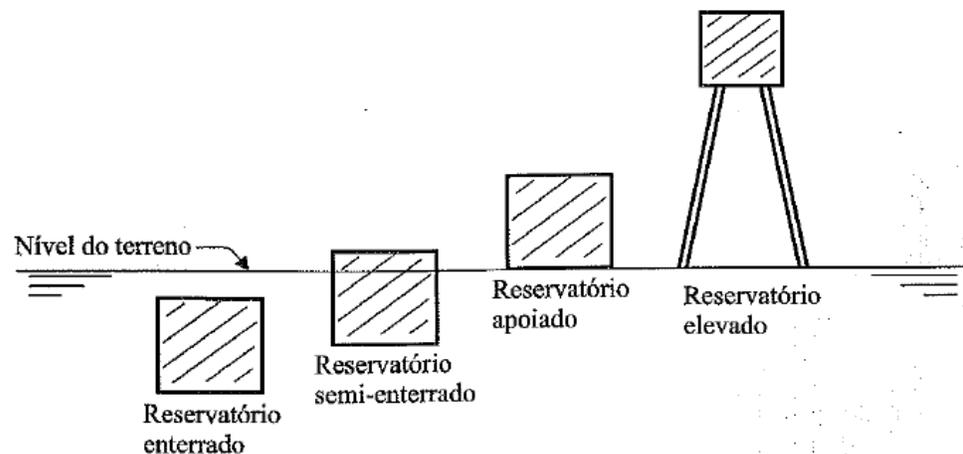
- Enterrados: Ficam totalmente em cota inferior em relação à cota do terreno em que se localizam. O custo de execução é alto e a entrada e saída são mais difíceis e onerosas. A vantagem deste tipo é um menor impacto ambiental (paisagístico);
- Semienterrados: Ficam com pelo menos um terço de sua altura total em cota inferior à cota do terreno em que se localizam;
- Apoiados: O fundo deste tipo se localiza a uma profundidade correspondente a pelo menos um terço de sua altura total abaixo do nível do terreno em que se localiza. Juntamente com os semienterrados, os reservatórios apoiados são fáceis de construir;

- Elevados: Cota do fundo é superior à cota do terreno onde ficam localizados. Os reservatórios elevados são necessários em ocasiões em que a topografia do terreno não é adequada para abastecimento com os outros tipos de reservatórios, ou ainda é necessária uma garantia de uma pressão mínima na rede. Possuem custo muito elevado e alto impacto ambiental.

Os mais utilizados são os enterrados, semienterrados e os elevados. Como os elevados possuem custo e impacto ambiental maior, a preferência é sempre que possível optar pelos enterrados ou semienterrados.

A figura a seguir ilustra as diferentes possibilidades de localização do reservatório em relação ao terreno:

Figura 1 - Posições dos reservatórios em relação ao terreno



Fonte: (TSUTIYA, 2006)

3.4. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

Como dito no capítulo 3.1, estações elevatórias são o conjunto de obras e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte. São essencialmente usadas para recalcar a água do manancial até o reservatório.

Segundo TSUTIYA (2006), “são componentes essenciais dos sistemas de abastecimento de água, sendo utilizados na captação, adução, tratamento e distribuição de água”.

Segundo TSTUTIYA (2006), os principais componentes de uma estação elevatória são:

- Equipamentos eletromecânicos
 - Bombas
 - Motor
- Tubulações
 - Sucção
 - Barrilete
 - Recalque
- Construção civil
 - Poço de sucção
 - Casa de bombas

Existem estações elevatórias que recalcam água bruta e outros que recalcam água tratada. Existem também elevatórias utilizadas como reforço na adução ou na rede de distribuição que se chamam de “booster” ou estação pressurizadora.

O uso do booster na distribuição de água possui o intuito de aumentar a pressão à jusante, ajudando o escoamento e buscando manter uma pressão satisfatória em toda a rede de distribuição de água, independente das variações de consumo ocorridas ao longo do dia.

3.5. ZONAS DE PRESSÃO

A NBR 12218 / 2017 define zona pressão como sendo a área abrangida por uma subdivisão da rede, na qual as pressões estática e dinâmica obedecem a limites prefixados.

A norma referida ainda estabelece que a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa, e a pressão mínima, de 100 kPa. Valores fora dessa margem podem ser aceitos caso sejam justificados técnica e economicamente.

As chamadas zonas de baixa pressão (pressão abaixo da normatizada de 100 kPa) são causadas não somente por altas cotas topográficas, como também por presença de grandes vazamentos e expansão de redes em áreas localizadas fora da

área de abrangência do projeto, caracterizando demandas não previstas no projeto inicial. Uma solução para regularizar o abastecimento nestas zonas é a utilização de boosters para aumentar a pressão.

As zonas de alta pressão são as zonas em que a pressão é maior que a normatizada, 500 kPa. Geralmente se localizam em regiões topograficamente acidentadas e apresentam grande diferença de cota em relação ao reservatório.

GOMES (2004) cita os motivos pelos quais elevadas pressões em redes de abastecimento precisam ser reduzidas:

- Com maiores pressões requeridas, o custo energético de bombeamento aumenta, já que o custo é diretamente proporcional à altura manométrica de impulsão;
- Para pressões maiores nas redes, as tubulações se tornam mais custosas por precisarem de valores mais elevados de pressões nominais;
- O aumento de pressões faz aumentar as chances de ruptura nas tubulações;
- As perdas reais de água aumentam, pois, as vazões nas juntas e nos vazamentos aumentam;
- As vazões nos pontos de consumo crescem.

3.6. PERDAS DE ÁGUA

De acordo com TARDELLI FILHO (2006), perda de água pode ser considerada como algo físico, um produto que foi produzido e se perdeu no processo. No entanto também pode ser considerada como uma quantidade do produto que foi entregue e não foi faturada, ou seja, uma quantidade do produto em que foram incorporados os custos intrínsecos de produção e transporte, porém não foi contabilizada a receita da companhia. Isso causa um prejuízo, e esse prejuízo também é caracterizado como um tipo de perda.

O autor citado anteriormente complementa que esses tipos de perdas são separados em dois tipos: Perdas reais, também chamadas de perdas físicas, e perdas aparentes, também chamadas de perdas comerciais ou perdas não físicas. As perdas reais correspondem aos volumes que foram produzidos e não chegaram ao consumidor

final. As causas dessas perdas são vazamentos nas redes e adutoras e extravasamentos nos reservatórios. As perdas aparentes são os volumes consumidos que não foram contabilizados pela concessionária. As causas das perdas aparentes podem ser erros nas medições de hidrômetros, fraudes, ligações clandestinas e falhas no cadastro comercial. A tabela abaixo auxilia a esclarecer estes conceitos:

Tabela 1 - Caracterização geral das perdas

ITEM	Características Principais	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Tipo de ocorrência mais comum	Vazamento	Erro de medição
Custos associados ao volume de água perdida	Custos de produção de água tratada	Valor cobrado no varejo ao consumidor
Efeito do meio ambiente	Desperdício de recursos naturais	Não é relevante
	Maiores impactos ambientais devido a necessidade de ampliação de exploração dos mananciais	
Efeito na saúde pública	Riscos de contaminação	Não é relevante
Ponto de vista empresarial	Perda de produto" industrializado"	Perda elevada de receita
Ponto de vista do consumidor	Imagem negativa da empresa, associada ao desperdício e ineficiência	Não é uma preocupação imediata
Efeitos finais no consumidor	Repasse de custos à tarifa	Repasse de custos à tarifa
	Desincentivo ao uso racional da água	Incitamento ao roubo e fraudes

Fonte: (TARDELLI FILHO, 2006)

3.6.1. Balanço Hídrico

Balanço hídrico é definido pela contabilização de entradas e saídas de água em um determinado sistema.

“A representação e a quantificação de todos os possíveis usos de água em um sistema de abastecimento, desde o instante em que é captada no manancial até o momento em que é disponibilizada ao consumidor final, têm muito mais aplicações práticas do que se pode supor. É uma visão integrada e completa dos fluxos de processo, importações, exportações, pontos de medição e pontos de uso ou consumo (TARDELLI FILHO, 2006)”.

O autor da citação acima ainda define que o balanço hídrico de um sistema de abastecimento é uma maneira estruturada de avaliar os componentes dos fluxos e usos da água no sistema e seus valores absolutos ou relativos. Se torna uma poderosa ferramenta de gestão, pois dela são gerados diversos indicadores de desempenho para acompanhar ações técnicas, operacionais e empresariais.

A IWA elaborou uma matriz que apresenta as variáveis mais importantes para a composição dos fluxos e usos de água, com o objetivo de uniformizar uma estruturação básica a nível mundial para o Balanço Hídrico.

“Essa matriz representa o sistema de abastecimento a partir da “Água que Entra no Sistema”, que pode ser a Captação, a ETA, um Reservatório, ou mesmo uma derivação de uma adutora, compondo assim a estruturação em função do sistema, ou parte do sistema, que se quer avaliar (TARDELLI FILHO, 2006)”.

Tabela 2 - Matriz do balanço hídrico

Água que entra no sistema (inclui água importada)	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (inclui água exportada)	Água Faturada
			Consumo faturado não medido (estimados)	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não-faturado medido (uso próprios, caminhão pipa, etc.)	Água não faturada
			Consumo não faturado não medido (combate a incêndios, favelas, etc.)	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)	
			Erros de medição (macro e micromedição)	
		Perdas reais	Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável)	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição				
Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição)				

Fonte: (ALEGRE, HIRNER, *et al.*, 2000)

Para entender melhor a Tabela acima, seguem algumas definições:

- Água que entra no sistema: Volume introduzido no sistema de abastecimento de água;
- Consumo autorizado: Volume que pode ou não ser medido, destinados a usos domésticos, industriais, comerciais ou ainda combate contra incêndio, alimentação de fontes, lavagem de ruas, fornecimento para obras etc.;
- Consumo autorizado faturado: Parcela do consumo autorizado que gera receita para a prestadora de serviço de saneamento. Inclui volumes medidos nos hidrômetros e volumes estimados;

- Consumo autorizado não faturado: Parcela do consumo autorizado que não gera receita para a prestadora de serviço de saneamento. Inclui usos emergenciais e/ou públicos como a água para combate contra incêndio e lavagem de ruas;
- Água faturada: Toda a água que gera receita para a empresa de saneamento;
- Água não faturada: Engloba todas as perdas mais o consumo autorizado não faturado.

3.6.2. Indicador Percentual de Perdas (IP)

De acordo com TARDELLI FILHO (2006), o Indicador Percentual de Perdas relaciona o volume total de perdas (reais e aparentes) com o volume total disponibilizado ao sistema em um certo tempo, geralmente em um ano. Nesse caso o sistema pode ser considerado como o sistema completo, desde a captação até a distribuição, ou ser considerado em partes como somente a partir da ETA ou somente a rede de distribuição.

O indicador percentual de perdas é expresso com a equação a seguir:

$$IP = \frac{\text{Volume Perdido Total}}{\text{Volume Fornecido}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

O IP é um percentual, portanto o Volume Perdido Total e o Volume Fornecido precisam ser aplicados na equação com a mesma unidade de volume.

A tabela abaixo foi elaborada para classificar preliminarmente os sistemas de abastecimento, e para dar uma ordem de grandeza nos números percentuais encontrados.

Tabela 3 - Índices percentuais de perdas

Índice Total de Perdas (%)	Classificação do Sistema
Menor do que 25	Bom
Entre 25 e 40	Regular
Maior do que 40	Ruim

Fonte: (TARDELLI FILHO, 2006)

3.6.3. Perdas Aparentes

De acordo com TARDELLI FILHO (2006), perdas aparentes são definidas como as perdas não físicas em um sistema de abastecimento. Este tipo de perda engloba as imprecisões referentes à medição de água produzida e consumida, consumos não autorizados, ligações clandestinas, furto e uso ilícito da água.

O autor citado no parágrafo anterior ainda cita algumas das causas das perdas aparentes são:

- a) Erros na micromedição da vazão: A micromedição se caracteriza como a medição do volume consumido pelo usuário final. As falhas na micromedição geralmente ocorrem devido a micromedidores velhos, avariados, não calibrados, instalados de forma irregular ou até mesmo por erros humanos;
- b) Usos desautorizados: São caracterizados pelos consumos e ligações clandestinas, popularmente conhecidos como “gatos”, ou até mesmo violação em hidrômetros, violação de cortes e ativação de ligações inativas;
- c) Favelas e áreas invadidas: Nessas áreas ocorrem muita perda aparente pelos seguintes motivos: Há dificuldade de aplicar regulamentação comercial e identificar o número de economias conectadas às ligações efetivamente ativas. Ademais existem diversos ramais prediais clandestinos que ligam o domicílio de um usuário cadastrado a outros não cadastrados;
- d) Erros de estimativa: Em situações em que não existe micromedição, o consumo faturado é obtido por estimativa. A perda nesse caso consiste no processo de estimativa em si, considerando que o cadastro pode estar errado ou ocorrem erros humanos;

TARDELLI FILHO (2006) ainda cita as principais ações para reduzir as perdas comerciais, que são:

- a) Redução de erros do micromedidores: Realizar a correta instalação com os dimensionamentos e especificações adequadas, realizar a manutenção periódica dos mesmos, e até mesmo a troca desses quando necessário;

- b) Qualificação da mão de obra: Treinamento específico para os funcionários que realizam a manutenção, leitura, troca e instalação dos micromedidores;
- c) Redução de usos desautorizados: Coibição da prática de ligações clandestinas e danos aos hidrômetros e realização de inspeções de ligações suspeitas.

3.6.4. Perdas Reais

De acordo com ARIKAWA (2005), perdas reais são caracterizadas essencialmente por vazamentos que podem se localizar em qualquer parte de um sistema de abastecimento. Além dos vazamentos nas tubulações, podem ocorrer extravasamentos em reservatórios.

“As perdas reais podem ser severas ou indetectáveis por meses ou anos dependendo do tipo de vazamento existente. O volume perdido depende principalmente da política do controle ativo dos vazamentos e das características físicas e operacionais da rede, quais sejam: a pressão de operação, a frequência de novos vazamentos, a proporção de vazamentos visíveis, o tempo de conhecimento, localização e reparo dos vazamentos, e o nível de vazamentos inerentes (ARIKAWA, 2005)”

A autora citada ainda cita que os vazamentos nas tubulações são classificados em três tipos:

- Vazamentos visíveis: São os vazamentos que afloram à superfície e por este motivo são facilmente notados. Geralmente apresentam altas vazões por curtos períodos de tempo, pois são percebidos e consertados rapidamente;
- Vazamentos não visíveis: São os que não afloram à superfície, sendo detectados por equipamentos acústicos, que funcionam detectando o ruído que o vazamento faz;
- Vazamentos inerentes: São os vazamentos que não são possíveis de detectar nem com equipamentos acústicos. Apresentam pequenas vazões, no entanto duram bastante tempo, o que representa uma quantia considerável de perda real;

O tempo de duração de um vazamento compreende três etapas: Conhecimento, adquirir a ciência que existe o vazamento. Localização, instante de se tomar conhecimento e encontrar o vazamento. E o tempo de reparo.

As imagens e a tabela a seguir ilustram os conceitos citados acima:

Figura 2 - Tipos de vazamentos e síntese de ações para redução de perdas



Fonte: (TARDELLI FILHO, 2006)

Figura 3 - Classificação dos vazamentos segundo a IWA



Fonte: (AESBE, 2015)

Tabela 4 - Características dos vazamentos

Tipo de vazamento	Características
Inerente	Vazamento não visível, não detectável, baixas vazões, longa duração
Não visível	Detectável, vazões moderadas, duração depende da frequência da pesquisa de vazamentos
Visível	Aflorante, altas vazões, curta duração

Fonte: (LAMBERT, BROWN, *et al.*, 1999)

3.6.4.1. Relação entre Pressão e Vazamentos

Segundo TARDELLI FILHO (2006), a pressão de serviço é o parâmetro mais importante nas tubulações de água no tocante aos vazamentos. Valores muito elevados de pressão nas tubulações aumentam as chances de aparecimento de fissuras e arrebatamentos e além disso aumentam as vazões nos vazamentos existentes.

A equação que relaciona a vazão dos vazamentos com a pressão é a seguinte:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_1} (2)$$

Onde:

P_0 = Pressão inicial;

P_1 = Pressão final;

Q_0 = Vazão inicial à pressão P_0 ,

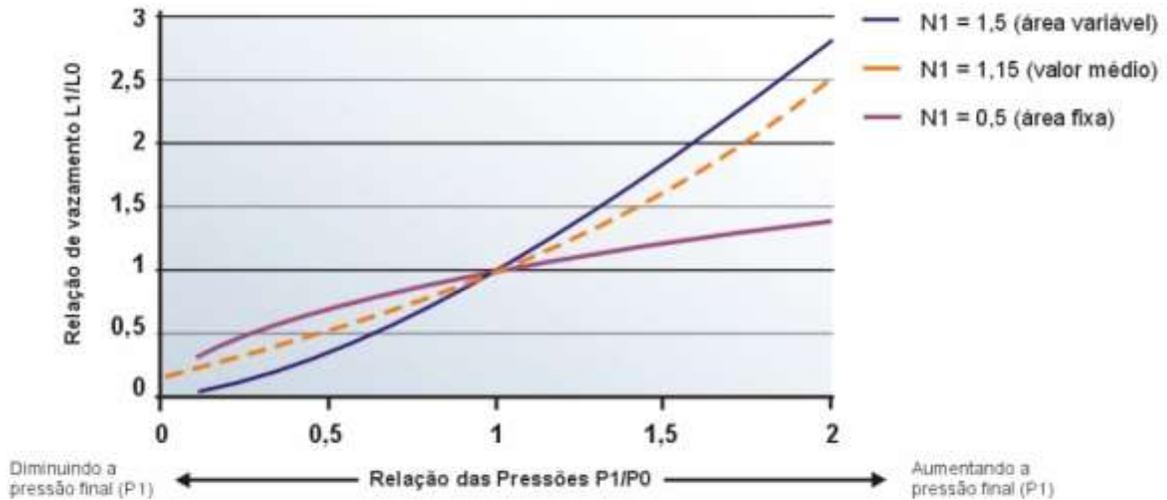
Q_1 = Vazão final à pressão P_1 ;

N_1 = Expoente adimensional que depende do tipo de material dos tubos.

Segundo TARDELLI FILHO (2006), alguns valores usualmente utilizados para N_1 são: 0,5 para tubos metálicos, entre 1,5 e 2,5 para tubos plásticos e aproximadamente 1,5 para vazamentos inerentes. Para redes com tubos de diferentes materiais o valor de N_1 fica próximo a 1,15.

A seguir consta um gráfico relacionando as vazões de vazamento com a variação de pressão:

Figura 4 - Relação de vazões de vazamentos com a variação de pressão



Onde P_0 = Pressão Inicial e P_1 = Pressão Final L_0 = Vazão Inicial, L_1 = Vazão Final

Fonte: (LAMBERT, 1997)

Na figura acima se percebe que quanto maior o valor de N_1 considerado, maior é o valor de vazão de um vazamento para um mesmo valor de pressão.

A equação pode ser utilizada para estimar uma redução esperada de perdas em um sistema, a partir da redução da pressão média do mesmo.

3.6.4.2. Causas das Perdas

ARIKAWA (2005) cita as principais causas das perdas reais, que são:

- a) Materiais de má qualidade: Tubulações e conexões de má qualidade são mais suscetíveis a racharem;
- b) Mão de obra não qualificada: Uma mão de obra não adequada para assentamento e instalações de redes pode resultar em: Irregularidade no fundo das valas, compactação irregular, ancoragens más executadas, juntas instaladas incorretamente;

- c) Pressões elevadas nas tubulações: É o fator que possui mais influência nas perdas reais de um sistema. Valores elevados de pressão fazem com que aumente a frequência de rompimentos e também aumenta a vazão nos vazamentos;
- d) Oscilações de pressão: Oscilações de pressão repentinas, com intensidade maior que a resistência de projeto prevista nos tubos, são geralmente causadas pelo desligamento de bombas e também pelo processo de abrir e fechar válvulas rapidamente. Estes processos podem causar rompimentos nas tubulações devido ao deslocamento de blocos de ancoragem, expulsão da vedação das juntas, flexão dos tubos, movimentação dos tubos;
- e) Deterioração dos tubos: A deterioração dos tubos ao longo da existência dos mesmos contribui para o aparecimento de rompimentos;
- f) Movimentação do solo: A movimentação do solo tem como consequência a movimentação dos tubos enterrados, evento esse que causa fadiga nos mesmos, favorecendo o aparecimento de fissuras;
- g) Extravasamentos em reservatórios: Ocorrem geralmente pela noite, a inexistência de dispositivos de alerta e controle, ou por ocorrerem falhas operacionais nos dispositivos de controle, caso existam.

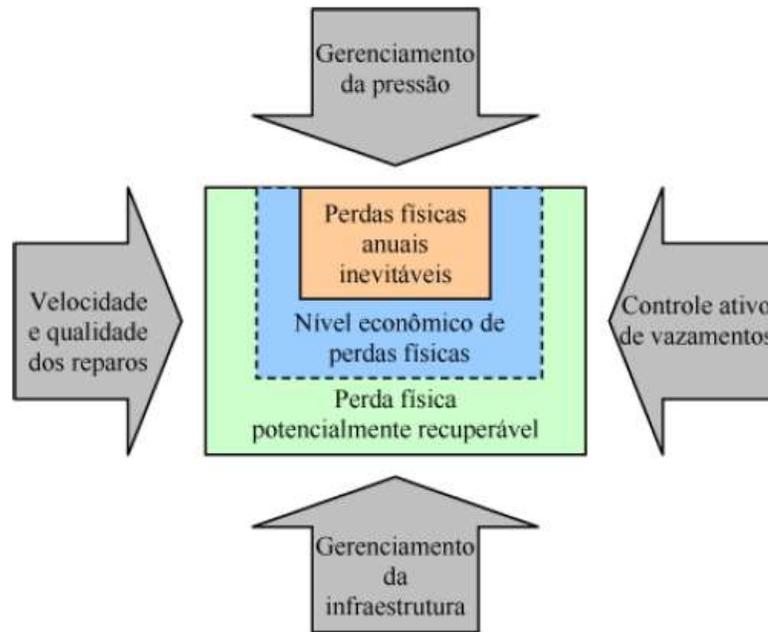
3.6.4.3. Ações para Redução de Perdas Reais

Conforme cita TARDELLI FILHO (2006), nos sistemas de abastecimento de água existe uma tendência de que com o passar do tempo os vazamentos aumentem. Essa tendência pode ser combatida com quatro tipos de ações:

- Controle ativo de vazamentos;
- Controle de pressões;
- Rapidez e qualidade de reparos;
- Gestão de infraestrutura.

A Figura 5 mostra as ações para redução esperada de perdas reais.

Figura 5 - Estratégia de controle de perdas de água



Fonte: (MACHADO, 2016)

CONTROLE ATIVO DE VAZAMENTOS

O controle sobre os vazamentos pode ser ativo ou passivo.

O controle passivo consiste em basicamente reparar algum vazamento quando comunicada sua existência por funcionários, consumidores ou o público em geral, a partir de uma reclamação de falta d'água ou queda de pressão. Portanto não se caracteriza em uma forma ativa de controle de vazamento, considerando que desse modo não é empregado nenhum esforço preventivo ou para se detectar vazamentos.

Já o controle ativo de vazamentos é definido como ações sistemáticas com o objetivo de localização e reparo de vazamentos não visíveis. Dentre essas ações estão a pesquisa acústica e o monitoramento de vazamentos.

PESQUISA ACÚSTICA DE VAZAMENTOS

A pesquisa acústica de vazamentos consiste em detectar vazamentos não visíveis a partir do ruído provocado pela vazão da água passando pelo furo ou fenda em uma tubulação ou conexão. Segundo CORSAN (2012), o ruído pode ser causado por três motivos:

- O líquido faz o tubo vibrar ao atravessar o orifício, gerando ruídos de alta frequência, entre 500 e 800 Hz.
- O jato ao se chocar contra o solo gera um ruído de frequência entre 20 e 300 Hz.
- A circulação do líquido junto com as partículas do solo na cavidade gerada pelo vazamento, também gerando ruídos de baixa frequência, entre 20 e 300 Hz.

A detecção desses ruídos é feita com equipamentos de detecção acústica específicos. Esses equipamentos podem ser hastes de escuta ou geofones eletrônicos, que são compostos por detectores, amplificadores e filtro de ruídos. Com o uso desses equipamentos se torna possível realizar varreduras em sistemas com o objetivo de corrigir o maior número possível de vazamentos não visíveis.

MONITORAMENTO DE VAZÃO

O monitoramento de vazão consiste na instalação de medidores de vazão em pontos estratégicos de uma área delimitada por limite definido e permanente, os chamados DMC.

Esta técnica é a considerada a mais eficaz para o gerenciamento de perdas reais.

RAPIDEZ E QUALIDADE DE REPAROS

Agilidade para reparar os vazamentos é essencial para o combate à redução de perdas. Contudo os reparos precisam ser realizados de forma adequada, com mão de obra qualificada, pois uma má execução no processo de reparo de vazamentos faz aumentar as chances de reincidência. Além da mão de obra qualificada, é essencial também o uso de materiais de boa qualidade.

GERENCIAMENTO DA INFRAESTRUTURA

A vida útil das tubulações dos sistemas de distribuição de água depende da qualidade do material, das condições físicas e químicas do solo e da qualificação da mão de obra que executou os serviços.

Para redes primárias e secundárias a vida útil é estimada em 50 anos. Já os ramais são mais suscetíveis às variáveis apresentadas, portanto a vida útil deles é bem menor.

As soluções para aumentar a vida útil de um sistema de abastecimento são substituição de redes ou reabilitação das mesmas:

SUBSTITUIÇÃO DE REDES

TARDELLI FILHO (2006) cita que a substituição de redes possui dois enfoques:

- Substituir trechos com altas incidências de incrustações que acarretam perdas de cargas muito elevadas e acabam prejudicando o abastecimento, com o objetivo de melhorar as condições hidráulicas dos tubos.
- Melhorar as condições estruturais dos tubos, substituindo trechos com muitas incidências de vazamentos, ainda que as condições de pressão estejam adequadas, já que esses tubos podem estar comprometidos por corrosão ou outro fator que comprometa a qualidade do material.

Considerando este segundo aspecto e também o aspecto econômico, a substituição de redes é recomendado ser posto em prática apenas depois de serem utilizadas as outras alternativas para reduzir perdas. Isto se deve porque o custo para substituir redes é muito elevado.

REABILITAÇÃO DE TUBULAÇÕES

TARDELLI FILHO (2006) cita que o método mais comum de reabilitação de tubulações envolve a limpeza e o revestimento da tubulação (argamassa de cimento, epóxi).

“Ao melhorar as condições hidráulicas da tubulação, pode-se trabalhar com pressões mais reduzidas, contribuindo, de alguma forma, para a redução das perdas por vazamento (TARDELLI FILHO, 2006)”

CONTROLE DE PRESSÕES

“Controlar pressões possibilita reduzir o volume perdido em vazamentos, economizando recursos de água e custos associados. Permite também reduzir a frequência de arrebentamentos de tubulações e consequentes danos que têm reparos onerosos, minimizando também as interrupções de fornecimento e os perigos causados ao público usuário de ruas e estradas. Além disso, permite prover ao consumidor um serviço com pressões mais estabilizadas, diminuindo a ocorrência de danos às suas instalações internas até a caixa d'água (tubulações, registros e boias), e reduzir os consumos relacionados com as altas pressões da rede (LAMBERT e HIRNER, 2000).”

MACHADO (2016) lista os benefícios esperados no controle de pressões em sistemas de abastecimento:

- Redução do volume de perdas em vazamentos;
- Redução do consumo doméstico em lavagem de carros, calçadas, etc.;
- Redução de necessidade de manutenção;
- Diminuição de fadiga nas tubulações;
- Abastecimento mais constante;
- Maior vida útil do sistema;
- Economia de energia elétrica;
- Redução de custos operacionais.

3.7. VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO

Segundo THÓRUS ENGENHARIA (2020), a definição de uma VRP consiste em: Dispositivos mecânicos que, a partir da passagem da água, reduzem a pressão de jusante através de perda de carga. Quando a válvula estiver totalmente aberta, a perda de carga é nula. No momento em que esta começa a se fechar, a perda de carga no escoamento vai aumentando e a pressão de jusante vai diminuindo.

A Figura a seguir mostra uma foto de uma VRP.

Figura 6 - Válvula redutora de pressão



Fonte: (CORSAN, 2012)

Conforme cita PEREIRA (2009), as VRP podem funcionar de três maneiras distintas:

- *Introduzindo uma perda de carga proporcional à pressão de montante e mantém uma pressão de jusante constante, independente da vazão.* Essa configuração é indicada para áreas de influência pequenas nas quais as perdas de carga possuem baixos valores;
- *Mantendo uma pressão de jusante variável em função da vazão.* A VRP é configurada para proporcionar um determinado valor de pressão de jusante para determinados valores de vazão. Neste caso a válvula necessita de um controlador eletrônico associado a um medidor de vazão

em série com a mesma. Esta configuração é indicada para áreas de influência com altos valores de perda de carga;

- *Mantendo uma pressão de jusante variável em função do tempo.* A VRP é configurada para proporcionar um determinado valor de pressão de jusante para diferentes períodos do dia. Neste caso o controlador eletrônico é configurado com base nos horários. Esta configuração também é adequada para áreas de influência com alta perda de carga, desde que não haja muita variação de consumo ao longo do dia.

Geralmente sua área de influência é definida pela área de influência de um DMC, sendo seu dimensionamento sendo afetado pelas características do mesmo.

O processo de dimensionamento de uma VRP consiste em definir o DN da mesma a partir de tabelas fornecidas pelos fabricantes. Nessas tabelas são relacionados os diferentes diâmetros de um modelo específico para os valores pré-definidos de pressão de entrada, pressão de saída desejada e vazão. Depois de definido o diâmetro, deve ser feita a verificação de cavitação, a partir das pressões de entrada e saída.

3.8. DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE

De acordo com SOUZA JÚNIOR (2014), dividir um setor de abastecimento de água em DMC significa dividir o setor em áreas menores para controle de vazão e perdas de água, sendo essas áreas perfeitamente isoladas, delimitadas, estanques em suas fronteiras e com apenas uma entrada de água. O objetivo dos DMC é facilitar o trabalho na identificação de ocorrência de vazamentos e também no levantamento de perdas na região.

Quanto mais se conhece as características de uma determinada área, mais precisos são os resultados das ações no combate contra as perdas. Então ao invés de se tentar controlar um sistema inteiro por si só, o processo de dividir o mesmo em partes menores facilita o processo de conhecimento e controle das características da região.

Tendo isso em vista, os DMC proporcionam um preciso controle e monitoramento de vazões, sendo essa prática a mais utilizada pelas companhias de saneamento ao redor do mundo no tocante a ações para redução de perdas. Além disso em um sistema dividido em DMC, é mais fácil programar e controlar pesquisas acústicas de vazamento

A forma de separar um sistema em DMC é através de cortes na rede e interligações de redes não ligadas.

A NBR 12218 / 2017 recomenda que a alimentação de um DMC seja feita pelo menor número de pontos possível. SOUZA JÚNIOR (2014) cita que a situação ideal é que um DMC tenha apenas uma entrada de água, pois facilita o controle de vazões.

3.8.1. Critérios para Implantação

O processo de separar um sistema em DMC é subjetivo, sendo muito improvável que, por exemplo, dois projetistas realizando esse processo em um mesmo sistema de abastecimento cheguem aos mesmos resultados.

Isso mostra que esse processo é muito complexo, pois são vários os parâmetros que precisam ser levados em consideração.

“De forma geral, a implantação de DMC em sistemas de distribuição existentes sempre terá que considerar as características operacionais já existentes no sistema. Já em sistemas novos, a definição de DMC pode ser planejada juntamente com os setores de abastecimento que estão sendo criados. Em ambos os casos, podem-se utilizar modelos de redes hidráulicas para auxiliar na implementação dos DMC, porém no caso de redes existentes, o processo se torna mais complexo devido a necessidade de calibração do modelo hidráulico (SOUZA JÚNIOR, 2014)”

Dentre os principais fatores a serem considerados para implantar DMC em um sistema estão:

- Tamanho (área geográfica e número de consumidores);
- Variação do nível do solo;
- Quantidade de capeamentos (cortes na rede) necessários;
- Número de interligações necessárias;
- Grandes consumidores;
- Condições de infraestrutura;
- Dispositivos hidráulicos (VRP, boosters);
- Consumo da região.

3.8.2. Limites

“Os DMC podem ser definidos tomando-se por base os limites naturais, como rios, canais de drenagem, estradas de ferro, rodovias, divisa de municípios, limites do sistema de abastecimento, como áreas de bombeamento “boosters”, área de válvulas redutoras de pressão (VRP), áreas de pequenos reservatórios (geralmente em sistemas de menor porte), ou podem ser definidos através da elaboração de estudos onde pode-se determinar um local adequado para instalação de medidor de vazão, geralmente áreas isoláveis mais facilmente (SOUZA JÚNIOR, 2014)”

MORRISON, TOOMS e ROGERS (2007) ressaltam que depois de separado um sistema de abastecimento em DMC, é necessário realizar teste de estanqueidade em cada DMC. Este teste é um procedimento que verifica se nos limites de um DMC, há alguma entrada ou saída de água que não está sendo medida. O procedimento deste teste é fechar as entradas de água do DMC e analisar as pressões em pontos pré-definidos espalhados pela área do mesmo. Se a pressão tender a zero no momento que o abastecimento foi cortado, o DMC está estanque. Caso o contrário, deve existir alguma interligação com algum DMC vizinho. Então essa interligação deve ser localizada e o teste deve ser repetido. Os autores complementam que este teste geralmente é realizado no período da madrugada para não atrapalhar os moradores. Além disso, consumidores especiais, como hospitais, devem ser avisados previamente.

3.8.2.1. DMC em Áreas de VRP e Boosters

SOUZA JÚNIOR (2014) explica a relação de DMC em áreas sob influência de VRP e boosters:

A área de influência de uma VRP pode ser utilizada como base para se definir os limites de um DMC. No entanto, por possuir apenas uma entrada de água, a área de influência de uma VRP em um DMC fica limitada apenas aos limites desse. Um DMC pode ter mais de uma VRP, caso este seja de grande tamanho e as áreas de influência das válvulas sejam menores. Geralmente quando há uma válvula redutora de pressão em um DMC, essa válvula é instalada junto com o macromedidor do mesmo. Essa configuração é denominada de SRP, sistema redutor de pressão.

Nestes casos, em relação ao combate à redução de perdas reais, a VRP atua na redução de pressão e o DMC atua no controle e monitoramento de vazão.

Áreas abastecidas por boosters também podem ser utilizadas para definir os limites de um DMC. Geralmente para esses casos o macromedidor é instalado junto ao bombeamento, visando à redução de despesas com energia elétrica e a redução dos volumes dos vazamentos, pois estes aumentam proporcionalmente com o aumento da pressão.

Um DMC também pode possuir dentro de seus limites tanto VRP quanto booster. Nesse caso, geralmente o DMC engloba uma região com grandes variações topográficas.

3.8.3. Tamanho

Conforme citam MORRISON, TOOMS e ROGERS (2007), o tamanho de um DMC possui um impacto econômico significativo. Quanto menor o DMC, maior o seu custo de implantação. Isso ocorre devido a uma maior necessidade de cortes na rede e interligações. No entanto os DMC pequenos possuem alguns benefícios que são:

- Mais rapidez na detecção de novos vazamentos;
- Mais facilidade para detectar vazamentos não visíveis;
- O tempo de localização dos vazamentos é mais rápido devido a uma menor distância geográfica;

Na prática os tamanhos dos DMC variam muito conforme a infraestrutura existente e a necessidade de otimizar o gerenciamento de pressão no sistema. MORRISON, TOOMS e ROGERS (2007) também citam que no Reino Unido o tamanho dos DMC é influenciado pelo número de economias, e que neste caso variam de 500 até 3.000 economias. Os autores ainda complementam que DMC que abrangem mais de 5.000 economias não são recomendados, devido à dificuldade que se surge no processo de localização de vazamentos. Já em áreas com infraestruturas precárias, os autores recomendam DMC que englobem um número máximo 500 economias.

A NBR 12218 / 2017 recomenda que um DMC tenha no máximo 5.000 ramais e extensão máxima de 25 km de redes.

3.8.4. Controle da Vazão

Em entradas de DMC são instalados macromedidores. Estes servem para quantificar os volumes disponibilizados ao DMC. Com os dados referentes ao volume de entrada, se torna possível realizar um comparativo com os volumes micromedidos, ou seja, volumes utilizados pelos consumidores finais, para se quantificar o volume de água que foi perdido.

Os macromedidores mais utilizados em DMC são macromedidores eletrônicos. De acordo com MARKS (2016), estes podem ser eletromagnéticos ou ultrassônicos. Os primeiros funcionam a partir da voltagem que as partículas carregadas eletricamente presentes no fluido produzem, enquanto os outros funcionam a partir de aparelhos que emitem pulsos ultrassônicos para o escoamento e medem sua velocidade.

O processo de dimensionamento de um macromedidor consiste em definir o diâmetro nominal do mesmo a partir da vazão máxima que este irá medir. Os fabricantes fornecem tabelas que relacionam faixas de vazão com o diâmetro nominal necessário para cada faixa.

A Figura a seguir mostra uma foto de um macromedidor eletromagnético.

Figura 7 - Macromedidor eletromagnético



Fonte: (MARKS, 2016)

3.8.5. Sistemas de Suporte à Gestão de DMC

SISTEMAS DE TELEMETRIA

Sistemas de telemetria são sistemas que permitem a obtenção de dados à distância, assim proporcionando agilidade na obtenção de informações e consequentemente facilitando a tomada de decisões na gestão de operação de DMC. Além da obtenção de dados à distância, os sistemas de telemetria possuem a função de comandos de forma remota, como por exemplo, abertura e fechamento de válvulas, regulação de VRP, etc.

Dentre as informações obtidas por telemetria estão: Variação da vazão média diária ou da vazão mínima noturna, alterações de pressões a jusante ou montante em VRP ou Boosters, falha de equipamentos e variação no nível de reservatórios.

Segundo MARTINS PACHECO (2010), a implantação dos sistemas de telemetria possui um custo muito elevado, gerando um obstáculo para uma ampla utilização desses sistemas.

O autor ainda cita as formas de transmissão dos dados: Podem ser transmitidos por rádio modem, linha privativa, linha discada, fibra ótica e satélite.

SISTEMAS DE MODELAGEM HIDRÁULICA

De acordo com SOUZA JÚNIOR (2014), sistemas de modelagem hidráulica são definidos como softwares especializados que simulam o comportamento de redes hidráulicas em um sistema de abastecimento. O sistema é modelado no software com todos seus componentes e comportamento, processo esse que se chama de parametrização. Depois de parametrizado, o modelo no software é calibrado, para ficar o mais parecido possível com a realidade. Os processos de calibração variam conforme o tamanho e as características do sistema.

Um modelo de redes calibrado permite a realização de simulações e análise de alternativas de projeto. Os softwares atuais permitem realizar a análise de todos os parâmetros hidráulicos de um sistema de abastecimento, inclusive pressões médias, pressões de máximo e mínimo consumo, vazões e perda de carga. No entanto, os softwares mais atuais não consideram perdas por vazamentos.

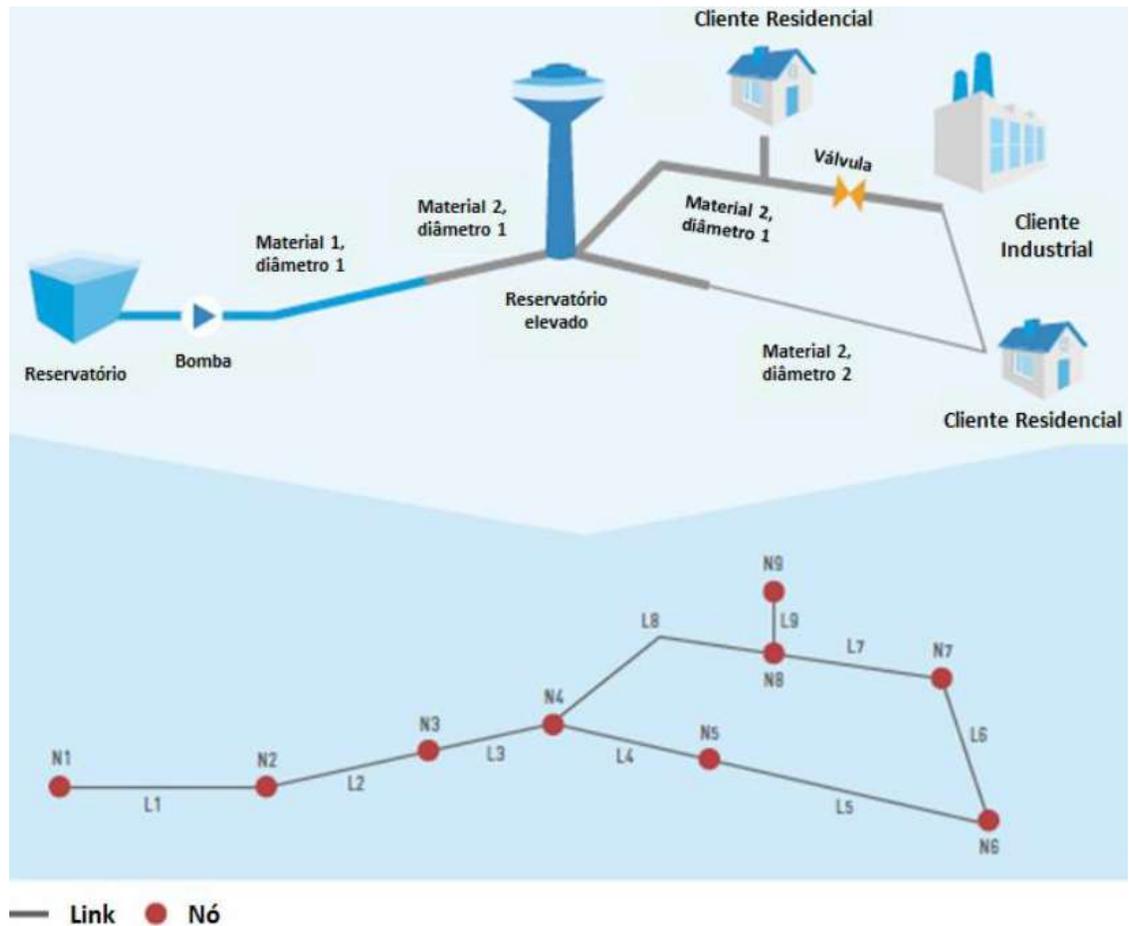
Ademais é necessário alimentar o software com todos os dados essenciais do sistema para realizar as simulações, tais como materiais das redes, extensões, diâmetros, reservatórios e estações elevatórias.

Conforme KLINGEL e KNOBLOCH (2011) citam, os modelos de redes hidráulicas oferecem uma valiosa ferramenta para a operação e gestão dos sistemas de distribuição de água de forma eficiente, podendo ser realizadas:

- Definição de limites de DMC;
- Gestão de pressões em DMC;
- Verificação da capacidade de vazão do sistema;
- Detecção de deficiências no abastecimento e na qualidade da água;
- Análise de vulnerabilidade do sistema, segurança do abastecimento e resposta a emergências.

Os autores ainda complementam que a topologia de uma rede de distribuição de água pode ser descrita por um conjunto finito de nós e links, onde deve ser atribuído para cada link um nó de início e um nó de extremidade. Cada link representa uma seção homogênea de um tubo e os nós designam mudanças físicas na seção do tubo, tais como material e diâmetro, equipamentos de bombeamento instalados e também são utilizados para modelar pontos de entrada e saída de água do sistema, como os reservatórios e clientes atendidos. Além disso, os nós podem ser parametrizados com cotas de um sistema, facilitando a análise das altitudes no sistema que está sendo modelado. Em casos de extensões de tubo muito extensas, os softwares permitem programar a geração de um nó a cada distância pré-determinada.

Figura 8 - Representação simplificada de um modelo de redes hidráulicas



Fonte: Adaptado de (KLINGEL e KNOBLOCH, 2011)

Na parte superior da Figura anterior é mostrado um esquema simplificado de um sistema de abastecimento. Na parte inferior é mostrado esse esquema em um software de modelagem hidráulica. Nota-se que nos locais no esquema onde há os reservatórios, a bomba, os clientes, mudanças de diâmetro e mudanças de material, no modelo hidráulico esses itens são representados por nós.

3.9. PITOMETRIA

NOVAES e BRESSANI (2009) explicam no que consiste a técnica de pitometria:

A pitometria é uma técnica em que se utiliza um tubo de Pitot para medir a velocidade de fluídos. Em sistemas de abastecimento, a pitometria geralmente é realizada para o levantamento de vazão em dispositivos hidráulicos ou em setores onde não se há medidores.

Em DMC a pitometria é realizada com o objetivo de calibrar macromedidores. Para isso é instalada uma estação pitométrica, também chamada de EP, na mesma rede em que está instalado o macromedidor. Então periodicamente é realizado um ensaio pitométrico para fins comparativos com as medições do macromedidor.

A descrição de uma EP consiste em um poço de visita onde se há uma espera na tubulação para serem inseridos um instrumento chamado calibre, que serve para medir o diâmetro real da tubulação, e o tubo de Pitot.

Então o processo de pitometria começa com a medição do diâmetro real da tubulação com o calibre. Este equipamento consiste em uma haste metálica com duas alavancas que é inserido dentro da tubulação. Depois de inserido, as alavancas se abrem, então uma encosta na parte inferior do tubo e a outra na parte superior. A distância entre a ponta das alavancas é o diâmetro real da tubulação.

Depois de definido o diâmetro real da tubulação, é utilizado o tubo de Pitot para definir o perfil de velocidade do escoamento. O tubo de Pitot é inserido na tubulação, e com o auxílio de um manômetro, é feita a medição do diferencial de pressão em um ponto. Então esse diferencial de pressão é feito em vários pontos de baixo para cima da tubulação. Com esses valores é feito o perfil de velocidade do escoamento. Com o perfil de velocidades se calcula a velocidade média e a vazão.

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso, objeto deste trabalho, é a obra de setorização do subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi. Para a realização desta obra, o DMAE – Porto Alegre, por meio de licitação, contratou uma empresa privada para a realização deste empreendimento.

O objetivo do empreendimento é a implementação de DMC e instalação de VRP, com o objetivo de reduzir perdas reais de água tratada, na área do subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi.

Atualmente a região desse subsistema não é dividida em DMC e as perdas são estimadas com base nos volumes que passam pela ETA Menino Deus, pela EBAT Cascatinha, pelo reservatório Catumbi e pelas EBAT anexas da região.

Neste estudo de caso, primeiro foram descritas as características do subsistema. Depois foram descritos os passos para a elaboração e calibração do modelo hidráulico. Então foi dissertada a concepção do empreendimento e por fim foram analisadas as estimativas de redução de perdas que a obra poderá causar no subsistema. Todos os dados referentes à descrição da região e do sistema de abastecimento, parametrização e calibração do modelo hidráulico e figuras relacionadas às simulações do modelo hidráulico foram fornecidos pelo DMAE.

4.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXISTENTE

Nesta seção foram abordadas as principais características do subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi. Desde o macrossistema de Porto Alegre, até as características demográficas, topográficas e as características do sistema de abastecimento da região.

4.1.1. Descrição do Macro Sistema

A cidade de Porto Alegre possui seis sistemas de distribuição de água que são: Moinhos de Vento, São João, Menino Deus, Belém Novo, Ilha da Pintada e Tristeza. Cada sistema citado possui sua própria ETA, Estação de Tratamento de Água.

Combinadas, essas ETA distribuem ao total 198.069.074 m³ de água tratada ao ano para a cidade, conforme consta no Plano Municipal de Saneamento Básico da Cidade de Porto Alegre / 2015 – PMSB. Volume esse que atende a um total de 665.845 economias.

A Tabela abaixo mostra informações sobre os sistemas de abastecimento de Porto Alegre.

Tabela 5 - Sistemas de abastecimento de água em Porto Alegre (2014)

Sistema	Número de Subsistemas	Local de Captação	Número de Elevatórias	Número de Reservatórios
Moinhos de Vento	3	Lago Guaíba	3	4
São João	15	Lago Guaíba	15	14
Menino Deus	62	Lago Guaíba	42	55
Belém Novo	23	Lago Guaíba	19	17
Ilha da Pintada	2	Lago Guaíba / Jacuí	3	2
Tristeza	6	Lago Guaíba	6	7
Total	111		88	99

Fonte: (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2015)

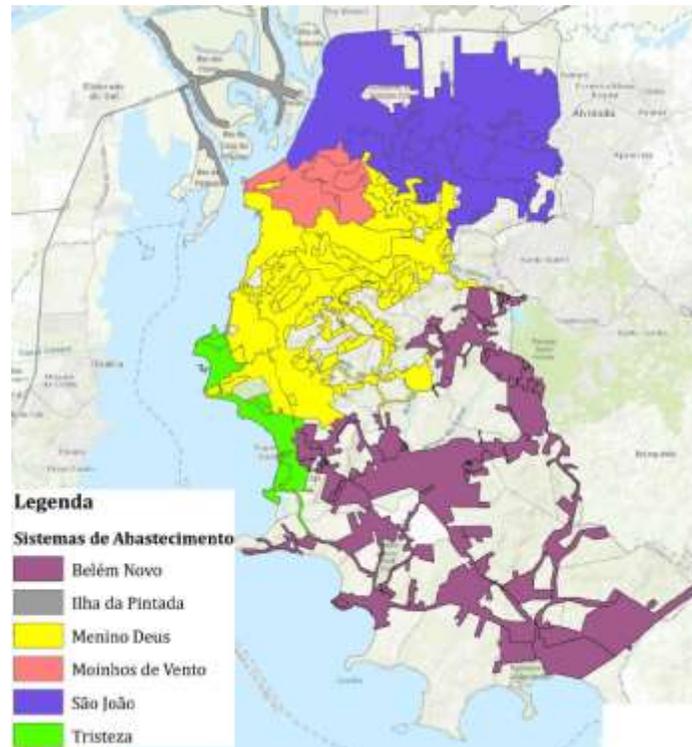
O subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi, referente à obra em questão, é um dos 62 subsistemas pertencentes ao sistema Menino Deus, cujo é o maior sistema de Porto Alegre. Além disso, esse sistema atende a uma área de 6.679 hectares, com uma população estimada em 2014 de 544.618 habitantes, correspondendo a 223.909 economias e produção de 2.265 L/s também em 2014, conforme consta no PMSB / 2015. Ainda consta no PMSB que estudos apontam que esse sistema deverá ser ampliado, devido ao crescimento populacional, necessitando ter sua produção aumentada para 5.250 L/s.

Os 55 reservatórios localizados no sistema Menino Deus possuem uma reservação total de 87.795 m³. Desta reservação, 10.000 m³ ficam no reservatório Catumbi, que atende a área do projeto. O sistema Menino Deus possui seus limites físicos

definidos ao norte com os sistemas Moinhos de Vento e São João, e ao sul com os sistemas Tristeza e Belém Novo.

A figura abaixo mostra um mapa com os sistemas de abastecimento da cidade de Porto Alegre.

Figura 9 - Sistemas / ETAs da cidade de Porto Alegre



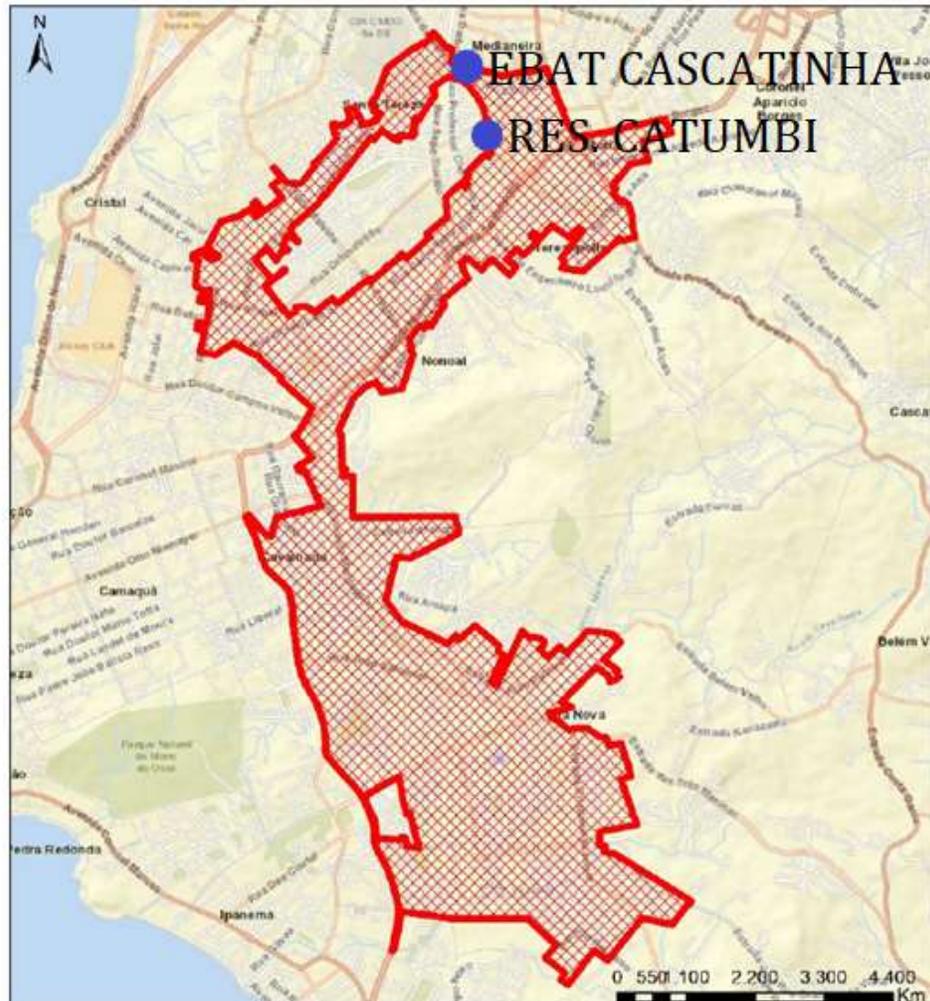
Fonte: (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2015)

4.1.2. Análise Operacional

O subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi abastece uma área maior que 11 km². Essa área abrange os bairros: Cavahada, Cristal, Glória, Medianeira, Partenon e Santa Tereza; e também parcialmente os bairros: Campo Novo, Ipanema, Nonoai, Teresópolis e Vila Nova.

Em relação aos limites geográficos, ao norte limita-se com os bairros Menino Deus e Jardim Botânico e ao sul com os bairros Guarujá, Hípica e Restinga. A figura abaixo ilustra a área de abrangência desse subsistema:

Figura 10 - Subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi



Fonte: (DMAE, 2020)

Percebe-se que na parte superior da região, há uma parte que não está hachurada. Essa parte é a região da Vila Cruzeiro e não faz parte do subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi. Essa região é abastecida pelas EBAT Clemente Pinto e Orfanotrófio.

4.1.2.1. Produção e reservação

A ETA Menino Deus produz a água que abastece o subsistema em questão, com um ritmo de produção de 2.265 L/s. Há expectativas de ampliação da produção para 5.250 L/s. A produção atual é suficiente para atender todas as ligações e EBAT da área. EBAT essas que abastecem regiões adjacentes ao subsistema em questão.

Já a reservação é realizada no reservatório Catumbi. Este é localizado na rua Catumbi nº 421, no bairro Medianeira. Este reservatório é enterrado e atua como reservatório de jusante, contribuindo para o abastecimento da área sempre que o potencial hidráulico da EBAT Cascatinha se torna insuficiente para atender a demanda. É indispensável para regularizar o abastecimento da região nos horários de maior consumo. A tabela abaixo mostra suas principais características:

A Tabela a seguir mostra as principais características do reservatório Catumbi.

Tabela 6 - Características do reservatório Catumbi

Reservatório Catumbi	Cota da rua	82 m
	Cota do fundo	78 m
	Tipo	Enterrado
	Volume útil	10.000 m ³
	Área útil	2.500 m ²
	DN da adutora de saída	600 mm

Fonte: (DMAE, 2020)

4.1.2.2. Bombeamentos

O subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi possui esse nome porque a água que chega até ele é recalçada por meio da EBAT Cascatinha até o Reservatório Catumbi. O abastecimento da área tem início na saída da EBAT Cascatinha, alimentando as ligações, as EBAT anexas e o Reservatório Catumbi.

As EBAT anexas servem para recalcar água para determinadas áreas de atendimento fora do subsistema. Áreas essas que possuem muita variação de cota, fazendo com que esses bombeamentos atuem como boosters. Ao total, há 10 estações de bombeamento anexas espalhadas pelo subsistema. A Figura abaixo mostra a localização desses bombeamentos anexas.

Figura 11 - EBAT localizadas na área de projeto



Fonte: (DMAE, 2020)

As EBAT Clemente Pinto e Orfanotrófio se localizam na mesma casa de bombas do reservatório Catumbi e abastecem a região que engloba a Vila Cruzeiro. Local esse que não faz parte do subsistema e se localiza na parte superior da região, conforme pode ser visto na figura acima.

4.1.2.3. Redes de Distribuição

Conforme consta no cadastro técnico da área do subsistema, as redes começaram a ser implantadas por volta de 1956. Nesse período foram implantadas apenas redes de FoFo e PVC. Em torno do ano de 1979, começaram a ser implantadas as redes de PEAD. Nos dias atuais, o PEAD corresponde a 50% do material das redes da região. A malha do subsistema possui 193,64 km de rede, de acordo com o cadastro técnico, com diversos diâmetros. A extensão total de redes de PEAD, de acordo com o

cadastro, é de 96,17 km. Já as redes de FoFo possuem um total de 80,72 km. Redes de aço e de PVC possuem somados 13,36 km de extensão.

4.1.2.4. Setorização Existente e Macromedição

De acordo com o DMAE, a região do subsistema possui seus limites físicos estanques, com exceção em um ponto conhecido em uma adutora de PEAD, com DN de 450 mm, localizado na Avenida Cruzeiro. Essa fuga não possui vazão contabilizada e contribui para o abastecimento da região de atendimento das EBAT Clemente Pinto e Orfanotrófio, que possuem juntas cercas de 3.987 ligações.

Em relação à macromedição do subsistema, esta consiste em um supervisório parametrizado com dados de ensaios pitométricos feitos nas EP das EBATS. Em situações que não são possíveis realizar ensaios pitométricos, a parametrização do supervisório é feita com dados de rendimento do motor e demais variáveis dos CMB.

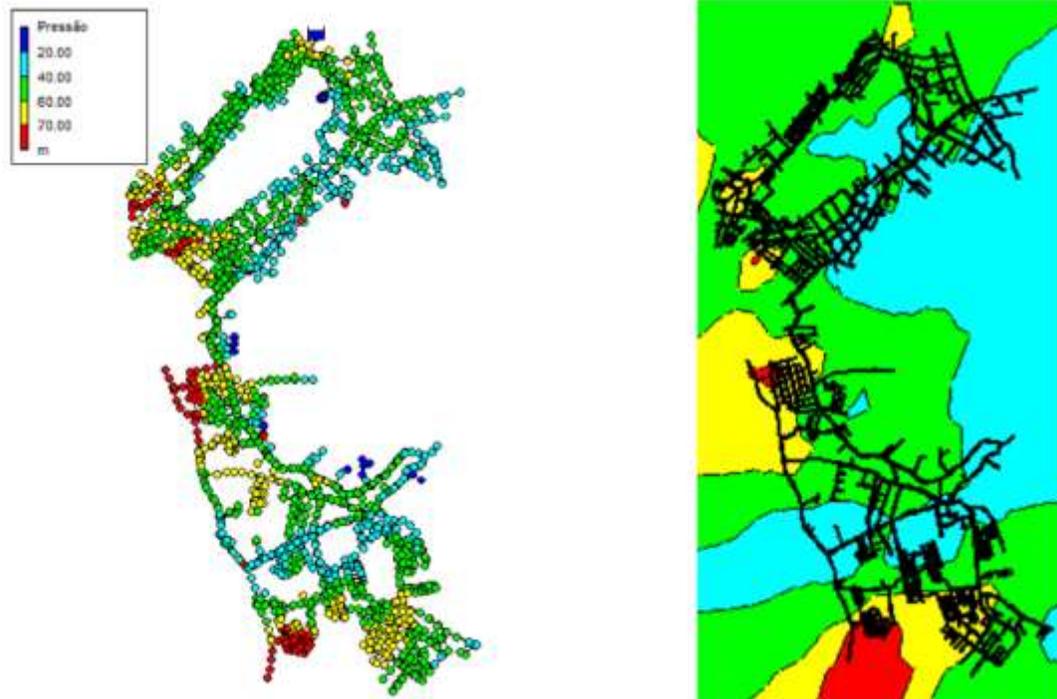
4.1.2.5. Pressões Estáticas

Na região onde fica localizado o subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi, as cotas variam de 11 m a 89 m. O reservatório Catumbi se localiza na cota de 82 m e a EBAT Cascatinha na cota de 18 m, operando com uma altura manométrica na faixa de 68 m.c.a,

Para a análise das pressões estáticas, foram analisadas as disponibilidades de pressão na região com o abastecimento proveniente apenas pela EBAT Cascatinha e com o abastecimento proveniente apenas pelo reservatório Catumbi. Essas análises foram necessárias nessas condições devido ao fato de o reservatório ser de jusante e operar somente quando o potencial hidráulico da EBAT Cascatinha não é suficiente para atendimento das ligações, tornando-se assim o novo potencial da área de estudo.

A Figura a seguir mostra as pressões estáticas disponíveis na área ao considerar o abastecimento apenas pela EBAT Cascatinha:

Figura 12 - Pressões estáticas - Potencial hidráulico EBAT Cascatinha

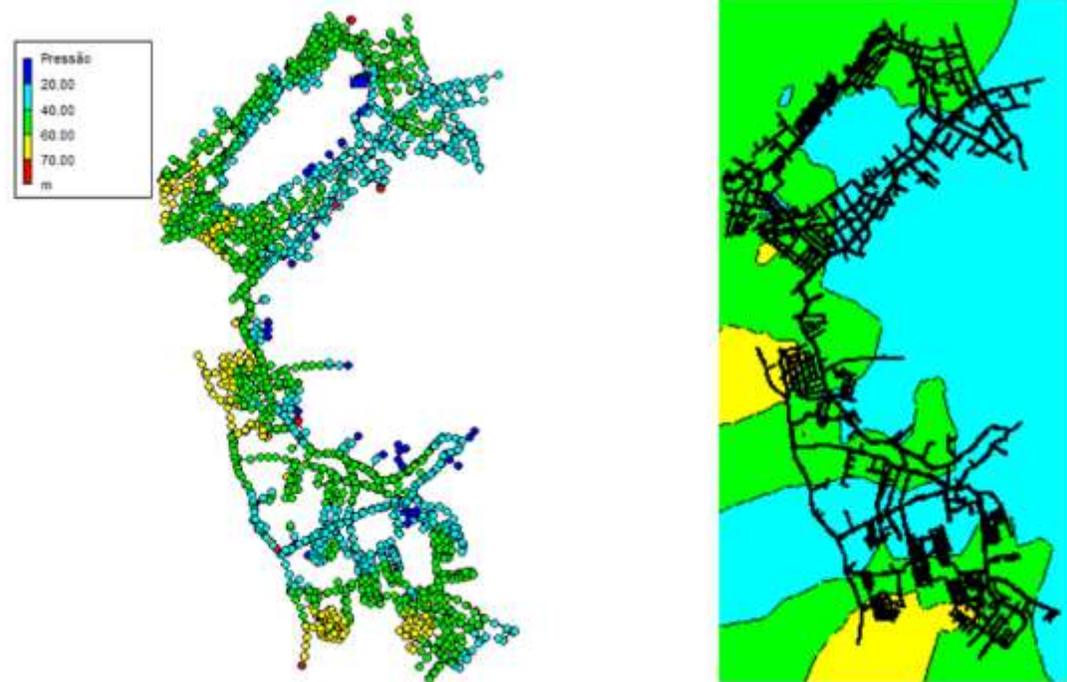


Fonte: (DMAE, 2020)

Analisando a figura, é possível notar que há poucos pontos com pressão inferior a 20 mca e a maior parte da região possui pressão entre 40 e 60 mca, condição essa que favorece o abastecimento na região.

Em relação à pressão considerando o abastecimento pelo reservatório Catumbi, a situação pode ser observada na Figura a seguir.

Figura 13 - Pressões estáticas - Potencial hidráulico reservatório Catumbi



Fonte: (DMAE, 2020)

Comparando com o caso anterior, percebe-se que houve um aumento de pontos com pressão inferior a 20 mca. O aumento também ocorreu em pontos com a faixa de pressão entre 20 e 40 mca, se aproximando em quantidade dos pontos com pressão entre 40 e 60 mca.

Chega-se à conclusão que devido aos vários pontos com pressão muito baixa, o reservatório Catumbi sozinho não teria condições de abastecer a região. No entanto sendo usado quando a capacidade da EBAT não é o suficiente, o reservatório contribui para regularizar o abastecimento na região.

4.1.3. Dados Comerciais

De acordo com o cadastro comercial do DMAE, o subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi conta com um total de 23.136 ligações, distribuídas conforme a Tabela a seguir:

Tabela 7 - Características das ligações de água do subsistema em estudo

Situação	Quantidade
Ativa	17427
Cortada	854
Desligada por débito	1583
Cortada no passeio	24
Cancelamento de ramal	3054
Desligada para cancelamento	165
Pedido de suspensão	29

Fonte: (DMAE, 2020)

Em relação às economias, o cadastro mostra que a região possui 41.357 economias. Esse número corresponde a um índice de 1,8 economias por ligação. Esse índice reflete uma baixa verticalização na região. No entanto na região também há ligações com cerca de 250 economias, ou seja, grandes consumidores que são potenciais geradores de altos valores de perda de carga. As Tabelas a seguir apresentam, respectivamente, as características das economias totais da área e as características das economias ativas:

Tabela 8 - Economias totais por categoria de uso

Situação	Quantidade
Economias residenciais totais	38.281
Economias comerciais totais	2.778
Economias públicas totais	296
Economias industriais totais	2

Fonte: (DMAE, 2020)

Tabela 9 - Economias ativas por categoria de uso

Situação	Quantidade
Economias residenciais ativas	30.380
Economias comerciais ativas	2.098
Economias públicas ativas	56
Economias industriais ativas	1

Fonte: (DMAE, 2020)

4.1.4. Dados Populacionais

Segundo dados de 2010 do IBGE, Porto Alegre possuía 1.409.351 habitantes e uma taxa de crescimento de 0,35% ao ano. Já o último censo indicou uma queda no número de habitantes por domicílio, passando de 3,1 para 2,8 moradores por residência.

O DMAE, com o objetivo de estimar o número de habitantes que serão beneficiados pela obra em questão, utilizou o número de moradores por residência multiplicado pelo total de economias das ligações ativas e desligadas por débito, já que não existem números de habitantes levantados individualmente por setor.

Tabela 10 - Informações gerais demográficas

Informações gerais	
Econ. Res. Ativas	30.380
Econ. Res. Desligadas por Débito	1.586
Economias Res. Totais	31.966
Habitantes / Economia	2,8
População	89.505

Fonte: (DMAE, 2020)

4.1.5. Estimativas de Consumo

A demanda de água é um indicador indispensável para a realização de projetos de saneamento. Uma estimativa correta desse parâmetro permite dimensionar corretamente as estruturas para atender as solicitações das ligações.

Em relação à análise da demanda de água do subsistema em questão, o DMAE considerou os consumos mensais indicados no cadastro comercial de abril de 2019 até março de 2020.

A fim de obter uma estimativa de consumo faturado, foi utilizada a média do volume mensal das economias ativas ao longo da série histórica de um ano. Foi analisado separadamente o volume faturado das economias residenciais e não residenciais, a fim de obter um dado característico de consumo por tipo de economia e o valor do consumo per capita da região. Estes dados estão representados nas Tabelas a seguir.

Tabela 11 - Volume faturado mensal das ligações residenciais

Mês/ano	Consumo das ligações residenciais (m³/mês)
abr/19	435.954
mai/19	390.276
jun/19	407.481
jul/19	358.061
ago/19	367.713
set/19	384.059
out/19	386.393
nov/19	432.146
dez/19	472.380
jan/20	419.981
fev/20	389.626
mar/20	477.161
Consumo médio	410.103

Fonte: (DMAE, 2020)

Tabela 12 - Volume faturado mensal das ligações não residenciais

Mês/ano	Consumo das ligações não residenciais (m³/mês)
abr/19	95.654
mai/19	88.414
jun/19	91.533
jul/19	86.138
ago/19	88.035
set/19	87.460
out/19	89.991
nov/19	93.478
dez/19	93.164
jan/20	92.221
fev/20	89.099
mar/20	91.900
Consumo médio	90.591

Fonte: (DMAE, 2020)

A partir disso foi possível calcular o consumo médio por economia residencial, não residencial e consumo per capita residencial.

O consumo médio residencial foi calculado dividindo 410.103 m³/mês de consumo médio residencial por 30.380 economias, resultando em 13,5 m³/mês.

O consumo médio não residencial foi calculado dividindo 90.591 m³/mês de consumo médio não residencial por 2.155 economias não residenciais, valor este referente ao somatório das economias ativas comerciais, industriais e públicas. O resultado foi de 42 m³/mês

O consumo per capita residencial foi obtido dividindo o consumo médio residencial pelo número de habitantes por economia, resultando em 145 L/hab.dia.

4.1.6. Balanço de Vazões

Para analisar a vazão no subsistema, o DMAE utilizou a técnica de pitometria para calcular a vazão de consumo das seguintes EBAT: Cascatinha, Clemente Pinto, Orfanotrófio, São Caetano I e São Jorge I / Reservatório Belém Velho II. Ressalte-se o fato que a EBAT Cascatinha é a vazão referente à entrada do subsistema. O monitoramento dos dados ocorreu durante 15 dias. Para as demais EBAT, a análise foi realizada com base em dados do supervisor do DMAE. Apenas para a EBAT São Jorge I / Reservatório São Jorge II foram utilizados dados da relação entre a vazão nominal do CMB com informações do horímetro do bombeamento. Então foram utilizados os valores médios referentes à esse monitoramento que ocorreu por 15 dias.

A seguir, a Tabela com essas informações de vazão:

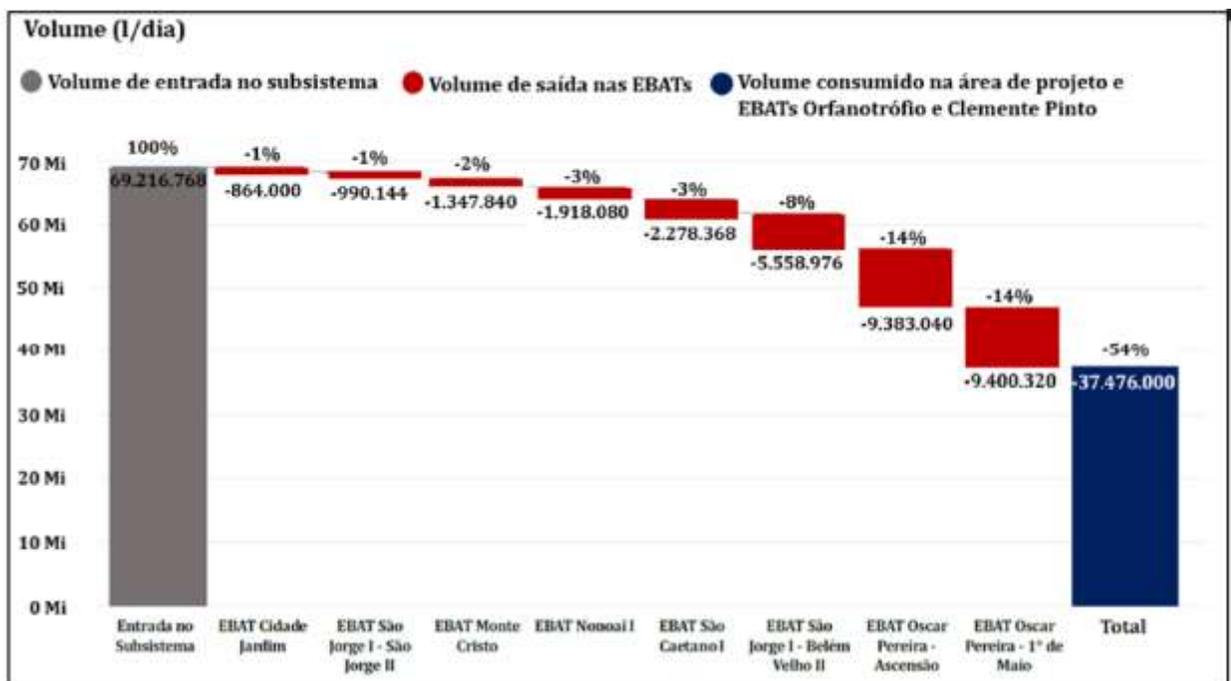
Tabela 13 - Vazão dos bombeamentos

EBAT	Vazão (m³/h)	Volume diário (l/dia)
Cascatinha / Res. Catumbi	2.884	69.216.768
Clemente Pinto / Res. Clemente Pinto	110	2.643.840
Orfanotrófio / Res. Orfanotrófio	225	5.391.360
Oscar Pereira / Res. Ascensão	391	9.383.040
Oscar Pereira / Res. 1º de Maio	392	9.400.320
São Caetano I / Res. São Caetano II	95	2.278.368
Nonoai I / Res. Nonoai II	80	1.918.080
Cidade Jardim I / Res. Cidade Jardim II	36	864.000
São Jorge I / Res. Cidade Jardim II	41	990.144
São Jorge I / Res. Belém Velho II	232	5.558.976
Monte Cristo	56	1.347.840

Fonte: (DMAE, 2020)

Com essas informações, pode-se realizar o balanço de vazões para conhecer o volume consumido pelas ligações da área de estudo. Como dito na seção de Setorização e Macromedição Existente, existe uma interligação não macromedida que contribui para o abastecimento das regiões atendidas pelas EBAT Orfanotrófió e Clemente Pinto. Por este motivo não se pode fazer um simples balanço de vazão. Então, no primeiro momento, foi encontrado o valor de consumo da área somado aos volumes dessas EBAT. Para isso foram subtraídos do valor do volume de entrada do subsistema, EBAT Cascatinha, os valores de vazão do restante das EBAT. Esse valor calculado é de 37.476.000 L/dia. De todo o volume que entra no subsistema, esse valor corresponde a 54% do total, sendo 46% referente aos outros oito bombeamentos. Segue abaixo uma Figura que ilustra esse primeiro balanço de vazões.

Figura 14 - Balanço de vazões da área de estudo



Fonte: DMAE (2020)

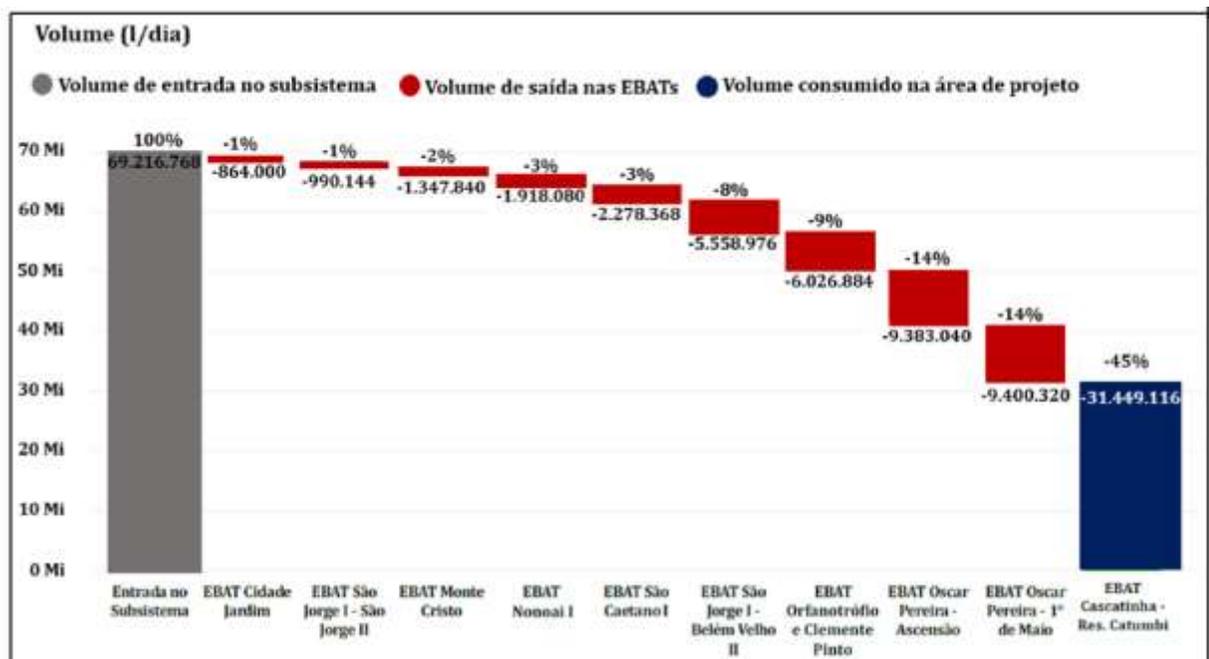
O próximo passo foi estimar a população das áreas de atendimento das EBAT Clemente Pinto e Orfanotrófió, que é de 17.151 habitantes. Na sequência, foi dividido o volume total que alimenta o subsistema em estudo e as regiões de atendimento das EBAT Clemente Pinto e Orfanotrófió pelo número total de habitantes dessas áreas. Esse

cálculo resultou em um consumo per capita de 351,4 L/hab.dia. Esse consumo per capita é um valor elevado, comparado com o consumo per capita calculado para o subsistema em questão, o que pode estar relacionado a perdas aparentes. No entanto, o DMAE a fim de projeto, utilizou esse valor para realizar o balanço de vazões, a fim de considerar apenas o consumo da região do Subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi.

Então, multiplicando esse consumo per capita de 351,4 L/hab.dia pela população de 17.151, se calcula o volume consumido pela região de atendimento das EBAT Clemente Pinto e Orfanotrófio, valor este correspondente a 6.026.884 L/dia.

Por fim, pode-se realizar o balanço de vazões final para a área de estudo, resultando em um volume de 31.449.116 L/dia consumido pela região do subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi. Segue a Figura a seguir que mostra o balanço de vazões final para o subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi.

Figura 15 - Balanço de vazões final da área de estudo



Fonte: DMAE (2020)

Depois de realizado o balanço de vazões, o DMAE calculou os valores de perda de água na região. Para este caso, foram considerados os valores de consumo encontrados no item 4.1.5 – Estimativas de Consumo. O valor faturado total foi obtido multiplicando o consumo per capita residencial pelo número de habitantes, e depois esse

valor foi somado ao consumo médio não residencial multiplicado pelo número de economias não residenciais. O valor total faturado calculado foi de 16.697 m³/dia.

Subtraindo o valor faturado total do valor consumido o valor faturado total, foi obtido um valor de perda de água de 14.762 m³/dia, representando um IP de 47%.

4.2. ELABORAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO

Nesta etapa será explicado como o modelo em software do subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi foi concebido pelo projetista da empresa contratada responsável pelo empreendimento. O processo de elaboração desse modelo é dividido em parametrização e calibração. A parametrização é a inserção dos dados no programa computacional, e a calibração é uma etapa de ajustes para que o modelo fique com o comportamento mais próximo possível da realidade.

4.2.1. Parametrização

O modelo hidráulico do subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi foi modelado pela empresa contratada pelo DMAE no software WaterCAD V8i, seguindo a metodologia a seguir:

- Importação do cadastro técnico em base GIS para o software;
- Confirmação de redes e inserção de linhas não cadastradas pelo DMAE;
- Especificação das propriedades dos objetos que constituem o sistema;
- Inserção dos grandes consumidores identificados no cadastro comercial;
- Inserção de demandas;
- Descrição das condições operacionais do sistema;
- Execução da calibração.

Dentre os dados técnicos que precisaram ser inseridos no modelo, para uma correta simulação do modelo, estão:

- Diâmetro e tipo de material dos tubos e comprimento das redes;
- Dispositivos hidráulicos: Elevatórias, válvulas, macromedidores, etc.;
- Coeficientes de rugosidade;
- Cotas topográficas;
- Consumo base;
- Padrão de consumo.

CADASTRO TÉCNICO

O cadastro técnico do DMAE foi inserido a partir de uma base GIS (Sistema de Informação Geográfica). Este foi necessário passar por processos de comprovações e correções. Processos estes realizados pelo próprio DMAE junto com a empresa terceirizada responsável pelo projeto.

DISPOSITIVOS HIDRÁULICOS

Os mesmos foram importados para o modelo juntamente com o cadastro técnico. Os que não constavam no cadastro foram inseridos pontualmente.

COEFICIENTE DE RUGOSIDADE

Os valores base de coeficiente de rugosidade foram retirados da literatura. Os valores dos principais materiais estão apresentados na Tabela seguinte:

Tabela 14 - Coeficientes de Rugosidade

Material	Novos	Usados ± 10 anos	Usados ± 20 anos
Ferro Fundido	130	120	105
PVC	140	135	130
PEAD	150		

Fonte: (AZEVEDO NETTO, 1998)

No entanto, em sistemas de distribuição de água antigos é normal haver tubulações de ferro sem revestimentos ou com diâmetros internos reduzidos devido à constituição de camadas ou crostas. Por este motivo os coeficientes de rugosidade também precisaram passar pelo processo de calibração.

COTAS TOPOGRÁFICAS

Disponibilizadas pelo DMAE em base GIS.

CONSUMO BASE

Consumido base é definido como o valor médio ou nominal do consumo de água da principal categoria presente em um nó do modelo hidráulico, medido em unidades correntes da vazão. A vazão de cada nó está ligada aos diferentes tipos de perfis de consumo, o que varia de acordo com os costumes populacionais, climas, entre outros. Variações quanto ao tipo de consumo de uma ligação residencial é diferente de uma comercial, pública ou industrial, o que resultariam em consumos específicos para cada tipo de ligação.

A metodologia empregada para a inserção dos dados de consumo no modelo consistiu na vazão encontrada na área de projeto, apresentada no item 4.1.6 – Balanço de Vazões, dividida pela quantidade de nós implementados no modelo, de modo a distribuir o consumo em toda a área de abrangência do sistema de distribuição. Para o consumo das EBAT, esses foram inseridos em unidade de vazão nos nós correspondentes a cada um dos bombeamentos.

A partir dos dados comerciais observados, foram selecionados os consumidores com consumo médio acima do calculado para os nós do modelo. Esses consumidores foram inseridos no modelo pontualmente, de modo a possibilitar a identificação dos trechos com elevada perda de carga na etapa de calibração.

PADRÃO DE CONSUMO

Para executar simulações dinâmicas no WaterCAD, foi necessário construir uma curva de modulação (padrão temporal), para representar a variação periódica dos nós ao longo do dia. Essa variação torna possível analisar os parâmetros em diferentes momentos do dia, incluindo os momentos de máximo e mínimo consumo.

Para se elaborar essa curva, primeiramente foram analisadas as vazões de entrada e saída do subsistema. Para se ter precisão no consumo horário total do subsistema, foram elaborados os padrões de consumo de todas as EBAT espalhadas na área de projeto. As informações de consumo horário utilizadas foram obtidas do mesmo modo que foram obtidas as vazões em cada EBAT, no item 4.1.6 – Balanço de Vazões, ou por pitometria, ou analisando a vazão nominal dos CMB.

Posteriormente foi observada a variação do nível da água do reservatório. Isso porque com o consumo horário dos bombeamentos conhecidos, e o reservatório sendo de jusante, o consumo das ligações é obtido subtraindo do volume total de entrada no subsistema, o consumo horário dos bombeamentos e o consumo do reservatório Catumbi.

Com a vazão horária recalculada pela EBAT Cascatinha, o consumo horário dos bombeamentos anexos à área de estudo e à variação de nível do reservatório de hora em hora transformados em volume, foi determinado o consumo das ligações para cada hora do dia.

4.2.2. Calibração

Ressaltando o que já foi dito anteriormente, a calibração é o processo para deixar o modelo hidráulico o mais próximo da realidade possível. As principais regulagens são os ajustes dos coeficientes de rugosidade e a identificação de condições de campo não informadas no cadastro técnico. Neste caso, em relação às vazões, estas já haviam sido confirmadas por meio do balanço de vazões.

A primeira avaliação foi a do nível da água do reservatório. Foi feito um gráfico comparando a variação do nível deste no modelo e o reservatório real. Foi observado neste gráfico que o comportamento do nível do reservatório estava muito parecido com a realidade.

Com o comportamento do reservatório calibrado, foi analisado se a demanda do subsistema no modelo estava condizente com a demanda real. Para isso foram comparados os gráficos da variação do reservatório ao longo do dia com os padrões de consumo ao longo do dia. Foi concluído pelo projetista que a os padrões de consumo estavam condizentes.

Posteriormente foram ajustados os coeficientes de rugosidade do modelo, com o objetivo de ajustar os valores de pressão. Para que os valores de pressão que o modelo hidráulico estava apresentando ficassem o mais próximo possível dos valores medidos em campo, foram ajustados os coeficientes de rugosidade. Então estes foram sendo alterados em cada trecho específico do modelo, até que os valores de pressão estivessem precisos.

Para obter as informações de pressão do subsistema, a empresa responsável realizou monitoramentos de pressão por 7 dias consecutivos em ramais distribuídos ao longo de toda a extensão da área em questão.

Como visto anteriormente, essa região possui uma grande variação topográfica, e isso faz com que as pressões variem também. As pressões foram medidas em 45 pontos espalhados em toda a área do subsistema. A pressão média desses pontos resultou em 32 mca.

Então os valores de rugosidade foram implementados no modelo computacional com as seguintes faixas de valores:

- PVC = 111,2 - 115,6
- PEAD = 119,7 - 124,5
- FoFo/FD = 80 – 105
- Aço = 105

4.3. PROJETO DE SETORIZAÇÃO DO SUBSISTEMA

Depois de parametrizado e calibrado o modelo hidráulico do subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi, foi possível elaborar a concepção do projeto de setorização da região.

Como já dito na seção sobre DMC, os critérios para a divisão de um sistema de abastecimento em DMC são subjetivos, sendo muito raras as chances de dois projetistas chegarem aos mesmos resultados. Por este motivo, um modelo hidráulico em software auxilia o projetista no sentido de testar diversas alternativas, realizando simulações hidráulicas, até ser encontrada a melhor alternativa de projeto.

Tendo isso em mente, nesta seção dissertou-se sobre os principais pontos referentes à concepção do projeto de setorização do subsistema.

4.3.1. Premissa de Projeto

O projeto de setorização foi elaborado com a premissa conceitual de separar o sistema em DMC, instalar VRP e assentar reforços de rede, com o objetivo de equilibrar o abastecimento na região, e controlar as vazões e pressões para reduzir perdas reais. A redução de pressões no sistema já causa uma considerável redução de vazamentos. Já no caso da setorização por si só, esta não reduz perdas reais. Essa redução com base na separação do sistema em DMC surge a partir do controle de vazões e pressões a partir desses. Associado a isso, é necessário também realizar as pesquisas de vazamentos, manutenção da infraestrutura, controle de estanqueidade dos DMC, análise do surgimento de novos grandes consumidores e crescimento populacional.

A empresa responsável pelo projeto irá realizar teste de estanqueidade e pesquisa acústica de vazamentos em todos os DMC. Pelo histórico da empresa, é esperado que depois de realizados esses serviços o IP de 47% caia para 33%. Vale ressaltar que essa redução do valor de IP depende da quantidade de vazamentos. Não se sabe o quanto dessa perda é real e o quanto é aparente. Foi definida essa meta entre o DMAE e a empresa contratada com base na quantidade de vazamentos consertados por km e a redução de pressões obtidas em serviços anteriores da empresa contratada.

Então a vazão de projeto para o dimensionamento das redes e dos dispositivos foi calculada baseada no IP de 33%. Essa vazão então foi obtida primeiramente somando

as demandas residências, não residências e a vazão de perdas, considerando o IP de 33%. Depois esse valor foi multiplicado pelos coeficientes k_1 e k_2 . Os valores dos coeficientes utilizados foram respectivamente 1,2 e 1,5. Por fim esse novo valor de vazão foi colocado no modelo hidráulico dividido pelos nós. Posteriormente a isso, foram definidos os locais de instalação dos macromedidores e das VRP no modelo hidráulico. Então o software fornece o valor de vazão para esses nós, para então, dimensionar os mesmos.

É importante ressaltar que as análises dos parâmetros do subsistema foram separadas em duas etapas. Em um primeiro momento foram analisados os parâmetros no modelo hidráulico calibrado sem nenhuma implementação de projeto. Depois foram analisados os parâmetros do modelo projetado, ou seja, um modelo com a vazão de projeto inserida e as implementações feitas para setorizar a região

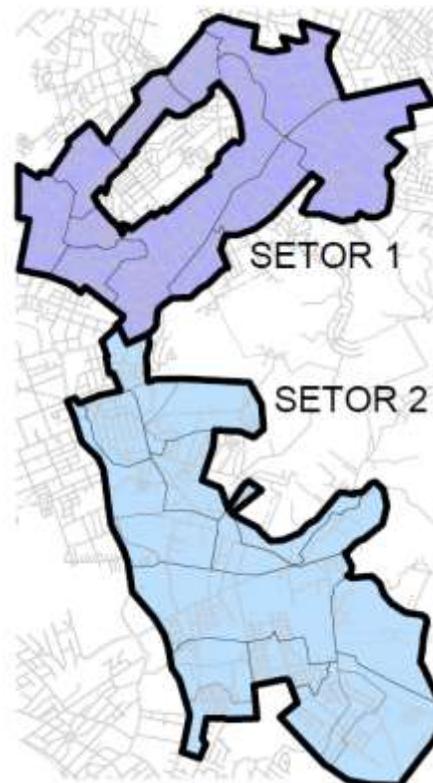
4.3.2. Análise do Sistema Atual

Com o modelo hidráulico parametrizado e calibrado, o primeiro passo que o projetista tomou para se conceber o projeto de setorização do subsistema foi realizar simulações com o modelo original da região, a fim de analisar suas principais características e definir onde serão feitas as implementações.

SETORES

Com o objetivo de facilitar a identificação das localidades no modelo do subsistema, e ainda facilitar o entendimento da concepção do projeto, a área foi dividida em dois setores, conforme mostra a Figura a seguir:

Figura 16 - Setores do subsistema



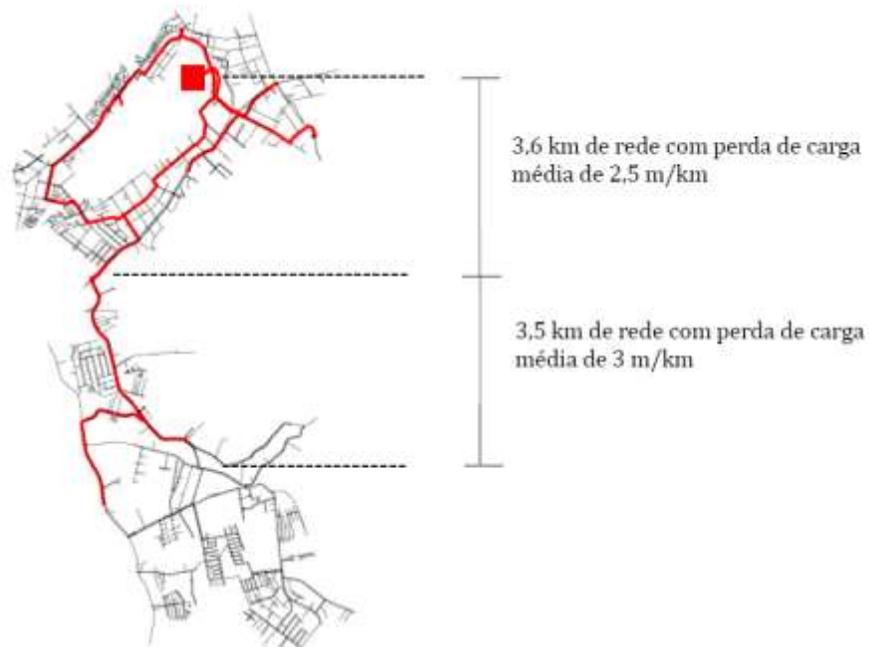
Fonte: DMAE (2020)

Na divisa entre os setores, há um macromedidor que realiza a medição de toda a vazão que entra no setor 2.

CARGA HIDRÁULICA

O abastecimento de todo o subsistema parte da EBAT Cascatinha e do reservatório Catumbi, que se localizam na parte superior da Figura 17. A adutora principal que sai do reservatório faz uma volta ao redor da região da Vila Cruzeiro e depois segue para a parte mais baixa da região. A perda de carga linear nessa adutora possui um valor relativamente baixo, no entanto ela percorre uma extensão muito extensa. Isso faz com que a perda de carga na parte inferior da Figura 17 fique muito elevada.

Figura 17 - Perda de carga na adutora

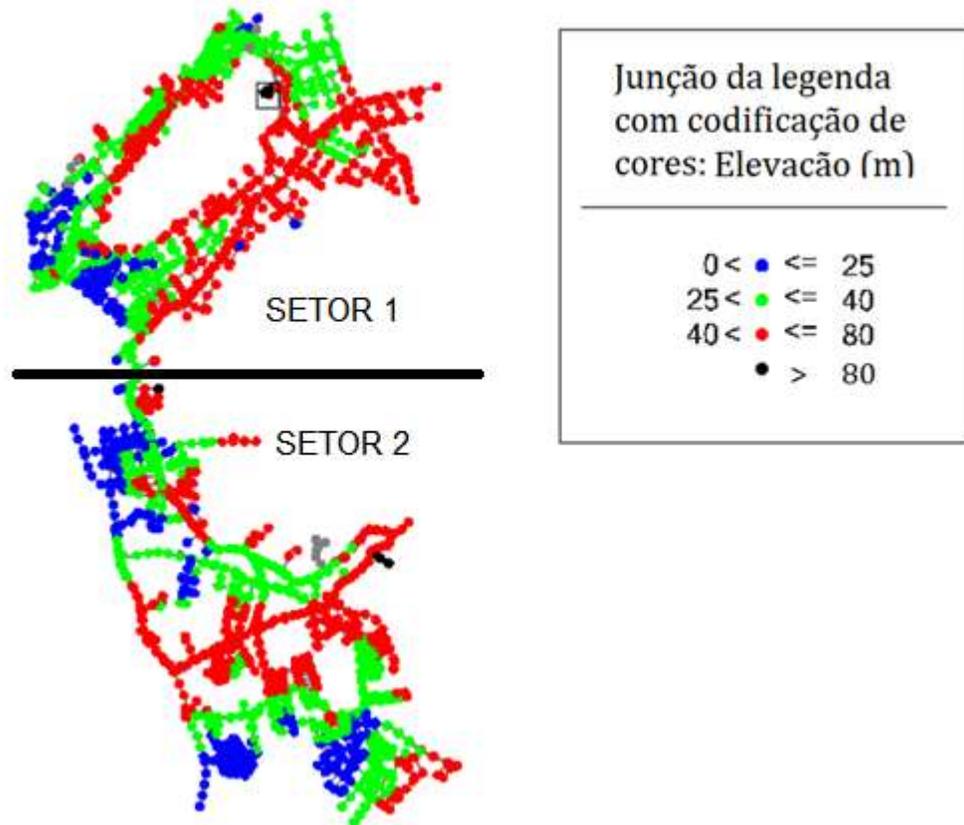


Fonte: DMAE (2020)

COTAS

As faixas de cotas da região foram associadas aos nós do modelo e puderam gerar a seguinte simulação:

Figura 18 - Cotas da área do subsistema



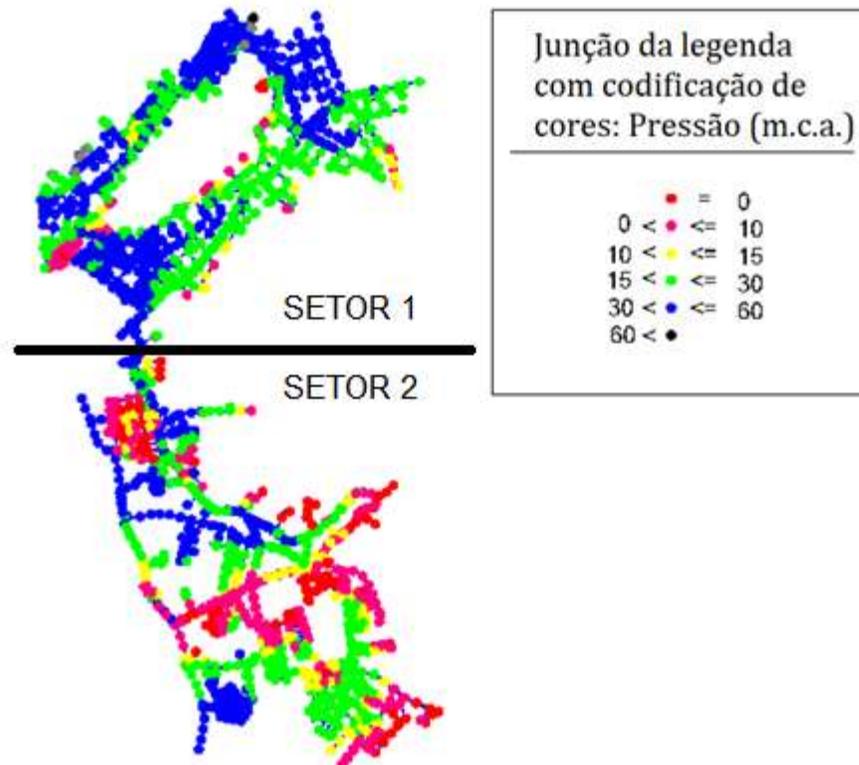
Fonte: (DMAE, 2020)

Observando a imagem, nota-se que a região possui uma grande variação de altitude. Há pontos com cotas muito altas e muito baixas, muito próximos entre si. Essa característica é uma influência direta para elevar a perda de carga das redes e gerar uma elevada variação de pressão na região. É perceptível que na parte à direita do setor 1, e no centro do setor 2, existem regiões de cotas elevadas. No caso do setor 1, o abastecimento nessa região de grande altitude não irá sofrer prejuízo com a separação do subsistema em DMC. Já no caso do setor 2 não se pode dizer o mesmo, pois a perda de carga nesses pontos é muito elevada.

PRESSÕES

Em relação à pressão, foram analisadas as pressões de máximo e mínimo consumo.

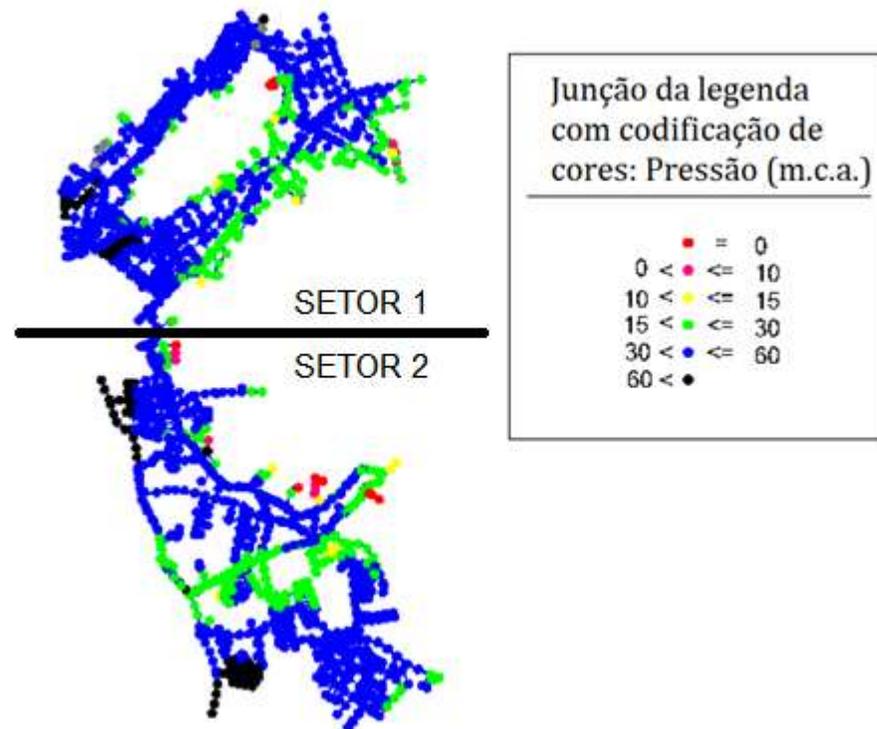
Figura 19 - Pressões de máximo consumo do subsistema



Fonte: (DMAE, 2020)

Na Figura acima, é necessário se atentar nos pontos vermelhos e rosas. Esses pontos representam zonas de baixa pressão. Nota-se que essas zonas de baixa pressão estão mais presentes no setor 2, devido à elevada perda de carga que a adutora sofre ao longo de sua extensão até o setor. Também há uma zona de baixa pressão no setor 1, localizada próxima à divisa dos setores. Essas regiões, para que não tenham seu abastecimento prejudicado e também tenham suas pressões mínimas melhoradas, terão que receber reforços de rede.

Figura 20 - Pressões de mínimo consumo no subsistema



Fonte: (DMAE, 2020)

Na Figura acima se nota uma predominância de pontos azuis e algumas regiões com pontos pretos, ou seja, zonas de alta pressão. É possível notar que naquela região central do setor 2 que possui cotas elevadas, as pressões estão dentro da faixa recomendada. O mesmo se nota na região à direita do setor 1. A solução para reduzir essas pressões de mínimo consumo será a instalação de VRP.

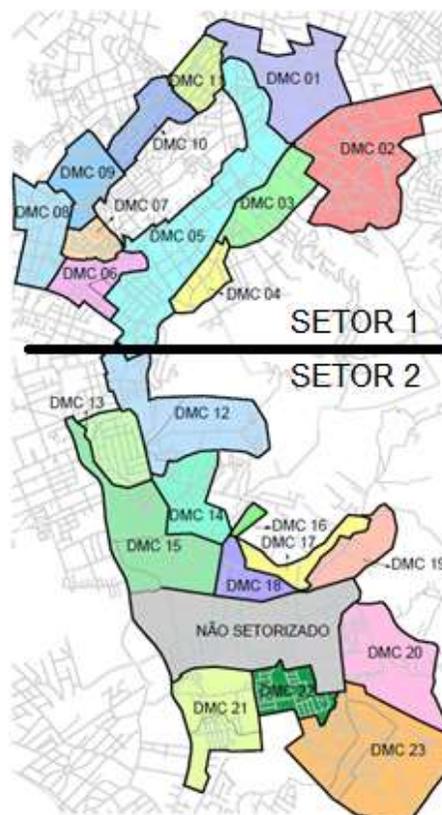
4.3.3. Concepção

A partir das análises do sistema existente, foi projetada a setorização do subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi.

4.3.3.1. DMC

A primeira etapa de concepção por parte do projetista foi o traçado dos contornos dos DMC, ou seja, seus limites físicos. É importante lembrar que para essa etapa, foram levadas em conta as características físicas e geográficas da região, como por exemplo rios, fronteiras e as cotas. No caso desse subsistema, como já dito anteriormente, há uma variação de cotas muito significativa. Então o mapa de cotas foi o fator principal que o responsável pela concepção do projeto utilizou como base para definir os limites dos DMC.

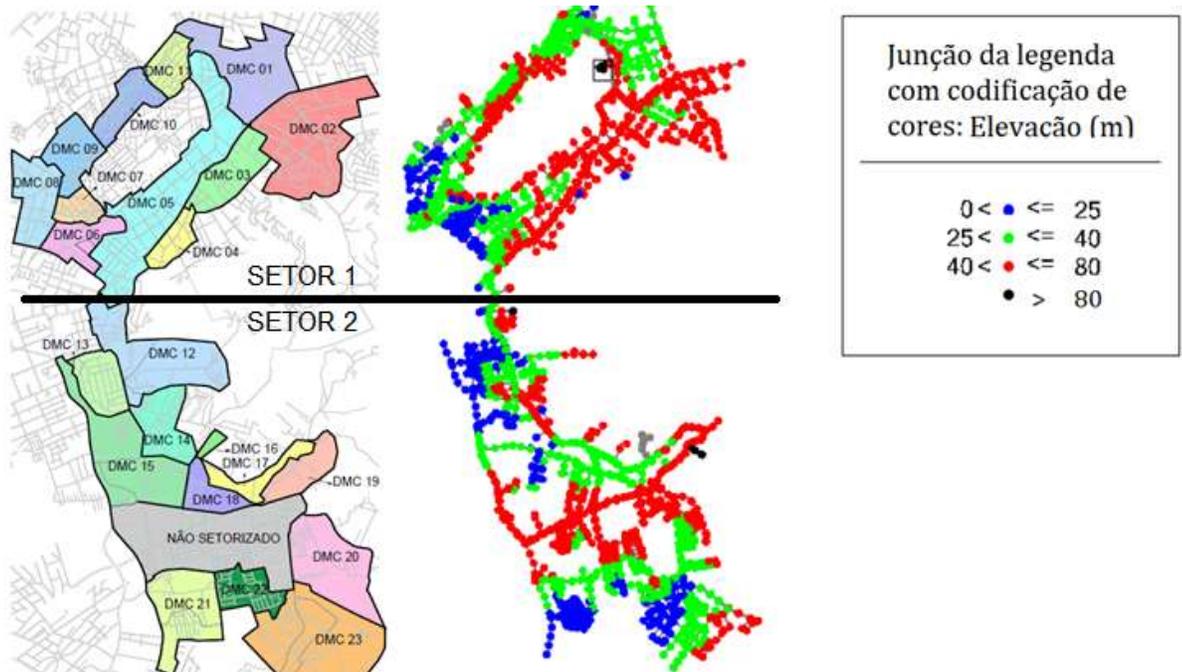
Figura 21 - Traçado dos DMC



Fonte: (DMAE, 2020)

Com a imagem a seguir, comparando o mapa de cotas e os contornos dos DMC, lado a lado, é possível visualizar de forma mais clara o critério de definição desses contornos:

Figura 22 - Comparação dos DMC com mapa de cotas



Fonte: Adaptado de (DMAE, 2020)

As cotas foram utilizadas como o critério básico para o traçado. Para a definição final, foram analisadas as quantidades de serviço para separar a região, ou seja, quantidades necessárias de cortes e interligações na rede. Esse critério possui um fundamento econômico, pois quanto menos serviços necessários para a criação de um DMC, menor o seu custo.

Ressalta-se que a região onde consta “NÃO SETORIZADO”, corresponde àquela região com altas cotas e baixas pressões nos horários de máximo consumo. Não setorizar essa região foi uma definição de projeto, pois caso ela fosse setorizada, ela iria necessitar de reforços de rede muito robustos, aumentando consideravelmente o custo da obra.

Cada DMC irá ter apenas uma entrada, um macromedidor em cada entrada e uma EP correspondente, totalizando ao todo 23 macromedidores eletromagnéticos e 23 estações pitométricas.

A seguir há uma Tabela mostrando as extensões de rede e as economias por DMC.

Tabela 15 - Parâmetros por DMC

DMC	Extensão de redes (m)	Economias
1	10.752	1.807
2	10.657	1.791
3	5.794	974
4	22.228	3.735
5	2.644	444
6	6.205	1.043
7	3.428	576
8	9.183	1.543
9	5.228	878
10	8.554	1.437
11	6.487	1.090
12	7.070	1.188
13	8.389	1.410
14	2.502	420
15	11.720	1.969
16	651	109
17	6.558	1.102
18	4.437	746
19	3.346	562
20	5.783	972
21	8.089	1.359
22	9.087	1.527
23	15.773	2.650
N.S	19.073	3.205
Total	193.638	32.535

Fonte: Adaptado de (DMAE, 2020)

Os valores de extensão de rede na Tabela acima foram retirados do modelo hidráulico e as economias foram estimadas baseadas nas extensões.

Os valores de extensão de redes estão conforme a recomendação da NBR 12218 / 2017, não ultrapassando o valor de 25 km. Considerando o valor de aproximadamente 1,8 economias por ramal, os DMC deste empreendimento estão obedecendo a recomendação da norma, não ultrapassando o valor de 5.000 ramais por DMC.

Nenhum DMC possui mais que 3.000 economias, sendo este um fator positivo para o projeto, pois um número superior em um DMC não é recomendado por ser de difícil controle e localização de vazamentos. Os DMC 5, 14 e 16 possuem um número

inferior à 500 economias. Esse número é abaixo do recomendado pela literatura. No entanto, para este caso, a única desvantagem é o aumento do custo da obra.

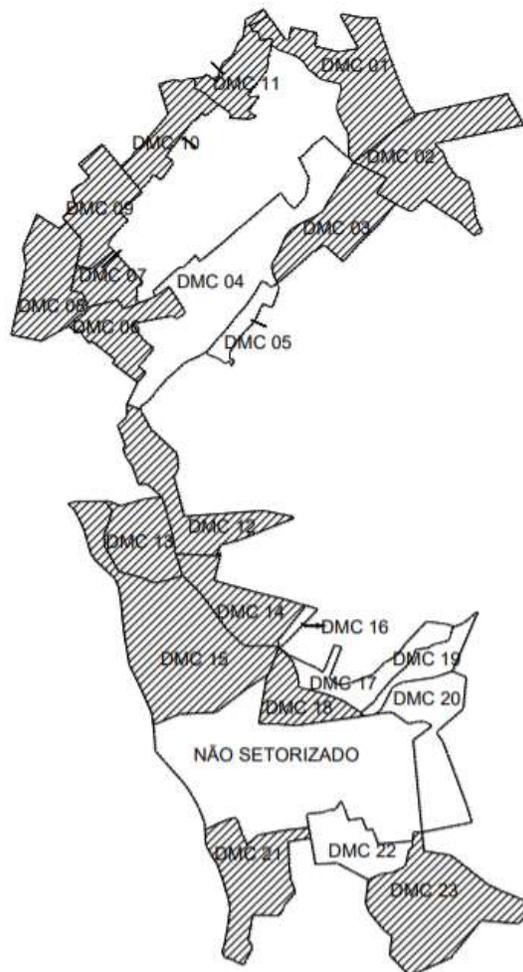
Após o sistema setorizado, as VRP instaladas e os reforços assentados, serão feitos os ensaios de estanqueidade para verificar se os DMC estão estanques e com apenas uma entrada de água. Depois do ensaio, serão feitas pesquisas e reparos de vazamentos nos DMC. O monitoramento da vazão em cada DMC será feito por um sistema de telemetria desenvolvido pelo DMAE. Este sistema também controlará as VRP.

4.3.3.2. VRP

Nas regiões onde as pressões são muito elevadas nos momentos de mínimo consumo, irão ser instaladas VRP para diminuí-las.

Em uma primeira versão da concepção do projeto, foram previstas 26 VRP. No entanto, por questões de orçamento, o projeto sofreu redução para 20 VRP. Os DMC 4, 5, 16, 17, 19, 20 e 22 ficaram sem VRP. Para os DMC 8 e 12 foram projetadas duas VRP e no DMC 15, três. O restante dos DMC ficou com uma VRP.

A Figura a seguir mostra a área de influência das VRP do projeto:

Figura 23 - Áreas de influência das VRP

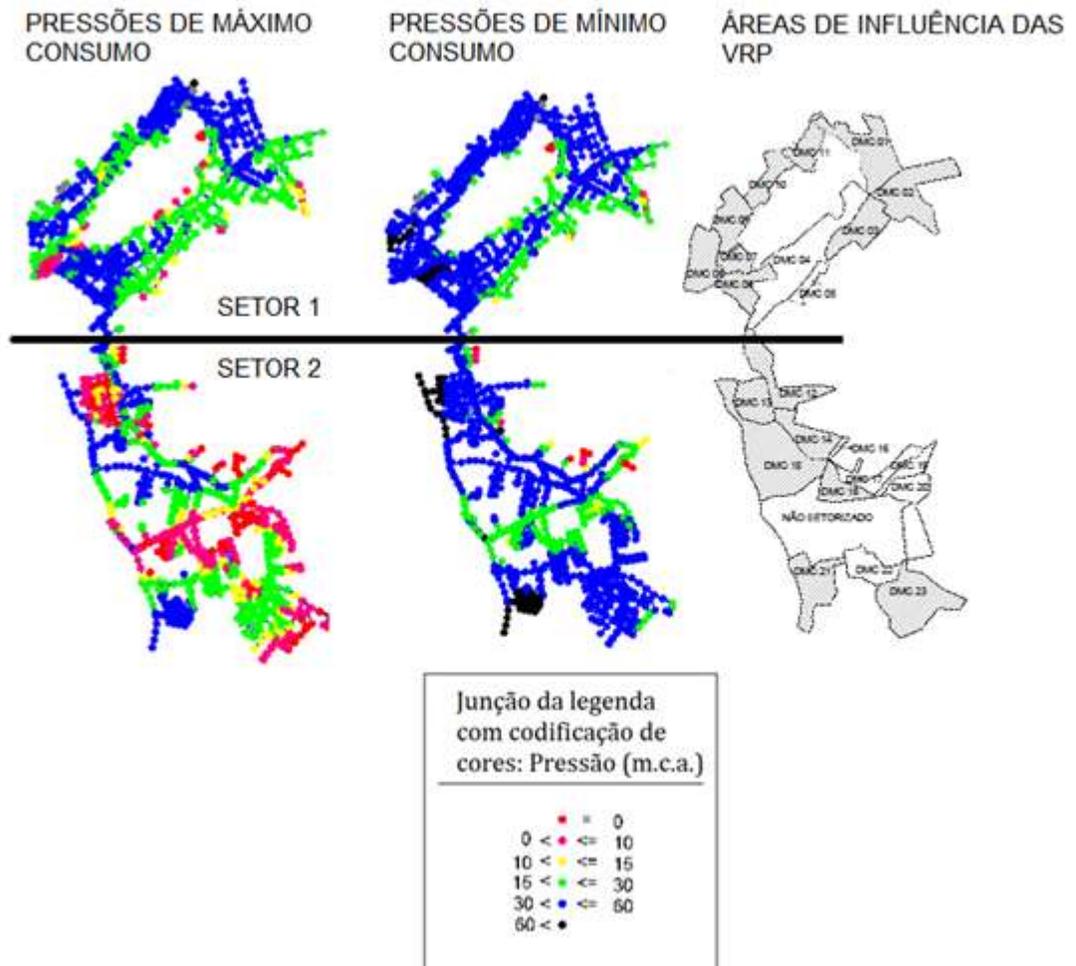
Fonte: DMAE (2020)

As áreas hachuradas na imagem acima representam áreas sob influência de alguma VRP.

As localizações para as VRP foram definidas próximas dos macromedidores. A maioria será instalada no mesmo barrilete que o macromedidor. As que não estiverem no mesmo barrilete ficarão em um local próximo da entrada do mesmo. Isso é importante para a área de influência da VRP englobar a área desejada pelo projetista.

A seguir consta uma Figura que compara as pressões de máximo e mínimo consumo com as áreas sob influência das VRP:

Figura 24 - Pressões do subsistema e áreas de influência das VRP



Fonte: Adaptado de (DMAE, 2020)

Como é uma região com elevados valores de perda de carga, as VRP utilizadas neste projeto serão as com controlador eletrônico, mantendo pressões de jusante variáveis, conforme a vazão varia.

A seguir é mostrada uma tabela com as VRP dimensionadas:

Tabela 16 - VRP dimensionadas

DMC	DN VRP (mm)	P.E. <i>mín.</i>	P.E. <i>máx.</i>	P.S.
		mca	mca	mca
1	150	36	39	20
2	200	36	39	33
3	150	34	38	30
4	Sem VRP			
5	Sem VRP			
6	100	55	61	25
7	100	27	34	15
8	2 x 80	50	57	30
9	100	29	35	15
10	150	32	37	20
11	100	52	54	30
12	2 x 100	34	42	27
13	150	28	40	20
14	80	20,5	33	15
15	2 x 80 e 1 x 100	33	47	20
16	Sem VRP			
17	Sem VRP			
18	100	30,5	47	24
19	Sem VRP			
20	Sem VRP			
21	100	11	31	15
22	Sem VRP			
23	150	23	51	17

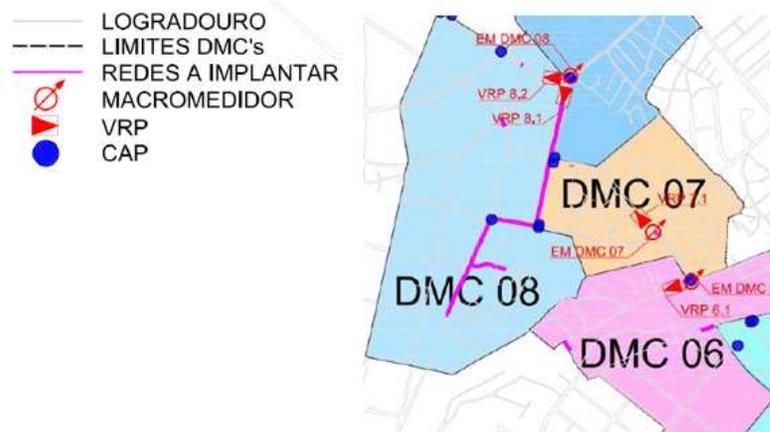
Fonte: (DMAE, 2020)

Conforme consta na tabela acima, P.E. significa pressão de entrada e P.S. significa pressão de saída de mínimo consumo.

4.3.3.3. Reforço de Redes

Conforme se pode observar na Figura 19, algumas regiões estavam em zonas de baixa pressão. Com o intuito de aumentar essas pressões de máximo consumo, foram projetados reforços de rede nos DMC 8 (Figura 25) e DMC 22 e 23 (Figura 26). Essas redes serão de PEAD, assim como as interligações necessárias para a setorização, devido que a maior parte das redes da região são de PEAD. Seguem abaixo as Figuras que representam esses reforços.

Figura 25 - Assentamento de rede no DMC 8



Fonte: DMAE (2020)

Figura 26 - Assentamento nos DMC 22 e 23

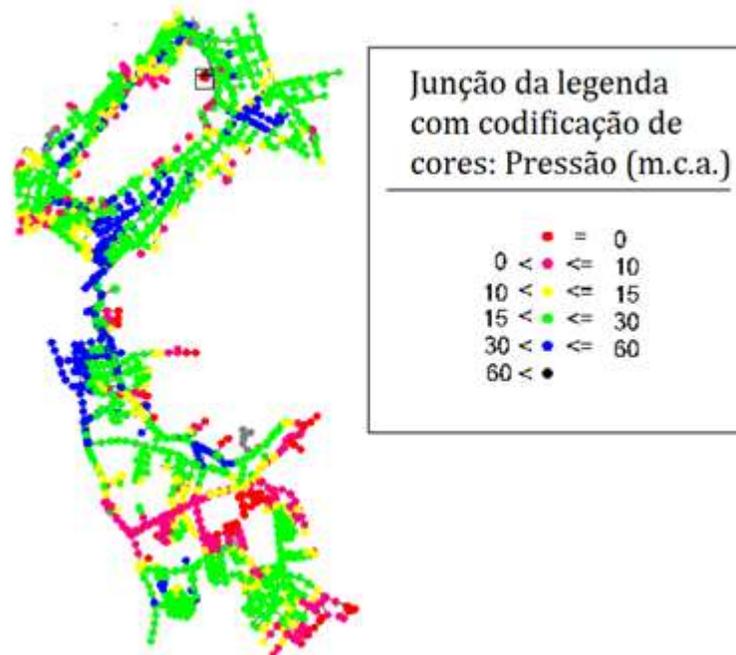


Fonte: (DMAE, 2020)

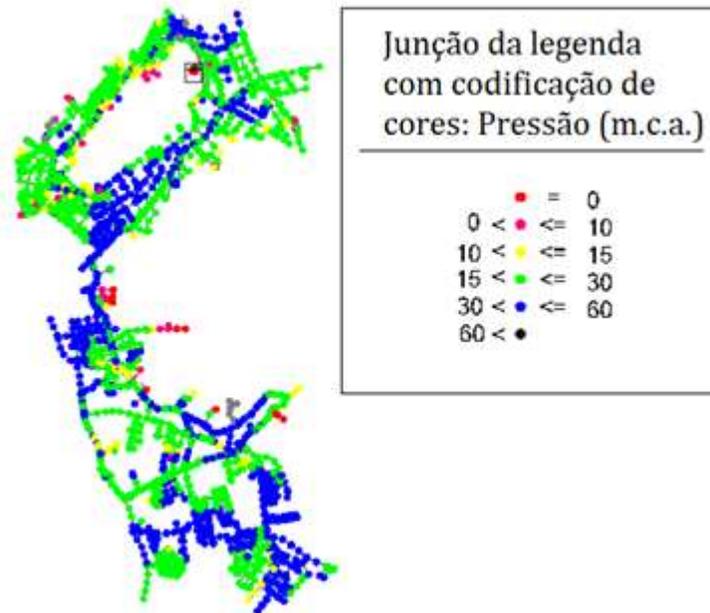
4.3.4. Resultados

Com a setorização feita no modelo do software, junto com a parametrização da VRP e dos reforços de rede, o projetista simulou novamente os parâmetros do subsistema. Seguem as Figuras de como ficaram as pressões no modelo projetado:

Figura 27 - Pressões de máximo consumo com VRP



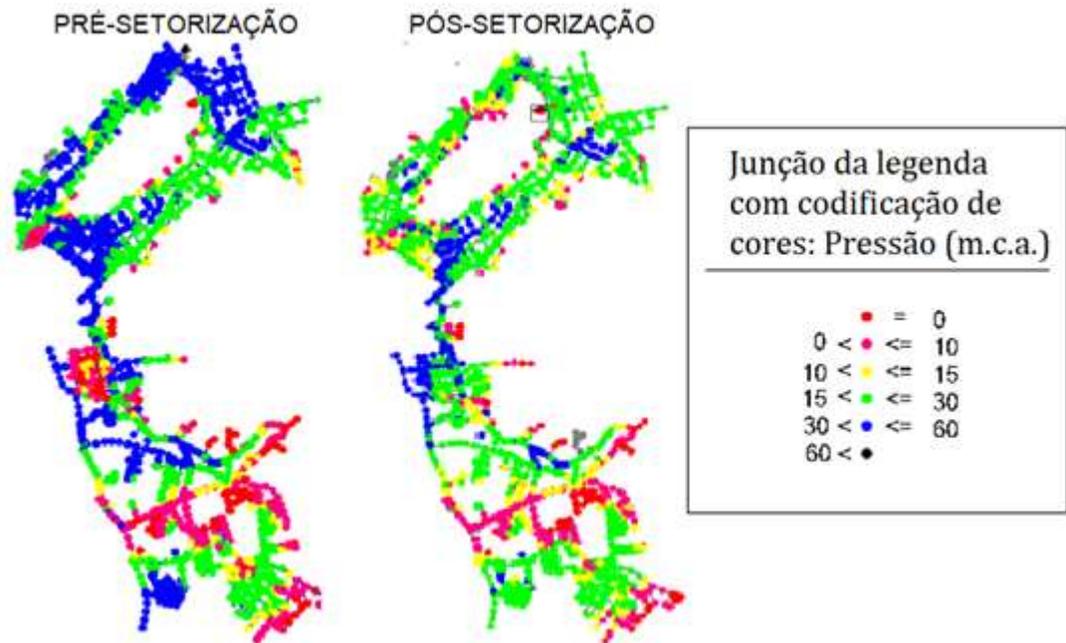
Fonte: (DMAE, 2020)

Figura 28 - Pressões de mínimo consumo com VRP

Fonte: (DMAE, 2020)

Comparando as Figuras 19 e 27, é possível notar que o assentamento no DMC 8 contribuiu para um aumento de pressões. Já nos DMC 22 e 23 esse aumento não é tão notável. As redes que foram projetadas irão ter o propósito de não prejudicar o abastecimento. A imagem a seguir mostra as pressões de máximo consumo antes e depois da setorização do modelo.

Figura 29 - Pressões de máximo consumo antes e depois da setorização

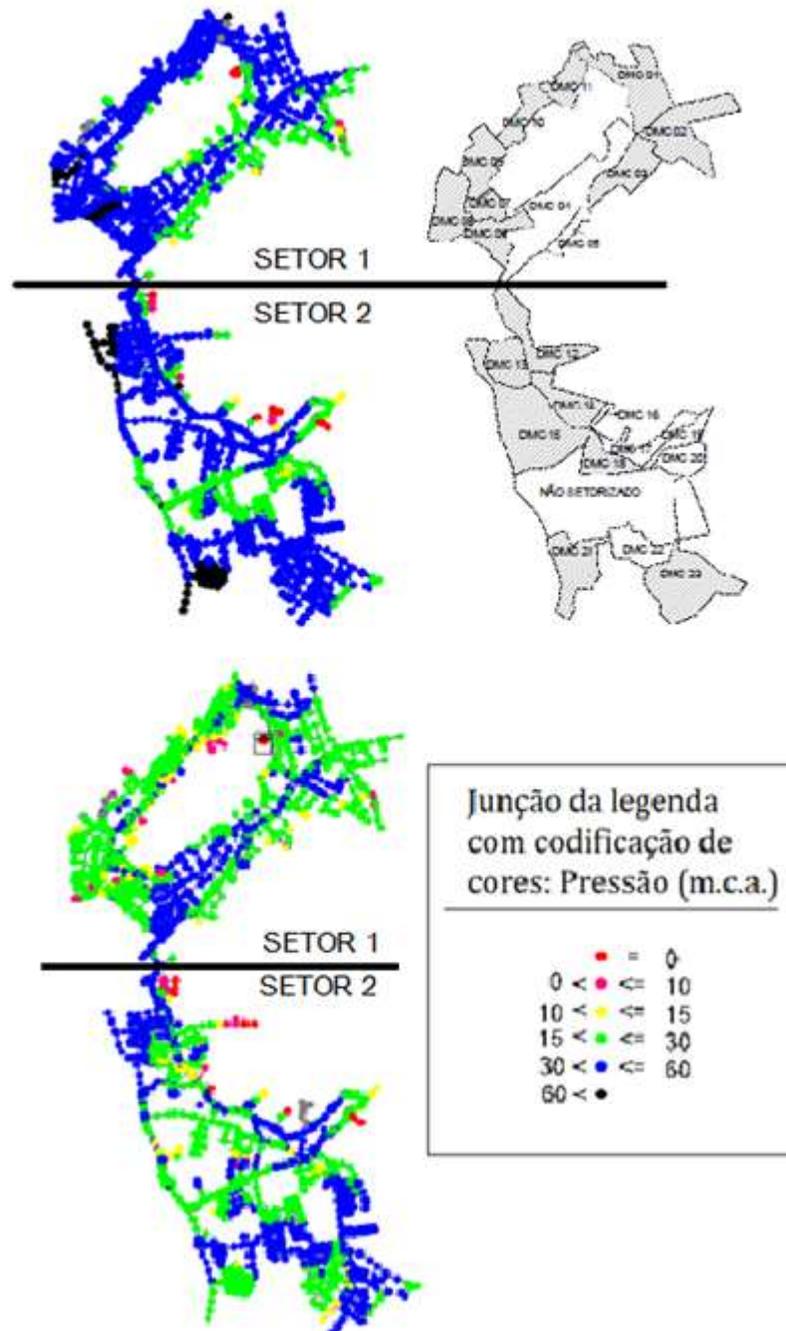


Fonte: (DMAE, 2020)

Nota-se também que as pressões mais elevadas também sofreram influências das VRP e diminuíram.

Comparando as Figuras 20 e 28, percebe-se que as pressões de mínimo consumo diminuíram consideravelmente, exceto nos DMC que não tiveram VRP projetadas. Segue uma imagem comparativa das pressões de mínimo consumo, que facilita perceber essa alteração de pressões:

Figura 30 - Pressões de mínimo consumo sem e com VRP

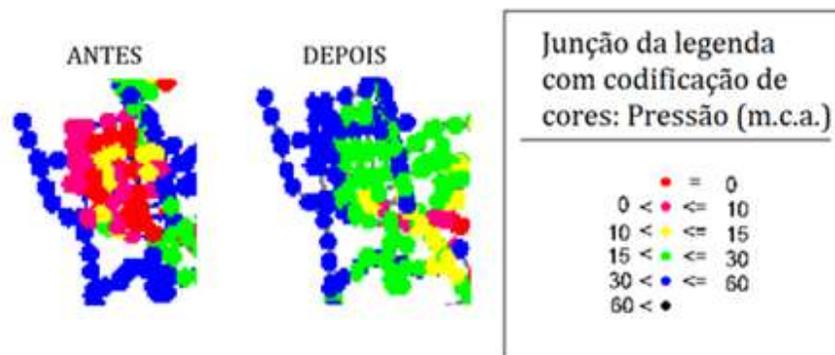


Fonte: Adaptado de (DMAE, 2020)

Analisando a Figura acima é possível notar que nos DMC 4, 5, 16, 17, 19, 20 e 22, as pressões não foram significativamente alteradas. No restante das áreas houve uma significativa diminuição.

Em relação às pressões de máximo consumo há uma peculiaridade a ser ressaltada. A região do DMC 13 no modelo calibrado estava como uma zona de baixa pressão. A razão disso era que essa região estava sendo abastecida por redes subdimensionadas. No modelo projetado foi definido a entrada do DMC pela adutora principal, causando uma melhora de pressão de máximo consumo na região. A próxima imagem ilustra essa melhora no DMC 13.

Figura 31 - Pressões de máximo consumo no DMC 13



Fonte: Adaptado de (DMAE, 2020)

Com as pressões médias, é possível compreender de forma mais clara o quanto as pressões foram equilibradas. O WaterCad também fornece os dados de pressão média de todo o subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi. Segue uma tabela mostrando os valores de pressão média:

Tabela 17 - Pressões médias no sistema

Pressão média no subsistema EBAT Cascatinha / Reservatório Catumbi (mca)			
	Média diária	Máximo consumo	Mínimo consumo
Sem VRP	33	27	42
Com 20 VRP	23	19	28

Fonte: (DMAE, 2020)

A tabela acima mostra o efeito que as VRP causaram no modelo. A pressão média diária baixou 10 mca, a pressão média de máximo consumo baixou 8 mca e a pressão média de mínimo consumo baixou 14 mca.

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos dados de projeto mostrados anteriormente, o autor deste trabalho realizou uma análise em relação ao quanto a redução de pressões no subsistema irá reduzir os valores de perdas e o quanto essa redução de perdas equivale à valores monetários.

Com posse da estimativa de redução de pressão que as VRP irão causar, foram calculados indicadores de perdas nas seguintes condições: Com o modelo não setorizado, com o modelo setorizado e com a redução de perda esperada na premissa de projeto.

O índice de perda calculado anteriormente era de 47%. Utilizando a equação (2), que relaciona pressões com vazamentos, foi possível estimar a redução de perda apenas pela redução das pressões médias do sistema.

Considerando a pressão média sem VRP como P_1 , a pressão média com VRP como P_2 , e Q_1 como o valor de perda inicial, cujo valor é $14.762 \text{ m}^3/\text{dia}$, e um N_1 de 1,15. A equação resultou em um Q_2 igual a aproximadamente $9.756 \text{ m}^3/\text{dia}$. O novo valor de consumo foi obtido subtraindo a perda de $14.762 \text{ m}^3/\text{dia}$ do consumo de $31.449 \text{ m}^3/\text{dia}$, e somando o novo valor de perda de $9.756 \text{ m}^3/\text{dia}$. Isso resultou em um valor de $26.443 \text{ m}^3/\text{dia}$. Isso corresponde a um IP de aproximadamente 37%.

De acordo com a Tabela 3, esta redução corresponderia a passar o subsistema de uma condição ruim para regular em termos do IP.

Para fins de comparação, pode-se calcular essa redução do IP com base nas pressões médias de máximo e mínimo consumo. Realizando o mesmo processo para as pressões médias de máximo consumo, o IP reduziu-se a 37,1%. Com as pressões médias de mínimo consumo, o IP reduziu-se para 35,7%. A média entre esses dois últimos valores é de 36,4%.

Vale ressaltar que essa é uma estimativa de redução de perdas consequente apenas da redução de pressão. A premissa de reduzir para 33% o IP é considerando que serão feitos os testes de estanqueidade, pesquisa e reparo de vazamentos nos DMC implementados.

Para obter uma estimativa de consumo e perda com o IP de 33%, foi feita a seguinte conta:

$$\text{Consumo} = \text{Consumo anterior} - \text{Perda anterior} + \text{Perda}$$

$$\text{Consumo} = 26.443 - 9.756 + 0,33 \text{ Consumo}$$

$$0,67 \text{ Consumo} = 16.687$$

$$\text{Consumo} = 24.906 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A tabela abaixo relaciona os consumos e perdas para os diferentes IP do subsistema:

Tabela 18 - Índices de perda do subsistema

Consumo (m ³ /dia)	Perda (m ³ /dia)	IP (%)
31.449	14.762	47
26.443	9.756	37
24.906	8.219	33

Fonte: Autor

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Alegre, o volume de água tratada na cidade em 2014 foi de 198.069.074 m³/ano. O volume de água faturada foi de 105.420.687 m³/ano. A perda em um ano foi de 92.648.387 m³. Isso corresponde a um IP de 46,77%. Valor muito próximo do calculado para o subsistema do estudo de caso. Considerando uma hipótese que houvesse uma mesma redução de IP toda a cidade, a perda cairia para 61.169.346 m³/ano e a um consumo de 166.590.033 m³/ano. Considerando uma redução do IP para 33%, o consumo seria de 154.589.246 m³/ano e a perda seria de 49.468.559 m³/ano.

A tabela abaixo apresenta as perdas hipotéticas para Porto Alegre, a considerar que as perdas do subsistema considerado venham a estender-se a todo o sistema de distribuição de água do DMAE.

Tabela 19 - Índices de perda hipotéticos para Porto Alegre

Consumo (m ³ /ano)	Perda (m ³ /ano)	IP (%)
198.069.074	92.648.387	47
167.334.424	61.913.737	37
157.589.246	52.004.451	33

Fonte: Autor

ANÁLISE ECONÔMICA

O preço de produção do m³ de água tratada em Porto Alegre é de R\$ 1,90 e o preço da tarifa é de R\$ 3,75.

A redução de perdas do subsistema de 14.762 m³/dia para 9.756 m³/dia irá causar uma economia mensal de R\$ 285.342 e um potencial de retorno em venda de R\$ 563.175. Considerando a redução de perdas para 8.219 m³/dia, a economia mensal seria de R\$ 372.951 e o potencial de retorno seria de R\$ 736.088.

O empreendimento custará aproximadamente R\$ 7.200.000, custo esse englobando projeto, realização das obras e pesquisas acústicas de vazamentos. Considerando a economia causada somente pelas reduções de pressões, ou seja, a queda do IP de 47% para 37%, o custo da obra irá ser coberto em aproximadamente 25 meses, considerando somente a economia de R\$ 285.342. Já considerando a queda do IP para 33%, o custo da obra iria ser coberto em aproximadamente 19 meses, considerando a economia de R\$ 372.951.

Realizando essa estimativa com os dados da redução hipotética de perdas em Porto Alegre, reduzindo as perdas de 92.648.387 m³/ano para 61.169.346 m³/ano, a economia anual seria de R\$ 59.810.178 e o potencial de retorno seria de R\$ 118.046.404. Considerando a redução para 52.004.451 m³/ano, a economia seria de R\$ 77.223.478 e o potencial de retorno seria de R\$ 152.414.759.

5. CONCLUSÕES

Segundo consta em Perdas de Água 2018 (SNIS 2016) – Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento Básico, em 2016 o IP médio do país era de 38,5%. O país com o IP mais alto neste ano era o Uruguai com o valor de 49,3 % e o mais baixo era a Dinamarca com 6,9%. Estes dados refletem que a América do Sul está muito atrás da Europa no tocante ao combate de redução de perdas. Dentre as cidades brasileiras em destaque, estão Limeira-BRA com o menor IP do país de 10,89%, e Manaus-BRA com o maior IP do país de 71,85%.

A cidade de Porto Alegre está acima da média nacional, assim como o subsistema que foi analisado. No entanto o projeto de setorização estima uma redução de um IP de 47% para valores abaixo de 37%, sendo este um valor abaixo da média nacional.

Esse projeto de setorização irá ocasionar uma considerável economia aos cofres públicos e possui um potencial para ocasionar uma economia ainda maior. Analisando a possível economia que Porto Alegre teria se houvesse uma redução de perdas parecida, os valores economizados se tratam de valores significativos em uma escala municipal. Tratam-se de valores economizados em um ano que poderiam ser investidos para a população da cidade.

Além disso, é importante ressaltar que o IP representa valores de perdas reais e aparentes e o controle de pressões e a setorização irão reduzir perdas reais. Somente com a redução desse tipo de perda é possível notar uma considerável redução do IP e uma significativa economia aos cofres do município. Implementando ações para reduzir perdas aparentes, essa economia poderia aumentar ainda mais.

No atual cenário brasileiro de perdas de água, esse projeto de setorização irá causar um impacto significativo na redução do desperdício dos recursos hídricos, porém o Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer para os índices de perdas de água ficarem aceitáveis no país. Extrapolando as estimativas para uma escala municipal, percebe-se que os impactos econômicos seriam ainda maiores. Na Europa a setorização e o controle de pressões são as alternativas mais utilizadas no combate às perdas reais. Se essas práticas começarem a ser amplamente aplicadas no Brasil, o nosso país irá começar a caminhar para uma condição aceitável de perdas de água nos sistemas de distribuição.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 12218: Projeto de Rede de Distribuição de Água Para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro. 2017. 23 p.

AESBE. **Série Balanço Hídrico: Guia Prático para Método Direto de Quantificação de Perdas Reais em Sistemas de Abastecimento**. 1^a. ed. Brasília. v. 6, 2015. 42 p.

ALEGRE, H.; HIRNER W; et al. **Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água**. IWA Publishing. Londres. 2000. 164 p.

ALMEIDA, D. F. C. D. **Controle e Redução de Perdas Reais em Sistemas de Abastecimento de Água**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. 2015. 17 p.

AMANCIO, E. C. **Mapeamento das Pressões em Serviço da Rede de Abastecimento de Água de Tupãssi - PR**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo. 2018. 96 p.

ARAÚJO, F. M. D. **Algumas Características de uma Estação Elevatória de Água**. Universidade Estadual da Paraíba - Campus Campina Grande - Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande. 2014. 24 p.

ARIKAWA, K. C. D. O. **Perdas Reais em Sistemas de Distribuição de Água - Proposta de Metodologia Para Avaliação de Perdas Reais e Definição das Ações de Controle**. Universidade de São Paulo - Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. 2005. 196 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ABES. **Controle e Redução de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água: Posicionamento e Contribuições Técnicas da ABES**. 2015. 95 p.

AZEVEDO NETTO, M. **Manual de Hidráulica**. 8^a. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1998. 669 p.

BARRAL, A. **O Controle de Pressão no Combate Às Perdas Reais em Sistemas de Distribuição de Água: O Estudo de Caso de Salvador**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008. 88 p.

CORSAN. **Manual de Redução e Controle de Perdas de Água**. Companhia Riograndese de Saneamento. Porto Alegre. 2012. 67 p.

DMAE. **Análise Operacional e Calibração do Modelo Hidráulico da Área de Abrangência da EBAT Cascatinha e Reservatório Catumbi, do Município de Porto Alegre / RS.** Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Porto Alegre. 2020. 79 p.

EOS Consultores. **O Que Você Sabe Sobre Distritos de Medição e Controle (DMC)?**, 14 Junho 2019. Disponível em: <<https://www.eosconsultores.com.br/distritos-de-medicao-e-controle/>>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2021

FARLEY, M.; TROW, S. **Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control.** IWA Publishing. London. 2003. 282 p.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Flúidos.** 8ª. ed. LTC Editora, 2014. 884 p.

FRANGIPANI, M. **Guias Práticos - Técnicas de Operação em Sistemas de Abastecimento de Água - Volume 2: Ensaios Pitométricos.** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Brasília. 2007. 128 p.

GARCIA, E. S. H. et al. **Sistema de Abastecimento de Água Estudo de Caso: Redentora - RS.** UNIJUÍ. XXI Seminário de Iniciação Científica. Ijuí. 2013. 4 p.

GARDINALI, L. P.; MANZI, D. **Redução de Vazamentos Após Instalação de VRP na Cidade de Itapira - SP.** XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. Poço de Caldas. 2015. 15 p.

GO ASSOCIADOS. **Perdas de Água 2018 (SNIS 2016): Desafio para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento Básico.** Trata Brasil - Saneamento é Saúde. São Paulo. 2018. 67 p.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias.** 2ª. ed. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 2004. 242 p.

GONÇALVES, E.; AMBRÓSIO ALVIM, P. R.; SAMPAIO GOMES, A. **Guias Práticos - Técnicas de Operação em Sistemas de Abastecimento de Água - Volume 3: Pesquisa e Combate a Vazamentos Não Visíveis.** Secretaria de Nacional de Saneamento Ambiental - Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Brasília. 2007. 87 p.

JESUS GOMES, R. **Modelação Matemática como Ferramenta de Gestão e Exploração de Sistemas de Distribuição de Água**. Universidade de Coimbra. Coimbra. 2011. 274 p.

JUSTINO DO CARMO, F. J. **Vazamentos na Rede de Distribuição de Água: Impactos no Faturamento e no Consumo de Energia Elétrica do 3º Setor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém**. Universidade Federal do Pará - Instituto de Tecnologia. Belém. 2009. 145 p.

KLINGEL, P; KNOBLOCH, A. **Methods and Instruments for Reducing Real Water Losses**. In: Guidelines for Water Loss Reduction. A Focus on Pressure Management. Germany. Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (GIZ) and VAG Armaturen. 2011. 236 p.

LAMBERT, A. **Managing Leakage: Strategies for Quantifying, Controlling and Reducing Water Losses, Based on Analysis of Components Using BABE Concepts**. Paper presented at IIR Conference - Water Pipelines and Networks Management. London. 1997. 162 p.

LAMBERT, A. **Pressure Management / Leakage Relationships: Theory, Concepts and Practical Application**. Paper presented at IQPC Seminar. Londres. 1997.

LAMBERT, A. **What do We Know About Pressure : Leakage Relationships in Distribution Systems?** Paper presented at the IWA Conference on System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management. Londres. 2000. 8 p.

LAMBERT, A.; BROWN, T. G.; et al. **A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems**. Editorial Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA. London. 1999. 9 p.

LAMBERT, A.; HIRNER, W. **Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures**. IWA - The Blue Pages. Londres. 2000. 8 p.

LAMBERT, A.; THORNTON, J. **Avaliação de Perdas Reais: Consultoria à SABESP**. São Paulo. 2002.

MACHADO, R. R. **O Controle de Pressões nas Redes de Água como Instrumento para o Combate a Desperdícios com Foco na Sustentabilidade**. ABES. 2016. 274 p.

MARKS, R. **Tecnologia Eletromagnética e Ultrassônica para Medição de Vazão**. ISA Campinas: Tecnologias em Automação para Tratamento de Águas e Efluentes e Redução De Perdas. Campinas. 2016. 18 p.

MARTINS PACHECO, J. R. B. **Perdas em Sistemas de Abastecimento Público de Água: Uma Nova Abordagem com Base na Telemedição de Consumos Domésticos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. 2010. 102 p.

MENESES, R. A. **Diagnóstico Operacional de Sistemas de Abastecimento de Água: O Caso de Campina Grande. Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Campina Grande - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande. 2011. 144 p.

MORRISON, J.; TOOMS, S.; ROGERS, D. **District Metered Areas Guidance Notes**. DMA Team of the Water Loss Task Force. International Water Association (IWA). London. 2007.100 p.

MOTTA, R. G. D. **Importância da Setorização Adequada para Combate às Perdas Reais de Água de Abastecimento Público**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010. 176 p.

NOVAES, L. F.; BRESSANI, F. **Importância da Pitometria no Sistema de Abastecimento de Água**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campina Grande. 2009. 13 p.

PEREIRA, F. F. **Aplicação de Válvulas Redutoras de Pressão na Redução de Perdas Reais em Redes de Distribuição de Água na Unidade de Negócio Leste - SABESP**. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo. 2009. 77 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Plano Municipal de Saneamento Básico. Volume 1 - Diagnóstico**. Porto Alegre. 2015. 232 p.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (ORG). **Abastecimento de Água: Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento: Guia do Profissional em Treinamento: Nível 2**. Salvador. 2008. 83 p.

SOUZA JÚNIOR, J. D. C. **Distritos de Medição e Controle como Ferramenta de Gestão de Perdas em Redes de Distribuição de Água**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2014. 152 p.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e o Tratamento de Esgotos**. 4ª. ed. Belo Horizonte: EDITORA UFMG, v. 1, 2011. 452 p.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas**. In: TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. 3ª. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Cap. 10. Pg.457-523

THÓRUS ENGENHARIA. **Válvula redutora de pressão: o que é, como funciona, aonde usar, como escolher, como dimensionar, exemplos e muito mais!** Thórus Engenharia, 2020. Disponível em: <<https://thorusengenharia.com.br/valvula-redutora-de-pressao-o-que-e-como-funciona-aonde-usar-como-escolher-como-dimensionar-exemplos/#1>>. Acesso em: 15 Janeiro 2021.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.