



**GOVERNO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**Jorge Fernando Hungria Ferreira**

**EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA NA CONCEPÇÃO DE  
SISTEMA URBANO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Belém  
2018

**Jorge Fernando Hungria Ferreira**

**EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA NA CONCEPÇÃO DE  
SISTEMA URBANO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Qualificação da dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Saneamento Ambiental.

**Linha de Pesquisa:** Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira

Belém  
2018

**Jorge Fernando Hungria Ferreira**

**EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA NA CONCEPÇÃO DE  
SISTEMA URBANO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Qualificação da dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Saneamento Ambiental.

**Linha de Pesquisa:** Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira

Data de aprovação: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / 2018

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_ - Orientador

José Almir Rodrigues Pereira  
Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_ - Membro interno

Hélio da Silva Almeida  
Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_ - Membro externo

Augusto da Gama Rego  
Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia  
Instituto Federal do Pará

Belém  
2018

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE QUADROS

### LISTA DE SIGLAS

### LISTA DE TABELAS

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
2.1.	GERAL .....	10
2.2.	ESPECÍFICOS .....	10
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
3.1.	PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	13
3.2.	ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO DO SAA.....	17
<b>3.2.1.</b>	<b>Características topográfica e geológica da região.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Porte da localidade e população a ser abastecida .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>Demanda de água para abastecimento público de água .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.4.</b>	<b>Mananciais de captação de água .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.5.</b>	<b>Instalações existentes .....</b>	<b>28</b>
3.3.	GESTÃO OPERACIONAL DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA..	30
<b>3.3.1.</b>	<b>Gerenciamento de demanda de água .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.2.</b>	<b>Eficiência hidroenergética.....</b>	<b>35</b>
3.4.	IMPORTÂNCIA DA SETORIZAÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	38
<b>3.4.1.</b>	<b>Setorização.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.2.</b>	<b>Distrito de controle de comando.....</b>	<b>42</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>
4.1.	ÁREA DE ESTUDO .....	44
4.2.	ETAPA 1: ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	45
4.3.	ETAPA 2: ESTUDAR ALTERNATIVA DE CONCEPÇÃO DO SAA.....	46
4.4.	ETAPA 3: SIMULAR E ANALISAR O DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO NA PROPOSTA DE CONCEÇÃO DO SAA .....	48
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS ESPERADOS.....</b>	<b>48</b>

5.1. CRONOGRAMA.....49

**REFERÊNCIAS ..... 50**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Unidades do Sistema de Abastecimento de Água.....	15
Figura 2 – Sistema de abastecimento de água de pequena localidade.....	21
Figura 3– Articulação dos setores de abastecimento de Belém.....	22
Figura 4 – Vazões das unidades do SAA .....	27
Figura 5 – Alterações da superfície interna do tubo.....	29
Figura 6 – Estratégia de controle de perdas de água .....	34
Figura 7 – Setorização para abastecimento de zona alta e zona baixa .....	40
Figura 8 – Sistema de distribuição de água dividido em DMCs .....	43
Figura 9 – Mapa de localização do município de Santa Izabel do Pará .....	44
Figura 10 – Etapas da pesquisa.....	45

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação rural urbana dos municípios .....	20
Quadro 2 – Projeção populacional. Métodos com base em fórmulas matemáticas .....	24
Quadro 3 –. Projeções populacionais com base em métodos de quantificação indireta .....	25
Quadro 4 –Balanço hídrico proposto pela IWA para SAAs.....	33
Quadro 5 – Ações básicas para redução de despesa de energia elétrica em SAAs .....	37
Quadro 6 – Vantagens e desvantagens dos DCMs para os sistema de distribuição de água....	43
Quadro 7 – Cronograma de planejamento da execução da pesquisa.....	49

## LISTA DE SIGLAS

<b>ABNT</b>	<b>Associação Brasileira de Normas Técnicas</b>
<b>CMB</b>	<b>Conjunto motor e bomba</b>
<b>DMC</b>	<b>Distrito de Medição e Controle</b>
<b>IBGE</b>	<b>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</b>
<b>k1</b>	<b>Coefficiente do dia de maior consumo</b>
<b>k2</b>	<b>Coefficiente da hora de maior consu</b>
<b>km</b>	<b>Quilômetro</b>
<b>km<sup>2</sup></b>	<b>Quilômetro quadrado</b>
<b>kPa</b>	<b>Quilopascal</b>
<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Metro cúbico</b>
<b>mca</b>	<b>Metros de coluna d'água</b>
<b>NBR</b>	<b>Norma Brasileira</b>
<b>P</b>	<b>Número total de habitantes ou pessoas abastecidas</b>
<b>PROCEL SANEAR</b>	<b>Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental</b>
<b>q</b>	<b>Consumo per capita de água</b>
<b><math>\bar{Q}</math></b>	<b>Vazão média de operação</b>
<b>Q<sub>AAT</sub></b>	<b>Vazão da adutora de água tratada</b>
<b>Q<sub>DIST</sub></b>	<b>Vazão de distribuição</b>
<b>Q<sub>ETA</sub></b>	<b>Consumo na estação de tratamento de água</b>
<b>Q<sub>PROD</sub></b>	<b>Vazão de produção</b>
<b>Q<sub>s</sub></b>	<b>Vazões singulares de grandes consumidores</b>
<b>SAA</b>	<b>Sistema de Abastecimento de Água</b>
<b>SNIS</b>	<b>Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento</b>
<b>t</b>	<b>Tempo de operação da unidade</b>
<b>TWh</b>	<b>Terawatt-hora</b>

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Tipos de mananciais utilizados para o abastecimento de água das sedes urbanas no Brasil.....	15
---	----

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é grande a preocupação mundial quanto ao acesso à água com qualidade, quantidade e regularidade adequadas, já que esse recurso é essencial para a sobrevivência humana, proteção ambiental e desenvolvimento econômico. Entre as causas dessa preocupação, pode ser destacada a ocorrência de escassez de água em algumas regiões do mundo, como o ocidente da América do Sul, o Nordeste Brasileiro, o Norte da África, o Oriente Médio, Nordeste da China, Sudeste da Austrália e África do Sul.

Levando em consideração a variabilidade mensal de oferta e de demanda de água, 3,6 bilhões de pessoas em todo o mundo (51% da população mundial) vivem em potenciais áreas de escassez hídrica, sendo que esse número será entre 4,8 a 5,7 bilhões de pessoas até o ano 2050. Além disso, é estimado que a demanda anual de água superficial passe de 4.600 quilômetros cúbicos por ano em 2010 para 5.800 quilômetros cúbicos por ano em 2050 (BUREK et al., 2016).

Apesar desse cenário de risco do abastecimento de água, em muitas cidades ainda são elevadas suas perdas de água no abastecimento público. Segundo Kingdom, Liemberger e Marin (2006), todos os anos, mais de 32 bilhões de metros cúbicos de água tratada são perdidos em vazamentos nos sistemas urbanos de abastecimento de água em todo o mundo. Guppy e Anderson (2017) comentam que aproximadamente 45 milhões de metros cúbicos de água são perdidos por dia em vazamentos de infraestrutura dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) nos países em desenvolvimento, sendo que esse volume é o suficiente para atender a quase 200 milhões de pessoas.

No caso do Brasil, foi apresentado, no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos do ano de 2016, valor de 38,1% de índice de perda na distribuição de água, sendo o maior valor (47,3%) observado na região Norte dentre as regiões do país (BRASIL, 2018). Santos e Pereira (2015) comentam que elevados percentuais de perda de água dos municípios brasileiros indicam problemas na gestão dos SAAs, como ligações clandestinas, uso excessivo de água na limpeza das unidades do sistema e vazamentos em redes de distribuição e em adutoras de água.

Vale destacar que, além de comprometer a adequada prestação de serviço, o volume perdido de água prejudica a sustentabilidade econômico-financeira ao provocar uso demasiado de energia elétrica e de produtos químicos no SAA. Além disso, a gestão

inadequada do SAA tende a gerar insatisfação dos clientes pelo serviço prestados, comprometendo a credibilidade da concessionária.

Em termos operacionais, o desequilíbrio hidráulico do SAA por aumento da demanda de água pode ser verificado na unidade de reservação, que passa a esvaziar em menor período de tempo. Isso afeta o funcionamento da unidade de elevação, que passa a ter maior número de acionamento dos conjuntos motor e bomba ao longo do dia, o que dificulta a adoção de rotina operacional eficiente do ponto de vista hidroenergético.

Isso ocorre porque, muitas vezes, esse desequilíbrio operacional pode tornar necessário o bombeamento de água nas três horas de ponta do setor elétrico, justamente no período em que a tarifa de energia elétrica é maior em relação aos demais horários do dia.

Contudo, o uso racional de água e de energia elétrica nos SAAs é preocupação do setor de Saneamento Brasileiro. Em 2003, foi implantado o Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental (PROCEL SANEAR) (PROCEL INFO, 2006).

A questão hidroenergética ainda é destacada na promulgação da Lei 11.445 de 2007 que enfatizou a necessidade de eficiência e sustentabilidade no abastecimento de água, de uso racional dos recursos naturais, como a água e a energia, e a obrigação de serem elaborados os Planos Municipais de Saneamento Básico. Assim, é importante a reavaliação e readequação das concepções de SAAs com muitos anos de operação e instalados em áreas que passaram por processo de crescimento populacional.

É nesse novo cenário que os municípios brasileiros precisam adequar o planejamento das ações para recuperação e expansão dos SAAs, sendo indispensável o estudo de alternativas de concepção compatíveis com o objetivo de eficiência hidroenergética em todas as etapas do sistema.

De acordo com a Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR, 1992), o estudo de concepção é o estudo de arranjos das diferentes partes de um sistema organizadas de modo a formarem um todo integrado para a escolha da melhor solução sob os pontos de vista técnico, econômico, financeiro e social, levando em consideração aspectos qualitativo e quantitativo.

No estudo de alternativas de concepção é preciso considerar a expansão urbana, o aumento da população e da demanda de água no SAA ao longo dos anos, bem como procurar soluções técnicas para minimizar problemas como a perda de água, disponibilizando maior volume de água aos consumidores.

Para isso, no estudo de concepção deve ser avaliada a delimitação das áreas de abastecimento de água, passo essencial para a localização de unidades (reservação, elevação e rede de distribuição) em setores de medição que possibilitem com maior precisão o gerenciamento do sistema, melhorando o fornecimento de água.

Desse modo, a questão da presente pesquisa é como planejar as mudanças estruturais de SAA instalados e operando em áreas urbanas, visando melhorar a eficiência hidroenergética no abastecimento de água da população.

Para isso, é importante serem avaliadas alternativas de concepção do SAA que possibilitem a otimização do uso de recursos no processo produtivo de água para consumo humano, considerando a eficiência hidroenergética nas propostas estudadas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GERAL**

Estudar alternativa de concepção de setorização para o sistema de distribuição de água potável na sede do município de Santa Izabel do Pará, considerando a sustentabilidade econômica e a eficiência hidroenergética recomendados na Lei 11.445/2007.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

- a) Conhecer o atual desempenho operacional, observando a eficiência hidroenergética e a sustentabilidade econômica do SAA da sede do município de Santa Izabel do Pará;
- b) Estudar alternativas de rearranjo das unidades e de setorização da rede de distribuição de água na sede do município de Santa Izabel do Pará, considerando as normas técnicas da ABNT, a sustentabilidade econômica e a eficiência hidroenergética;
- c) Comparar o desempenho das alternativas de concepção estudada em função da do consumo e da despesa de energia elétrica e da qualidade, quantidade e regularidade do abastecimento de água na sede de Santa Izabel do Pará.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

O planejamento é realizado antes de execução de alguma tarefa para identificar a forma mais eficiente de se atingir, na perspectiva de quem planeja e dos colaboradores ao longo do processo de planejamento, o objetivo pretendido.

Segundo Ackoff<sup>1</sup> (1981, p.1; apud BAGGIO; LAMPERT, 2010, p.13), “planejamento é a definição de um futuro desejado e de escolher os meios mais eficazes de alcançá-lo”. Para Baggio e Lampert (2010), planejar é o ato de analisar o presente para determinar formas de atingir um futuro almejado, o que consiste num processo em que objetivos são estabelecidos, são definidas as linhas de ação e planos de forma detalhada para alcançá-los, bem como os recursos necessários à sua consecução.

Destacando o planejamento, Castejon (2005) cita que os gestores definem a tomada de decisões por meio de processo analítico, concentrado em variáveis empresariais, econômicas e tecnológicas.

Para a permanência dos empreendimentos no mercado e seu crescimento ao longo do tempo, devem ser desenvolvidos planos adaptados à sua condição presente, suas oportunidades, seus objetivos e seus recursos. Ao longo da execução do plano devem ser realizados ajustes estratégicos, caso necessário, entre os objetivos da organização, suas peculiaridades e as oportunidades mutáveis (KOTLER; ARMSTRONG, 2008).

Pelo exposto, a ação de planejar é um dos primeiros passos para garantir o sucesso de empreendimentos, sistemas e unidades em qualquer setor do ambiente público e privado.

Quanto se trata do setor de saneamento, o planejamento é de fundamental importância, a fim de que os recursos disponíveis sejam aplicados de modo que atendam às necessidades presentes e futuras. Vale destacar que no artigo 21 da Constituição Federal é estabelecida à união a competência de (BRASIL, 1988):

- a) elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social;
- b) instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos.

---

<sup>1</sup> ACKOFF, Russell L. Planejamento empresarial. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1981.

Na Lei nº 11.445/2007, são estabelecidas as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, onde são apresentados alguns princípios fundamentais para a prestação do serviço público de saneamento, dentre os quais estão (BRASIL, 2007):

- a) a universalização do acesso aos serviços de saneamento;
- b) a realização dos serviços de saneamento de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
- c) a adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- d) a eficiência e sustentabilidade econômica;
- e) a segurança, qualidade e regularidade;
- f) a integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos;
- g) a adoção de medidas de fomento à moderação do consumo de água.

Nesse sentido, a evolução das leis federais mostra a importância do planejamento no setor de saneamento básico, demonstrando a necessidade de atenção com a qualidade de vida da população, com a infraestrutura e com a proteção do meio ambiente.

Ainda nessa lei, é definida ao titular dos serviços a obrigatoriedade da elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico. O serviço de abastecimento de água está enquadrado dentro dos serviços de saneamento básico, devendo, desta forma, ser contemplado nos Planos Municipais de Saneamento Básico. Segundo Pereira e Condurú (2014, p.39):

O planejamento é fundamental para a definição de alternativas de concepção que melhor alcance os objetivos e metas pré-estabelecidas para o uso racional de água e de energia elétrica no SAA. É, portanto referência para que a prestação dos serviços atenda às exigências de qualidade, quantidade e regularidade demandadas pelos clientes, com menor impacto ambiental e com custo adequado.

De acordo com Brasil (2014), o planejamento é instrumento essencial para, entre outras coisas: diagnosticar e avaliar a situação em que se encontram os serviços e definir as ações necessárias para torná-los adequados para a população, estabelecer os objetivos e as metas que se pretende alcançar com a gestão dos serviços, definir programas e projetos e

prioridades das ações, definir e avaliar as fontes de financiamento dos serviços e estabelecer mecanismos de controle, monitoramento e avaliação.

Dessa forma, é imprescindível que os projetos, programas e ações voltados para o abastecimento de água, baseados nas leis nacionais, sejam precedidos por planejamento que leve em consideração a concepção do sistema e todas as variáveis passíveis de serem identificadas para a execução do objetivo pretendido, buscando sempre adotar a alternativa mais adequada sustentável e tecnicamente.

No entanto, Borja (2014) comenta que a garantia do acesso universal e de qualidade ao saneamento no Brasil ainda é um grande desafio devido aos défices da prestação desses serviços ainda presentes no país.

De acordo com a pesquisa do SNIS referente ao ano de 2016, os índices de atendimento total e urbano com rede de abastecimento de água dos municípios participantes da pesquisa foram, respectivamente, de 83,3 % e de 93,0%. Além disso, é importante destacar que a Região Norte do Brasil apresentou os menores valores desse mesmo índice, sendo os valores dos índices de atendimento total e urbano com rede de abastecimento de água igual a 55,4% e a 67,7%, respectivamente (BRASIL, 2018).

Com essa informação, é evidenciada a necessidade de se investir nos serviços de abastecimento de água no país de modo eficiente, planejando as ações necessárias para ser atingido o objetivo de universalização da prestação do serviço, minimizando o desperdício dos recursos, como água e energia.

### 3.1. PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para promoção do serviço de abastecimento de água, há a necessidade de serem construídas instalações que viabilizem a captação, o transporte, o tratamento, o armazenamento e a distribuição de água, indo do manancial de captação até o consumidor final. A forma como se pretende executar essa tarefa é denominado estudo de concepção de SAA.

Para Tsutiya (2006), concepção de SAA é “o conjunto de estudos e conclusões referentes ao estabelecimento de todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias e suficientes para caracterização completa do sistema a projetar”. É no estudo de concepção que são definidas os aspectos norteadores dos projetos das unidades do SAA.

Além disso, quando se pretende conceber um SAA, não existe apenas uma alternativa possível, sendo necessário avaliar qual concepção melhor se adequa às possibilidades locais de forma eficiente. Segundo Heller e Pádua (2016):

No abastecimento de água, como em vários campos da engenharia e das políticas públicas em geral, raramente há uma solução única para um dado problema. Mesmo que uma solução seja vislumbrada com maior clareza, ela em geral não é em si única: ela mesma pode admitir diferentes variantes, diferentes formas de projeto ou diferentes concepções de dimensionamento.

Nesse sentido, os estudos de alternativas de concepção devem levar em consideração todos os fatores que interferem, tanto de forma positiva quanto de forma negativa, no SAA, tais como topografia, densidade demográfica<sup>2</sup>, disponibilidade hídrica, localização dos mananciais, características econômicas da população, clima, cultura e outros.

De acordo com Tsutiya (2006, p. 15), “de modo geral, as concepções de sistemas de abastecimento de água dependem principalmente do tipo de manancial, da topografia da área e da população a ser atendida”. No entanto, outras variáveis são importantes no estudo de concepção, tais como a existência de instalação, a disponibilidade de energia elétrica, os recursos humanos, as condições econômico-financeiras e o alcance do projeto.

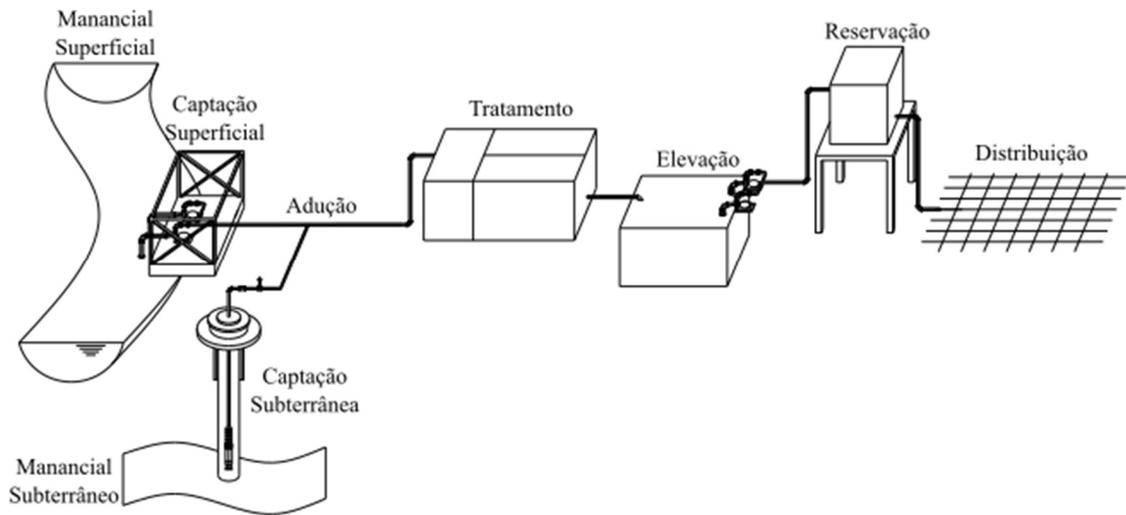
Os SAAs são concebidos e projetados para abastecer desde localidades de pequeno porte, como povoados e vilarejos, até localidades de grande porte, como grandes cidades e metrópoles, sendo que os SAAs devem ser adaptados de acordo com a necessidade local.

O SAA é caracterizado pela retirada da água da natureza, adequação de sua qualidade, transporte e fornecimento às populações em quantidade compatível com suas necessidades. De forma convencional, o SAA é constituído por: manancial, captação, estação elevatória, adução, estação de tratamento de água, adutora, reservação e rede de distribuição, conforme apresentado na Figura 1.

---

<sup>2</sup> A densidade demográfica é a relação entre o número de habitantes residente em uma determinada região e a sua área territorial

Figura 1– Unidades do Sistema de Abastecimento de Água



O manancial é o corpo d'água, superficial ou subterrâneo, de onde é retirado o volume demandado de água para o abastecimento público. Os mananciais podem ser: subterrâneo freático ou não confinado, subterrâneo confinado, superficial sem acumulação, superficial com acumulação e água da chuva.

De acordo com ANA (2010), 47% das sedes urbanas do Brasil são abastecidas a partir de mananciais superficiais, 39% de mananciais subterrâneos e 14% tanto de mananciais subterrâneos quanto de mananciais superficiais (fonte mista de captação de água). Na Tabela 1 são apresentados os números de municípios brasileiros por tipo de manancial adotado para o abastecimento público.

Tabela 1 – Tipos de mananciais utilizados para o abastecimento de água das sedes urbanas no Brasil

Região	Tipo de manancial usado para o abastecimento de água no Brasil			
	Subterrâneo	Superficial	Misto	Sem informação
Norte	263	140	45	1
Nordeste	637	1.023	116	18
Centro-Oeste	176	221	67	2
Sudeste	502	844	315	7
Sul	575	385	214	14

Fonte: ANA (2010)

Os mananciais utilizados para captação de água devem atender ao volume demandado de água pela localidade em que se planeja abastecer. Como o mesmo manancial

de água pode ter outros usos e atender o abastecimento de outras comunidades, deve ser considerada a sua capacidade máxima de extração de água, a fim de controlar a sua exploração.

A unidade de captação é a estrutura em que ocorre a retirada de água do manancial, em quantidade suficiente para atender à demanda. Dependendo do tipo de manancial, o arranjo da captação pode divergir bastante, como entre estruturas para captação de água superficial e para captação de água subterrânea. Os projetos de captação devem considerar cuidadosamente as características físicas dos mananciais por estar sujeita às intempéries do ambiente.

Entre os fatores que influenciam na concepção da unidade de captação de água, Tsutiya (2001) cita o porte e conformação dos leitos dos mananciais, a topografia e a geologia da região, a velocidade do fluxo, a qualidade e a variação do nível da água, sendo importante ser levada em consideração a facilitação de sua operação e de sua manutenção.

Outra unidade do SAA é unidade de adução de água, a qual é destinada ao transporte de água entre as unidades componentes do SAA, fazendo o papel de interligação entre a captação, tratamento, estação elevatória, reservação e rede de distribuição. Em função da característica da água, as adutoras podem ser de água bruta ou de água tratada. Além disso, as adutoras também podem ser classificadas em função do tipo de energia utilizado para o transporte de água, como (TSUTIYA, 2006):

- a) Adutora por gravidade: essas adutoras transportam a água de uma cota mais elevada para outra mais baixa. Essas adutoras podem ser de conduto forçado (quando a pressão sob a qual a água é sendo transportada é superior à pressão atmosférica) e de conduto livre (quando a pressão a qual a água transportada está submetida permanece igual à pressão atmosférica);
- b) Adutora por recalque: são as adutoras que transportam a água de um determinado ponto a outro de cota mais elevada pela utilização de estações elevatórias de água;
- c) Adutoras mistas: são as adutoras nas quais, nos seus trechos, o transporte de água é realizado ora por gravidade e, ora por recalque.

Por sua vez, na unidade de tratamento é onde ocorre a readequação da qualidade da água bruta, captada em suas condições ambiente, ao padrão de potabilidade disposto na

portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011, a fim de proteger a saúde dos consumidores da água fornecida pelo SAA. Dependendo das características físicas, químicas e biológicas da água captada, as unidades de tratamento podem ter diversos arranjos. O tratamento inadequado da água captada pode afetar, além de na saúde pública, nas condições operacionais do SAA. De acordo com Gastmans et al. (2004), a incrustação das tubulações estão associadas com depósito de carbonatos e sulfatos de cálcio e magnésio, além de precipitação de compostos de ferro e manganês.

Outra unidade do SAA é a unidade de bombeamento ou estação elevatória de água, que é o conjunto de obras e equipamentos destinados à elevação de água para a unidade seguinte do SAA. As estações elevatórias de água costumam ser utilizadas quando o objetivo é transportar água para níveis mais elevados, vencendo alturas geométricas e grandes distâncias. Dependendo da característica da água que transportam, as estações elevatórias podem ser de água bruta ou de água tratada.

A unidade de reservação é a parte do SAA que realiza a compensação entre vazão de produção de água proveniente das unidades a montante, que tendem a ter pouca variação, e as vazões de consumo de água, que variam ao longo do dia. Essa compensação evita o comprometimento do abastecimento nos horários de maior consumo do dia.

Além disso, os reservatórios possibilitam a continuidade de abastecimento em períodos curtos de paralisação das unidades à sua montante, o armazenamento de água para combate a incêndio, a regularização das condições de operação das estações elevatórias e o condicionamento das pressões disponíveis nas redes de distribuição.

Finalmente, a rede de distribuição é constituída por conjuntos de conexões, peças especiais e condutos assentados nas vias públicas ou nos passeios, sendo utilizada para transportar os volumes de água produzidos para todos os pontos de consumo de água em seus diversos usos (doméstico, comercial, industrial e público) de forma contínua, em qualidade, quantidade e pressão adequadas. A configuração da rede de distribuição está diretamente relacionada com a densidade demográfica, com a distribuição da população no espaço geográfico, com a topografia e com a demanda de água.

### 3.2. ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO DO SAA

No estudo de alternativas de concepção do SAA é aconselhável a utilização de critérios e recomendações disponíveis na NBR 12.211/1992 da Associação Brasileira de

Normas Técnicas ABNT (1992), intitulada “Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água”, que fixa as condições exigíveis para estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água com amplitude suficiente para permitir o desenvolvimento do projeto de todas ou qualquer das partes constituintes do SAA.

Nesse sentido, é importante observar os seguintes fatores para o bom desenvolvimento do estudo de concepção e para o sucesso do empreendimento. Entre esses fatores estão: as características topográfica e geológica da região, o porte da localidade e população da a ser abastecida, a demanda de água para abastecimento público, as instalações existentes, o manancial de captação de água e a operação do sistema.

### 3.2.1. Características topográfica e geológica da região

Em estudos de concepção de SAA, a topografia é importante por influenciar, por vezes até de forma expressiva, em diversas unidades do sistema. Como exemplo, pode ser citado que a topografia do terreno entre o manancial de captação de água e a localidade a ser abastecida são decisivas na determinação das características das adutoras e na possibilidade de ocorrer golpes de aríete.

Dependendo da topografia do terreno, pode haver a necessidade de utilização de estação elevatória de água para o deslocamento de água, sendo que quanto maior for o desnível geométrico que a água deve ser bombeada, maiores tendem a ser elevados os valores de potência elétrica dos conjuntos motor e bomba. Nesse sentido, a topografia também influencia na potência instalada do SAA e, por consequência, no consumo e na despesa de energia elétrica do sistema.

Em regiões onde a topografia do terreno é muito acidentada, pode ocorrer de os valores de pressão superem o limite máximo estabelecido na NBR 12.218/1994 de 500 kPa de pressão estática (em torno de 50 mca) nos pontos com menores cotas altimétricas da rede de distribuição de água. Vale destacar que altos valores de pressão na rede de distribuição de água podem elevar os valores de perda de água. Samir et al. (2017) comenta que os vazamentos na rede de distribuição de água é influenciado, dentre outros motivos, pelo excesso de pressão nas tubulações, e que o gerenciamento de pressão, usando as válvulas de redução de pressão, é uma maneira eficaz de controlar a quantidade de vazamento no sistema de distribuição de água.

Além disso, segundo a ABNT NBR 12.217 (1990), uma das funções do reservatório elevado é condicionar a pressão nas áreas de cotas topográficas mais altas, sendo importante que as pressões mínimas nesses pontos sejam de 100 kPa de pressão dinâmica (em torno de 10 mca). Nesse sentido, a topografia da localidade atendida pelo SAA também influencia na determinação da cota e da posição do reservatório elevado.

O estudo de alternativas de locação das unidades do SAA também leva em consideração as características geológicas e geotécnicas, como no case de se evitar regiões rochosas para instalação de estruturas enterradas. Além disso, a geologia é local importante em soluções para assentamento das tubulações e para fundações de reservatórios, estações de tratamento e de outras unidades do SAA (HELLER; PÁDUA, 2016).

Além disso, as características geológicas estão relacionadas com a qualidade de água bruta dos mananciais (HAMDI et al., 2018; PIRATOBA, 2017; RAMOS; GIUSTI; ROSA FILHO, 2015). Nesse sentido, as características geológicas do entorno dos mananciais de captação de água influenciam, de forma indireta, na concepção e na operação das estações de tratamento de água.

### 3.2.2. Porte da localidade e população a ser abastecida

Os critérios para definição do porte do SAA de cada localidade são diversos e variam conforme o objetivo e a área a ser atendida. Calvo et al. (2016), consideraram a seguinte estratificação de porte populacional dos municípios: “municípios com menos que 25 mil habitantes (pequeno porte), municípios com 25 a 100 mil habitantes (médio porte) e municípios com mais de 100 mil habitantes (grande porte)”.

Segundo a ABNT NBR 12.211 (1992), a população total em uma área da comunidade é a “soma das populações residente, flutuante e temporária”, e a população abastecida é “aquela atendida pelo sistema de distribuição existente”. Stamm (2013), em sua pesquisa, comenta que:

As cidades de menor porte são tidas apenas como um centro mediador do comércio local com as regiões. As cidades de médio porte, além das funções das cidades de menor porte, apresentam um maior peso econômico e assumem a função de suprir as demandas dos produtos que não são produzidos nos centros de menor porte. As cidades de grande porte (ou metropolitanas) se distinguem pelo maior volume populacional, por serem polarizadoras de centros menores, e caracterizam-se por apresentar uma mancha de ocupação derivada de conurbação.

Na pesquisa do IBGE (2011), foi utilizada hierarquização dos municípios com base no porte populacional, desagregados por número de habitantes, as faixas populacionais utilizadas para a hierarquização foram as seguintes: municípios com até 5 000 habitantes; de 5 001 a 10 000 habitantes; de 10 001 a 20 000 habitantes; de 20 001 a 50 000 habitantes; de 50 001 a 100 000 habitantes; de 100 001 a 500 000 habitantes; e mais de 500 000 habitantes.

Além do número de habitantes, outras variáveis podem ser levadas em consideração para a identificação do porte das localidades, como a densidade demográfica. De acordo com IBGE (2017a), “é importante considerar a densidade como critério para delimitar a ocupação urbana, pois esse é um indicador apropriado para refletir o espaço construído”.

Dessa forma, levando em consideração o número e habitantes, a densidade demográfica e o grau de urbanização, foram criados critérios para a classificação dos municípios conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação rural urbana dos municípios

<b>Classes</b>	<b>Crítérios</b>
Município predominantemente urbano:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• municípios em Unidades Populacionais com mais de 50.000 habitantes em área de ocupação densa;</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25.000 e 50.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização superior a 50%; e</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10.000 e 25.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização superior a 75%</li> </ul>
Município intermediário:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25.000 e 50.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização entre 25 e 50%;</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10.000 e 25.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização entre 50 e 75%; e</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 3.000 e 10.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização superior a 75%.</li> </ul>
Município predominantemente rural:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25.000 e 50.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 25%;</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10.000 e 25.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 50%; e</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 3.000 e 10.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 75%.</li> </ul>

Fonte: IBGE (2017a)

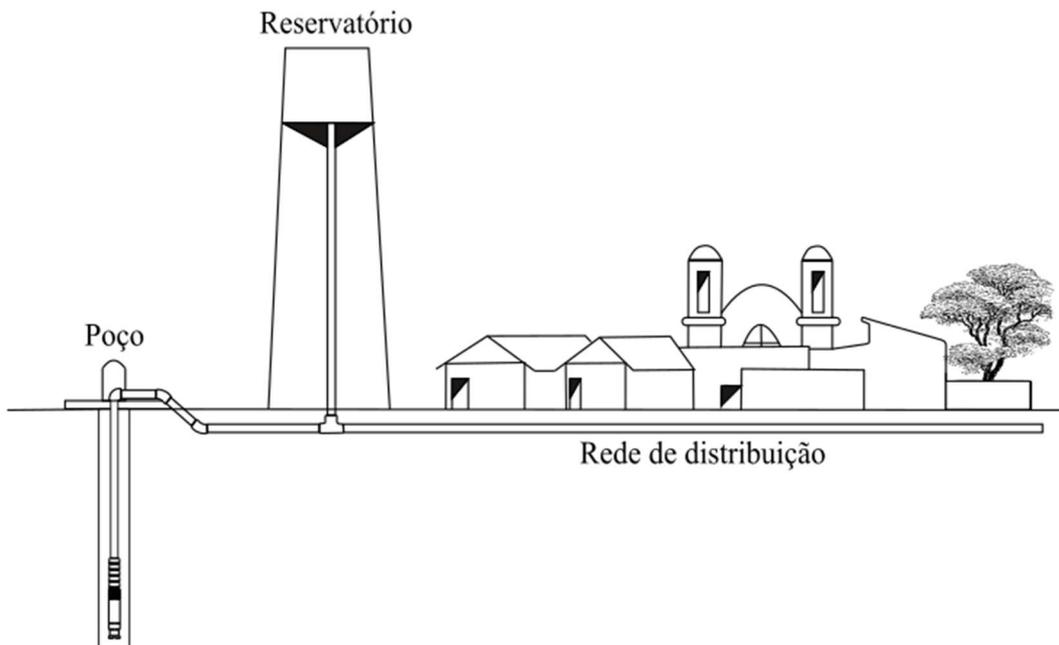
Com base nesses critérios, os municípios brasileiros foram classificados em 1.456 municípios urbanos, 746 municípios intermediários e 3.363 municípios rurais (IBGE, 2017a).

A densidade demográfica é importante no estudo de concepção de SAAs porque a forma como a população se distribui no território pode influenciar na adoção de soluções individuais ou coletivas, providas ou não de rede de abastecimento de água. Além disso, o porte das comunidades, por estar diretamente ligado com o volume demandado de água, influencia tanto no arranjo das unidades dos SAAs como em suas dimensões.

De modo geral, é maior a simplicidade de se projetar, definir o material e verificar o funcionamento hidráulico de adutoras de menores diâmetros, uma vez que para sistemas com adutoras de elevadas dimensões pode ser requerida escolha criteriosa do material da tubulação, além da possibilidade de ocorrência de sub e sobrepressões transientes e de impacto ambiental causado pela instalação e operação da adutora. Além disso, as comunidades de pequeno porte podem estar mais propícias à utilização de mananciais subterrâneos para captação de água por causa da compatibilidade entre o volume de água disponível no manancial e o volume demandado pelos consumidores, salvo alguns aquíferos com grande capacidade de vazão que possibilita o atendimento de comunidades maiores (HELLER; PÁDUA, 2016).

Para as comunidades de pequeno porte, costumam ser adotadas alternativas simplificada, como apresentado na Figura 2.

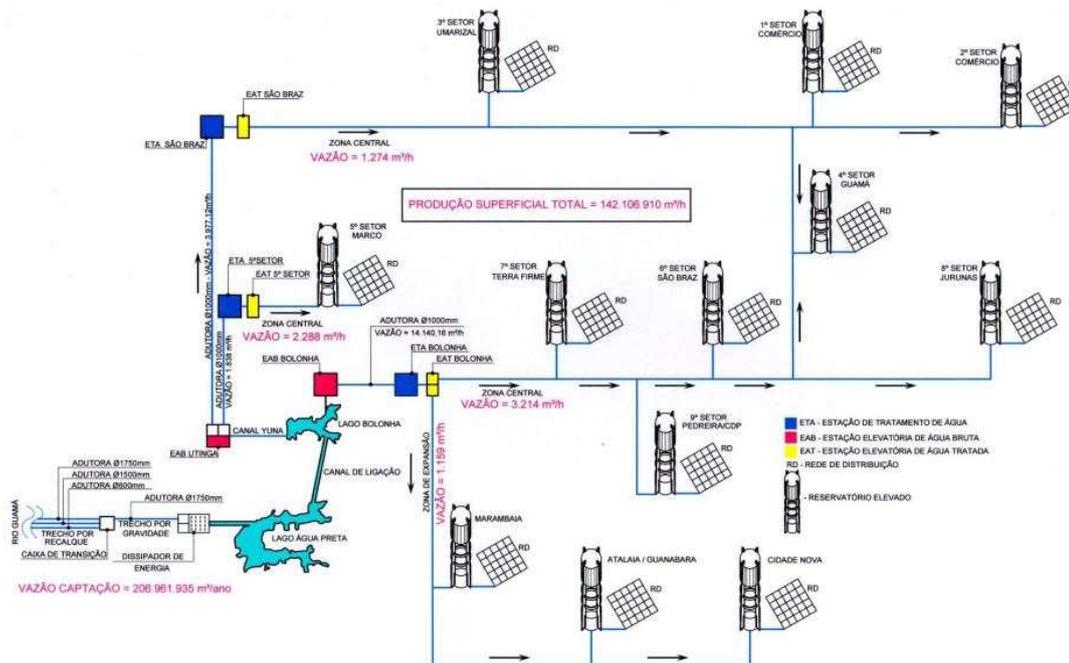
Figura 2 – Sistema de abastecimento de água de pequena localidade



Fonte: Adaptado de Dirección de Ingeniería Sanitaria, Secretaría de Salubridad y Asistencia (1980).

Por outro lado, para localidades de maior porte, via de regra, são requeridos sistemas mais complexos em termos de sofisticação tecnológica, operacional, de monitoramento e de gerenciamento. Na Figura 3 é apresentada ilustração de SAA de localidade de grande porte.

Figura 3– Articulação dos setores de abastecimento de Belém



Fonte: VELOSO (2006)

O porte dos municípios podem ser alterado ao longo dos anos devido ao crescimento populacional, o processo de urbanização e a migração. De acordo com a United Nations (2017), a população mundial atingiu quase 7,6 bilhões de pessoas em meados de 2017 e as projeções realizadas indicam que esse número será entre 9,4 e 10,2 bilhões de pessoas no ano de 2050. Essa informação aliada ao estilo de vida e ao consumismo contemporâneo tende a aumentar a demanda por recursos hídricos, trazendo consigo questões graves, como a retirada de grandes volumes de água do ambiente e a poluição dos corpos d'água. (REGO et al., 2013; SPERLING, 2012; LIU et al., 2013).

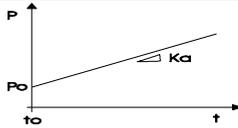
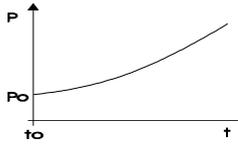
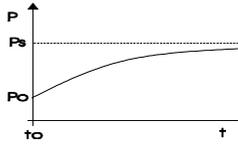
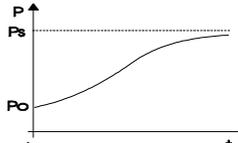
O conhecimento e a quantificação de demandas futuras de diversas naturezas para o setor público são auxiliados pelas projeções populacionais, tais como estradas, escolas, hospitais, áreas de lazer e abastecimento de água. Para o setor privado, as projeções populacionais servem para estimar o tamanho potencial de seu "mercado" futuro (PRESTON; HEUVELINE; GUILLOT, 2001).

De acordo com Brito, Cavenaghi e Jannuzzi (2010), os programas e as ações subsidiadas por projeções populacionais geram despesas. Nesse sentido, a qualidade da projeção populacional utilizada tem grande influência na aplicação adequada e eficiente dos recursos, evitando desperdício de investimentos quando mais próxima da realidade a projeção for. Uma projeção, se muito distante do real, pode causar gastos desnecessários ou deixar de atender a uma parcela da população.

Segundo Von Sperling (2014), os principais métodos utilizados para a projeção populacional são: crescimento aritmético, crescimento geométrico, regressão multiplicativa, taxa decrescente de crescimento, curva logística, comparação gráfica entre cidades similares, método da razão e correlação e previsão com base nos empregos.

No Quadro 2 são apresentados os métodos baseados em fórmulas matemáticas Projeção Aritmética, Projeção geométrica, Taxa decrescente de crescimento e Crescimento logístico.

Quadro 2 – Projeção populacional. Métodos com base em fórmulas matemáticas

Método	Descrição	Forma da curva	Taxa de crescimento	Fórmula da projeção	Coefficientes (se não for efetuada análise da regressão)
<i>Projeção aritmética</i>	Crescimento populacional segundo uma taxa constante. Método utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.		$\frac{dP}{dt} = K_a$	$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0)$	$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0}$
<i>Projeção geométrica</i>	Crescimento populacional função da população existente a cada instante. Utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.		$\frac{dP}{dt} = K_g \cdot P$	$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)}$ ou $P_t = P_0 \cdot (1 + i)^{(t - t_0)}$	$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$ ou $i = e^{K_g} - 1$
<i>Taxa decrescente de crescimento</i>	Premissa de que, na medida em que a cidade cresce, a taxa de crescimento torna-se menor. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear.		$\frac{dP}{dt} = K_d \cdot (P_s - P)$	$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \cdot [1 - e^{-K_d \cdot (t - t_0)}]$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $K_d = \frac{-\ln[(P_s - P_2)/(P_s - P_0)]}{t_2 - t_0}$
<i>Crescimento logístico</i>	O crescimento populacional segue uma relação matemática, que estabelece uma curva em forma de S. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear. Condições necessárias: $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$ . O ponto de inflexão na curva ocorre no tempo $[t_0 - \ln(c)/K_1]$ e com $P_t = P_s/2$ .		$\frac{dP}{dt} = K_1 \cdot P \cdot \frac{(P_s - P)}{P}$	$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{-K_1 \cdot (t - t_0)}}$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $c = (P_s - P_0)/P_0$ $K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln\left[\frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)}\right]$

Fonte: Von Sperling (2014, p. 58)

- $dP/dt$  = taxa de crescimento da população em função do tempo
- $P_0, P_1, P_2$  = populações nos anos  $t_0, t_1, t_2$  (as fórmulas para taxa decrescente e crescimento logístico exigem valores equidistantes, caso não sejam baseadas na análise da regressão) (hab)
- $P_t$  = população estimada no ano t (hab) ;  $P_s$  = população de saturação (hab)
- $K_a, K_g, K_d, K_1, i, c, r, s$  = coeficientes (a obtenção dos coeficientes pela análise da regressão é preferível, já que se pode utilizar toda a série de dados existentes, e não apenas  $P_0, P_1$  e  $P_2$ )

No Quadro 3 são apresentados os métodos baseados em quantificação indireta Comparação gráfica, Razão e correlação e Previsão de empregos e serviços de utilidades.

Quadro 3 –. Projeções populacionais com base em métodos de quantificação indireta

<b>Método</b>	<b>Descrição</b>
Comparação gráfica	O método envolve a projeção gráfica dos dados passados da população em estudo. Os dados populacionais de outras cidades similares, porém maiores são plotados de tal maneira que as curvas sejam coincidentes no valor atual da população da cidade em estudo. Estas curvas são utilizadas como referências na projeção futura da cidade em questão.
Razão e correlação	Assume-se que a população da cidade em estudo possui a mesma tendência da região (região física ou política) na qual se encontra. Com base nos registros censitários a razão "população da cidade/população da região" é calculada, e projetada para os anos futuros. A população da cidade é obtida a partir da projeção populacional da região (efetuada em nível de planejamento por algum outro órgão) e da razão projetada.
Previsão de empregos e serviços de utilidades	A população é estimada utilizando-se a previsão de empregos (efetuada por algum outro órgão). Com base nos dados passados da população e pessoas empregadas, calcula-se a relação "emprego/população", a qual é projetada para os anos futuros. A população da cidade é obtida a partir da projeção do número de empregos da cidade. O procedimento é similar ao método da razão. Pode-se adotar a mesma metodologia a partir da previsão de serviços de utilidade, como eletricidade, água, telefone etc. As companhias de serviços de utilidade normalmente efetuam estudos e projeções da expansão de seus serviços com relativa confiabilidade.

Nota: a projeção futura das relações pode ser feita com base na análise da regressão

Fonte: Qasim<sup>3</sup> (1985; apud VON SPERLING, 2014, p. 59)

As projeções populacionais são utilizadas na previsão de demanda de água para o horizonte de projeto estipulado para o SAA, sendo, dessa forma, essencial para o adequado dimensionamento das unidades do SAA.

### 3.2.3. Demanda de água para abastecimento público de água

Na etapa de planejamento é importante determinar os valores de produção, tratamento e distribuição de água necessários para o atendimento da população no período analisado. Para isso, é fundamental o entendimento da diferença dos termos “demanda” e “consumo” de água.

Segundo a NBR 12.211 (1992), a demanda de água é constituída pelos consumos de água medidos e não medidos e pelo volume perdido de água no SAA. Nesse sentido, o consumo de água está inserido na demanda junto aos demais volumes perdidos e utilizados nos processos de SAA ao longo de suas unidades.

<sup>3</sup> QASIM S. R. Wastewater treatment plants: planning, design and operation. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1985.

Heller e Pádua (2016) citam que “devem ser estimadas todas as demandas a serem satisfeitas pelas instalações, considerando o período futuro de alcance do sistema e não apenas a realidade presente”. Dessa forma, devem ser considerados, no dimensionamento das unidades do SAA, valores de vazões que atendam futuras demandas de água da localidade em longo prazo.

Na determinação da capacidade das unidades do SAA devem ser levados em consideração os diversos consumos de água presentes na área urbana, como o consumo:

- a) Doméstico: referente ao consumo de água que ocorre nas unidades residenciais cujo caráter de atendimento é prioritário;
- b) Comercial: referente ao consumo de água que ocorre nos estabelecimentos comerciais instalados na área urbana;
- c) Público: referentes aos consumos de água que ocorrem em prédios públicos, assim como em praças e jardins;
- d) Industrial: referente ao consumo de água que ocorre nas pequenas, médias e grandes indústrias que fazem uso da água produzida no SAA.

Além dos consumos citados, são incluídos na determinação da capacidade das unidades os consumos no próprio SAA, como os volumes de água destinados para a operação da unidade de tratamento de água, para limpeza das unidades assim como as perdas de água presentes ao longo de todas as unidades do SAA.

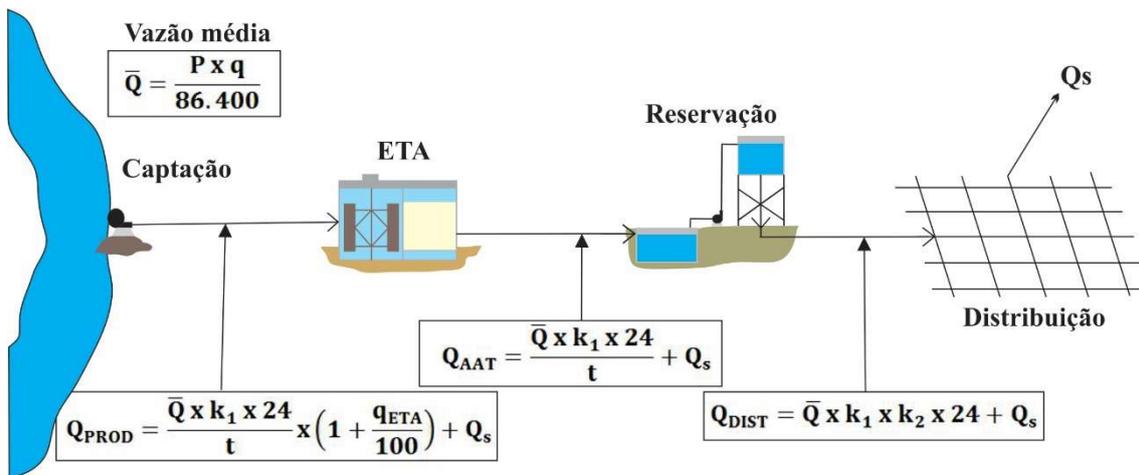
De acordo com Gomes (2009), o consumo per capita ( $q$ ) é o volume de água diariamente usado, em média, por um habitante. O seu valor, em SAA, é obtido dividindo-se o volume aduzido durante o ano por 365 dias e pelo número total de habitantes ou pessoas abastecidas ( $P$ ).

Com os valores de consumo per capita e a população, é possível ser calculada a vazão média de operação do SAA  $\bar{Q}$  (). No entanto, os SAAs não operam permanentemente com a vazão média, uma vez que os valores de vazão têm oscilações para mais e para menos em relação ao valor de vazão média, e isso ocorre tanto ao longo do ano quanto ao longo de um único dia de operação do sistema.

Por isso, no dimensionamento das unidades do SAA são considerados o coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ) e o coeficiente da hora de maior consumo ( $k_2$ ) com o objetivo de que o SAA tenha capacidade operar adequadamente até mesmo nas condições

mais extremas de vazão ao longo do ano. Além disso, dependendo do trecho do SAA, podem ser considerados nos cálculos das vazões os valores de consumo na estação de tratamento de água ( $Q_{ETA}$ ), as vazões singulares de grandes consumidores ( $Q_s$ ) e o tempo de operação da unidade em questão ( $t$ ). Na Figura 4 são ilustradas as três vazões utilizadas no dimensionamento das unidades do SAA, sendo elas: vazão de produção ( $Q_{PROD}$ ), vazão da adutora de água tratada ( $Q_{AAT}$ ) e vazão de distribuição ( $Q_{DIST}$ ).

Figura 4 – Vazões das unidades do SAA



A razão entre o volume consumido e o volume demandado de água pode ser entendida como o rendimento de abastecimento de água do SAA, no qual um dos objetivos do gerenciamento dos SAA deve levar os valores de demanda de água o mais próximo possível dos valores de consumo. No entanto, de acordo com Bezerra e Cheung (2013), as perdas de água são inerentes a todos os SAA.

#### 3.2.4. Mananciais de captação de água

O manancial de captação de água é um importante elemento condicionante da concepção das instalações dos SAAs. Richter e Azevedo Netto (1991) comentam que, quando houver dois ou mais mananciais passíveis de serem escolhidos para a captação de água, a seleção deve ser apoiada em amplos estudos, abrangendo não apenas os aspectos econômico-financeiros, mas também a qualidade da água, as tendências futuras quanto a preservação do manancial e as condições de segurança.

Segundo a ANA (2010), para o abastecimento de municípios de pequeno porte, em grande parte presente nos estados do Piauí, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Pará, Amazonas, Roraima e Tocantins, são predominantemente usados mananciais subterrâneos. Isso ocorre devido à existência de aquífero com grande potencial hídrico e pela simplicidade da operação do abastecimento de água por poços.

Villar (2016) corrobora ao comentar que as águas subterrâneas têm utilização destacada em municípios de pequeno porte, pois garantem uma água segura e com baixo custo de tratamento. No entanto, sua utilização também ocorre em cidades de médio e grande porte.

Quanto aos mananciais superficiais, ANA (2010) ressalta a sua importância nos estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, principalmente para o abastecimento das regiões metropolitanas e cidades de maior porte populacional.

Vale destacar que também pode haver combinação com a utilização de mananciais subterrâneos e superficiais em SAAs. Em localidades com elevadas demandas de água é possível que seja adotada essa alternativa para suprir o abastecimento público de água.

Segundo Belém (2014), a Região Metropolitana de Belém apresenta 19 setores abastecidos com água superficial e 37 setores abastecidos com água subterrânea. Além disso, Bertolo et al. (2015) identificou como possível a utilização de água subterrânea em larga escala para complementar o abastecimento público de água na Região Metropolitana de São Paulo.

Além disso, para que a continuidade da utilização dos recursos hídricos seja possível, sem onerar o tratamento de água, é necessário que tanto os mananciais superficiais quanto os subterrâneos sejam preservados, evitando a poluição dos mesmos. Nesse sentido, Silva e Porto (2003), levando em consideração a problemática da urbanização, comentam a importância da gestão integrada da água para, dentre outros objetivos, inibir os processos de degradação dos mananciais por meio de uma importante articulação com o desenvolvimento urbano e com a oferta de espaço às populações, evitando que áreas às margens dos mananciais sejam ocupadas.

### 3.2.5. Instalações existentes

Os estudos de concepção de abastecimento de água podem ser realizados em locais que já possuam instalações nas quais o abastecimento de água atual é realizado. Como essas instalações geralmente foram construídas com recursos públicos ou por mobilização da

comunidade, deve ser avaliada a possibilidade de reaproveitar o máximo dessas instalações quando realizado o estudo de uma nova concepção de SAA (HELLER; PÁDUA, 2016)

Essa avaliação nem sempre é simples, uma vez que envolve a análise de tubulações enterradas, sendo que por muitas vezes não existem informações organizadas de suas localizações nos arquivos e documentos da prestadoras de serviço de abastecimento de água.

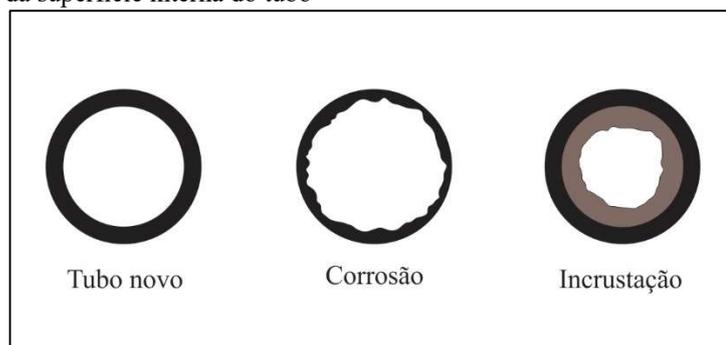
No entanto, é importante comentar que o aproveitamento de tais instalações é dificultado pela possível incompatibilidade da sua capacidade com a demanda atual de água do SAA. Wada et al. (2016) comenta que para sustentar a crescente demanda por alimentos e a elevação do padrão de vida, o uso global de água aumentou quase seis vezes nos últimos 100 anos e continua crescendo.

Essa incompatibilidade entre as instalações existentes e a atual demanda de água pode ser percebida em casos que as estações elevatórias são ineficientes ou possuem capacidade de bombeamento de água inferior à necessária, tubulações com diâmetros subdimensionados e reservatórios mal posicionados e com alturas inferiores às necessárias.

Stavenhagen, Buurman e Tortajada (2018), em sua pesquisa realizada em quatro cidades europeias, obtiveram como resultado que a política de gestão de demanda de água de renovação e manutenção de redes foi classificada como uma das duas políticas de maior impacto na redução de demanda de água.

Outro fator que pode dificultar a reutilização das instalações existentes é possibilidade da ocorrência de incrustação e corrosão das tubulações. Azevedo Netto (2015) comenta que com o tempo, tubulações de ferro fundido e de aço são acometidas por fenômenos químicos relativos aos minerais presentes na água, podendo ocasionar corrosão das tubulações. Também pode ocorrer deposição de substâncias contidas na água, as quais se aderem progressivamente à parede da tubulação, ocasionando incrustações (Figura 5).

Figura 5 – Alterações da superfície interna do tubo



Fonte: Adaptado de Azevedo Netto (2015).

O'Day<sup>4</sup> (1982; apud SARZEDAS, 2009) que as principais causas de quebra das tubulação são o exerço de carga, a temperatura e a corrosão. Moruzzi et al. (2012), em sua pesquisa de potencial de recuperação da capacidade hidráulica de rede de distribuição de água, identificou que a incrustação em alguns fragmentos da rede foi de tal magnitude que poderia causar praticamente o bloqueio dos trechos da rede, comprometendo o transporte da água.

### 3.3. GESTÃO OPERACIONAL DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Além de o SAA ser concebido de forma apropriada e ser construído obedecendo aos modernos requisitos técnicos, é preciso que seja prevista operação adequada do sistema visando otimizar os processos e reduzir falhas e desperdícios de água e energia. Nesse sentido, as práticas gerenciais funcionam como forma de organizar e atender as demandas para que esses objetivos sejam alcançados.

De acordo com Bergue<sup>5</sup> (2007; apud PEREIRA; CONDURÚ, 2014, p.53), gestão “é um processo complexo, que resulta da interação constante de quatro elementos ou fases fundamentais, no caso: planejamento, organização, direção e controle”.

Em SAAs, a prática de gestão é fundamental para a promoção da sustentabilidade do sistema. Heller e Pádua (2016) comentam que para se conceber e aprimorar os serviços de abastecimento de água pelas prestadoras de serviço, no mínimo, devem ser consideradas as seguintes atividades:

1. operar adequadamente o sistema;
2. manter programa permanente de proteção dos mananciais, que pode envolver ações de educação sanitária e ambiental junto aos ocupantes das bacias hidrográficas;
3. prover manutenção preventiva e corretiva do sistema;
4. estabelecer e manter atualizada a estrutura tarifária;
5. manter a contabilidade em dia e dentro dos exigidos pela administração pública;
6. manter canais eficientes de atendimento ao usuário e de relação com a comunidade;
7. controlar a qualidade da água e elaborar relatórios periódicos à autoridade sanitária e aos usuários;
8. manter registros cadastrais atualizados das unidades do sistema;
9. manter registros comerciais atualizados, incluindo cadastros dos usuários residenciais, comerciais, industriais e públicos;
10. acompanhar evolução do consumo, mediante histogramas adequados;

<sup>4</sup> O'DAY, D. K. et al. (1986) Water main evaluation for rehabilitation/replacement. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO. 1986.

<sup>5</sup> BERGUE, Sandro Trescastro. **Gestão de pessoas em organizações públicas**. 2. Ed. ver. E atual. Caxias do Sul: EDUCS, 2007.

11. realizar medição de consumo de água e manter rotina de controle operacional, incluindo controle de perdas;
12. desenvolver campanhas junto aos usuários para o correto uso da água, especialmente visando ao combate ao desperdício;
13. planejar e executar pequenas obras de expansão;
14. elaborar projetos de ampliação;
15. executar obras de ampliação;
16. realizar periodicamente pesquisa de opinião, para aferir grau de satisfação e queixas dos usuários.

No entanto, ainda são constatáveis problemas na gestão de SAA. De acordo com Brasil (2018), nos municípios brasileiros participantes de sua pesquisa, foi constatado índice médio de perda no valor de 38,1% na distribuição de água desses municípios, sendo também verificado que a despesa decorrente do consumo de energia elétrica correspondeu a 14,6% da despesa de exploração dos prestadores de serviços de saneamento participantes da pesquisa, ficando abaixo apenas das despesas com pessoal próprio e com serviço terceirizado, que somados corresponderam a 59,9% da despesa de exploração.

Portanto, é de grande importância que na gestão dos SAAs seja levando em consideração a minimização da retirada de água dos mananciais por meio da otimização do seu uso em todas as unidades do sistema e do uso racional pelos consumidores, o que pode ser realizado com o desenvolvimento de boa gestão de demanda de água. Além disso, em virtude do consumo de energia elétrica representar parcela significativa da despesa das prestadoras de serviço de saneamento, é indicado que na gestão dos SAAs a energia elétrica seja utilizada de forma eficiente.

### **3.3.1. Gerenciamento de demanda de água**

O gerencialmente da demanda passou a ter sua importância reconhecida pelos prestadores de serviço de abastecimento de água devido fatores como (STAVENHAGEN; BUURMAN; TORTAJADA, 2018):

- a) a diminuição de recursos hídricos inexplorados perto das cidades;
- b) a contaminação e redução dos recursos hídricos subterrâneos;
- c) o aumento da ocorrência de secas;
- d) competição mais intensa por água entre os usuários urbanos, industriais e agrícolas;
- e) o crescimento da consciência sobre os custos ambientais dos empreendimentos de infraestrutura hídrica em grande escala;

- f) a maior compreensão do público sobre a interdependência da água para um ecossistema funcional e para a saúde humana ;
- g) os altos custos de construção e manutenção de infraestrutura hídrica.

A previsão da demanda de água, tanto de longo quanto de curto prazo, é ferramenta essencial para o planejamento e expansão de SAAs, para o dimensionamento e operação de reservatórios, estações de bombeamento, estações de tratamento e tubulação, para a gestão de águas urbanas, para políticas de preços e para restrições de uso de água (HERRERA et al., 2010).

Segundo Zhou et al. (2002), comenta que os valores de demanda são afetados pelo clima, pelos padrões de consumo de água aos finais de semana e em feriados, bem como pelas atividades domésticas e industriais dos consumidores.

Estudos sobre a variação de demanda de água em curto prazo têm sido realizados para otimização de unidades de bombeamento de água. Kozłowski et al. (2018) comentam que os modelos de análise harmônica e de análise de tendências para previsão de demanda de água, apresentados em sua pesquisa, podem ser aplicadas para projetar controladores de conjuntos motor e bomba de SAA.

De acordo com Herrera et al. (2010) A previsões horárias de demanda de água em um modelo matemático calibrado é crucial devido possibilitar:

- a) que os gerentes de água determinem esquemas ótimos de regulação e bombeamento para suprir a demanda prevista;
- b) a promoção da eficiência energética através de um menor consumo de energia no bombeamento de água;
- c) a identificação da combinação mais adequada de fontes de água para obter um determinado padrão na água fornecida;
- d) que seja realizada comparação entre as medições de vazões previstas e reais pode ajudar na identificar possíveis falhas de rede (vazamentos de água e rupturas de tubulação);

Segundo Gleick (2000), os prestadores de serviço de abastecimento de água passaram a praticar ações para melhoria da eficiência e a implementar alternativas de gerenciamento de demanda para reduzir as lacunas dos projetos e para atender às necessidades futuras.

Para Stavenhagen, Buurman e Tortajada (2018), a base conceitual do gerenciamento da demanda de água é a conservação da água com qualquer redução benéfica seu uso ou nas perdas. Assim, gerenciar a demanda de água também implica em mudar o comportamento individual e organizacional para padrões de uso mais sustentáveis.

Nesse sentido, o combate às perdas de água no SAA é uma ação importante para a gestão da demanda de água. A primeira atividade para a realização de ações que possibilitem a redução das perdas é a identificação dos valores de perda de água nas unidades do SAA e a sua localização. Para esse fim, são realizados balanços hídricos em SAAs para identificar os diversos destinos da água que entra no sistema.

De acordo com Bezerra e Cheung (2013), a contribuição mais relevante na definição das perdas foi a proposta pelo grupo de pesquisadores da IWA, a qual apresentava métodos para classificar, padronizar e uniformizar uma terminologia para o tema (Quadro 4).

Quadro 4 –Balanço hídrico proposto pela IWA para SAAs<sup>6</sup>

Volume de entrada no sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (incluir água exportada)	Água faturada		
			Consumo Faturado não medido (estimado)			
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido (uso próprio, caminhão pipa, etc.)		Água não faturada	
			Consumo não faturado não medido (combate a incêndio, favelas, etc.)			
	Perdas de água	Perdas aparentes	Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)			
			Erros de medição (micromedição)			
		Perdas físicas	Vazamentos nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável)			
			Vazamentos nas adutoras ou redes de distribuição			
Vazamentos ou extravasamento nos reservatórios						
Vazamentos nos ramais (montante do ponto de medição)						

Fonte: ALEGRE et al. (2005)

Contudo, alguns dos itens apresentados no Quadro 4, como os volumes de extravasamento de reservatórios e de uso não autorizado de água, são de difícil obtenção, o

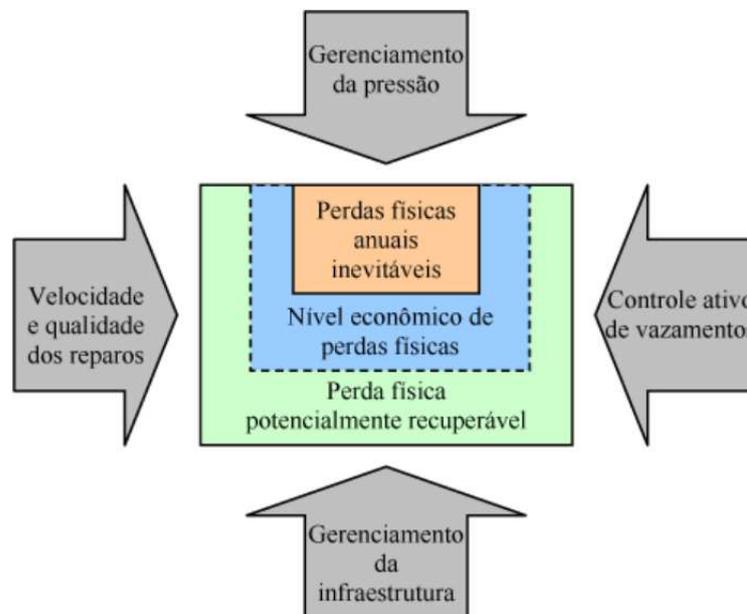
<sup>6</sup> Os conceitos dos termos adotados para os itens do Quadro 4 estão apresentados no Anexo A.

que torna necessário, por vezes, o uso de valores estimados, comprometendo a confiabilidade dos resultados obtidos pelo balanço hídrico de SAAs por esse método.

Lambert e Hirner (2002) constataram que o efetivo controle de perdas físicas é realizado por meio de quatro atividades complementares, conforme mostrado na Figura 6 e citadas a seguir:

- a) gerenciamento de pressão: objetiva minimizar os excessos de pressões do sistema e a faixa de duração de pressões máximas;
- b) controle ativo de vazamentos: pesquisa de vazamentos não visíveis, realizada por meio da escuta do solo (através geofones mecânicos ou eletrônicos e correlacionadores);
- c) velocidade e qualidade dos reparos: tempo gasto desde a detecção de um vazamento até sua localização e reparo com qualidade. Baixa qualidade no serviço pode causar reincidência de vazamentos;
- d) gerenciamento da infraestrutura: as três atividades mencionadas acima já trazem melhorias à infraestrutura. Portanto, deve-se estar atento à substituição de trechos quando necessário e após análises profundas.

Figura 6 – Estratégia de controle de perdas de água



Fonte: LAMBERT; HIRNER<sup>7</sup> (2000; apud MORAIS, CAVALCANTE; ALMEIDA, 2010. p.19).

<sup>7</sup> LAMBERT, A. O.; HIRNER, W. H., “Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures”. IWA Blue Pages. 2000

Como na maioria dos SAAs, para o deslocamento de água entre as diversas unidades do sistema, há a necessidade de bombeamento de água. Assim sendo, a redução do desperdício de água, a otimização do seu uso nos processos de produção de água e o uso racional de água pelos usuários implica em economia de energia elétrica (FONTANA; GIUGNI; PORTOLANO, 2012; SANTOS; SOARES; DA SILVA, 2016)

Cheung et al.<sup>8</sup> (2007; apud PEREIRA; CONDURÚ, 2014, p.78) colaboram com essa informação ao estimarem que são utilizados 0,6 kWh para produzir 1 m<sup>3</sup> de água potável em SAAs, em média.

### 3.3.2. Eficiência hidroenergética

Os esforços requeridos na relação homem-natureza para o uso adequado e não extrapolado dos bens presentes no meio e disponíveis à humanidade, dentre os quais podem ser destacadas a água e a energia, são de grande importância à viabilização e à manutenção da vida contemporânea. Para Cavalcanti (2012), essa relação deve ocorrer de forma sustentável, munida de processo socioeconômico em que se minimize o uso de matéria e energia, bem como os impactos ambientais provenientes da ação antrópica, e que se maximize a eficiência do uso dos recursos e sua utilidade social.

Vale destacar que cerca de 3% da energia elétrica gerada no Brasil são consumidos no setor de abastecimento de água e no tratamento de esgoto, sendo que, de cada dez quilowatts-hora, mais de nove são utilizados em conjuntos motor e bomba (GONÇALVES, JORDÃO, JANUZZI, 2009).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), 10,6 milhões de MWh/ano são utilizados em SAAs e 1,2 milhões MWh/ano em esgotamento sanitário, totalizando valor de 11,8 milhões de MWh/ano, o que equivale ao consumo anual de energia elétrica de cerca 18,5 milhões de habitantes (BRASIL, 2018).

De acordo com Luz et al. (2016), o consumo demasiado de energia em estações elevatórias de água deve-se, muitas vezes, aos equipamentos obsoletos e não dimensionados conforme a necessidade. Barry (2007) ressalta que o consumo de energia elétrica corresponde a 74% do investimento realizado ao longo da vida útil de instalações de bombeamento.

---

<sup>8</sup> CHEUNG, Peter Batista et al. Curso de eficiência energética no saneamento. Brasília, 2007.

Também é importante observar que a despesa de energia elétrica pode ser influenciada pelo baixo valor do fator de potência, que é relacionado ao consumo e demanda de energia elétrica reativa.

Além disso, é preciso atentar que o aumento na demanda de água pode resultar em funcionamento dos equipamentos de bombeamento no horário de ponta, que é o período de três horas consecutivas em que o valor da tarifa de energia elétrica é maior do que o cobrado nas demais horas do dia (horário fora de ponta).

Outro fator que eleva a despesa com energia elétrica no bombeamento é o volume perdido de água entre as unidades de captação e de distribuição de água. Bezerra e Cheung (2013) comentam que a perda de água em SAAs resulta em desperdício da energia elétrica utilizada em todo o processo do SAA.

A eficiência em SAAs é caracterizada pela prática contínua e progressiva de medidas que promovam a minimização do consumo dos recursos naturais, como água, energia elétrica e produtos químicos, assim como dos recursos financeiros, técnicos e humanos.

As práticas de eficiência hidroenergética em SAAs ocasionam economia no uso de água e de energia elétrica, a diminuição da exploração dos recursos naturais e a sustentabilidades dos sistemas, sem prejudicar os usuários do sistema. Segundo Brasil (2010) o potencial de economia de energia elétrica é elevado nos SAAs devido a existência de:

- a) elevadas perdas de água nas redes e ramais prediais;
- b) dimensionamento inadequado dos equipamentos elétrico-mecânicos e operação desses equipamentos em faixas de rendimento baixas;
- c) utilização inadequada dos potenciais de reservação, o que afeta a redução do consumo de energia elétrica no horário de ponta do setor elétrico;
- d) ineficiência operacional causada pela ausência de medição dos parâmetros elétricos e hidráulicos, telemetria e sistemas supervisórios, principalmente nos sistemas de distribuição;
- e) deficiência de setorização dos sistemas e comprometimento do controle de pressão;
- f) deficiência no controle de vazamentos;
- g) deficiência na gestão da infraestrutura;
- h) escassez de mão de obra qualificada;
- i) prevalência da manutenção corretiva em detrimento de ações da preditiva e preventiva.

Brasil (2010) identificou potencial de recuperação de energia elétrica no setor de saneamento igual a 4,705 TWh, correspondente a 45,19% do consumo de energia elétrica do setor de saneamento, sendo:

- a) 2,62 TWh com redução de perdas reais de água até os valor de perdas reais anuais inevitáveis (estipulado no seu estudo igual a 10% do volume de perdas reais de água);
- b) 2,08 TWh com redução da altura manométrica de bombeamento, modulação da cargas dos equipamentos eletromecânicos, uso de conversores de frequência, eficiência no dimensionamento e na operação dos sistemas de bombeamento e utilização de motores mais eficientes e de alto rendimento.

Tsutiya (2001) apresenta algumas ações básicas para redução da despesa de energia elétrica em SAAs conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Ações básicas para redução de despesa de energia elétrica em SAAs

Ações Administrativas – 1ª fase

- Correção da classe de faturamento
- Alteração da estrutura tarifária
- Desativação das instalações sem utilização
- Conferência de leitura da conta de energia elétrica
- Entendimentos com as companhias energéticas para redução de tarifas

Ações Operacionais – 2ª fase

(A) Ajuste dos equipamentos	{	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correção do fator de potência</li> <li>• Alteração da tensão de alimentação</li> </ul>
(B) Diminuição da potência dos equipamentos	{	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria no rendimento do conjunto motor- bomba</li> <li>• Redução das perdas de carga nas tubulações</li> <li>• Melhoria do fator de carga nas instalações</li> <li>• Redução do índice de perdas de água</li> <li>• Uso racional da água</li> </ul>
(C) Controle operacional	{	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração no sistema de bombeamento-reservação</li> <li>• Utilização do inversor de frequência</li> <li>• Alteração nos procedimentos operacionais da estação de tratamento de água</li> </ul>
(D) Automação do sistema de abastecimento de água		
(E) Alternativas para geração de energia elétrica	{	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aproveitamento de potenciais energéticos</li> <li>• Uso de geradores nos horários de ponta</li> </ul>

Fonte: TSUTIYA (2001)

As ações listadas por Tsutiya (2001) podem ser divididas em dois grandes grupos, no caso, grupo de ações administrativas, as quais não há a necessidade de intervenção nas unidades do SAA ou em seus arranjos de operação, bastando apenas ações de caráter

burocrático. Por outro lado, há o grupo de ações operacionais, que está mais voltado para a intervenção de forma direta no sistema e na sua rotina operacional.

Segundo Haguiuda, Santos Netto e Coura<sup>9</sup> (1996; apud BUZOLIN JUNIOR; BARBOSA; DEANTONI, 2016) nos sistemas operados pela SABESP na Região Metropolitana de São Paulo, 90% de toda a energia elétrica utilizada é consumida na operação dos motores elétricos, 7,5% nos serviços auxiliares e 2,5% na iluminação. Nesse sentido fica evidente a necessidade de reduzir o consumo de energia elétrica em SAA

### 3.4. IMPORTÂNCIA DA SETORIZAÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

#### 3.4.1. Setorização

Segundo Bezerra e Cheung (2013) a metodologia baseada na setorização para gestão de perdas foi introduzida, no início da década de 80, na indústria da água no Reino Unido, e tem ganhado notoriedade no controle e na gestão da distribuição de água em SAA.

O setor de abastecimento de água é a unidade básica operacional de distribuição de água, correspondente às linhas primárias e secundárias da região e que pode ser abastecida por derivação de adutoras (alimentação direta), ou através de reservatório setorial (alimentação indireta), e tem como diretriz principal a definição da área de influência abastecida pelas unidades a sua montante, como reservatórios, estação elevatória de água e boosteres (MOTTA, 2010).

De acordo com Yoshimoto, Tardelli Filho e Sarzedas (1998), o setor de abastecimento de água é definido pela área que é alimentada por um reservatório de distribuição destinado à regularização da vazão e ao condicionamento da pressão na rede de distribuição.

A divisão da rede de distribuição de água em setores é uma medida que possibilita o melhor gerenciamento da produção do sistema, tornando a identificação de falhas na rede e as ações de correção, tarefas mais simples. De acordo com Dantas, Gonçalves e Machado (1999), a setorização deve ser a primeira atividade no controle de perdas por possibilitar a tomada de decisões de forma mais eficiente na redução de perdas através do tratamento isolado de um dado setor.

---

<sup>9</sup> HAGUIUDA, C., SANTOS NETTO, L. F., e COURA, S. P. Gestão de Energia Elétrica da SABESP na Região Metropolitana de São Paulo, Racionalização do Uso e Redução dos Gastos. **Revista Saneas**. n.9. VII Encontro técnico AESABESP, São Paulo, Set. 1996.

Vale destacar que a prática da setorização tem implicações positivas do ponto de vista energético, já que o volume de água desperdiçado na rede de distribuição possui agregado o valor de energia elétrica consumida para o seu deslocamento em todas as estações elevatórias instaladas a montante da rede de distribuição (SANTOS, 2015; PEREIRA; CONDURÚ, 2014).

Para adequado controle de pressão e redução de perda de água em setores de abastecimento de água, devem ser estrategicamente instalados equipamentos de monitoramento permanente e pontos de acesso para monitoramentos temporários dos parâmetros hidráulicos. Além disso, para a identificação das perdas de água, devem ser instalados macromedidores de vazão para identificar o volume de água que entra no setor, e micromedidores de vazão nos pontos de consumo, sendo a diferença entre esses dois valores, o volume de água perdido.

Biasutti (2016), em sua pesquisa realizada com 42 prestadores de serviço de abastecimento de água, identificou que a 47,6% dos participantes responderam que a principal estratégia para controle ativo de pressão na rede é a setorização e a utilização de válvula redutora de pressão.

A vantagem da utilização de reservatórios para o abastecimento do setor, em relação à utilização de estações elevatórias e boosters, é que, fazendo-se uso do volume de reservação, o bombeamento de água pode ser paralisado no setor durante as três horas de ponta do setor elétrico sem que o fornecimento de água para o cliente seja paralisado, o que tem reflexo positivo na despesa de energia elétrica. No entanto, para atender a esse objetivo de forma eficiente, os reservatórios devem ser adequadamente dimensionados.

Moreira (2018), por meio de simulação hidroenergética realizada no software EPANET 2.0, identificou valor de R\$ 0,11 por m<sup>3</sup> de água distribuída no setor estudado com este operando com o volume de reservação atualmente instalado, e valor de R\$ 0,06 por m<sup>3</sup> com o setor operando com volume de reservação calculado por método de dimensionamento que considera a paralisação do bombeamento de água para o reservatório durante as três horas de ponta do setor elétrico.

É importante destacar que a ação de criação de setores de abastecimento de água não é tarefa simples por causa da falta ou da desatualização de cadastro técnico das redes de distribuição para verificação dos limites e dos traçados da rede, bem como pela dificuldade de obtenção da estanqueidade dos setores. Além disso, pode haver ocorrência de problemas de qualidade da água e, durante a fase de implementação, a aceitação da população poderá ser

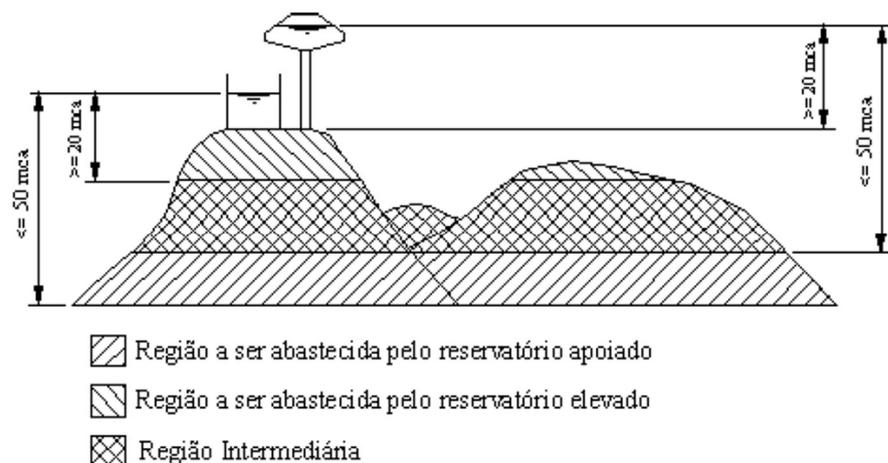
baixa em função de provisórias paralisações no abastecimento de água, de redução de pressão e outros motivos.

Os setores de abastecimentos de água podem ser constituídos de uma ou mais zonas de pressão que serão determinadas em função da topografia da localidade. Na setorização são definidas as zonas de pressão levando em conta os limites de pressão, disposto na ABNT NBR 12.218 (1994), de 500 kPa de pressão estática máxima e de 100 kPa de pressão dinâmica mínima, sendo o local onde se identifica a menor pressão dinâmica denominada de ponto crítico. É importante destacar que valores da pressão estática superiores à máxima e da pressão dinâmica inferiores à mínima podem ser aceitos, desde que justificados técnica.

Motta (2010) comenta que a partir dos limites de pressão é que se inicia a concepção do setor de abastecimento de água com a definição do posicionamento e da altura dos reservatórios, os limites das zonas de pressão, as áreas abastecidas por boosters e controladas por válvulas redutoras de pressão.

Na Figura 7 é representado o abastecimento de água de uma localidade por meio de um reservatório apoiado para o abastecimento da zona de menor cota altimétrica, e um reservatório elevado para a zona de maior cota altimétrica.

Figura 7 – Setorização para abastecimento de zona alta e zona baixa



Fonte: Yoshimoto, Tardelli Filho e Sarzedas (1998)

No caso do exemplo apresentado, com a utilização de dois reservatórios com diferentes cotas para atender as zonas de pressão, existe uma região intermediária que pode ser abastecida por ambos os reservatórios.

Souza Júnior (2014) explica que a alternativa de uso de boosters para abastecimento de zonas altas ou zonas de coroa tem sido adotada em alguns sistemas, isso devido o menor custo de implantação e a maior facilidade de manutenção se comparado com os reservatórios elevados. Esses equipamentos podem ser instalados com controladores lógicos programáveis e inversores de frequência, permitindo que as pressões no setor sejam mantidas dentro dos limites recomendados.

Ainda na ABNT NBR 12.218 (1994) são apresentadas algumas diretrizes para a setorização, tais como:

- a) O setor de medição deve, preferencialmente, abranger consumidores da mesma categoria residencial, comercial ou industrial.
- b) Não deve ser necessário fechar mais de 20 válvulas para isolar um setor de medição;
- c) A extensão máxima da rede abrangida pelo setor de medição é de 25 km;
- d) A alimentação do setor de medição deve ser feita pelo menor número viável de pontos;
- e) Os medidores de vazão e de pressão utilizados nos pontos de controle da rede podem ter previsão de instalação permanente ou temporária com dispositivos para sua inserção, quando da realização das campanhas de medição.

De acordo com Gonçalves e Lima (2007), no setor de abastecimento, a operação é realizada em um ou mais subsectores denominados:

- 1) Zona de pressão – área abrangida por uma subdivisão da rede, na qual as pressões estática e dinâmica obedecem a limites prefixados.
- 2) Setor de macromedição – parte da rede de distribuição delimitada e isolável com finalidade de acompanhar a evolução do consumo, e avaliar as perdas de água na rede, cuja vazão é medida continuamente por meio de macromedidor instalado na(s) linha(s) de alimentação e de saída, quando houver transferência para outro setor.
- 3) Distrito de medição temporária – parte da rede de distribuição delimitada e isolável com a finalidade de acompanhar, temporariamente, a evolução do consumo e avaliar as perdas de água na rede, cuja vazão é medida por intermédio de equipamentos portáteis ou de instalação provisória.
- 4) Setor de manobra – menor subdivisão da rede de distribuição, cujo abastecimento pode ser isolado sem afetar o abastecimento do restante da rede.

Na norma ABNT NBR 12.218 (1994) são apresentados dois tipos de setores: o setor de manobra e o setor de medição. O setor de manobra é a menor subdivisão da rede de distribuição de água em que pode ser realizado o isolamento, com paralisação do

abastecimento de água para esse setor de manobra, sem afetar o abastecimento do restante da rede quando necessária a realização de obras e serviços de reparos. O setor de medição é a parte da rede de distribuição de água adequadamente isolada onde são realizados os monitoramentos das vazões de alimentação do setor e de consumo dos usuários, bem como dos valores de pressão na rede, para a avaliação das perdas de água de forma precisa.

### **3.4.2. Distrito de controle de comando**

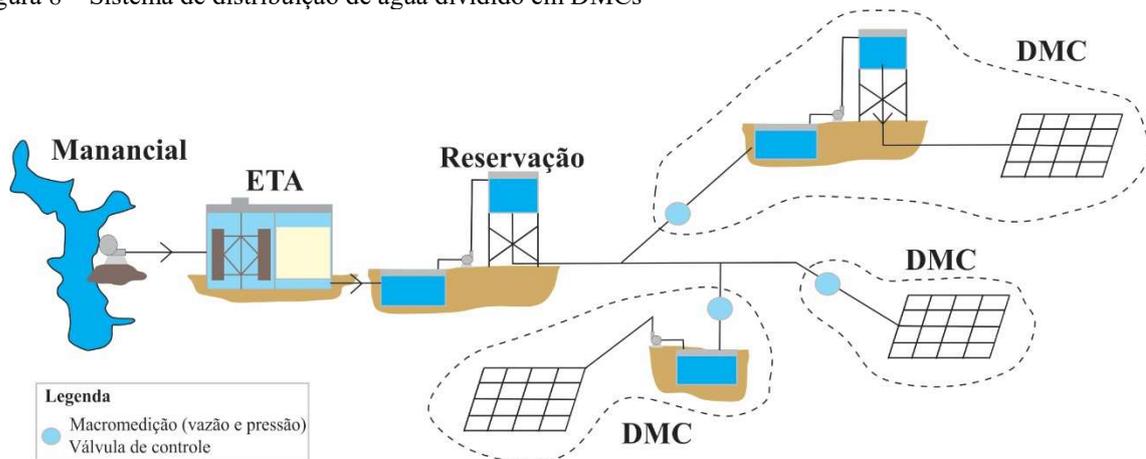
Bezerra e Cheung (2013) comentam que a delimitação de rede em setores de menores dimensões de fronteiras conhecidas e bem delimitadas pode ser denominada de Setores de Medição, Distritos de Monitoramento e Controle e Distritos de Medição e Controle (DMC). No entanto, é importante ressaltar que é comum a divisão da rede em grandes setores, que não necessariamente são DMCs.

O DMC pode ser entendido como um setor dentro de um sistema de distribuição de água no qual a vazão que entra no setor é medida e controlada, e que tem suas fronteiras criadas pelos fechamentos de válvulas ou desconexão de tubulações que, anteriormente, as interligavam com o restante da rede de distribuição (BEZERRA; CHEUNG, 2013; WATER AUTHORITIES ASSOCIATION AND WATER RESEARCH CENTRE, 1980).

O objetivo principal do DMC é reduzir as perdas reais a um nível economicamente aceitável e manter esse nível por meio da aplicação de estratégias proativas, como o controle ativo de fuga de água (CHARALAMBOUS; FOUFEAS; PETROULIAS, 2014).

Bezerra e Cheung (2013) Pontuam que, de modo geral, a adoção de DMCs permite: o conhecimento do comportamento dos consumos da localidade, a determinação da vazão mínima noturna, a agilização de identificação de ocorrência de vazamentos na rede, a otimização da gestão das perdas reais e aparentes no setor, a análise dos resultados dos dados aquisitados da rede de distribuição e a elaboração de planejamento eficaz das ações de combate à perda de água. Na Figura 8 é apresentada ilustração de um sistema de distribuição de água dividido em DMCs.

Figura 8 – Sistema de distribuição de água dividido em DMCs



No Quadro 6 são apresentadas algumas vantagens e desvantagens da setorização dos sistemas de abastecimento de água.

Quadro 6 – Vantagens e desvantagens dos DCMs para os sistema de distribuição de água

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• As áreas da rede são menores e mais gerenciáveis;</li> <li>• Os vazamentos de água são identificados e remediados mais rapidamente;</li> <li>• Facilita a aplicação das ações para redução de perda de água;</li> <li>• Melhor controle das pressões no DMC.</li> <li>• Economia financeira.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de qualidade da água associados a “becos sem saída” na rede;</li> <li>• Reclamações dos clientes devido à redução da pressão da água no sistema.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Charalambous, Foufeas e Petroulias (2014).

A setorização pode ocasionar a criação de pontos com baixo fluxo de água nas extremidades do setor onde foram instaladas as válvulas de isolamento. Segundo Motta (2010) o isolamento de um DMC pode ocasionar descolamento de incrustações presentes nas paredes das tubulações da rede e acúmulo de sujeira em determinados pontos, ocasionando aumento de reclamação do consumidos.

Os DMCs podem ter dimensões variadas dependendo das características da localidade. Bezerra e Cheung (2013) comentam que DMC com mais de 5.000 propriedades possuem características que dificultam a detecção de pequenos vazamentos.

Em DMCs muito grandes, a detecção de rupturas na rede por meio de vazões mínimas noturnas é mais difícil e a localização do vazamento leva maior tempo. Por outro lado, para divisão da rede de distribuição em DMC de menores dimensões é requerido

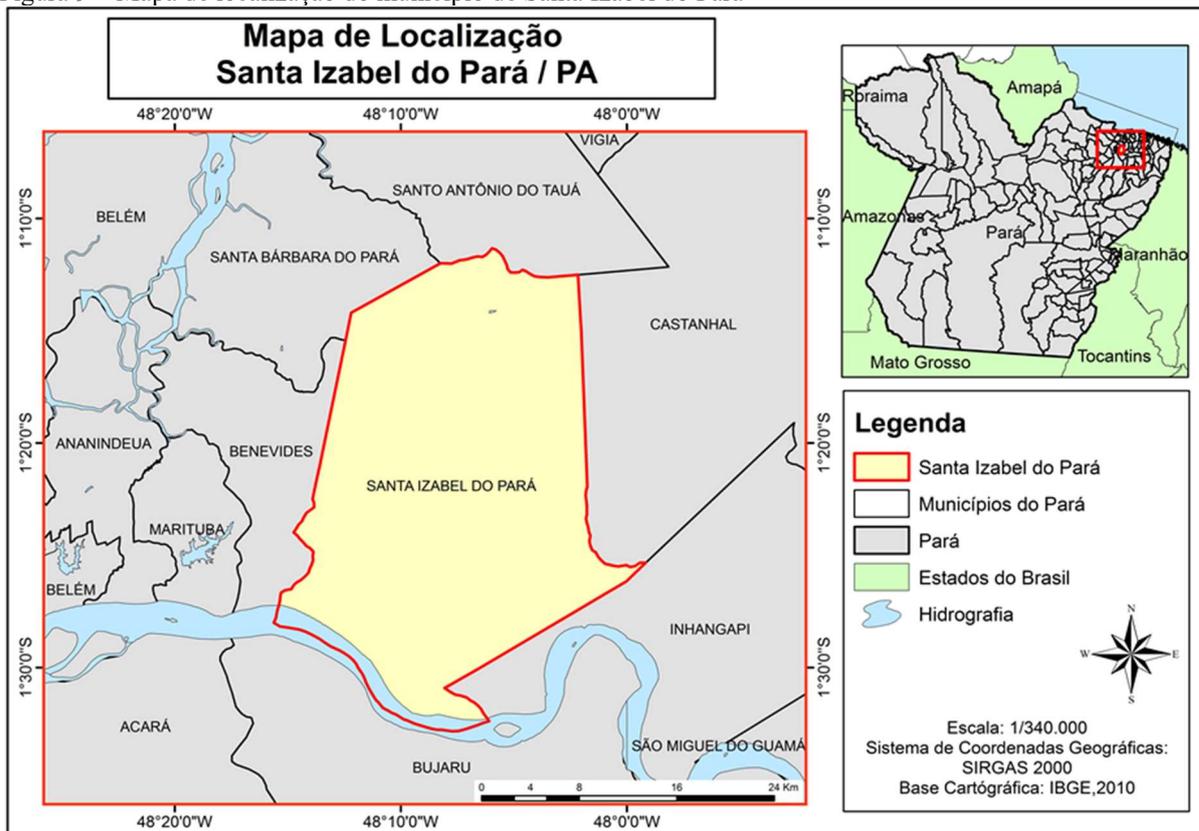
maiores investimentos para instalação e manutenção de maior quantidade de válvulas, de medidores de vazão e de medidores de pressão (DRAGAN; FERRARI, 2014).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada foi o SAA da sede do município de Santa Izabel do Pará, que é localizado a 38 km da capital paraense e integra a região Metropolitana de Belém. Em estimativa do IBGE (2017b), a população do município foi de 68.836 habitantes no ano de 2017. Segundo IBGE (2017c), área da unidade territorial do município é de 717,662 km<sup>2</sup>. Na Figura 9 é apresentada a localização do município de Santa Izabel do Pará.

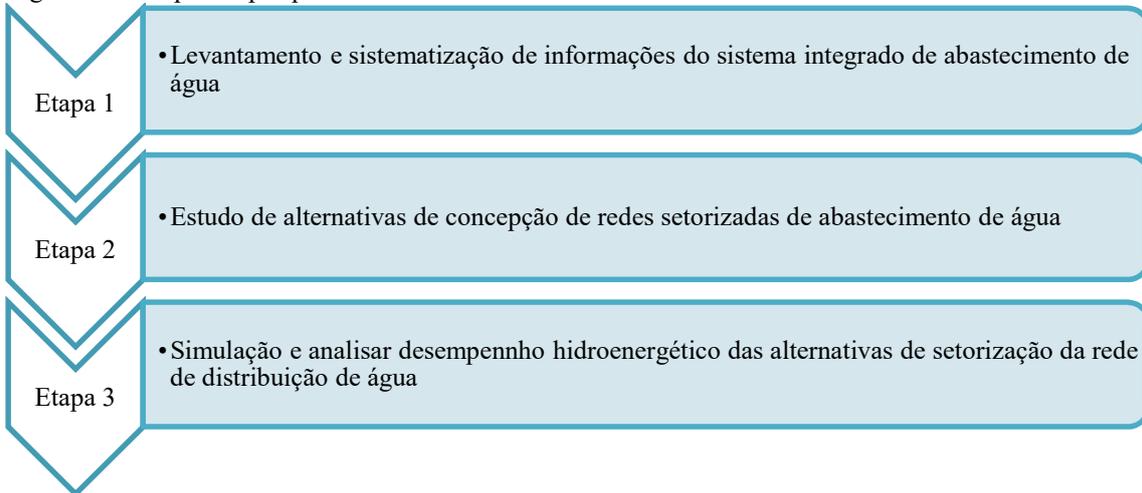
Figura 9 – Mapa de localização do município de Santa Izabel do Pará



O Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) é o órgão responsável pelo abastecimento de água no município de Santa Izabel do Pará, atendendo 4.300 domicílios com 38.000 m de extensão de rede de distribuição de água (HUFFNER, 2014).

Para contemplar os objetivos da pesquisa, foram estabelecidas três etapas de atividades ordenadas e organizadas, conforme representado na Figura 10.

Figura 10 – Etapas da pesquisa



A seguir são detalhadas as etapas a serem realizadas durante a pesquisa, sendo apresentados os materiais e métodos adotados, as informações necessárias e a ordem do encaminhamento da pesquisa.

#### 4.2. ETAPA 1: ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Na primeira etapa serão levantadas as informações do abastecimento de água na sede do município de Santa Isabel do Pará. Para isso, serão realizadas pesquisas em documentos da prestadora do serviço de abastecimento do município, bem como em bases de dados oficiais do IBGE e do Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento (SNIS).

Essas informações serão sistematizadas com a finalidade de conhecimento do panorama do abastecimento de água no município, identificando problemas operacionais e fornecendo dados para o estudo de concepção do SAA.

Nessa etapa também serão realizadas visitas de campo e obtidos dados com o prestador do serviço de abastecimento de água, objetivando identificar a localização e conhecer:

- a) o número, tipo (superficial ou subterrânea) e capacidade das unidade de captação de água bruta;

- b) o número, estado, diâmetro, extensão e material das adutoras;
- c) o número, tipo e capacidade dos conjuntos motor e bomba (CMBs) das estações de bombeamento;
- d) o tipo, capacidade e componentes das estações de tratamento de água;
- e) o número e capacidade das unidades de reservação (apoiada e elevada);
- f) a área de atendimento da rede de distribuição de água

Ainda serão avaliadas as práticas adotadas de controle do abastecimento de água. Para isso, será verificada a ocorrência de monitoramento dos parâmetros hidráulicos nas unidades do SAA pela prestadora de serviço, caso essa prática exista no SAA, serão levantados dados de pressão de água na rede e de vazões de água macromedidas e micromedidas. Esses dados serão sistematizados para o diagnóstico operacional do abastecimento de água.

Além das características operacionais das unidades do SAA, também serão pesquisadas informações gerenciais e administrativas do SAA, como: o número de economias ativas e inativas no SAA, a forma de cobrança pelo uso de água, a forma de identificação dos vazamentos e danificações da rede, a frequência de reparos, os valores de consumo de energia elétrica e os valores de faturamento, arrecadação e das despesas do SAA.

Os dados específicos das despesas de energia elétrica serão obtidos nas faturas de energia elétrica da concessionária, sendo as outras despesas levantadas com a Prefeitura do Município. Essas informações serão importantes para avaliação da atual sustentabilidade do SAA do município de Santa Izabel do Pará.

Com essas informações, será possível analisar o cenário atual do desempenho operacional e da sustentabilidade econômica do SAA da sede do município de Santa Izabel do Pará. Além disso, essas informações servirão como referencial para o estudo e proposta de concepção do SAA.

#### 4.3. ETAPA 2: ESTUDAR ALTERNATIVA DE CONCEPÇÃO DO SAA

Nessa etapa será estudada alternativa de concepção do SAA, observando o arranjo de unidades em função das recomendações da ABNT NBR 12.211/1992 - Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água.

Nesse estudo, serão determinadas as áreas para a setorização do abastecimento de água da sede do município, a fim de organizar a prestação desse serviço. Para isso, serão levantadas as plantas da área urbana do município, as plantas topográficas e a densidade demográfica. A delimitação das áreas dos setores levará em consideração a atual configuração do SAA na tentativa de aproveitar, na proposta da nova concepção, as atuais instalações do sistema, como os reservatórios, unidades de captação e as estações elevatórias.

Em seguida, será elaborada planta com o arranjo das unidades na nova área proposta para o abastecimento de água, sendo, então, realizada projeção populacional para horizonte de 20 anos da população urbana do município. Em seguida será calculada a demanda futura de água do SAA e de cada setor de abastecimento.

Essas informações serão importantes na sugestão de localização das unidades do SAA e no dimensionamento dos conjuntos motor e bomba e das unidades de reservação do SAA. Vale ressaltar que no dimensionamento dessas unidades será adotado o critério de paralisação do bombeamento de água nas três horas do horário de ponta do setor elétrico. Para isso, será utilizada a adaptação dos volumes diferenciais com a anulação do bombeamento de água no horário de ponta. Na concepção proposta será considerada a seguinte sequência de unidades para o SAA:

- 1) de captação de água subterrânea;
- 2) de adução de água bruta;
- 3) de tratamento de água;
- 4) de bombeamento de água;
- 5) de reservação de água;
- 6) de distribuição de água.

Caso sejam previstos mais de um setor de abastecimento de água, esses deverão ser independentes e tendo, cada um, as unidades acima listadas, para que a operação ocorra de forma isolada.

Também serão determinados os pontos de instalação dos equipamentos de monitoramento permanente e os pontos de acesso para monitoramentos temporários dos parâmetros hidráulicos, a fim de possibilitar o controle e o gerenciamento do abastecimento de água.

Por fim, será criado o mapa do SAA na sede, identificando o arranjo da concepção no território do município de Santa Izabel do Pará.

#### 4.4. ETAPA 3: SIMULAR E ANALISAR O DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO NA PROPOSTA DE CONCEÇÃO DO SAA

Nessa etapa serão inseridas as informações da concepção proposta do SAA no software Epanet 2.0, para simular e identificar o consumo e a despesa de energia elétrica decorrentes da operação na concepção proposta para o abastecimento de água. Para isso, serão registrados os seguintes dados no software Epanet 2.0:

- a) Cota das unidades do SAA;
- b) Localização dos reservatórios;
- c) Volume dos reservatórios
- d) Comprimentos e diâmetros das tubulações;
- e) Coeficiente de perda de carga localizada;
- f) Dados dos conjuntos motor e bomba;
- g) Dados de consumo dos setores;
- h) Programação de controle de otimização da operação dos CMBs;
- i) Hidrograma de consumo de água;

Na realização das simulações será considerada a variação da demanda diária de água da população futura em nó específico no(s) setor(es), sendo utilizado o hidrograma de vazão diária de água (24 horas) obtido nas etapas anteriores e definida rotina operacional dos conjuntos motor e bomba das estações elevatórias de água e dos reservatórios (apoiado e elevado) de água. Também na simulação serão registrados os valores horários de consumo de energia elétrica.

Com isso, na simulação serão obtidos os dados de consumo e calculada a despesa de energia elétrica da operação na concepção proposta, os quais serão sistematizados em tabelas e gráficos, para posterior comparação com os resultados obtidos na Etapa 1.

## 5. RESULTADOS ESPERADOS

A realização deste trabalho irá contribuir para o conhecimento do atual estado gerencial e operacional do abastecimento de água da área urbana do município de Santa



## REFERÊNCIAS

- ANA. Atlas Brasil. **Abastecimento Urbano de Água**. Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>>. Acesso em: 03 abr. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12211. Estudo de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12217. Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12218 - projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, 1994.
- BAGGIO, Adelar Francisco; LAMPERT, Amauri Luis. **Planejamento organizacional**. Ijuí : Ed. Unijuí, 2010. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/162>>. Acesso em: 19 abr. 2018.
- BARRY, Judith. Watergy: Energy and Water Efficiency in Water Supply and Wastewater Treatment. Wasington, D.C.: Allianceto Save Energy. 2007. Disponível em: <<https://www.pseau.org/outils/biblio/resume.php?d=6511>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- BELÉM. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém – Pará**. Concepção Técnica e Proposições. Belém. 2014. v. 1. Disponível em: <[http://www.belem.pa.gov.br/amae/wp-content/uploads/2014/09/PMSB-Bel%C3%A9m-PA\\_Volume-I2.pdf](http://www.belem.pa.gov.br/amae/wp-content/uploads/2014/09/PMSB-Bel%C3%A9m-PA_Volume-I2.pdf)>. Acesso: Acesso em: 04 abr. 2018.
- BERTOLO, Reginaldo et al. Água subterrânea para abastecimento público na Região Metropolitana de São Paulo: é possível utilizá-la em larga escala? **Revista DAE**, São Paulo, n. 199, p. 6-17, mai./ago. 2015. Disponível em: <<http://revistadae.com.br/downloads/edicoes/Revista-DAE-199.pdf>>. Acesso: Acesso em: 03 abr. 2018.
- BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. **Perdas de água: tecnologia de controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.
- BIASUTTI, Saulo. **Indicadores de perdas para serviços de abastecimento de água: padronização e limitações da aplicação no Brasil**. 2016. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Orientação de Edumar Ramos Cabral Coelho. Disponível em: <[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_10185\\_DIS%20SAULO%20BIASUTTI.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_10185_DIS%20SAULO%20BIASUTTI.pdf)>. Acesso em: 13 mai. 2018.
- BORJA, Patrícia Campos. Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira. **Saude soc**. São Paulo, v. 23, n. 2, p. 432-447, jun. 2014. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-12902014000200432&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-12902014000200432&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em: 01 mai. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-12902014000200007>.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 28 mar. 2018.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm)>. Acesso em: 28 mar. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Gestão econômico-financeira no setor de saneamento - Funasa / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 2. ed. Brasília : Funasa, 2014. Disponível em: <[http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/gestao\\_economico\\_financeira\\_setor\\_saneamento\\_2\\_ed.pdf](http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/gestao_economico_financeira_setor_saneamento_2_ed.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energias. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%Aancia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

BRITO, Luana Paula Gentil de; CAVENAGHI, Suzana; JANNUZZI, Paulo de Martino. Estimativas e projeções populacionais para pequenos domínios: uma avaliação da precisão para municípios do Rio de Janeiro em 2000 e 2007. **Rev. bras. estud. popul.**, São Paulo, v.27, n.1, p.35-57, jun. 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-30982010000100004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-30982010000100004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 02 mai. 2018.

BUREK, Peter et al. Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report). **IIASA Working Paper**. Laxenburg, Austria: IIASA, 2016. Disponível em: <<http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

BUZOLIN JUNIOR, Oswaldo; BARBOSA, Paulo Sérgio Franco; DEANTONI, Victor de Barros. Variáveis relativas a eficiência energética em estações elevatórias de água. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**. v.12, p. 15-30. 2016. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2017/01/Vari%C3%A1veis-relativas-a-efici%C3%Aancia-energ%C3%A9tica-em-esta%C3%A7%C3%B5es-elevat%C3%B3rias-de-%C3%A1gua.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

CALVO, Maria Cristina Marino et al. Estratificação de municípios brasileiros para avaliação de desempenho em saúde. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 767-776, out./dez. 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ress/v25n4/2237-9622-ress-25-04-00767.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

CASTEJON, Rosana. A pertinência do planejamento estratégico para os gestores. **REA - Revista Eletrônica de Administração**, Franca. v. 4, n. 1, artigo 2, jan./jun. 2005. Disponível em: <<http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea/article/view/186/38>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

CAVALCANTI, Clóvis. **Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? Uma abordagem ecológica-econômica.** São Paulo. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142012000100004>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

CHARALAMBOUS, B.; FOUFEAS, D.; PETROULIAS, N.. Leak detection and water loss management. **Water Utility Journal.** p.25-30. 2014. Disponível em: <[http://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ\\_2014\\_08\\_03.pdf](http://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2014_08_03.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2018.

DANTAS, Maria da Paz; GONÇALVES, Elton; MACHADO, Miguel Ribeiro. Setorização de Redes de Distribuição de Água e Controle de pressão voltados para controle de perdas. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. **Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio.** Rio de Janeiro, ABES, 1999. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20//ii-087.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

DIRECCIÓN DE IGENIERÍA SANITARIA, SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA. **Manual de saneamiento: vivienda, agua y desechos.** México: Limusa, 1980. Disponível em: <<http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc15143/doc15143.htm>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

FONTANA, Nicola; GIUGNI, Maurizio; PORTOLANO, Davide. Losses reduction and energy production in water-distribution networks. **Journal of Water Resources Planning and Management,** v.138, n. 3, p. 237-244, 2012.

GUPPY, Lisa; ANDERSON, Kelsey e col. Global water crisis: the facts. United Nations University. 2017. Disponível em: <<http://inweh.unu.edu/wp-content/uploads/2017/11/Global-Water-Crisis-The-Facts.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2018.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (Org.) **Abastecimento de água para consumo humano.** 3 ed. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2010. 1v.

HERRERA, Manuel et al. Predictive models for forecasting hourly urban water demand. **Journal of Hydrology.** v.387, p.141-150, jun. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.005>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

GASTMANS, Didier et al. Caracterização de incrustações em equipamentos de bombeamento e tubulações instalados em poços tubulares profundos – estudo de caso. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.** 2004. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23387/15477>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistema de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias.** 3 ed. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2009.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistema de Bombeamento: Eficiência Energética.** João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2012. p 439.

GONÇALVES, Elton; LIMA, Celso Vieira. Controle de pressões e operação de válvulas reguladoras de pressão. **Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água.** Brasília: SNSA, 2007.

GONÇALVES, Ricardo Franci; JORDÃO, Eduardo Pacheco; JANUZZI, Gilberto. Introdução. In: GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.). **Uso Racional de Água e Energia - Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água: Projeto PROSAB, Edital 5.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

GLEICK, Peter H. A Look at Twenty-first Century Water Resources Development. **Water International**, v.25 p.127-138, jan. 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02508060008686804>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

HAMDI, Mohamed et al. Hydrogeochemical and isotopic investigation and water quality assessment of groundwater in the Sisseb El Alem Nadhour Saouaf aquifer (SANS), northeastern Tunisia, **Journal of African Earth Sciences**. v.141, p.148-163, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X17304600>>. Acesso em: 09 mai. 2018.

HUFFNER, João Gabriel Pinheiro. Inventário da Oferta Turística de Santa Izabel do Pará. Secretária de Estado de Turismo do Pará (SETUR), 2014. Disponível em: <<http://www.setur.pa.gov.br/sites/default/files/pdf/iotsantaizabel.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Área da unidade territorial: Área territorial brasileira. Rio de Janeiro, 2017c. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santa-izabel-do-para/panorama>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação. Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100643.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Estimativas Populacionais, 2017b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santa-izabel-do-para/panorama>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Indicadores Sociais Municipais: uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, n. 28, 2011. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv54598.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Regiões de influência das cidades 2007. Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: 2008. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/\\_arquivos/regic\\_28.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/regic_28.pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2018.

KINGDOM, Bill; LIEMBERGER, Roland e MARIN, Philippe. The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries – How the Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting. Washington, DC: Banco Mundial. 2006. Disponível em: <<https://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/WSS8fin4.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

KOTLER, Philip; ARMSTRONG, Gary. **Principios de Marketing**. 12. Ed. Madrid: Pearson Educación, S.A. 2008.

KOZŁOWSKI, Edward et al. Water demand forecasting by trend and harmonic analysis. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**. v.18, p.140-148, jan. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1644966517300699?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

LIU, Jian et al. Sustainability in hydropower development – A case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.19. 2013. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211200648X>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

LUZ, Emanuel et al. **Economia de Energia no Sistema de Abastecimento de Água: Uma Abordagem Usando Algoritmos Genéticos**. Natal: DINCON, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.5540/03.2016.004.01.0108>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

MORAIS, Danielle Costa; CAVALCANTE, Cristiano A. Virgínio; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro ,v.30, n.1, p.15-32. jan./abr. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382010000100002>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

MOREIRA, F. N. C. **Dimensionamento do Volume Útil de Reservação de água Considerando o Consumo de Energia Elétrica no Horário de Ponta do Setor Elétrico**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Orientação de José Almir Rodrigues Pereira.

MORUZZI, Rodrigo Braga et al. Caracterização química e mineralógica da incrustação em rede de ferro fundido e potencial de recuperação da capacidade hidráulica. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro , v.17, n.3, p 305-314, set. 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522012000300007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522012000300007&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 10 mai. 2018.

MOTTA, Renato Gonçalves da. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010. Orientação de Podalyro Amaral de Souza. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-18082010-171334/en.php>>. Acesso em: 11 mai. 2018.

PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente e Agua**. Taubaté, v.12, n.3, p.435-456, mai/jun. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v12n3/1980-993X-ambiagua-12-03-00435.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2018.

PRESTON, S. H.; HEUVELINE, P.; GUILLOT, M. *Demography: measuring and modeling population processes*. Oxford: Blackwell, 2001.

PROCEL INFO. **PROCEL SANEAR - Eficiência Energética no Saneamento Ambiental**. 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6D82CF76DD284E7B8A607F31CB419A79PTBRIE.htm>>. Acesso em: 06 abr. 2018.

RAMOS, Sandra Martins; GIUSTI, Donizeti Antonio; ROSA FILHO, Ernani Francisco da. Influência da geologia local no quimismo de águas superficiais e de sedimentos fluviais. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos Anais. São Paulo. 2015. Disponível em: <[http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-479\\_influencia-da-geologia-local-no-quimismo-de-aguas-superficiais-e-de-sedimentos-fluviais](http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-479_influencia-da-geologia-local-no-quimismo-de-aguas-superficiais-e-de-sedimentos-fluviais)>. Acesso em: 09 de mai. de 2018.

REGO, Augusto da Gama et al. Evaluation of sustainability in the use of water within the Amazon deforestation area: a case study in Rondon do Pará, Pará State, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v.35, n.2, p.237-245, abr./jun. 2013. Disponível em:

<<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/13820/pdf>>. Acesso em: 18 de mai. de 2018.

SANTOS, Aline Christian Pimentel Almeida; PEREIRA, José Almir Rodrigues. SIG no gerenciamento de SAAS. **Revista DAE**. mai./ago. 2016. Disponível em: <[http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_202\\_n\\_1641.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_202_n_1641.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2018.

SANTOS, Aline Christian Pimentel Almeida. **Desenvolvimento de Modelo de Sistema de Informações Geográficas para Avaliação da Eficiência Hidroenergética em Sistema de Abastecimento de Água**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. Orientação de José Almir Rodrigues Pereira. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7585>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

SAMIR, Nourhan et al. Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. **Alexandria Engineering Journal**. v.56, p.601-612. 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016817302363>>. Acesso em: 07 mai. 2018.

SANTOS, Layara de Paula Sousa; SOARES; Alexandre Kepler; SILVA; Sérgio Soares da. Eficiência hidroenergética em sistemas de distribuição de água: uma discussão teórica. **XIV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental**. Brasília. 2016. Disponível em: <<http://soac.unb.br/index.php/ENEEAmb/ENEEAmb2016/paper/viewFile/4842/1201>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

SARZEDAS, Guaraci Loureiro. **Planejamento para a substituição de tubulação em sistemas de abastecimento de água. Aplicação na rede de distribuição de água da região metropolitana de São Paulo**. 2009. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Orientação de Milton Tomoyuki Tsutiya. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-20072009-144606/pt-br.php>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

SILVA, Ricardo Toledo; PORTO, Monica Ferreira do Amaral. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.17, n.47, jan./apr. 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142003000100007>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

SOUZA JÚNIOR, José do Carmo de. **Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água**. 2014. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Orientação de Paulo Vatauvuk. 2014. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257966/1/SouzaJunior\\_JosedoCarmode\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257966/1/SouzaJunior_JosedoCarmode_M.pdf)>. Acesso em: 14 mai. 2018

SPERLING, Eduardo Von. Hydropower in Brazil: Overview of positive and negative environmental aspects. **Energy Procedia**, n.18, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021200793X>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

STAMM, Cristiano et al. A população urbana e a difusão das cidades de porte médio no Brasil. **Interações (Campo Grande)**. v. 14, n. 2, p.251-265, jul./dez. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1518-70122013000200011>>. Acesso: Acesso em: 04 abr. 2018.

STAVENHAGEN, Martin; BUURMAN, Joost; TORTAJADA, Cecilia. Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. **Cities**. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275117307655?via%3Dihub>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de água. 4. ed. Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248, 2017. Disponível em: <[https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017\\_KeyFindings.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2018.

VELOSO, Tomás Pinheiro. **Avaliação de perdas de água do sistema de abastecimento de água da COSANPA, na Região Metropolitana de Belém-Pa**. 2006. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006. Orientação de Ana Rosa Baganha Barp. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/1667>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

VILLAR, Pilar Carolina. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v.19, n.1, p.83-102, jan./mar. 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/pt\\_1809-4422-asoc-19-01-00085.pdf](http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/pt_1809-4422-asoc-19-01-00085.pdf)>. Acesso em: 03 abr. 2018.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

WADA, Yoshihide et al. Modelling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WfS) initiative and its approaches. **Geoscientific Model Development**. 2016. v. 9, p. 175–222. Disponível em: <<https://www.geosci-model-dev.net/9/175/2016/gmd-9-175-2016.html>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

WATER AUTHORITIES ASSOCIATION AND WATER RESEARCH CENTRE. Leakage Control Policy and Practice. Technical Working Group on Waste of Water. Department of the Environment. London: National Water Council, 1980. Disponível em: <<http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/dwi0190.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

YOSHIMOTO, Paulo Massato; TARDELLI FILHO, Jairo; SARZEDAS, Guaraci Loreiro. Controle da pressão na rede. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA). Documentos técnicos de apoio. Brasília, 1999.

ZHOU, Senlin et al. Forecasting operational demand for an urban water supply zone. **Journal of Hydrology**. v. 259, p.189-202, mar. 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00582-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00582-0)>. Acesso em: 11 abr. 2018.

**ANEXO**

## Anexo A – Conceitos do balanço hídrico proposto pela IWA

**Volume de entrada no sistema:** é o volume de água introduzido anualmente ao SAA, ao setor ou ao trecho específico do sistema em que se deseja realizar o estudo de balanço hídrico;

**Consumo autorizado:** corresponde ao volume de água medido e não medido fornecido aos consumidores cadastrados na companhia responsável pela prestação de serviço de abastecimento de água e ao volume de água destinado aos usuários com consumo autorizados pela concessionária;

**Perdas de água:** é o volume referente à diferença entre o volume de entrada no sistema e o consumo autorizado. É composto pelas perdas reais e aparentes;

**Consumo autorizado faturado:** é referente ao volume de água que gera receita à companhia de abastecimento de água, sendo também identificado como a somatória dos volumes de água apresentados nas contas emitidas aos consumidores do sistema. Esse volume é composto pelos consumos faturados medidos e pelos volumes faturados não medido ou estimado;

**Consumo autorizado não faturado:** é referente ao volume de água que é consumido e, apesar de não gerar receita para a companhia de abastecimento de água, tem seu uso permitido. Corresponde a volumes medidos (uso administrativo da companhia, fornecimento a caminhões pipa) e não medido (uso em combate a incêndio, lavagem de vias públicas, lavagem de reservatórios);

**Perdas aparentes:** é correspondente ao volume de água que é consumido pelos clientes da concessionária de abastecimento de água, no entanto não são contabilizados e não geram receita. Esse volume é associado aos erros de medição, às fraudes e às falhas no cadastro pela companhia de abastecimento;

**Perdas físicas:** Corresponde aos volumes de água perdidos por vazamento de tubulações e de seus acessórios (juntas, flanges, registros, ventosas), em extravasamentos e vazamentos de unidades de reservação, desde a entrada do sistema (ou do trecho do sistema em estudo) até o ponto de medição do cliente;

**Consumo faturado medido:** é referente ao volume de água passivo de gerar receita à concessionária, que é medido ao ser entregue ao cliente;

**Consumo autorizado não faturado:** é referente ao volume de água que se estima ter sido entregue ao cliente, esse volume gera receita à concessionária;

**Consumo não faturado medido:** é a parcela de água consumida que é medida e autorizada, porém a companhia não recebe por prestar esse serviço;

**Consumo não faturado não medido:** corresponde ao volume de água consumido que não é medida e que não gera receita para a companhia, porém é autorizado;

**Uso não autorizado:** é referente ao volume de água fraudado no sistema de abastecimento ou ao volume de água que é consumido, mas que não é cobrado devido falhas de cadastro de água, portanto não gerando receita à concessionária de abastecimento de água;

**Erros de medição:** é referente à parcela das perdas aparentes decorrente das imprecisões de medição dos volumes de água disponibilizados aos consumidores;

**Vazamento nas tubulações de água bruta e no tratamento:** é correspondente ao volume de água perdido na captação, por vazamentos na adução de água bruta e ao volume de água perdido e utilizado nos processos da unidade de tratamento de água;

**Vazamentos no sistema de adução e/ou distribuição:** corresponde ao volume perdido por vazamento de água ou rompimento nas adutoras e subadutoras que transportam água até os setores de abastecimento e ao volume de água perdido por vazamento de água na rede de distribuição;

**Vazamento ou extravasamento nos reservatórios:** referente aos volumes perdidos nas unidades de reservação devido falhas nos comandos de controle de nível dos reservatórios ou pela sua total ausência, bem como por estrutura danificada dos reservatórios que ocasionam vazamentos de água;

**Vazamentos nos ramais (montante do ponto de medição):** referente ao volume de água perdido a montante dos pontos de medição de vazão nos ramais;

**Água faturada:** é referente à parcela do volume de água autorizado que gera receita à concessionária de abastecimento de água;

**Água não faturada:** referente a todo o volume de água que é inserido ao sistema e que não gera receita à concessionária de abastecimento de água.