



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUA POTÁVEL NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE/MG**

**IGOR FERNANDES RIBAS**

**BELO HORIZONTE**

**2021**

**IGOR FERNANDES RIBAS**

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUA POTÁVEL NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. MSc. Túlio César Floripes Gonçalves

**BELO HORIZONTE**

2021



ATA Nº 21/2021 - DCTA (11.55.03)

Nº do Protocolo: 23062.040515/2021-56

Belo Horizonte-MG, 14 de setembro de 2021.

**IGOR FERNANDES RIBAS**

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA  
POTÁVEL NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE/MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 06 de setembro de 2021

Banca examinadora:

---

Túlio Cesar Floripes Gonçalves - Presidente da Banca Examinadora

Prof. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, CEFET/MG - Orientador

---

Frederico Keizo Odan

Prof. Doutor em Hidráulica e Saneamento, CEFET/MG.

---

Luciana Peixoto Amaral

Profa. Doutora em Hidráulica e Saneamento, CEFET/MG

*(Assinado digitalmente em 15/09/2021 07:46)*

FREDERICO KEIZO ODAN

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

DCTA (11.55.03)

Matricula: 2092847

*(Assinado digitalmente em 15/09/2021 08:57)*

LUCIANA PEIXOTO AMARAL

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

DCTA (11.55.03)

Matricula: 1808233

*(Assinado digitalmente em 14/09/2021 13:15)*

TULIO CESAR FLORIPES GONCALVES

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

DCTA (11.55.03)

Matricula: 1275425

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **21**, ano: **2021**, tipo: **ATA**, data de emissão: **14/09/2021** e o código de verificação: **92b012d2b2**

## RESUMO

RIBAS, Igor Fernandes. **Análise da Evolução do Índice de Perdas na Distribuição de Água Potável no Município de Belo Horizonte/MG**. 64 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

A disponibilidade hídrica é uma questão de saúde pública e sustentabilidade ambiental, mesmo que o Brasil detenha uma das maiores reservas hídricas do planeta, problemas como desabastecimento e escassez hídrica tem se apresentado como recorrentes, desta forma é essencial avaliar a evolução dos índices de perda de água em um sistema. As perdas de água atuam como parâmetro essencial na avaliação da eficiência de um SAA – Sistema de Abastecimento de Água. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo analisar a evolução do índice de perdas de água potável para o município de Belo Horizonte. Para possibilitar o desenvolvimento da pesquisa, dados secundários foram extraídos do SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento para analisar o comportamento dos índices ao longo da série histórica, e, a partir de uma previsão dos índices de perda na distribuição e perda no faturamento analisar as tendências para os anos subsequentes. Foram também calculados os indicadores ITPR - Indicador Técnico de Perdas Reais, MPRI - Média de Perdas Reais Inevitáveis, IVI – Índice de Vazamento na Infraestrutura e PRPR - Potencial de Recuperação de Perdas Reais que corroboraram para a avaliação das perdas de água segundo uma metodologia alternativa. Com a análise dos resultados, foi possível constatar que o sistema de abastecimento de água de Belo Horizonte encontra-se em uma situação de alerta, com índices de perdas de água elevados, tendências de crescimento preocupantes para os anos subsequentes e com necessidade de intervenções com propósito de reduzir os índices de perdas.

Palavras-Chaves: Perdas de água. Sistema de Abastecimento de Água. Índices.

## **ABSTRACT**

RIBAS, Igor Fernandes. **Analysis of the Loss Index Evolution of the Potable Water Distribution in the Municipality of Belo Horizonte / MG**. 64 pages. Monograph (Graduate in Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

Water availability is a matter of public health and environmental sustainability. Even though Brazil has one of the largest water reserves on the planet, there has been recurrent water shortage and scarcity, so it is important to assess the evolution of water loss rates in a system. Water losses act as an essential parameter in evaluating the efficiency of a SAA - Water Supply System. Thus this study aimed to evaluate the evolution of the rate of potable water losses for the city of Belo Horizonte. To enable the development of the research, secondary data were extracted from the SNIS - National Sanitation Information System to analyze the behavior of the index along the historical series, and based on a forecast of loss in the distribution and invoice loss index, to analyse the trends for the subsequent years. The indicators ITPR - Technical Indicator of Real Losses, MPRI - Average of Inevitable Real Losses, IVI - Index of Leakage in Infrastructure and PRPR - Potential for Recovery of Real Losses were also calculated, which corroborated the evaluation of water losses according to an alternative methodology. With the analysis of the results, it was possible to verify that the water supply system in Belo Horizonte is in an alert situation, with high rates of water loss, with worrying growth trends for the subsequent years and with a need for resources with purpose of reducing loss rates.

Keywords: Water losses. Water supply system. Indexes.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Sistemas de Abastecimento de Água</b> .....	<b>13</b>
3.1.1	<i>Captação</i> .....	13
3.1.2	<i>Adutoras</i> .....	14
3.1.3	<i>Estações Elevatórias</i> .....	14
3.1.4	<i>Estação de Tratamento de Água</i> .....	14
3.1.5	<i>Reservação</i> .....	14
3.1.6	<i>Rede de Distribuição</i> .....	15
<b>3.2</b>	<b>Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água</b> .....	<b>15</b>
3.2.1	<i>Perdas Reais</i> .....	16
3.2.2	<i>Perdas Aparentes</i> .....	19
<b>3.3</b>	<b>Índices de Perdas de Água</b> .....	<b>21</b>
3.3.1	<i>Base de Dados</i> .....	21
3.3.2	<i>Índices de Perdas</i> .....	21
<b>3.4</b>	<b>Gestão das Perdas</b> .....	<b>23</b>
<b>3.5</b>	<b>Legislações Pertinentes</b> .....	<b>28</b>
3.5.1	<i>Lei Federal Nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007</i> .....	28
3.5.2	<i>Lei Federal Nº. 14.026, de 15 de julho de 2020</i> .....	28
3.5.3	<i>Portaria Nº 490, de 22 de março de 2021</i> .....	29
3.5.4	<i>Lei Federal Nº. 9.984, de 17 de julho de 2000</i> .....	30
3.5.5	<i>Lei Estadual Nº. 11.720, de 28 de dezembro de 1994</i> .....	30
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da Área de Estudo</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2</b>	<b>Levantamento e Análise de Dados</b> .....	<b>33</b>
4.2.1	<i>Índice de Perdas na Distribuição</i> .....	34
4.2.2	<i>Índice de Perdas por Ligação</i> .....	35
4.2.3	<i>Índice de Perdas no Faturamento</i> .....	35
<b>4.3</b>	<b>Estimativa do Volume Produzido</b> .....	<b>35</b>
4.3.1	<i>Estimativa do Volume de Água Tratada Importado</i> .....	37
4.3.2	<i>Estimativa do Volume de Serviço</i> .....	37

	4.3.3	<i>Estimativa do Volume de Água Consumido</i> .....	37
<b>MG</b>	<b>4.4</b>	<b>Cálculo dos Índices de Perdas de Água Segundo Metodologia da COPASA-40</b>	
	4.4.1	<i>Indicador Técnico de Perdas Reais (ITPR)</i> .....	40
	4.4.2	<i>Média de Perdas Reais Inevitáveis (MPRI)</i> .....	41
	4.4.3	<i>Índice de Vazamento na Infraestrutura (IVI)</i> .....	41
	4.4.4	<i>Potencial de Recuperação de Perdas Reais (PRPR)</i> .....	42
	<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>43</b>
	<b>5.1</b>	<b>Índice de Perdas na Distribuição</b> .....	<b>43</b>
	<b>5.2</b>	<b>Índice de Perdas no Faturamento</b> .....	<b>44</b>
	<b>5.3</b>	<b>Índice de Perdas por Ligação</b> .....	<b>46</b>
	<b>5.4</b>	<b>Metas de Redução Previstas pela Portaria N°490, de 22 de março de 2021</b>	<b>47</b>
	<b>5.5</b>	<b>Análise Quantitativa dos Impactos Oriundos da Portaria N°490, de 22 de março de 2021</b> .....	<b>48</b>
	5.5.1	<i>Previsão Populacional</i> .....	48
	5.5.2	<i>Avaliação dos Impactos</i> .....	49
	<b>5.6</b>	<b>Indicador Técnico de Perdas Reais (ITPR)</b> .....	<b>51</b>
	<b>5.7</b>	<b>Média de Perdas Reais Inevitáveis (MPRI)</b> .....	<b>52</b>
	<b>5.8</b>	<b>Índice de Vazamento na Infraestrutura (IVI)</b> .....	<b>53</b>
	<b>5.9</b>	<b>Potencial de Recuperação de Perdas Reais (PRPR)</b> .....	<b>54</b>
	<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>56</b>
	<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>58</b>
		<b>GLOSSÁRIO</b> .....	<b>63</b>
		<b>APÊNDICE A: DADOS UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DO VOLUME PRODUZIDO</b> .....	<b>64</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica no planeta é de aproximadamente 97,4% de água salgada e 2,6% de água doce, sendo essa parcela subdividida em 2% oriunda de galerias polares e glaciais, 0,29% correspondente a água doce subterrânea, 0,3% água doce profunda e por fim 0,01% água doce superficial (COPASA, 2021). Além disso, sabe-se que a distribuição deste bem, dito finito e essencial à sadia qualidade de vida, não é uniforme no globo sendo que 27% está locada na América do Sul, 26% na Ásia, 17% na América do Norte, 15% na Europa, 9% na África, 4% na Oceania e 2% na América Central (ECO 21, 2009).

O uso racional da água torna-se essencial devido a desuniformidade na distribuição e na disponibilidade deste recurso no planeta. A distribuição desuniforme aliada ao aumento exponencial do consumismo mundial, fatalmente está nos conduzindo para um colapso ambiental (UNESCO, 2020). A redução da disponibilidade de água potável é um passivo ambiental de extrema relevância socioambiental, cujos impactos apresentam uma tendência de crescimento potencializados em virtude das desigualdades sociais, da falta de manejo e do uso irracional dos recursos naturais (CERQUEIRA, 2013).

Este bem para tornar-se próprio para o consumo humano precisa passar por um processo de purificação, para assim ser disponibilizado para à população. Os sistemas de abastecimento de água (SAAs) apresentam como propósito fornecer à população água potável em quantidade e qualidade suficientes para atenderem às suas necessidades (VIANNA, 2007). De forma geral, um SAA é constituído pelas etapas de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição, sendo que, principalmente nesta última fase, ocorrem as perdas de água em maior proporção. De acordo com o manual do “Programa de Redução de Perda de Água” da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, as perdas de água nos SAAs são quantificadas pela diferença entre o volume total de água captada e a soma dos volumes obtidos pela aferição dos hidrômetros (COPASA, 2003).

Os SAAs apresentam deficiências nos sistemas de produção, no sistema de reservação e distribuição de água potável, sejam elas construtivas, estruturais, gerenciais e/ou produtivas. Nesse sentido, grandes volumes de água são desperdiçados todos os dias, sejam essas perdas oriundas do processo de retrolavagem dos filtros, vazamentos, condições precárias das tubulações de recalque, furtos e/ou ligações clandestinas, tornando, desta forma, o processo mais oneroso e exigindo maiores gastos das concessionárias com manutenção, energia elétrica,

insumos e mão de obra (CERQUEIRA, 2013). As perdas de água além de provocar aumento das despesas, contribuem para aumentar a escassez deste recurso natural essencial à sadia qualidade de vida, uma vez que maiores volumes de água deverão ser captados para suprir as demandas do sistema de abastecimento de água.

Conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2019), o índice médio aproximado de perdas de água no país em 2018 foi em torno de 39%, fator esse preponderante para inferir a ineficiência geral do processo de distribuição de água, visto que sistemas que operam com elevados índices de perdas apresentam redução do faturamento, possibilidade de deterioração da qualidade da água e contribuem para aumentar a escassez do recurso hídrico.

Desta forma, é essencial avaliar quais são as consequências da evolução dos indicadores de perdas de água na distribuição, tendo em vista a relevância do tema abastecimento público para a sociedade, bem como averiguar possíveis intervenções com intuito de otimizar o processo, reduzindo assim os potenciais impactos associados. Conforme preconiza a Constituição Federal:

Art. 225: Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

Portanto, é fundamental o uso racional dos recursos naturais com intuito de promover, perpetuar e difundir o conceito do desenvolvimento sustentável enunciado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1988): “o desenvolvimento que atende às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades.” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988, p. 46).

Diante do exposto, verifica-se a necessidade de avanços científicos considerando que a redução de perda de água é uma questão de sustentabilidade ambiental e de saúde pública e, apesar do Brasil ser detentor de uma das maiores reservas hídricas do mundo, não significa que o país esteja isento de crises de desabastecimento e escassez de água (CERQUEIRA, 2013).

Segundo Tardelli Filho (2015), no período de 2004 até 2013 houve melhoria nos indicadores de perda, conforme Figura 1.1, extraída do seu estudo, é também percebido desequilíbrios regionais, especialmente na região norte do país com índices de perdas superando os 60% e chegando até os 70% em alguns momentos. Os dados apresentados pelo autor supracitado sugerem a premência de intervenções econômicas, estruturais e científicas em âmbito nacional, com intuito de subsidiar a excelência na produção, reduzindo a diferença entre os volumes produzidos nas ETAs e os volumes medidos nos hidrômetros.

**Figura 1.1** - Indicadores de perdas de faturamento, distribuição e por ligação nos anos de 2004, 2012 e 2013.

Companhia	IN013 - Índice de Perdas de Faturamento (%)			IN049 - Índice de Perdas na Distribuição (%)			IN051 - Índice de Perdas por Ligação (L/lig.dia)		
	2004	2012	2013	2004	2012	2013	2004	2012	2013
AGESPISA - Piauí	52,6	47,0	44,4	63,7	56,5	51,9	634,6	487,2	445,0
CAEMA - Maranhão	62,0	51,1	68,5	57,7	41,7	36,6	801,6	687,8	594,2
CAER - Roraima	57,5	64,5	62,3	52,2	57,0	59,7	717,0	823,3	848,6
CAERD - Rondônia	70,8	59,6	57,0	70,8	59,6	59,4	1.527,0	877,8	838,9
CAERN - R. G. do Norte	40,5	49,3	47,3	54,9	58,6	57,4	580,8	595,0	566,7
CAESA - Amapá	72,8	73,5	76,4	72,8	71,9	76,5	2.190,0	2.184,0	2.756,0
CAESB - Distrito Federal	23,1	22,0	26,9	27,2	23,9	27,3	368,9	261,5	314,2
CAGECE - Ceará	33,4	27,7	23,5	36,7	39,8	37,7	291,3	281,8	248,8
CAGEPA - Paraíba	32,9	41,8	37,3	33,0	39,4	36,4	250,5	334,1	284,8
CASAL - Alagoas	52,1	46,2	66,2	57,9	35,6	48,1	620,6	407,8	658,8
CASAN - Santa Catarina	37,7	25,6	25,8	49,7	37,2	36,1	473,1	330,2	325,7
CEDAE - Rio de Janeiro	49,7	49,7	51,2	49,7	30,5	30,4	1.586,0	651,6	659,6
CESAN - Espírito Santo	33,0	24,7	22,0	45,8	36,0	33,7	680,9	451,9	409,5
COMPESA - Pernambuco	57,5	43,4	40,5	65,9	55,0	53,8	732,6	480,0	443,1
COPANOR - Minas Gerais		30,5	25,4		23,9	23,4		116,0	90,3
COPASA - Minas Gerais	23,9	29,3	29,3	35,4	33,2	33,7	276,6	231,7	233,4
CORSAN - R. G. do Sul	52,9	44,9	52,5	52,6	45,0	38,9	507,6	356,3	349,4
COSAMA - Amazonas		78,1	76,7		62,3	62,4		1.233,0	1.232,0
COSANPA - Pará	47,1	42,4	42,1	47,5	47,8	47,9	525,2	501,4	506,0
DEPASA - Acre	67,4	76,7	55,9	67,4	60,2	55,9	1.140,0	1.193,0	827,5
DESO - Sergipe	42,4	52,5	51,7	49,4	59,9	59,5	472,7	645,0	616,6
EMBASA - Bahia	34,1	26,3	33,0	38,5	39,4	43,0	339,6	274,9	317,9
SABESP - São Paulo	35,8	26,7	25,7	43,1	33,5	32,8	557,2	384,5	368,5
SANEAGO - Goiás	34,5	33,8	33,1	34,5	29,5	28,7	236,1	190,6	178,8
SANEATINS - Tocantins	27,0	24,1	23,9	27,0	35,5	34,6	186,5	223,3	202,7
SANEPAR - Paraná	26,2	21,3	20,8	37,7	33,1	33,4	283,7	236,3	233,4
SANESUL - Mato Grosso do Sul	37,8	28,8	27,8	45,8	36,6	37,1	369,8	258,3	253,1
<b>COMPANHIAS ESTADUAIS</b>	<b>40,1</b>	<b>35,4</b>	<b>36,5</b>	<b>45,6</b>	<b>37,4</b>	<b>37,0</b>	<b>524,1</b>	<b>370,6</b>	<b>364,4</b>
<b>BRASIL</b>	<b>40,4</b>	<b>35,5</b>	<b>36,7</b>		<b>36,9</b>	<b>37,0</b>		<b>368,2</b>	<b>366,9</b>

Nota: As equações dos indicadores de 2004 são as mesmas dos anos 2012 e 2013; porém, há variações na constituição das companhias

Fonte: TARDELLI FILHO (2015).

Nesse sentido, o mesmo autor também avalia a correlação entre as crises hídricas vivenciadas nos últimos anos principalmente no estado de São Paulo com as perdas de água, no qual a operadora de saneamento tem a redução das perdas como uma das atividades operacionais mais frequentes e essenciais assumindo, desta forma, o protagonismo em situações de escassez. Sendo assim, a presente pesquisa tem como tema analisar as perdas de água na distribuição ao longo dos anos, o qual será avaliado para o município de Belo Horizonte, com intuito de verificar os impactos da evolução dos índices de perdas em um SAA.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a evolução dos índices de perdas de água potável para o município de Belo Horizonte.

### **2.2 Objetivos Específicos**

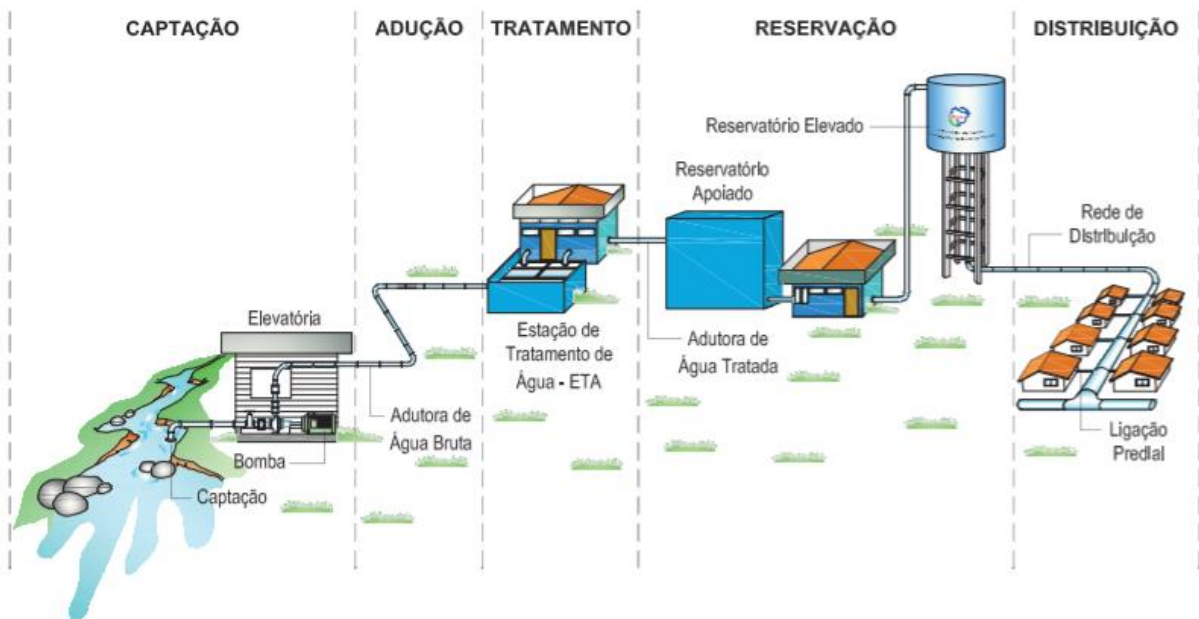
- Analisar a evolução dos índices de perda de água do sistema de abastecimento de água de Belo Horizonte, segundo o comportamento dos índices ao longo dos anos;
- Analisar quantitativamente o impacto da redução do índice de perdas, segundo as metas de redução estipuladas pela legislação vigente, para o sistema de abastecimento de água de Belo Horizonte; e
- Analisar a evolução dos índices de perda de água, a partir de metodologias distintas, com propósito de apresentar um diagnóstico geral do sistema.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Sistemas de Abastecimento de Água

A Portaria do Ministério da Saúde Nº 888, de 4 de maio de 2021, define o sistema de abastecimento de água como sendo uma instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição (BRASIL, 2021). Sendo seu objetivo, segundo Mota (2006), suprir água em quantidade e qualidade necessárias para seus diversos usos, destacando o consumo, a higiene pessoal, o afastamento de dejetos e a lavagem de utensílios, dentre outros. A Figura 3.1 apresenta uma síntese de um sistema de abastecimento de água convencional.

**Figura 3.1** – Unidades de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: BRASIL (2019).

##### 3.1.1 Captação

Segundo a Fundação Nacional de Saúde – FUNASA, a captação é uma estrutura do sistema de abastecimento de água que desempenha a função de captar a água do manancial, sendo a etapa predecessora à adução. Nesta etapa, encontram-se diversos equipamentos eletromecânicos como conjunto “motor-bomba” (BRASIL, 2006).

### *3.1.2 Adutoras*

São as tubulações responsáveis pelo transporte de água entre as partes do sistema de abastecimento de água, predecessoras à rede de distribuição, sendo as subadutoras derivadas das adutoras (TSUTIYA, 2006). Segundo Heller e Pádua (2010), as adutoras são classificadas de acordo com o tipo de água carregada (adutora de água bruta e de água tratada) e pelo modo de condução da água (adutoras por recalque e adução por gravidade).

### *3.1.3 Estações Elevatórias*

As estações elevatórias tem a função de recalcar a água quando não é possível escoá-la por gravidade, podem ser estações elevatórias de água bruta ou tratada. Para a instalação das elevatórias de água bruta, várias características são avaliadas como o nível de água, profundidade, distância até a captação, entre outros aspectos (HELLER E PÁDUA, 2010). Já as elevatórias de água tratada geralmente são instaladas a jusante das estações de tratamento, sendo também possível sua instalação entre reservatórios ou em outro trecho da rede de distribuição (TSUTIYA, 2006).

### *3.1.4 Estação de Tratamento de Água*

A Estação de Tratamento de Água – ETA é a unidade do sistema de abastecimento de água que tem como finalidade garantir os padrões de potabilidade ao consumo humano, de forma a evitar riscos sanitários (HELLER E PÁDUA, 2010).

É importante salientar que o tipo de ETA requerida depende das características das fontes produtoras, da população, da disponibilidade de recursos técnicos e financeiros, e das facilidades de manutenção e operação (MOTA, 2006).

### *3.1.5 Reservação*

Esta unidade é utilizada para reservar a água tendo como finalidade garantir pressões mínimas na rede de distribuição, reservas para eventos críticos no abastecimento e regularização das vazões de adução e distribuição (HELLER E PÁDUA, 2010).

São classificados considerando a sua localização, se está localizado a montante ou jusante; sua disposição no terreno, se é enterrado, semienterrado, apoiado ou elevado; sua forma, se é retangular ou circular; e seu material de construção (concreto armado, aço, alvenaria estrutural, etc) (TSUTIYA, 2006).

### *3.1.6 Rede de Distribuição*

É a etapa final de um sistema de abastecimento de água, sendo formada por tubulações e órgãos acessórios responsáveis por fornecer água à população em regime contínuo (TSUTIYA, 2006). É considerada a mais extensa unidade do sistema de abastecimento, formada por redes de condutos e tubulações responsáveis pela garantia da distribuição de água com qualidade, quantidade e pressão suficientes para atender a população de forma igualitária (HELLER E PÁDUA, 2010).

## **3.2 Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água**

A perda de água inerente aos sistemas de tratamento de água é conceituada pela perspectiva de Tardelli Filho (2015), como a diferença entre a água tratada disponibilizada nas redes de distribuição e a medição de consumo dos clientes. Um percentual elevado de perdas de água, impõe a necessidade da disponibilização de maiores volumes de água para suprir as deficiências do processo. Conseqüentemente, provocando uma redução da oferta de água bruta, que por sua vez contribui para a escassez deste recurso. Tendo em vista o exposto, o controle e gerenciamento de perdas é fundamental (HELLER E PÁDUA, 2010).

Segundo Recesa (2009), as perdas de água ocorrem em todo o sistema desde a captação até a distribuição, sendo as causas e a magnitude distintas em função de cada unidade do sistema. O índice de perdas é considerado como um dos principais indicadores de desempenho operacional das prestadoras de serviço (CERQUEIRA, 2013).

De acordo com dados obtidos pelo Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS), a perda de água média nacional alcançou um percentual de 38,5 % no ano de 2018 (SNIS, 2019). Segundo Correia Jr. E Arnt (2014) países como Alemanha e Japão possuem perdas de água na ordem de 7%, seguidos por Reino Unido e França com perdas de 16% e 26%, respectivamente. Diante destes percentuais, é notável a necessidade de intervenções estruturais e programas de avaliação, controle e redução de perdas contínuos e efetivos.

Segundo Tardelli Filho (2016), independentemente da otimização do sistema de tratamento de água, o cenário no qual as perdas cessam é uma situação utópica, tendo em vista que sempre haverá perdas inevitáveis. As ocorrências dessas perdas são justificadas pela deterioração das tubulações, que, por sua vez, provocam aumento gradativo do número de vazamentos nas redes e nos ramais; hidrômetros em condições impróprias para o uso, que favorecem a submedição;

e, por fim, as fraudes nas ligações, que, em função da impunidade, corroboram para que mais usuários cometam infrações (ABES, 2015).

É importante ressaltar, no entanto, a existência de um limite técnico, valor a partir do qual, não é possível mais aperfeiçoar o sistema devido às perdas inevitáveis. Ademais, deve-se respeitar concomitantemente o limite econômico, que corresponde ao momento em que as ações para redução das perdas se tornam mais onerosas que a etapa de produção, ou mesmo a concepção de um novo sistema produtor de água (TARDELLI FILHO, 2016).

Entretanto, é essencial detalhar a definição de perdas, conforme estabelece a *International Water Association* (IWA) em dois conceitos derivados, as perdas reais e perdas aparentes.

### 3.2.1 Perdas Reais

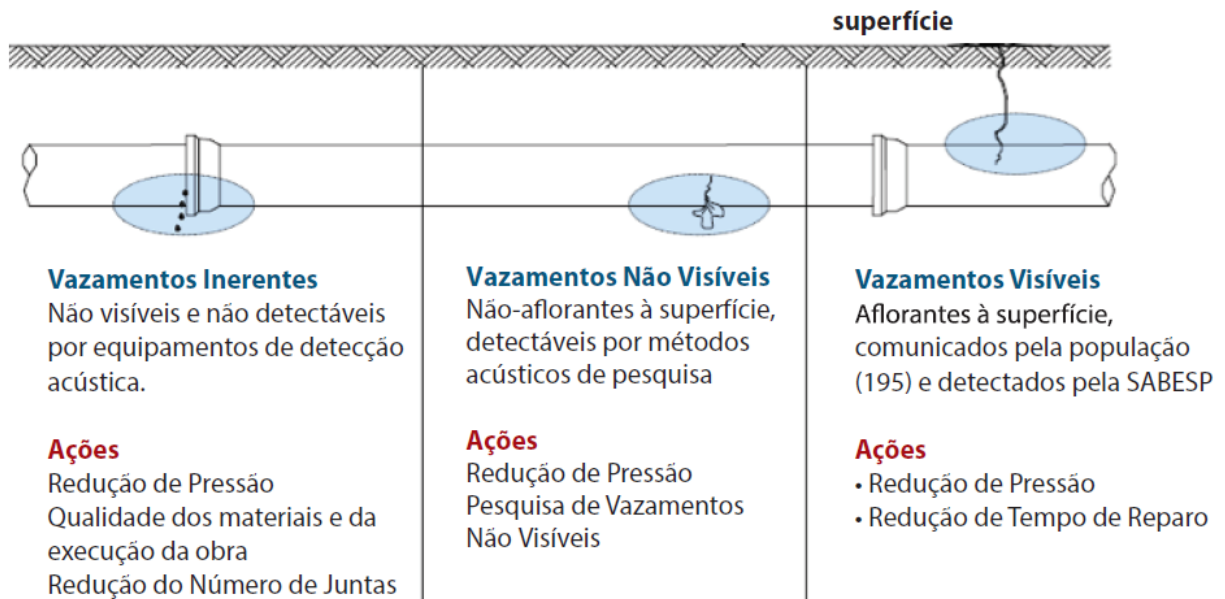
Equivalem à soma dos volumes de água fornecidos ao sistema de abastecimento de água que não são consumidos em função de vazamentos em algumas unidades do SAA. Os vazamentos mais comuns ocorrem nas adutoras, redes de distribuição, cavaletes, estações de tratamento de água e extravasamento de reservatórios (BEZERRA, 2013). Ainda, segundo Bezerra (2013), o maior volume de água perdido em um SAA é proveniente das redes de distribuição e dos ramais prediais.

De acordo com Costa (2009), os vazamentos são decorrentes de alguns fatores como: pressões elevadas e variações bruscas; transientes hidráulicos (decorrentes de manobras de rede); aquisição de materiais de qualidade inferior; obras executadas de forma incorreta; reaterro executado sem realizar a troca do solo ou mesmo baixa compactação; erros de projeto; mão de obra desqualificada; utilização de equipamentos inadequados; falhas de operação e manutenção do sistema; corrosividade do solo e lençol freático; mudança no tipo de tráfego existente; intervenção de terceiros, ou seja, ligações clandestinas, dentre outros.

Os vazamentos, segundo Tardelli Filho (2016), são classificados em três tipos: os inerentes, aqueles não visíveis e não detectáveis por equipamentos sônicos e acústicos; os vazamentos não visíveis, somente detectáveis por métodos de apuração acústica por serem não-aflorantes; e, por fim, os visíveis, aqueles com vazão elevada e aflorantes à superfície, de detecção simples. Na Figura 3.2, os três tipos de vazamentos são esquematizados.



**Figura 3.2** -Tipos de vazamentos e ações de controle.



Fonte: FUNASA (2014).

Dentro da classificação das perdas reais, destacam-se também as perdas operacionais, as quais são oriundas do processo produtivo e dos procedimentos operacionais (WERDINE, 2002). Werdine (2002) também elenca a origem dessas perdas, na etapa produtiva as perdas advêm da limpeza dos flocladores, decantadores e da retrolavagem dos filtros. Já na operação, as descargas excedentes para fins de melhoria da qualidade da água em redes e adutoras, a água de limpeza dos reservatórios ou mesmo falhas, como o extravasamento de reservatórios, correspondem às perdas respectivas (WERDINE, 2002).

As perdas reais ocorrem nas várias etapas do sistema de abastecimento de água, conforme já enunciado. Tendo em vista à necessidade de entender como ocorrem essas perdas, Werdine (2002) apresenta a origem delas em cada unidade do sistema de abastecimento de água:

- Perdas oriundas na captação: nesta etapa, as perdas são derivadas do uso de água em excesso para limpeza do poço de sucção e de possíveis vazamentos na adução em função das condições das tubulações, sejam elas, a idade das tubulações, a pressão, o material e o método construtivo e dos elementos de proteção contra golpes. De forma geral, as perdas desta etapa são inexpressíveis, o que não torna desnecessário manutenções, considerando que os efeitos decorrentes do negligenciamento provocam efeitos extremamente danosos para o sistema de abastecimento de água.

A adoção de técnicas de caráter preventivo, realizadas de forma sistêmica, evitam a ocorrência de maiores transtornos, tendo em vista que interrupções no abastecimento propiciadas por tubulações obstruídas com incrustações ou mesmo por reparos em vazamentos são extremamente longas. E, além disso, postergar a adoção de intervenções preventivas provocam graves consequências, uma vez que promovem o aumento da perda de carga e um maior consumo energético.

- Perdas no tratamento: nesta etapa, as perdas existentes estão associadas aos processos operacionais e/ou vazamentos. No primeiro contexto, as perdas são decorrentes da descarga de lodo e do uso excedente de água necessária para a lavagem dos floculadores, decantadores e dos filtros. No segundo contexto, as condições estruturais são o fator determinante, sejam elas problemas na impermeabilização ou falha de estanqueidade nas comportas.

A magnitude das perdas nesta etapa é fruto das condições estruturais das instalações e da eficiência operacional. Posto isto, o percentual de perdas pode variar entre 2% e 10%, percentual relativamente pequeno, entretanto bastante significativo em termos de vazão. Consequentemente, intervenções estruturais implicam diretamente na redução das perdas e dos custos operacionais, sendo assim essenciais para o sistema.

- Perdas na reservação: as perdas nesta etapa são oriundas das condições estruturais e dos processos operacionais. No primeiro momento, as trincas e a falta de impermeabilização dos reservatórios são as causas da ocorrência de perdas. No segundo momento, a limpeza e a operação executada de forma errônea são determinantes para a existência das perdas. De maneira geral, as perdas são inexpressíveis variando em função da magnitude dos eventos. A intervenção é baseada na inserção de sistemas automáticos de nível e vazão e na avaliação financeira da necessidade de investimentos estruturais.

- Perdas na adução de água tratada: nesta etapa, as perdas são originárias de rompimentos e vazamentos e de usos operacionais. Na primeira situação, as perdas ocorrem por fissuras e pela ruptura das tubulações das adutoras e subadutoras. Já na segunda situação, são ocasionadas pelas descargas de água em excesso para fins de melhoria da qualidade do abastecimento.

Visto que as vazões veiculadas pelas adutoras e subadutoras são extremamente elevadas, a condição das tubulações é constantemente inspecionada, e quando na situação de rompimentos, reparados rapidamente. A celeridade em executar os reparos é pautada no alto poder agressivo

e erosivo, os quais, tais rompimentos podem ocasionar no local, além de prejuízos materiais como rompimentos múltiplos da rede distribuidora de água.

Conseqüentemente, ações preventivas, como manutenção, boas práticas operacionais e capacitação técnica, tornam-se substanciais para a tomada de decisão. Dentre as ações preventivas, instalação e manutenção das ventosas tornam-se cruciais, uma vez que evitam a ocorrência de transientes de pressão e, conseqüentemente, a ruptura das tubulações.

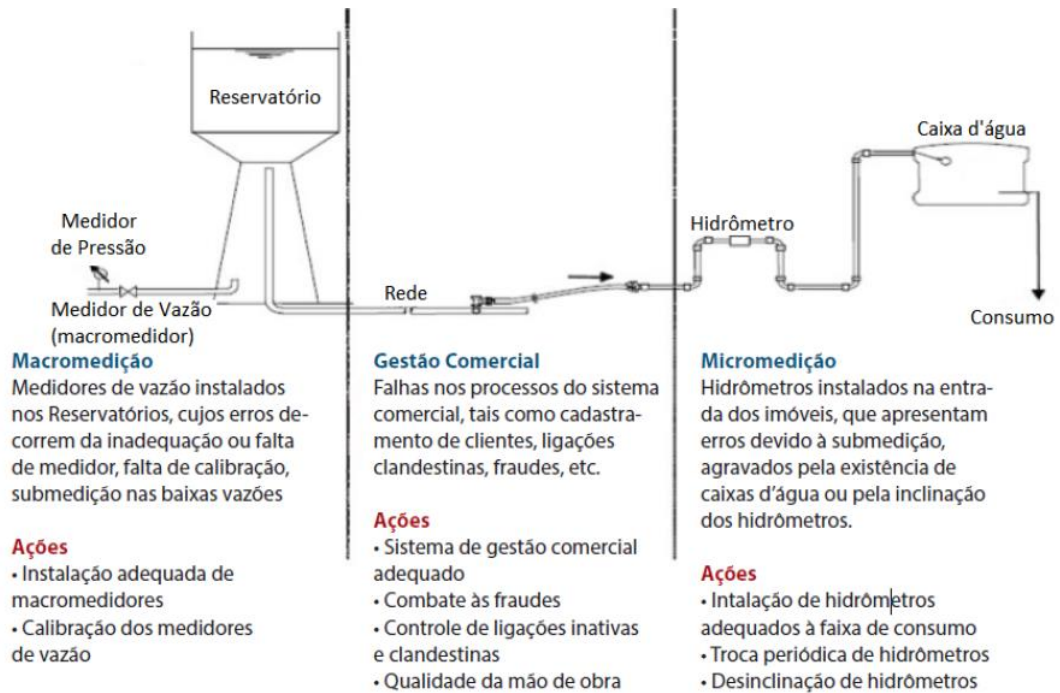
- Perdas na distribuição: as perdas nesta etapa são originárias das práticas operacionais como a descarga de rede com volume superior ao necessário e de vazamentos na rede de distribuição e nos ramais prediais. O autor destaca a preponderância da ocorrência de vazamentos nos ramais prediais se comparado a vazamentos na rede de distribuição. Em contrapartida, os maiores volumes perdidos são observados nas tubulações da rede distribuidora.

A seleção de materiais de boa qualidade e a devida capacitação técnica são imprescindíveis na obtenção de baixos índices de perdas, uma vez que a adoção de medidas corretivas, como a redução da pressão na rede, atua apenas na minimização dos efeitos. Apesar dos maiores índices de perdas serem observadas nesta fase, as ações corretivas tornam-se extremamente onerosas, uma vez que o número de vazamentos é alto, sendo, desta forma, dispersos pela rede e de difícil localização. Portanto, torna-se essencial a análise da viabilidade econômica de possíveis intervenções estruturais.

### 3.2.2 *Perdas Aparentes*

As perdas aparentes são definidas, sob a ótica de Bezerra (2013), como a somatória dos volumes de água consumidos sem autorização, correspondem às fraudes, ligações clandestinas, erros de medição e falhas no cadastro técnico e comercial. Por impactar diretamente na receita da prestadora de serviços, devido ao fato de que a água foi efetivamente consumida, mas não foi faturada, as perdas aparentes também podem ser denominadas como perdas comerciais (SNIS, 2019). A Figura 3.3 apresenta os componentes das perdas aparentes assim como as ações de combate.

**Figura 3.3** – Componentes e ações de combate às perdas aparentes.



Fonte: FUNASA (2014).

Segundo Diniz (2012), o percentual de água não faturado pode representar mais de 50%, demonstrando desta forma, a expressiva magnitude dessas perdas. Ainda, conforme Diniz (2012), os critérios de dimensionamento, manutenção preventiva de hidrômetros e das estratégias comerciais e de faturamento são determinantes na variação desse percentual.

A micromedição corresponde a um dos maiores percentuais de volumes de perdas não faturadas, sendo os hidrômetros seu principal agente (MOURA *et al.*, 2004). Desta maneira, o mesmo autor destaca as principais causas dos erros de medição, sendo elas: a idade do hidrômetro; a qualidade da água distribuída; a inclinação lateral do hidrômetro; e o nível tecnológico de precisão.

Segundo Silva (2005), a vida útil de um hidrômetro gira em torno de 5 a 10 anos variando em função das características da água tratada, da forma como foi instalado, e sua proteção. Um hidrômetro em condições adequadas de funcionamento apresenta erro médio em torno de 2% na faixa aproximada à nominal. Para vazões inferiores à nominal, porém acima da vazão mínima, ocorre a sobremedição e, para vazões inferiores, ocorre uma considerável submedição, em função da significativa redução da precisão.

Ainda, segundo Silva (2005), na macromedição as perdas aparentes também podem ser elevadas em decorrência da grande vazão, sendo a manutenção dos macromedidores mais complexa, e demandando um período considerável de pausa no abastecimento.

### **3.3 Índices de Perdas de Água**

#### *3.3.1 Base de Dados*

O Sistema de Informações Sobre Saneamento – SNIS é uma base de dados essencial para o setor de saneamento do país. O sistema instaurado pelo Governo Federal, no ano de 1996 fornece uma quantidade ampla de dados sobre o setor de saneamento atualizados anualmente. O sistema é vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental e ao Ministério das Cidades (SNIS, 2019).

#### *3.3.2 Índices de Perdas*

Os índices de perdas são calculados a partir de fórmulas, com intuito de gerar parâmetros quantitativos capazes de descrever com singularidade determinado aspecto do saneamento, referente às prestadoras de serviço. E, assim servir como subsídio para tomada de decisões institucionais (SILVA, 2018).

Segundo Silva (2018, apud Miranda, 2002), os indicadores de perdas podem ser subdivididos em níveis em função da sua complexidade, abaixo dispostos:

- **Nível Básico:** indicadores de obtenção mais simples, uma vez que dependem de dados oriundos de todos os sistemas de abastecimento de água, sendo possível a obtenção de indicadores que avaliem apenas as perdas totais. São amplamente utilizados com o propósito de se obter uma síntese da situação.
- **Nível Intermediário:** indicadores capazes de representar as perdas reais e aparentes de forma individual, visto que derivam de informações técnicas mais específicas.
- **Nível Avançado:** neste nível, os indicadores são mais específicos que os indicadores de nível intermediário, utilizando equipamentos e técnicas mais sofisticadas.

Em seu estudo, Silva (2018, apud Miranda, 2002) propôs alguns indicadores que apresentam condições de avaliar a situação de um sistema de abastecimento de água, em função das suas perdas respectivas. Os indicadores respectivos de nível básico são: o índice de perdas de

faturamento (%) – IN013 e o índice de perdas na distribuição (%) - IN049. No nível intermediário, destacam-se: índice bruto de perdas lineares ( $\text{m}^3/\text{dia}/\text{km}$ ) - IN050 e índice de perdas lineares (litros/ligação/dia) - IN051. Quanto aos indicadores de nível avançado, destaca-se o índice de vazamento na infraestrutura.

Desde 1995, o Ministério das Cidades publica de forma anual o “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos”, documento orientativo para tomada de decisões institucionais, que apresenta o panorama geral dos serviços de saneamento do ano anterior. Tendo em vista o exposto, Santos (2018) realizou uma síntese dos indicadores respectivos às perdas de água presentes neste documento. Os indicadores estão relacionados na Figura 3.4.

**Figura 3.4** - Indicadores de desempenho relacionados às perdas.

Nº1	Código	Indicador (unidade)	Entidade
1	IN <sub>009</sub>	Índice de hidrometração (%)	SNIS
2	IN <sub>010</sub>	Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado (%)	SNIS
3	IN <sub>011</sub>	Índice de macromedição	SNIS
4	IN <sub>013</sub>	Índice de perdas faturamento (%)	SNIS
5	IN <sub>014</sub>	Consumo micromedido por economia (m <sup>3</sup> /mês/economia)	SNIS
6	IN <sub>017</sub>	Consumo de água faturado por economia	SNIS
7	IN <sub>022</sub>	Consumo médio per capita de água (litros/hab.dia)	SNIS
8	IN <sub>025</sub>	Volume de água disponibilizado por economia	SNIS
9	IN <sub>028</sub>	Índice de faturamento de água	SNIS
10	IN <sub>049</sub>	Índice de perdas na distribuição (%)	SNIS
11	IN <sub>050</sub>	Índice bruto de perdas lineares (m <sup>3</sup> /dia/km)	SNIS
12	IN <sub>051</sub>	Índice de perdas por ligação (litros/ligação/dia)	SNIS
13	IN <sub>052</sub>	Índice de consumo de água	SNIS
14	IN <sub>053</sub>	Consumo médio de água por economia	SNIS
15	FI46	Água não faturada em porcentagem de volume (%)	IWA
16	Op8	Substituições de hidrômetros (nº/ano)	IWA
17	Op23	Perdas de água por ramal (m <sup>3</sup> /ligação/ano)	IWA
18	Op24	Perdas de água por comprimento de rede (m <sup>3</sup> /ligação/ano)	IWA
19	Op25	Perdas aparentes por ramal (%)	IWA
20	Op26	Perdas aparentes por volume de entrada (%)	IWA
21	Op27	Perdas reais por ligação (L/ligação/ dia com sistema pressurizado)	IWA
22	Op27	Perdas reais por comprimento de rede (L/km/ dia com sistema pressurizado)	IWA
23	Op29	Índice de vazamento na infraestrutura (IVI)	IWA
24	Op31	Avárias em redes de água (nº/100 km/ano)	IWA

Fonte: SANTOS (2018).

### 3.4 Gestão das Perdas

O índice de perdas é uma ferramenta essencial para medir a eficiência de um SAA, desta forma, a gestão das perdas torna-se fundamental no combate as perdas d'água. O controle operacional das prestadoras de serviços tem tido como enfoque a produção, concernindo à população o

controle da distribuição (MORAIS; CAVALCANTE; ALMEIDA, 2010). Sendo, o controle, desta maneira, realizado por meio de reclamações e da falta de qualidade do produto. Posto isto, é assertivo dizer que o gerenciamento do fornecedor é passivo, lento, ineficaz e dependente (MORAIS; CAVALCANTE; ALMEIDA, 2010).

Uma alternativa plausível na busca pela excelência, seria pautar a melhoria da qualidade com o cumprimento dos requisitos de normas técnicas difundidas no âmbito empresarial, como a ISO 9001. Assim, a empresa adotaria um gerenciamento ordenado pelo ciclo PDCA (do inglês: *PLAN - DO - CHECK - ACT*), como uma ferramenta de melhora do sistema (PERTEL, 2014). Atualmente, as condições operacionais estão distantes de serem consideradas adequadas, destacando as perdas na rede de distribuição como um dos maiores entraves para o alcance da universalização do saneamento (ABES, 2015).

As prestadoras de serviços encontram dificuldades para trabalhar com grandes volumes, pois a sociedade trata a água como um bem livre e de fácil acesso, instigando, desta forma, o uso desordenado (TONETO JÚNIOR; SAIANI; RODRIGUES, 2013). Desta maneira, maiores volumes de água serão necessários para suprir os excessos, ampliando os custos de produção. Assim, também é seguro afirmar que a cultura do uso não racional colaborou para negligenciar o tema das perdas de água.

De forma geral, os investimentos em expansão de rede foram priorizados em detrimento da necessidade de manutenção e modernização da gestão das perdas durante muito tempo, sendo assim, inexistentes as tecnologias de monitoramento e mensuração da água produzida, distribuída e consumida, o que resultou em elevados índices de perdas de água (TONETO JÚNIOR; SAIANI; RODRIGUES, 2013).

Diante desse cenário, as empresas têm se dedicado a estudar e propor modelos de gestão que minimizem as perdas, sem necessariamente ampliar o sistema já existente (BELONI *et al.*, 2015). Segundo Werdine (2002), um entrave para reduzir as perdas é alcançar um gerenciamento integrado dentro das organizações. O alto grau de segmentação da estrutura de uma prestadora de serviços pode desencadear a ineficiência entre os diversos setores

As operadoras de saneamento devem ter em seu planejamento funcional os Programas de Controle de Perdas instituídos previamente à operação do sistema. Moura *et al.* (2004) elencam algumas medidas a serem tomadas na etapa de projeto e execução desses programas:



- qualidade de serviço da instalação das tubulações, equipamentos e demais dispositivos utilizados;
- concepção do sistema de abastecimento de água, levando em consideração os dispositivos de controle operacional dos processos;
- inserção de mecanismos para o controle operacional de perdas (medidores e outros);
- criação e atualização de cadastros;
- realização de testes prévios à operação do sistema, para posteriores ajustes, se necessário.

Tornam-se fundamentais o planejamento, atualização e a contínua execução dos Programas de Controle de Perdas, para que o combate não seja uma ação rara (MOURA *et al.*, 2004). Segundo informações do SNIS (2019), na área de gerenciamento de perdas, destacam-se como ações estruturais:

modernização institucional visando à melhoria na redução de perdas de água e ao desenvolvimento gerencial; institucionalização de atividades rotineiras relacionadas ao gerenciamento das perdas de água no âmbito dos processos operativos dos sistemas de abastecimento de água; aumento da capacidade de desenvolvimento de projetos para redução de perdas de água; desenvolvimento da capacidade de mobilização e comunicação interna (para os funcionários) e externa (para a comunidade) visando dar sustentabilidade, governabilidade e perenidade aos programas implantados; modernização e reposição permanentes da infraestrutura dos sistemas, dentre outras.

Segundo Tardelli Filho (2016), no âmbito das perdas reais, a principal causa das perdas é a qualidade da infraestrutura, em segundo lugar está a pressão de serviço, seguida da qualidade da manutenção, do estado de assentamento, das tubulações, do tráfego, dentre outros. Já no contexto das perdas aparentes, destacam-se como causas as limitações técnico-operacionais dos medidores, realçadas pela idade de instalação na rede e pelas variações do fluxo d'água neles, como acontece em residências com a presença de caixas d'água.

Ainda, de acordo com Tardelli Filho (2016), as ações básicas para combate das perdas reais são:

- operar com pressões adequadas em cada setor, controlando-a por meio de complementos como Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs) em áreas mais baixas ou *boosters* em pontos mais altos da rede;
- monitorar de forma ativa os vazamentos, verificando com auxílio de equipamentos acústicos, em detrimento do denominado “controle passivo”, que busca reparar apenas os vazamentos aflorantes à superfície;
- otimizar os reparos com qualidade de execução;
- observar e substituir tubulações (redes e ramais) onde ocorrem maiores vazamentos.

Na Figura 3.5, o autor sintetizou as medidas adequadas para cada circunstância.

**Figura 3.5** - Medidas de combate às perdas reais.

<b>COMBATE AS PERDAS REAIS</b>		
<b>PROBLEMA</b>	<b>INTERVENÇÃO</b>	<b>SUPORTE</b>
Pressão alta	Setorização, instalação de VRPs	Cadastro técnico, GIS, monitoramento, modelagem
Pressão baixa nos pontos mais elevados	Instalação de <i>boosters</i> (rotação variável)	Cadastro técnico, GIS, monitoramento, modelagem
Grande variação da pressão ao longo do dia	Substituição de redes, instalação de VRPs "inteligentes"	Cadastro técnico, GIS, monitoramento, modelagem
Vazamentos visíveis nas redes	Reparo ágil, redução de pressão, substituição de tubulação	Telefone 195, mapeamento, indicadores, modelagem
Vazamentos visíveis nos ramais	Substituição ágil do ramal, redução de pressão	Telefone 195, mapeamento, indicadores, modelagem
Vazamentos não visíveis nas redes	Pesquisa de vazamentos, reparo, redução de pressão, substituição de tubulação	Mapeamento, indicadores, modelagem
Vazamentos não visíveis nos ramais	Pesquisa de vazamentos, substituição do ramal, redução de pressão	Mapeamento, indicadores, modelagem
Vazamentos inerentes nas redes	Substituição de redes, redução de pressão	Ensaio de campo, modelagem
Vazamentos inerentes nos ramais	Substituição do ramal, diminuição de juntas, redução de pressão	Ensaio de campo
Extravasamento de reservatórios	Controle de nível d'água	Monitoramento, telemetria, telecomando

Fonte: TARDELLI FILHO (2016).

No contexto das perdas aparentes, Tardelli Filho (2016) apresenta as seguintes ações:

- de forma preventiva, substituir os hidrômetros periodicamente. E, de forma corretiva, substituir os hidrômetros danificados;
- fiscalizar pontos de consumo onde há evidências de fraudes, ou onde houve denúncias de falseamentos;
- aperfeiçoamento contínuo e atualização do sistema de cadastros e sistemas comerciais.

Adotando o mesmo procedimento das perdas reais, Tardelli Filho (2016) também apresenta de forma sintetizada, na Figura 3.6, as intervenções que devem ser adotadas no contexto das perdas aparentes.

**Figura 3.6 - Medidas de combate às perdas aparentes.**

<b>COMBATE AS PERDAS APARENTES</b>		
<b>PROBLEMA</b>	<b>INTERVENÇÃO</b>	<b>SUORTE</b>
Hidrômetro quebrado ou com problemas	Troca corretiva	Telefone 195, cadastro comercial
Submedição elevada	Troca preventiva otimizada, desinclinação, desenvolvimento tecnológico dos hidrômetros	Gestão comercial, ensaios de bancada, normas
Fraudes e ligações clandestinas	Inspeção e penalização	Canal de denúncia, gestão comercial e dos consumos
Falhas do sistema comercial	Auditorias, melhorias no sistema, modernização de processos	Gestão comercial
Gestão deficiente dos grandes clientes	Adequação de medidores, troca preventiva mais frequente	Telemetria, gestão comercial

Fonte: TARDELLI FILHO (2016).

É importante salientar que as companhias de água devem trabalhar conjuntamente com os consumidores residenciais e comerciais, adotando as medidas respectivas de gestão, gerenciamento e corretivas, em busca da excelência do sistema e das melhores condições socioambientais, considerando também o limite técnico e econômico.

### **3.5 Legislações Pertinentes**

#### *3.5.1 Lei Federal Nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007*

Estabelece a Política Nacional do Saneamento Básico – PNSB, sendo assim definida como o marco legal do saneamento no país. Corresponde ao instrumento legal responsável por instituir as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal (BRASIL, 2007). Foi atualizada pela Lei Federal Nº 14.026, de 15 de julho de 2020, assim denominada como o novo marco legal do saneamento.

#### *3.5.2 Lei Federal Nº. 14.026, de 15 de julho de 2020*

Apresenta o novo marco legal do saneamento atribuindo à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA competência para editar normas de referência sobre o saneamento, vedando a prestação por contrato de programa dos serviços públicos e definindo diretrizes para aprimoramento das condições estruturais do saneamento básico no país (BRASIL, 2020). Conforme termos desta Lei, ficam estabelecidos como princípios fundamentais dentre outros a universalização do acesso e prestação do serviço, integralidade, abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional de combate à pobreza e de sua erradicação, estímulo a pesquisa, ao desenvolvimento e à utilização de tecnologias apropriadas, redução e controle das perdas de água e seleção competitiva do prestador dos serviços (BRASIL, 2020).

Para efeitos desta Lei, considera-se saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e, por fim, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2020). Conforme termos desta Lei, entende-se como abastecimento público um conjunto de atividades responsáveis pela disponibilização e manutenção das infraestruturas e instalações operacionais que são necessárias para o abastecimento público, contemplando desde a captação até as ligações prediais, considerando também os instrumentos de medição (BRASIL, 2020).

O novo marco legal do saneamento incube as prestadoras de serviços públicos de saneamento básico de estabelecerem metas de universalização de atendimento da população com abastecimento de água (BRASIL, 2020). O horizonte final para as metas é a data de 31 de dezembro de 2033 e devem garantir atendimento de 99% da população (BRASIL, 2020).

No tocante ao princípio da redução e controle das perdas de água, o instrumento frisa o estímulo à racionalização de seu consumo pelos usuários e fomento à eficiência energética, assim como o reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva (BRASIL, 2020). A Lei preconiza a necessidade do estabelecimento de metas de redução de perdas na distribuição de água tratada, como requisito essencial para assegurar a legitimidade dos contratos de prestação de serviços (BRASIL, 2020).

O instrumento normativo incube às agências reguladoras a obrigação de fiscalizar o cumprimento das metas estabelecidas de redução de perdas anualmente, com intuito de estimular às prestadoras de serviço que assegurem o cumprimento das metas (BRASIL, 2020). Desta forma, os termos e princípios desta Lei, no que tange à redução e controle das perdas, proporcionam a conservação dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e estimulam avanços e pesquisas científicas sobre o assunto (BRASIL, 2020).

O marco regulatório do saneamento detém outros instrumentos como a Lei 11.107, de 6 de abril de 2005, que dispõe sobre as normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências, instrumento este que também sofreu alterações com a promulgação do novo marco, assim como a Lei 9.984, de 17 de julho de 2000 responsável por criar a Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2020).

### *3.5.3 Portaria Nº 490, de 22 de março de 2021*

Este instrumento normativo é decorrente da aprovação do Marco Legal do Saneamento Básico, sendo incumbido de apresentar as metas de redução de perda de água na distribuição aos consumidores, condicionando a alocação de recursos públicos federais e os financiamentos com recursos da União ao cumprimento dos valores dispostos nesta Portaria (BRASIL, 2021). Conforme preconiza a Portaria, os valores dos indicadores IN049 – Índice de Perdas na Distribuição e IN051 – Índice de Perdas por Ligação, devem ser menores ou iguais à seguinte proporção do índice médio nacional da última atualização da base de dados do SNIS:

- I - 100% nos anos de 2021 e 2022;
- II - 95% nos anos de 2023 e 2024;
- III - 90% nos anos de 2025 e 2026;
- IV - 85% nos anos de 2027 e 2028;
- V - 80% nos anos de 2029 e 2030;
- VI - 75% nos anos de 2031 e 2032;
- VII - 70% no ano de 2033; e

VIII - 65% a partir do ano de 2034 (BRASIL, 2021).

#### 3.5.4 *Lei Federal Nº. 9.984, de 17 de julho de 2000*

Este instrumento normativo substabeleceu a ANA como a entidade federal encarregada de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, após alteração realizada em conformidade com a Lei Federal Nº. 14.026, de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2000). Conforme preconizado pela Lei, a ANA tem como atribuições, dentre outras:

I – supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos;

[...]

XIV - organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos;

XV - estimular a pesquisa e a capacitação de recursos humanos para a gestão de recursos hídricos;

[..]

XVII – propor ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos o estabelecimento de incentivos, inclusive financeiros, à conservação qualitativa e quantitativa de recursos hídricos.

[..]

XIX - regular e fiscalizar, quando envolverem corpos d'água de domínio da União, a prestação dos serviços públicos de irrigação, se em regime de concessão, e adução de água bruta, cabendo-lhe, inclusive, a disciplina, em caráter normativo, da prestação desses serviços, bem como a fixação de padrões de eficiência e o estabelecimento de tarifa, quando cabíveis, e a gestão e auditoria de todos os aspectos dos respectivos contratos de concessão, quando existentes (BRASIL, 2000).

Portanto, compete à ANA desempenhar o papel de entidade responsável pela gestão e planejamento dos recursos hídricos, assegurando conjuntamente às suas demais diretrizes, à redução progressiva e controle da perda de água, seja pelo estabelecimento de normas de referência, fiscalização ou supervisão, dentre demais competências (BRASIL, 2000).

#### 3.5.5 *Lei Estadual Nº. 11.720, de 28 de dezembro de 1994*

Conhecido como o marco regulatório do saneamento no âmbito estadual, a Lei visa assegurar a proteção da saúde da população e a salubridade ambiental urbana e rural (MINAS GERAIS

1994). A execução da política é condicionada aos princípios da universalização dos serviços de saneamento, da autonomia do município quanto à organização e à prestação de serviços públicos, da participação efetiva da sociedade e da subordinação das ações de saneamento básico ao interesse público (MINAS GERAIS, 1994).

Os agentes institucionais trabalham conjuntamente para a formulação de políticas, definição das estratégias e execução das ações, como integrantes do denominado Sistema Estadual de Saneamento Básico (MINAS GERAIS, 1994). Como instrumento orientativo destinado a articular, integrar e coordenar recursos tecnológicos, humanos, econômicos e financeiros do estado a política estabelece o Plano Estadual de Saneamento Básico – PESB. Dentro do sistema, o PESB estabelece objetivos e diretrizes, metas de curto e médio prazos, cronograma de execução das ações, definição dos recursos financeiros, entre outros (MINAS GERAIS, 1994).

## **4 METODOLOGIA**

A metodologia para o presente trabalho é de caráter exploratória e embasada principalmente com dados secundários obtidos através de plataformas governamentais, artigos, teses, livros, dissertações e publicações em revistas científicas. A evolução dos índices de perdas de água é um tema bastante discutido nas principais empresas de saneamento e SAAs do Brasil, tendo em vista à relevância econômica e o impacto socioambiental oriundo das deficiências inerentes ao processo.

A literatura, no entanto, apresenta o tema de forma prioritariamente teórica por meio de conceitos, definições e das generalidades de um SAA. Logo a ideia da presente pesquisa é analisar a evolução dos índices de perdas de água aplicadas em um caso real, para obter um diagnóstico geral acerca dos impactos provocados em um município.

### **4.1 Caracterização da Área de Estudo**

A área de estudo selecionada foi o município de Belo Horizonte, tendo em vista a facilidade em se obter os dados, a proximidade do autor ao local de estudo e a relevância econômica e social da cidade. O município de Belo Horizonte é a capital do Estado de Minas Gerais (MG), contemplando um espaço territorial aproximadamente de 330,9 km<sup>2</sup>, com população estimada de 2.521.564 habitantes para o ano de 2020 e densidade demográfica é de 7.167 hab/km<sup>2</sup>, segundo dados do IBGE.

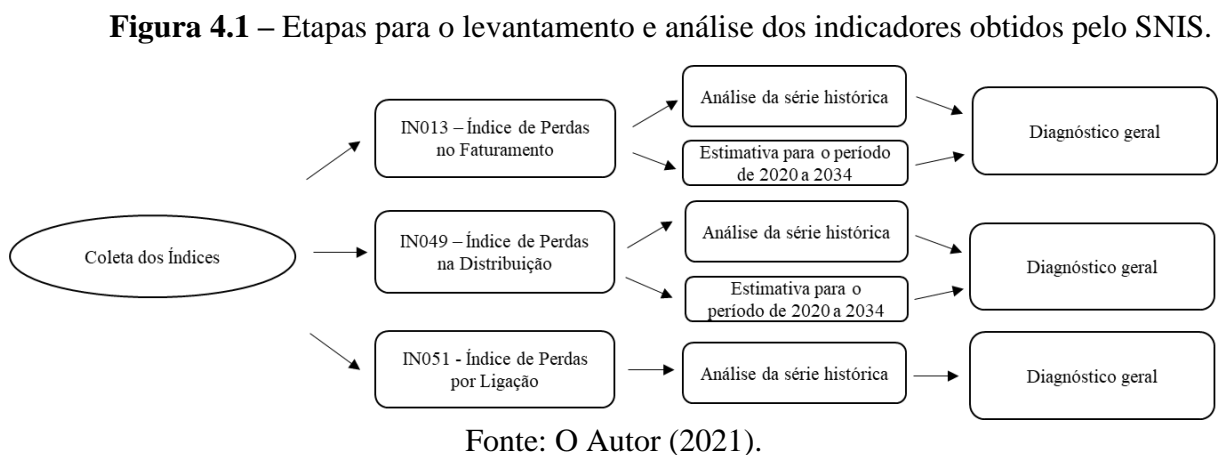
O sistema de abastecimento de água de Belo Horizonte no ano de 2019 foi responsável por atender uma população de 2.386.433 habitantes em seus 6.936 km de extensão de rede, apresentando uma perda de água média no município de Belo Horizonte correspondente a 41,65% no mesmo período, segundo dados do SNIS (2021).

O sistema de abastecimento de água tem como bacias responsáveis pelo fornecimento de água a Bacia do Paraopeba e a Bacia do Rio das Velhas (ARSAE, 2013). Sendo que esses sistemas são subdivididos em Sistemas Produtores Integrados, dos quais a Bacia do Rio Paraopeba engloba os sistemas Rio Manso, Serra Azul, Vargem das Flores e Ibitité, e a Bacia do Rio das Velhas é constituída pelos sistemas Rio das Velhas, Morro Redondo e Barreiro (ARSAE, 2013).



## 4.2 Levantamento e Análise de Dados

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi realizado levantamento de informações secundárias a partir de um banco de dados. A base das informações foi obtida via plataforma do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), sendo selecionados os índices: IN049 – Índice de perdas na distribuição, IN051 – Índice de perdas por ligação e o IN013 – Índice de perdas no faturamento com o propósito de apresentar um diagnóstico geral a respeito da evolução dos índices de perdas no município. As etapas para o levantamento e análise dos dados estão descritas na Figura 4.1.



A base de dados foi importada através do módulo Água e Esgoto, avaliou-se a Série Histórica via definição dos parâmetros de pesquisa: Tipo, Informação, Ano de Referência, Localização Geográfica (Região e Estado), Município, Famílias de Informações e Indicadores e, por fim, os índices selecionados. Os dados foram importados em formato xls e compilados em formas de gráficos, tabelas ou esquemas, com intuito de representar a evolução dos índices considerando o período de 1995 até 2019. Ressalta-se que para alguns anos, os dados não estão disponíveis para análise, dessa forma, para alguns índices a série histórica contém um período de dados menor.

A análise dos dados foi realizada por meio de uma análise comparativa entre as metas de redução de perda de água estipuladas pela Portaria N° 490, de 22 de março de 2021 com uma previsão dos índices de perda para o município, seguindo a conjuntura atual. Para tal fim, foram elaborados também, gráficos de tendência com o propósito de examinar a evolução dos índices para a situação atual e a meta estipulada.

A estimativa dos indicadores considerou o intervalo de tempo entre o último diagnóstico elaborado pelo SNIS e o ano de 2034, ano estipulado pela Portaria Nº 490 como horizonte final das metas de redução. Foram estimados apenas os indicadores IN049 – Índice de perdas na distribuição e o IN013 – Índice de perdas no faturamento.

O método selecionado para estimar os índices foi a planilha de previsão de dados do Excel, que utiliza o modelo de Suavização Exponencial Tripla, ou método de Holt-Winter, que é adequado para série de dados que apresentam tendência e sazonalidade (BERTOLO, 2013). Desta forma, como os dados coletados para o IN051 – Índice de perdas por ligação, não apresentam os mesmos critérios observados nos demais índices para validação do método, o indicador não foi estimado.

Após a seleção dos dados no Excel, foi selecionada a aba Dados, Planilha de Previsão e Incluir estatísticas de previsão, considerando um limite de confiança de 95%, os dados estimados foram obtidos e compilados em forma de gráficos, com o propósito de analisar os valores aproximados dos índices e seu comportamento para os anos subsequentes.

#### 4.2.1 *Índice de Perdas na Distribuição*

O índice de perdas na distribuição (IN049), dado em percentual, é obtido pela Equação 4.1 (SNIS, 2018):

$$IN049 = \frac{AG006+AG018-AG010-AG024}{AG006+AG018-AG024} \cdot 100 \quad \text{Equação (4.1)}$$

na qual:

AG006: Volume de água produzido (m<sup>3</sup>)

AG010: Volume de água consumido (m<sup>3</sup>)

AG018: Volume de água tratada importado (m<sup>3</sup>)

AG024: Volume de serviço (m<sup>3</sup>)

O glossário constando a definição de cada parâmetro está disponibilizado ao fim deste documento.

#### 4.2.2 Índice de Perdas por Ligação

O índice de perdas por ligação (IN051), em L/lig/dia, é obtido pela Equação 4.2 (SNIS, 2018):

$$IN051 = \frac{AG006+AG018-AG010-AG024}{AG002} \cdot \frac{1.000.000}{365} \quad \text{Equação (4.2)}$$

na qual:

AG002: Quantidade de ligações ativas de água

AG006: Volume de água produzido (m<sup>3</sup>)

AG010: Volume de água consumido (m<sup>3</sup>)

AG018: Volume de água tratada importado (m<sup>3</sup>)

AG024: Volume de serviço (m<sup>3</sup>)

#### 4.2.3 Índice de Perdas no Faturamento

O índice de perdas no faturamento (IN013), dado em percentual, é obtido pela Equação 4.3 (SNIS, 2018):

$$IN013 = \frac{AG006+AG018-AG011-AG024}{AG006+AG018-AG024} \cdot 100 \quad \text{Equação (4.3)}$$

na qual:

AG006: Volume de água produzido (m<sup>3</sup>)

AG011: Volume de água faturado (m<sup>3</sup>)

AG018: Volume de água tratada importado (m<sup>3</sup>)

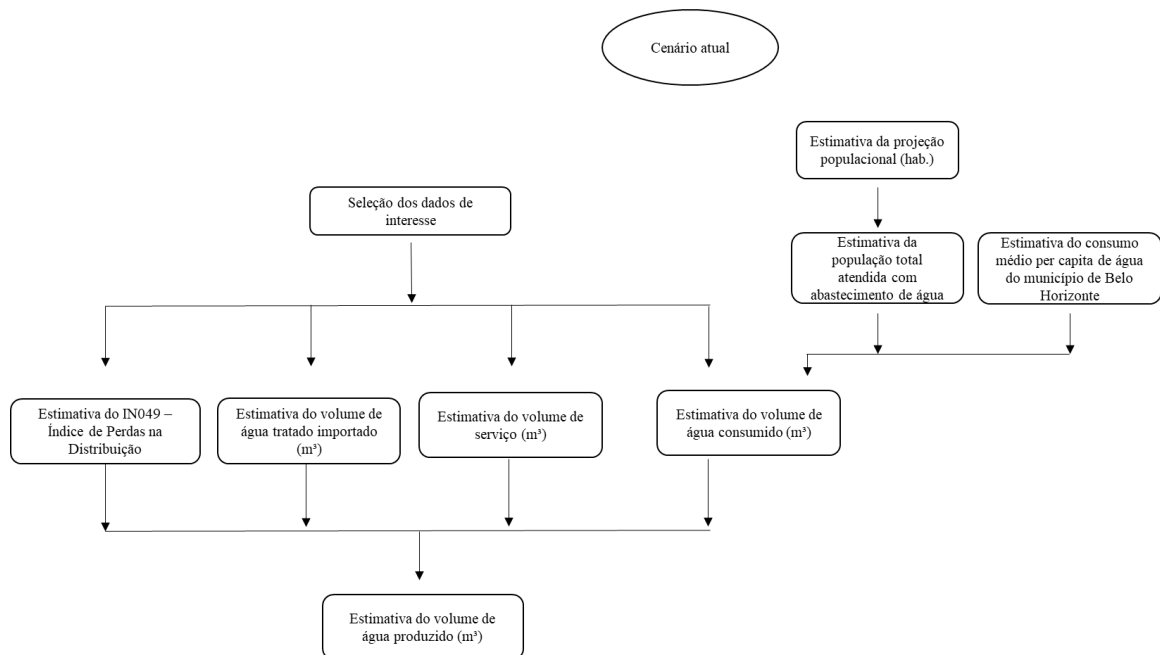
AG024: Volume de serviço (m<sup>3</sup>)

### 4.3 Estimativa do Volume Produzido

Com intuito de mensurar, de forma quantitativa, o impacto da redução do índice de perdas de água na distribuição, em consequência das metas estipuladas pela Portaria N° 490, de 22 de março de 2021, os parâmetros utilizados para calcular o índice de perdas de água na distribuição

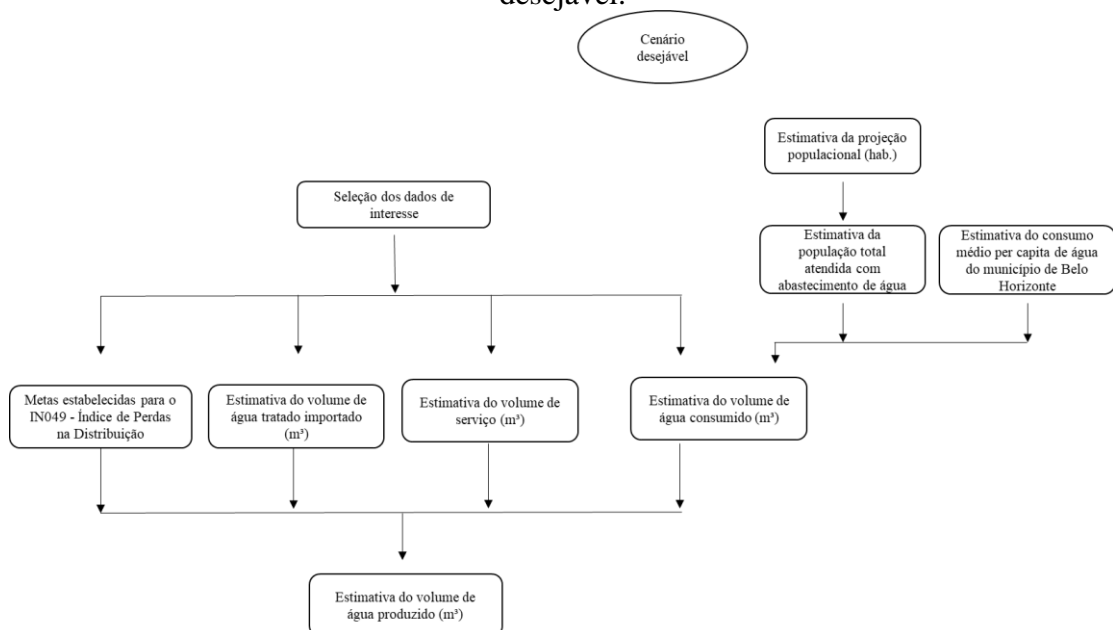
foram estimados para o cenário atual e o cenário desejado, segundo Equação 4.1 referente ao índice de perdas na distribuição. As Figuras 4.2 e 4.3 apresentam a metodologia utilizada para estimar o volume de água produzido para o cenário considerando as atuais conjunturas e para o cenário desejável.

**Figura 4.2 – Etapas para a estimativa do volume de água produzido para o cenário atual.**



Fonte: O Autor (2021).

**Figura 4.2 – Etapas para a estimativa do volume de água produzido para o cenário desejável.**



Fonte: O Autor (2021).

Os fluxogramas apresentados tem a metodologia para estimativa dos parâmetros análoga, exceto para os valores que foram utilizados para o IN049 – Índice de perdas na distribuição. Para o cenário atual, os valores utilizados foram os dados obtidos pela estimativa do índice para o período que compreende os anos de 2020 a 2034. Já para o cenário desejável, os valores utilizados para índice supracitado, foram aqueles estipulados pela Portaria Nº 490, de 22 de março de 2021 como metas de redução.

#### *4.3.1 Estimativa do Volume de Água Tratada Importado*

O volume de água tratada importado foi considerado como sendo zero para os dois cenários analisados, uma vez que durante a série histórica do SNIS não há registro de dados para o parâmetro respectivo no município avaliado.

#### *4.3.2 Estimativa do Volume de Serviço*

O volume de serviço foi estimado considerando a média dos dados disponíveis no SNIS para o município de Belo Horizonte durante o período que engloba os anos de 2005 até 2019, sendo o valor adotado como 1.179,57 m<sup>3</sup>. A média dos valores foi adotado para os dois cenários analisados, uma vez que durante a série histórica do SNIS os valores se mantiveram bem próximos.

#### *4.3.3 Estimativa do Volume de Água Consumido*

Para estimativa do volume de água consumido, foi considerado o consumo de água per capita médio e o valor da população total atendida com abastecimento de água para o município de Belo Horizonte. O volume de água consumido para cada ano foi calculado multiplicando o valor da população total atendida com abastecimento de água estimada para cada ano pelo consumo médio per capita para o município.

##### ***4.3.3.1. Estimativa da População Total Atendida com Abastecimento de Água***

Para a estimativa da população total atendida com abastecimento de água foi realizada primeiramente a projeção populacional para o período de 2020 a 2034, em seguida, considerando a meta de universalização do acesso a água potável preconizada pela Lei 14.026, de 15 de julho de 2020, foi adotado o valor de 99% como percentual para o cálculo da população de interesse.

O método selecionado para elaborar a previsão populacional foi o método do crescimento logístico, uma vez que as taxas de crescimento da população se tornam cada vez menores à medida que o tamanho da população se aproxima do nível de saturação, ou seja da capacidade ambiental de sustentação da espécie (FIGUEIREDO; MARTINS; FERREIRA, 2019).

Segundo UFMG (2021, apud Von Sperling, 2014), para a estimativa da projeção populacional pelo método do crescimento logístico foi obtido, no primeiro momento a população de saturação, dada pela Equação (4.4):

$$P_S = \frac{2P_0P_1P_2 - P_1^2(P_0 + P_2)}{P_0P_2 - P_1^2} \quad \text{Equação (4.4)}$$

na qual:

$P_S$ : População de saturação (hab.)

$P_0$ : População inicial (hab.)

$P_1$ : População no primeiro instante (hab.)

$P_2$ : População no segundo instante (hab.)

As populações  $P_0$ ,  $P_1$  e  $P_2$  adotadas foram extraídas do DATASUS para os anos de 1990, 2000 e 2010, respectivamente. Em seguida, segundo UFMG (2021, apud Von Sperling, 2014), foi calculado o valor do coeficiente  $c$  a partir da Equação 4.5:

$$c = \frac{(P_S - P_0)}{P_0} \quad \text{Equação (4.5)}$$

na qual:

$P_S$ : População de saturação (hab.)

$P_0$ : População inicial (hab.)

O próximo passo foi obter o valor do coeficiente de saturação  $K_1$ , calculado pela Equação 4.6, segundo UFMG (2021, apud Von Sperling, 2014):

$$K_1 = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \ln \left[ \frac{P_0(P_S - P_1)}{P_1(P_S - P_0)} \right] \quad \text{Equação (4.6)}$$

na qual:

$P_S$ : População de saturação (hab.)

$P_0$ : População inicial (hab.)

$P_1$ : População no primeiro instante (hab.)

$t_1$ : Tempo no primeiro instante (ano)

$t_2$ : Tempo no segundo instante (ano)

Em posse dos resultados obtidos pelas equações anteriores, a população de interesse foi obtida para cada período pela Equação 4.7, segundo UFMG (2021, apud Von Sperling, 2014):

$$P_t = \frac{P_S}{1 + c e^{K_1(t-t_0)}} \quad \text{Equação (4.7)}$$

$P_S$ : População de saturação (hab.)

$c$ : Coeficiente dado pela Equação 2 (hab.)

$K_1$ : Coeficiente de saturação dado pela Equação 3 (hab.)

$t$ : Tempo em função da população de saturação (ano)

$t_0$ : Tempo no instante inicial (ano)

#### **4.3.3.2. Estimativa do Consumo Médio Per Capita de Água**

Para estimativa do volume de água consumido, foi considerado o consumo de água per capita médio dos dados disponíveis no SNIS para o município de Belo Horizonte compreendido entre os anos de 2002 até 2019. A escolha metodológica foi baseada na escolha do valor médio, tendo em vista que, os valores existentes na série histórica do SNIS não apresentaram tendências de crescimento nem de redução ao longo dos anos, sendo o valor adotado como 168,3572 L/hab.dia.

#### 4.4 Cálculo dos Índices de Perdas de Água Segundo Metodologia da COPASA-MG

Foram também selecionados indicadores considerando metodologia abordada pelo Programa de Redução de Perdas de Água no Sistema de Distribuição, disponibilizado pela COPASA (2003), sendo eles:

- Indicador Técnico de Perdas Reais: corresponde ao volume anual de perdas reais, dividido pelo número de ligações;
- Média de Perdas Reais Inevitáveis: analisa separadamente as influências do comprimento das tubulações, o número de ligações, o comprimento total dos ramais prediais até o cavalete e a pressão média quando o sistema está pressurizado;
- Índice de Vazamento na Infraestrutura: indicador responsável por expressar de maneira geral a eficiência, as condições do gerenciamento da infraestrutura sob o estado atual de pressão média e abastecimento contínuo; e
- Potencial de Recuperação de Perdas Reais: expressa o potencial de recuperação do volume perdido de água em um dado sistema.

##### 4.4.1 Indicador Técnico de Perdas Reais (ITPR)

Para o cálculo do Indicador Técnico de Perdas Reais, dado em L/lig/dia, foi utilizada a Equação 4.8 (COPASA, 2003):

$$ITPR = \frac{AG006 - AG010}{AG021} \quad \text{Equação (4.8)}$$

na qual:

AG006: Volume de água produzido (L)

AG010: Volume de água consumido (L)

AG021: Quantidade de ligações totais de água (lig)

Segundo o manual denominado “Programa de Redução de Perdas de Água no Sistema de Distribuição” disponibilizado pela COPASA (2003), deve-se utilizar a quantidade de ligações totais de água, considerando assim as ligações ativas e inativas.



#### 4.4.2 Média de Perdas Reais Inevitáveis (MPRI)

Para o cálculo do indicador que expressa a Média de Perdas Reais Inevitáveis, dado em L/lig/dia, foi utilizada a Equação 4.9 (COPASA, 2003):

$$MPRI = \left[ \left( 18 \times \frac{C_t}{N_l} \right) + 0,8 + \left( 25 \times \frac{C_r}{N_l} \right) \right] \times P \quad \text{Equação (4.9)}$$

na qual:

$C_t$ : Comprimento das tubulações (km)

$N_l$ : Número de ligações

$C_r$ : Comprimento total dos ramais prediais até o cavalete (km)

$P$ : Pressão, medida em metros de coluna d'água

Para o cálculo do comprimento das tubulações, utiliza-se o parâmetro AG005 – Extensão da rede de água obtido pelo SNIS. Já para obtenção do comprimento total dos ramais, foi adotado o valor de 5 metros para o comprimento unitário, e segundo a metodologia da COPASA (2003), deve ser multiplicada pela quantidade de ligações e dividido por 1000.

A pressão adotada para o cálculo é a pressão máxima de rede, em consonância com estudo elaborado por Garcia; Pereira e Castro (2021). E, segundo ABNT NBR 12218/2017 (ABNT, 2017), o valor adotado para a pressão máxima de rede corresponde a 40 m.c.a (metros de coluna d'água). Para fins de cálculo do índice, a pressão adotada para o cálculo do indicador foi de 50 m.c.a (metros de coluna d'água) até o ano de 2017, nos anos posteriores devido atualização da norma, o valor adotado passa a ser de 40 m.c.a (metros de coluna d'água).

#### 4.4.3 Índice de Vazamento na Infraestrutura (IVI)

O índice de vazamento na infraestrutura é um valor adimensional, sendo obtido pela Equação 10 (COPASA, 2003):

$$IVI = \frac{ITPR}{MPRI} \quad \text{Equação (4.10)}$$

na qual:

*ITPR*: Indicador Técnico de Perdas Reais calculado pela Equação 8 (L/lig/dia)

*MPRI*: Média de Perdas Reais Inevitáveis calculado pela Equação 9 (L/lig/dia)

#### 4.4.4 *Potencial de Recuperação de Perdas Reais (PRPR)*

O potencial de recuperação de perdas reais, dado em L/lig/dia, é obtido pela Equação 4.11 (COPASA, 2003):

$$PRPR = ITPR - MPRI \quad \text{Equação (4.11)}$$

na qual:

*ITPR*: Indicador Técnico de Perdas Reais calculado pela Equação 8 (L/lig/dia)

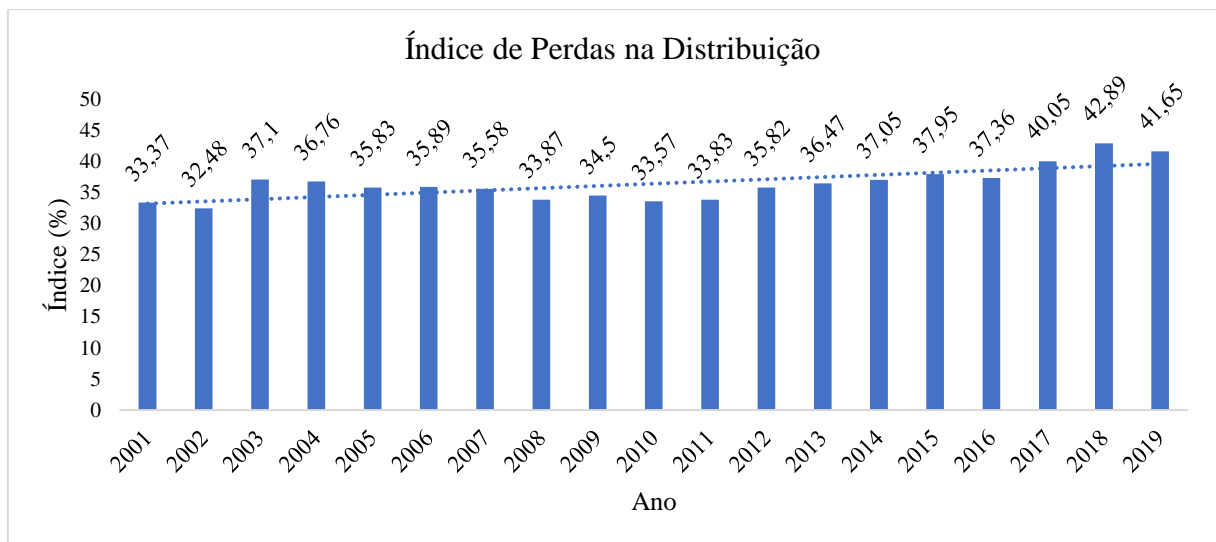
*MPRI*: Média de Perdas Reais Inevitáveis calculado pela Equação 9 (L/lig/dia)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Índice de Perdas na Distribuição

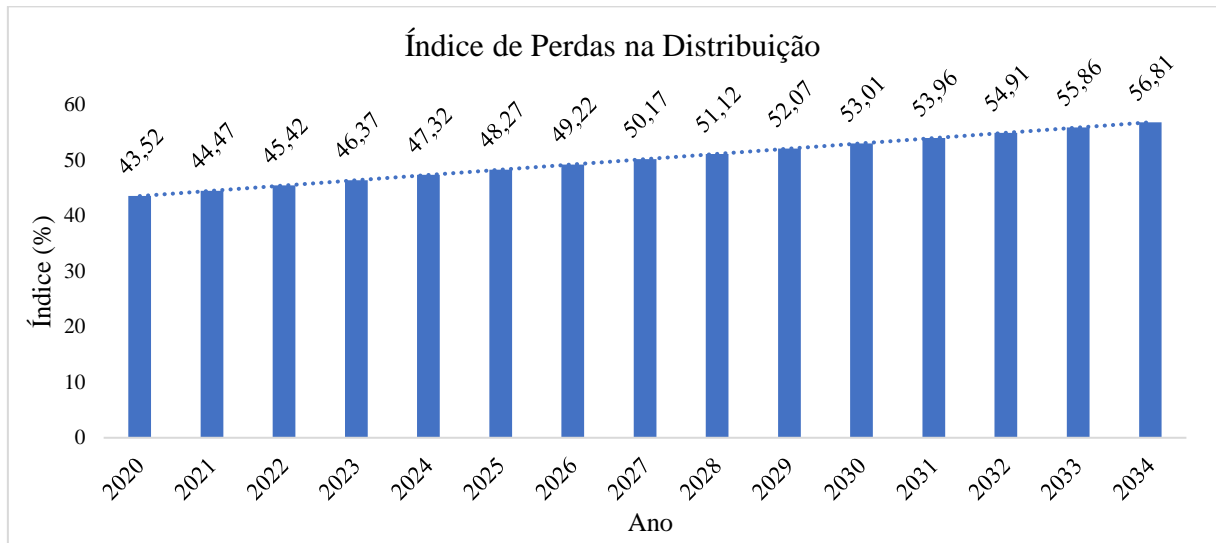
A Figura 5.1 apresenta os valores obtidos pelo SNIS para o Índice de Perdas na Distribuição contemplando o período de 2001 até 2019. Os dados apresentam um crescimento nítido ao longo do período avaliado, conforme constatado pelo ajuste tendência. O índice apresenta tendência de crescimento, uma vez que o coeficiente angular da reta é positivo. Dessa forma, percebe-se que há uma demanda continua por programas que busquem a minimização das perdas de água na distribuição, bem como a melhoria nas estruturas de distribuição de água.

**Figura 5.1** – Índices de perdas na distribuição no período de 2001 até 2019.



Fonte: O Autor (2021).

Seguindo a tendência de crescimento do indicador índice de perdas na distribuição, a Figura 5.2 apresenta a previsão do indicador acompanhando as conjunturas do cenário atual até o ano de 2034. Desta forma, o índice poderia alcançar um valor próximo a 56,81% de perda de água potável na distribuição no ano de 2034, caso a tendência observada na série histórica fosse mantida. Os resultados encontrados, tendo em vista a importância do índice de perdas para a manutenção, planejamento e operação dos sistemas de abastecimento de água, uma vez que pode influenciar em investimentos para melhoria do sistema, bem como da distribuição de água para diversas demandas, podem ser preocupantes por demandar esforços cada vez maiores para evitar impactos econômicos e sanitários no sistema, sobretudo tendo em vista o panorama histórico apresentado pela Figura 5.1, onde-se nota a falta de ações para redução nos índices de perdas.

**Figura 5.2** – Dados estimados para o Índice de Perdas na Distribuição.

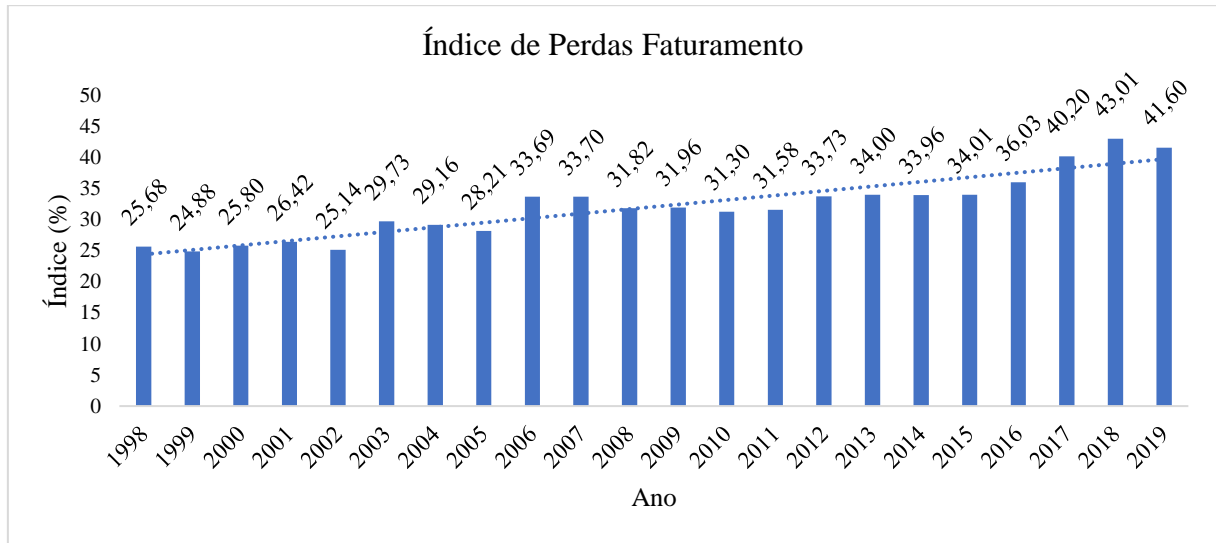
Fonte: O Autor (2021).

## 5.2 Índice de Perdas no Faturamento

A Figura 5.3 apresenta os valores obtidos pelo SNIS para o Índice de Perdas no Faturamento contemplando o período de 1998 até 2019. Os dados apresentam uma propensão para o crescimento durante o período avaliado, sendo o ano de 2018 o maior valor observado, correspondendo a perda de 43,01% do volume de água disponibilizado para distribuição e o volume faturado. O comportamento apresentado na Figura 5.3 é similar ao apresentado na Figura 5.1, tendo em vista a relação da perda de faturamento com a perda de água no sistema de distribuição. Constatado também, pelo ajuste de tendência o qual implica em uma reta com coeficiente angular positivo

Do ponto de vista financeiro, o aumento do índice de perda de faturamento pode apresentar danos à rentabilidade econômica da empresa, uma vez que representa a produção de água que se deixa de faturar. Do ponto de vista socioambiental, os índices de perda cada vez maiores podem ser indicativos de passivos preocupantes, visto que há a possibilidade de poluição do meio ambiente com os subprodutos gerados durante a produção da água como o lodo gerado nos decantadores que pode ser lançado nos corpos hídricos, além da possibilidade de alteração do ecossistema no local de captação. Do ponto de vista social, as perdas de faturamento podem ser indicativas de perdas aparentes que, dependendo do método de invasão, pode deteriorar a qualidade da água devido à possibilidade de contaminação.

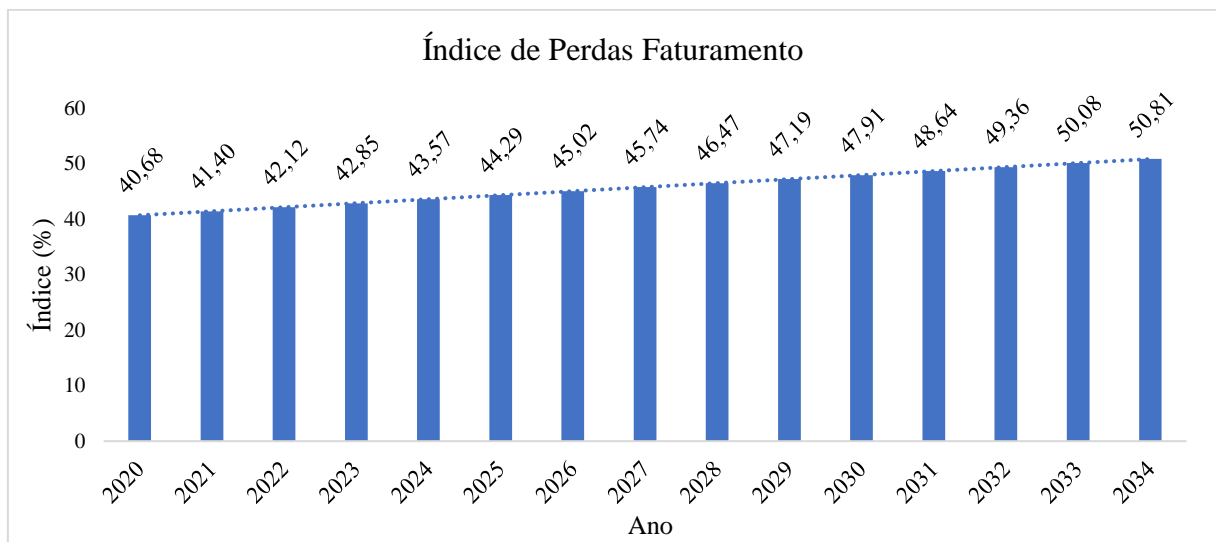
**Figura 5.3 - Indicadores de perdas no faturamento distribuição no período de 1998 até 2019.**



Fonte: O Autor (2021).

Segundo as conjunturas do cenário atual, a Figura 5.4 apresenta o gráfico com uma previsão hipotética dos índices de perdas no faturamento compreendendo o período de 2020 até o ano de 2034.

**Figura 5.4 - Dados estimados para o Índice de Perdas no Faturamento.**



Fonte: O Autor (2021).

Segundo dados previstos, o indicador poderá em 2034 ter uma perda próxima à 50,81% respectivo ao faturamento, caso o comportamento na série histórica fosse mantida. Embora esse indicador pareça representar exclusivamente as perdas financeiras, usualmente ele também é empregado para avaliar as perdas de água, mesmo não sendo aconselhável, uma vez que no

Brasil o volume de água faturado geralmente é superior ao volume de água consumido (MIRANDA, 2002).

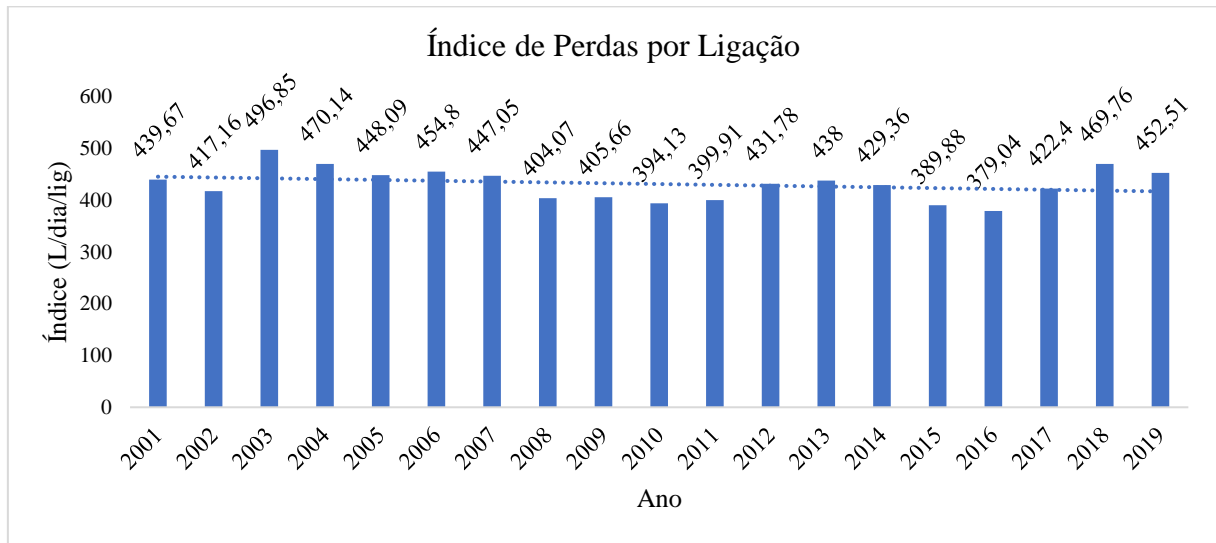
Segundo Miranda (2002), a variação deste índice é em função de alguns critérios adotados:

- Em locais onde a micromedição é inviável, um volume fixo mensal geralmente de 10 m<sup>3</sup> é estabelecido, podendo apresentar valores superiores ou inferiores aos valores reais, sendo na maioria das situações o valor faturado maior que o valor real;
- Os usuários cujo consumo é inferior ao volume mínimo, o valor a ser pago ainda é referente ao volume fixo mensal; e
- Caso o hidrômetro esteja defeituoso ou apresente problemas na leitura, o faturamento se dá pela média de consumo dos últimos meses.

Portanto, independentemente se a micromedição é alta ou baixa, o volume faturado será maior que o volume consumido (MIRANDA, 2002).

### **5.3 Índice de Perdas por Ligação**

Na Figura 5.5, tem-se o índice de perdas por ligação no município de Belo Horizonte, que por sua vez tem como enfoque as perdas reais e aparentes existentes nos ramais (TSUTIYA, 2006). Durante o período de 2001 até 2019, os valores oscilaram, não obedecendo a tendência de crescimento observada nas Figuras 5.1 e 5.3. O maior valor observado no período foi no ano de 2003, correspondendo a 496,85 L/lig/dia, já o menor valor foi no ano de 2016 como sendo 379,04 L/lig/dia. No ano de 2019, segundo dados do SNIS (2020), o valor médio do índice de perdas por ligação no país foi de 339,9 L/lig/dia, valor esse inferior ao índice correspondente à capital mineira no mesmo período.

**Figura 5.5** - Indicadores de perdas por ligação no período de 2001 até 2019.

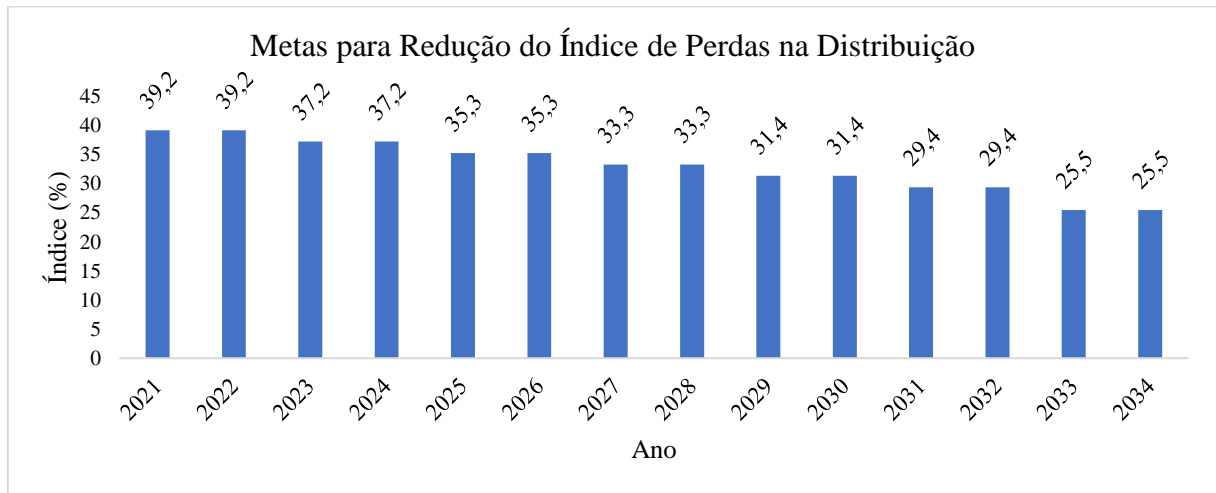
Fonte: O Autor (2021).

Segundo SNIS (2020), o comportamento entre o índice de perdas na distribuição e o índice de perdas por ligação, em geral não apresentam simetria entre si, o que sugere a hipótese da necessidade de outras informações ainda não coletadas pelo banco de dados como por exemplo o porte do prestador. Indicadores de perdas por ligação elevados representam fragilidade nos ramais. Desta forma, sendo necessárias intervenções no tempo adequado considerando a vida útil, uma vez que os ramais deterioram, causando rompimento nas tubulações (MORAIS, 2010).

#### 5.4 Metas de Redução Previstas pela Portaria N°490, de 22 de março de 2021

A Portaria N° 490, de 22 de março de 2021 estabelece que os municípios apresentem índices iguais ou inferiores ao índice médio nacional da última atualização da base de dados do SNIS. A meta é reduzir gradativamente a cada dois anos o percentual, alcançando 65% da média nacional anterior até o ano de 2034. Segundo dados do SNIS (2020), no ano de 2019 o Índice de Perdas na Distribuição médio brasileiro correspondeu a 39,2%.

Considerando os parâmetros elencados pela Portaria N° 490, de 22 de março de 2021 e os índices de perdas de água no Brasil, a Figura 5.6 apresenta as metas para redução do indicador respectivo, contemplando o período de 2019 até 2034.

**Figura 5.6** – Cenário estipulado como meta pela legislação vigente.

Fonte: O Autor (2021).

Os índices de perdas na distribuição nos anos foram estimados tendo como base a última atualização de dados do SNIS realizada em 2019. Os índices de perdas de água foram obtidos pela multiplicação do percentual de redução previsto pela legislação pela última atualização do banco de dados do SNIS, com o intuito de estabelecer o cenário desejável que fosse de fato factível para a realidade do país.

## 5.5 Análise Quantitativa dos Impactos Oriundos da Portaria N°490, de 22 de março de 2021

### 5.5.1 Previsão Populacional

Para fins de estimar o volume de água produzido para o cenário atual e para o cenário desejável, a previsão populacional do município de Belo Horizonte, obtida pelo método do crescimento logístico, assim como a população atendida com abastecimento de água para o período de 2021 a 2034 está sintetizada na Tabela 5.1. Considerando a meta de universalização do acesso a água potável preconizada pela Lei 14.026, de 15 de julho de 2020, como sendo de 99%, tal valor foi adotado para obtenção da população total atendida com abastecimento de água para os anos seguintes. Desta forma, a Tabela 5.1 também apresenta uma síntese contemplando a população total atendida com abastecimento de água considerando o período de 2021 até 2034.



**Tabela 5.1** – População estimada atendida com abastecimento de água

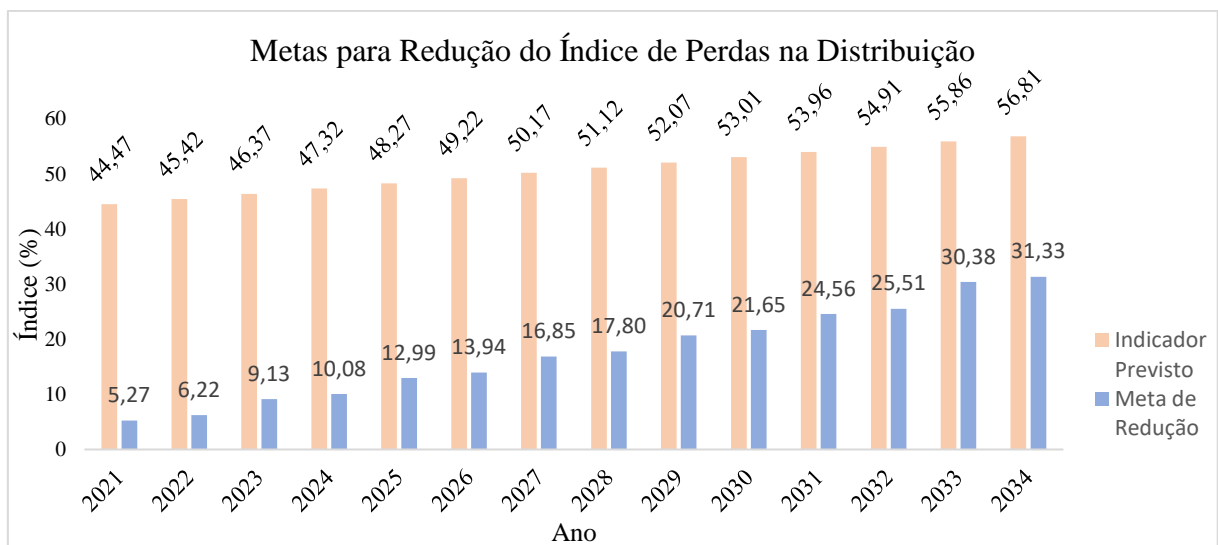
Ano	População	População Atendida
2021	2.426.274	2.450.782
2022	2.430.652	2.455.204
2023	2.434.730	2.459.323
2024	2.438.528	2.463.159
2025	2.442.063	2.466.730
2026	2.445.354	2.470.055
2027	2.448.417	2.473.148
2028	2.451.266	2.476.027
2029	2.453.917	2.478.705
2030	2.456.383	2.481.195
2031	2.458.677	2.483.512
2032	2.460.809	2.485.666
2033	2.462.792	2.487.669
2034	2.464.636	2.489.531

Fonte: O Autor (2021)

### 5.5.2 Avaliação dos Impactos

Com o intuito de averiguar a situação do município de Belo Horizonte, frente as metas de redução da média nacional do Índice de Perdas na Distribuição estipulado pela Portaria N° 490, de 22 de março de 2021, a Figura 5.7 apresenta o indicador previsto seguindo as conjunturas atuais e o valor do índice que deveria ser reduzido para que o município atendesse os requisitos da legislação respectiva.

**Figura 5.7** – Valores que devem ser decrescidos no Índice de Perdas na Distribuição em Belo Horizonte para atendimento à legislação vigente.



Fonte: O Autor (2021).

O volume de água produzido foi estimado de forma isolada considerando o cenário atual e o cenário desejado, a Tabela 5.2 apresenta a síntese dos dados obtidos. Os dados que foram utilizados para obtenção destes resultados estão disponíveis no Apêndice deste documento. Ao verificar as informações obtidas é possível perceber que os dados são inversamente proporcionais, ou seja, mesmo com o crescimento populacional previsto, é possível reduzir o volume de água produzido desde que os indicadores de perda de água acompanhem as definições da norma respectiva.

Os resultados demonstram que o sistema de abastecimento de água apresenta uma grave fragilidade e precariedade potencializada ao longo dos anos, tendo em vista o envelhecimento e desgaste do sistema. Segundo SNIS (2018), elevados valores deste indicador representam prejuízos de recursos naturais, operacionais e financeiros.

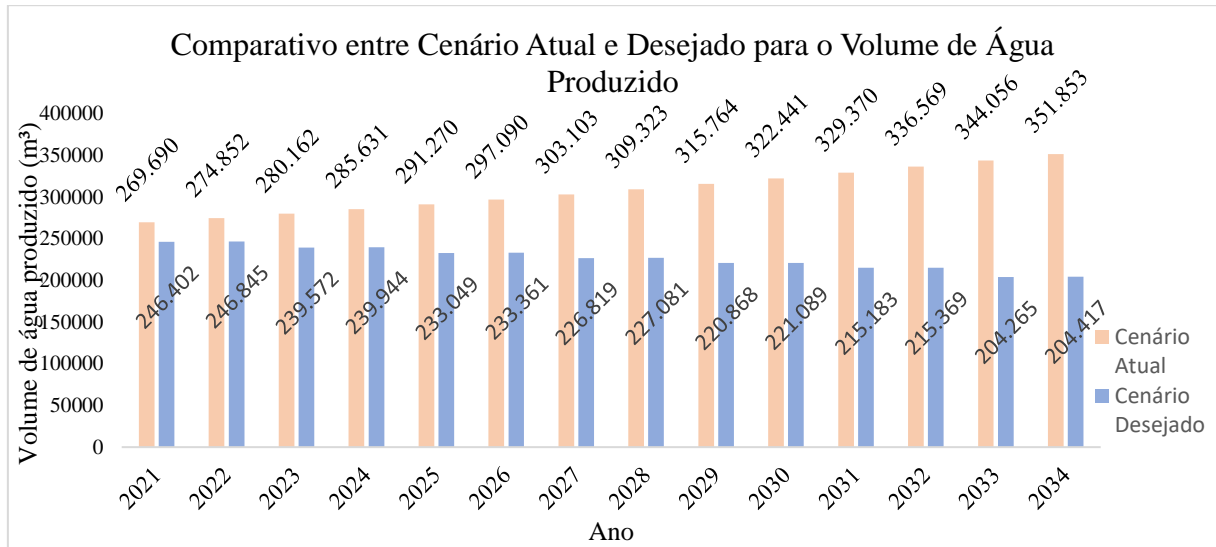
**Tabela 5.2** – Comparativo entre os cenários atual e desejado para o volume de água produzido.

Ano	Volume de Água Produzido (1000 m <sup>3</sup> )	
	Cenário Atual	Cenário Desejado
2021	269.690	246.402
2022	274.852	246.845
2023	280.162	239.572
2024	285.631	239.944
2025	291.270	233.049
2026	297.090	233.361
2027	303.103	226.819
2028	309.323	227.081
2029	315.764	220.868
2030	322.441	221.089
2031	329.370	215.183
2032	336.569	215.369
2033	344.056	204.265
2034	351.853	204.417

Fonte: O Autor (2021).

A Figura 5.8 apresenta um comparativo considerando os dados apresentados para o volume de água produzido entre a atual conjuntura e o cenário desejável em forma de gráfico de colunas para possibilitar melhor visualização dos dados retratados.

**Figura 5.8** – Comparação entre os cenários atual e desejado para o volume de água produzido.



Fonte: O Autor (2021).

## 5.6 Indicador Técnico de Perdas Reais (ITPR)

A Tabela 5.3 apresenta os dados utilizados para o cálculo do ITPR – Indicador Técnico de Perdas Reais, contemplando o período de 2001 a 2019. Os valores calculados para o ITPR foram expressos em litros/ligação/dia com intuito de representar as perdas reais diárias em cada ligação de água, seja ela ativa ou inativa.

A perda real média para o período avaliado corresponde a 430,04 L/lig/dia, sendo que os valores respectivos aos anos de 2001 a 2011 apresentaram tendência de queda, enquanto que no período de 2011 a 2019 a tendência se inverteu para crescimento, indicando uma possível tendência de evolução nos anos subsequentes.

Ao analisar conjuntamente o ITPR e o nº de ligações, pode-se constatar que nos anos de 2015 a 2019, o número de ligações praticamente se mantiveram constantes. Desta forma, pode-se inferir que por ser um indicador relacionado as perdas de água nas ligações potencializadas pelo envelhecimento das redes de distribuição, elevados valores representam a necessidade de intervenções nos ramais para redução deste índice.

**Tabela 5.3** – Dados utilizados para cálculo do ITPR.

Ano	ITPR (L/lig/dia)	Volume de água produzido (1000m <sup>3</sup> /ano)	Volume de água consumido (1000m <sup>3</sup> /ano)	Volume anual de perdas reais (1000m <sup>3</sup> /ano)	Quantidade de ligações totais de água
2001	402,35	222.070,00	147.945,00	74.125	504.742
2002	405,76	223.606,30	150.976,80	72.630	490.399
2003	493,00	237.754,74	149.539,04	88.216	490.236
2004	465,46	228.929,50	144.770,00	84.160	495.367
2005	449,51	227.018,73	144.929,29	82.089	500.330
2006	454,82	233.223,60	148.758,90	84.465	508.796
2007	445,79	236.592,69	151.628,16	84.965	522.176
2008	405,72	229.404,60	150.944,03	78.461	529.829
2009	409,93	230.738,53	150.377,76	80.361	537.089
2010	395,85	232.831,75	153.889,74	78.942	546.366
2011	402,20	239.129,64	157.452,03	81.678	556.380
2012	434,00	248.243,06	158.532,21	89.711	566.326
2013	439,49	252.108,08	159.363,07	92.745	578.160
2014	431,14	248.121,70	155.415,07	92.707	589.109
2015	391,11	224.272,41	138.464,62	85.808	601.090
2016	383,58	224.017,29	139.616,94	84.400	602.825
2017	428,78	232.626,12	138.756,55	93.870	599.787
2018	475,42	240.923,37	136.912,25	104.011	599.387
2019	456,88	239.462,43	139.031,11	100.431	602.243

Fonte: O Autor (2021).

### 5.7 Média de Perdas Reais Inevitáveis (MPRI)

A Tabela 5.4 indica os dados utilizados para o cálculo da Média de Perdas Reais Inevitáveis – MPRI, contemplando o período de 2001 a 2019. Os valores calculados para o indicador respectivo foram expressos em litros/ligação/dia com intuito de representar as perdas reais diárias, as quais são inevitáveis tendo em vista o limite técnico. A pressão adotada para o cálculo do indicador foi de 50 m.c.a (metros de coluna d'água) até o ano de 2017, nos anos posteriores segundo ABNT NBR 12218/2017, o valor adotado passa a ser de 40 m.c.a (metros de coluna d'água).

A perda real inevitável média para o período avaliado corresponde a 55,84 L/lig/dia, sendo que os valores respectivos aos anos de 2001 a 2017 não apresentam tendências de crescimento ou de queda, já nos anos de 2018 e 2019 houve uma redução do valor, uma vez que a pressão considerada para calcular o indicador foi menor do que nos anos anteriores. Ou seja, é importante ressaltar que os valores praticamente não mudam, seja considerando o intervalo entre 2001 e 2017 ou o período de 2018 e 2019.

**Tabela 5.4** – Dados utilizados para calcular o MPRI.

<b>Ano</b>	<b>MPRI (L/lig/dia)</b>	<b>Extensão da rede de água (km)</b>	<b>Quantidade de ligações totais de água</b>	<b>Comprimento total dos ramais prediais (km)</b>
2001	55,37	5.113	504.742	2.524
2002	57,68	6.226	490.399	2.452
2003	57,75	6.264	490.236	2.451
2004	57,77	6.342	495.367	2.477
2005	57,77	6.403	500.330	2.502
2006	57,69	6.465	508.796	2.544
2007	57,50	6.526	522.176	2.611
2008	57,45	6.592	529.829	2.649
2009	57,37	6.635	537.089	2.685
2010	57,21	6.653	546.366	2.732
2011	57,03	6.665	556.380	2.782
2012	56,93	6.719	566.326	2.832
2013	56,75	6.745	578.160	2.891
2014	56,60	6.776	589.109	2.946
2015	56,47	6.825	601.090	3.005
2016	56,46	6.838	602.825	3.014
2017	56,54	6.858	599.787	2.999
2018	45,28	6.891	599.387	2.997
2019	45,29	6.936	602.243	3.011

Fonte: O Autor (2021).

## 5.8 Índice de Vazamento na Infraestrutura (IVI)

Este indicador tem o propósito de analisar de forma geral a eficiência, as condições do gerenciamento da infraestrutura sob o estado atual de pressão média e abastecimento contínuo. Os valores encontrados para o Índice de Vazamento na Infraestrutura – IVI estão dispostos na Tabela 5.5, contemplando o período de 2001 a 2019. Para o IVI, quanto mais próximo de 1 mais eficiente é o sistema, e, quando maior que 10, pode-se classificar o sistema como ineficiente (COPASA, 2003). O valor do IVI médio é de 7,76, sendo que nos anos de 2001 a 2016 o índice permaneceu menor do que 10, entretanto nos anos posteriores, o valor foi um pouco acima, o que caracteriza a ineficiência do sistema (COPASA, 2003). Tal mudança ocorreu devido a alteração do valor da pressão adotado.

**Tabela 5.5** – Dados utilizados para calcular o IVI.

<b>Ano</b>	<b>IVI</b>	<b>ITPR (L/lig/dia)</b>	<b>MPRI (L/lig/dia)</b>
2001	7,27	402,35	55,37
2002	7,04	405,76	57,68
2003	8,54	493,00	57,75
2004	8,06	465,46	57,77
2005	7,78	449,51	57,77
2006	7,88	454,82	57,69
2007	7,75	445,79	57,50
2008	7,06	405,72	57,45
2009	7,15	409,93	57,37
2010	6,92	395,85	57,21
2011	7,05	402,20	57,03
2012	7,62	434,00	56,93
2013	7,74	439,49	56,75
2014	7,62	431,14	56,60
2015	6,93	391,11	56,47
2016	6,79	383,58	56,46
2017	7,58	428,78	56,54
2018	10,50	475,42	45,28
2019	10,09	456,88	45,29

Fonte: O Autor (2021).

### **5.9 Potencial de Recuperação de Perdas Reais (PRPR)**

Os valores encontrados para o Potencial de Recuperação de Perdas Reais – PRPR estão dispostos na Tabela 5.6, contemplando o período de 2001 a 2019. O valor do PRPR médio é de 374,20L/lig/dia, porém desconsiderando a diminuição de pressão, na realidade, há tendência de diminuição do PRPR entretanto, nos anos de 2016 a 2019, o índice apresentou tendência de crescimento. Para este indicador quanto menor o potencial de recuperação, mais próximo se aproxima da situação de perda ideal, ou seja, o município de Belo Horizonte apresenta uma tendência de piora no que tange o cenário das perdas de água.

**Tabela 5.6** – Dados utilizados para calcular o PRPR

<b>Ano</b>	<b>PRPR (L/lig/dia)</b>	<b>ITPR (L/lig/dia)</b>	<b>MPRI (L/lig/dia)</b>
2001	346,98	402,35	55,37
2002	348,09	405,76	57,68
2003	435,25	493,00	57,75
2004	407,69	465,46	57,77
2005	391,74	449,51	57,77
2006	397,13	454,82	57,69
2007	388,29	445,79	57,50
2008	348,27	405,72	57,45
2009	352,56	409,93	57,37
2010	338,64	395,85	57,21
2011	345,16	402,20	57,03
2012	377,07	434,00	56,93
2013	382,74	439,49	56,75
2014	374,54	431,14	56,60
2015	334,64	391,11	56,47
2016	327,13	383,58	56,46
2017	372,24	428,78	56,54
2018	430,14	475,42	45,28
2019	411,59	456,88	45,29

Fonte: O Autor (2021)

## 6 CONCLUSÃO

O tema referente às perdas de água é uma questão que envolve sustentabilidade ambiental e saúde pública, independentemente do Brasil ter uma das maiores reservas hídricas do planeta, problemas de desabastecimento e crises hídricas têm se mostrado recorrentes. Desta forma, a pesquisa desenvolvida apresenta-se como uma ferramenta de grande valia na investigação e enriquecimento desse assunto.

Com o desenvolvimento da pesquisa, foi possível obter, a partir dos indicadores de perdas disponibilizados pelo SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, uma análise da evolução dos índices de perdas para o município de Belo Horizonte e, a partir dessas informações, obter um diagnóstico geral para dois cenários envolvendo o desenvolvimento do índice de perdas na distribuição ao longo dos anos de 2021 a 2034.

A análise contemplando a evolução dos índices nas atuais conjunturas e no cenário desejável, permitiu apresentar um comparativo da situação durante o período de 2020 até 2034. Pela análise foi possível verificar que mesmo com o incremento populacional, é possível reduzir o volume de água produzido pelos sistemas de abastecimento de água, desde que as metas de redução do índice de perdas na distribuição sejam cumpridas.

A publicação da Portaria Nº 490, de 22 de março de 2021, torna-se uma ferramenta imprescindível para incentivar a adoção de medidas de combate às perdas de água potável na distribuição condicionando a alocação de recursos federais e financiamentos com recursos da União ao cumprimento das metas de redução do índice de perdas na distribuição.

A metodologia utilizada também permitiu a comparação dos indicadores a partir de métodos gráficos, corroborando para a melhor interpretação e entendimento da situação do sistema. Avaliar os indicadores: IN049 – Índice de Perdas na Distribuição, IN013 – Índice de Perdas Faturamento, IN051 – Índice de Perdas por Ligação, ITPR - Indicador Técnico de Perdas Reais, MPRI - Média de Perdas Reais Inevitáveis, IVI – Índice de Vazamento na Infraestrutura e PRPR - Potencial de Recuperação de Perdas Reais permitiu verificar como o índice de perdas afeta de forma geral um sistema de abastecimento de água.

A partir da análise dos indicadores foi possível constatar a necessidade de intervenções no que tange à infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água tendo em vista os indicadores elevados e considerando também as previsões preocupantes para o cenário. A necessidade de



investimentos com propósito de combater à ineficiência e à precariedade dos sistemas é substancial, evitando, assim o desperdício de recursos naturais, operacionais e financeiros para as prestadoras.

Como recomendação para pesquisas futuras, o presente trabalho apresenta uma metodologia vantajosa para avaliar de forma geral o contexto de um sistema de abastecimento de água seguindo uma metodologia que é aplicável para a maioria dos sistemas brasileiros, uma vez que é de fácil utilização. Desta forma, podendo servir como um estudo precursor do tema para avaliar os impactos oriundos da Portaria N° 490, de 22 de março de 2021 para os indicadores de perdas de água em sua totalidade.

É importante salientar a necessidade de outras pesquisas complementares especialmente para verificar outros aspectos relacionados as perdas nos sistemas de distribuição, como por exemplo a renda, disponibilidade hídrica, clima, idade do município e a aplicação e aceitação de novas tecnologias. Além do exposto, verificar também, a aplicabilidade da metodologia em outros sistemas de abastecimentos de água.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABES - Associação Brasileira De Engenharia Sanitária e Ambiental. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água: posicionamento e contribuições técnicas da ABES**, 2015.
- ARSAE - AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS: **Relatório de Fiscalização: Sistema Integrado de Abastecimento de Água da RMBH**, 2013. Disponível em: [http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/rf\\_tec\\_op\\_saa\\_sistema\\_bacia\\_paraopeba.pdf](http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/rf_tec_op_saa_sistema_bacia_paraopeba.pdf): Acesso em 10 set. 2021
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218: **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2017.
- BELONI, Ana Caroline Vermejo; PAPEL, Aline de Paula. **Estudo de controle de perdas em sistemas de abastecimento de água**. in: assembleia nacional da ASSEMAE, 45., 2015, São Paulo. Poços de Caldas: ASSEMAE, 2015.
- BERTOLO, L. A. **Métodos Básicos de Previsão no Excel**. In: Site prof. Bertolo. São Paula: Instituto Municipal De Ensino Superior Catanduva, 2013. Disponível em: <<http://www.bertolo.pro.br/MetodosQuantitativos/Simulacao/MetodosBasicosDePrevisaoDeSeriesTemporaisNoExcel.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2021.
- BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água**. Tecnologias de Controle. João Pessoa, 2013.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, de 05 de Outubro de 1988. Disponível em: <[https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/CON1988\\_05.10.1988/CON1988.pdf](https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/CON1988_05.10.1988/CON1988.pdf)>. Acesso em 12 fev. 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. FUNASA Fundação Nacional da Saúde. **Redução de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**. Brasília, 2014.
- BRASIL. Ministério da Saúde. FUNASA Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p
- BRASIL. Ministério da Saúde. FUNASA Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 5. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2019. 547 p
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.984, de 17 de Julho de 2000** – Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 2000. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19984.htm)>. Acesso em: 15 de Março de 2021.
- BRASIL. **Lei Federal Nº 11.107, de 6 de Abril 2005**. Dispõe sobre as Normas Gerais de Contratação de Consórcios Públicos e dá outras Providências. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato20042006/2005/Lei/L11107.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20042006/2005/Lei/L11107.htm)>. Acesso em; 17 de Março de 2021.

BRASIL. **Lei Federal nº 11.445, de 05 de Janeiro de 2007** – Política Nacional do Saneamento Básico – PNSB. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em; 17 de Março de 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União 2020; 16 jul.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Portaria nº 490, de 22 de março de 2021**. Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 4º do Decreto n. 10.588, de 24 de dezembro de 2020. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 159, n. 55, p. 30, 23 mar. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 888, de 04 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 07 de maio de 2021.

CERQUEIRA, Carlos Leony de Oliveira. **Diagnóstico e proposta de mitigação das perdas reais em Sistemas de Distribuição de Água – Estudo de Caso do SIAA Zona Fumageira – Cruz das Almas – BA**. 2013. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2013.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, p. 46, 1988.

COPASA — Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Programa Chuá – Recursos Hídricos, Um Planeta Azul**. Disponível em: [http://www.copasa.com.br/media2/pesquisaescolar/copasa\\_recursos\\_hidricos](http://www.copasa.com.br/media2/pesquisaescolar/copasa_recursos_hidricos). Acesso em: 12 fev. 2021.

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Programa de Redução de Perda de Água no Sistema de Distribuição**. Belo Horizonte, MG. 2003. 60 páginas

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Programa de Redução de Perdas de Água no Sistema de Distribuição: Aprovadas pelo conselho de Administração em 16/06/2003**. Belo Horizonte, 2003, 60p.

CORREIA JUNIOR, Milton; ARNT, Ricardo. **O problema não é só falta de chuva**. Revista Planeta, [s.l.], maio 2014. Disponível em: <https://www.revistaplaneta.com.br/o-problema-nao-e-so-falta-de-chuva/>. Acesso em 09 set. 2021.

DATASUS – **Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde**. Brasília [s.d.]. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?ibge/cnv/popmg.def>. Acesso em 10 set. 2021.

DINIZ, Aldo Roberto Silva. **Avaliação do controle de perdas físicas em redes de distribuição de água da região metropolitana de São Paulo**. 2012. 95 f. dissertação (mestrado) - curso de engenharia civil, universidade estadual de Campinas, Campinas, 2012.

ECO 21. Rio de Janeiro: Tricontinental Editora, mar. 2009. Disponível em: <http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=1938#:~:text=Em%20termos%20percentuais%2C%20a%20distribui%C3%A7%C3%A3o,%3B%202%25%20%2D%20Am%C3%A9rica%20Central..> Acesso em: 12 fev. 2021.

FIGUEIREDO, Joyce Kelly; MARTINS, Eder Marinho; FERREIRA, Wenderson Marques (org.). **A Equação Logística Aplicada à População Brasileira**. Revista de Matemática da Ufop, Ouro Preto, v. 6, n. 1, p. 62-82, jan. 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.ufop.br/rmat/article/view/1888/1666>. Acesso em: 09 set. 2021.

GARCIA, Bianca Harumi Yamaguti; PEREIRA, Ariany Cardoso; CASTRO, Samuel Rodrigues. **Análise Comparativa da Eficiência entre Sistemas de Abastecimento de Água: Belo Horizonte e Juiz de Fora/MG**. Disponível em: <http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/76/A0013.pdf>. Acesso em: 09 set. 2021.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG 2010. 431 p.

LEOPOLD, L. B.; CLARKE, F. E.; HANSHAW, B. B.; BALSLEY, J. R. **A procedure for evaluating environmental impact**. U. S. Geological Survey, Washington: Geological Survey 1971. 13p. Circular 645.

MINAS GERAIS. **Lei Estadual n.º 11.720, de 29 de dezembro de 1994**. Dispõe sobre a Política de Saneamento Básico e dá outras providências. Disponível em: <[www.almg.gov.br/](http://www.almg.gov.br/)>. Acesso em: 09 set. 2021.

MIRANDA, E. C.; **Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água – Indicadores de Perdas e Metodologias para Análise de Confiabilidade**. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM – 57/2002, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 2002, 200p.

MIRANDA, Ernani Ciríaco de; KOIDE, Sérgio. I-107 - **Indicadores de perdas de água: o que, de fato, eles indicam?** Brasília, [2002]. 32 f.

MOTA, Suetônio. **Introdução à engenharia ambiental**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

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, Recife, v. 30, n. 1, p.15-32, jan. 2010.

MOURA, Eulina Maria de; DIAS, Isabelly Cícera Souza; SILVA Jussara Severo da; SILVA, Ferdnando Cavalcanti da. **Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explicação sobre os tipos e principais causas**. In: Seminário

Hispano-Brasileiro Sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, 4., 2004, João Pessoa. Anais.... João Pessoa: Serea, 2004.

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, Recife, v. 30, n. 1, p.15-32, jan. 2010.

PBH - Prefeitura Belo Horizonte. **Informações Demográficas e Socioeconômicas de Belo Horizonte.** Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/estatisticas-e-indicadores>. Acesso em: 21 jul. 2021.

PERTEL, Monica. **Experimentos hidráulicos conjugados ao uso de indicadores de desempenho aplicados à quantificação de perdas em sistemas de abastecimento de água no Brasil.** 2014. 239 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014.

RECESA (Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental). **Abastecimento de água: Gerenciamento de Perdas de Água de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento, Guia do Profissional em Treinamento: Nível 2.** / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Brasília: Ministério das Cidades, 2009. 139p.

SANTOS, Joana Andrezza Claudino dos. **Controle de Perdas de Água em um Distrito de Medição e Controle do Sistema Costa Norte em Florianópolis/SC.** 2018. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018

SILVA, Fernando José Araújo da. **Perda de água em sistemas públicos de abastecimento no Ceará.** Rev. Tecnol., Fortaleza, v. 26, n. 1, p.1-11, jun. 2005.

SILVA, Marisa Taís de Oliveira. **Comparação de Diferentes Sistemas de Abastecimento Através de Indicadores de Perdas.** 2018. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** - 2018. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - Ministério das Cidades, 2019.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** - 2019. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - Ministério das Cidades, 2020.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Glossário de Indicadores: Água e Esgoto.** 2018. Disponível em: <[http://snis.gov.br/Glossarios/Glossario\\_Indicadores\\_AE2018.zip](http://snis.gov.br/Glossarios/Glossario_Indicadores_AE2018.zip)>. Acesso em: 10 set. 2021.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série Histórica.** Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 10 set. 2021.

TARDELLI FILHO, Jairo. **Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água.** Revista Dae, São Paulo, v. 64, n. 201, p.6-20, abr. 2016.

TARDELLI FILHO, Jairo. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

TONETO JÚNIOR, Rudinei; SAIANI, Carlos César Santejo; RODRIGUES, Regiane Lopes. **Perdas de água: entraves ao avanço do saneamento básico e riscos de agravamento à escassez hídrica no Brasil.** São Paulo: FUNDACE, 2013. 52 f.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 357 f.

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. **ESTUDOS POPULACIONAIS.** Disponível em: <https://www.etg.ufmg.br/wp-content/uploads/2018/09/tim1-2018-2-estudos-populacionais-texto-apoio.pdf>. Acesso em: 09 set. 2021.

UNESCO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Water and climate change.** França: UNESCO/WWDR, 2020.

VIANNA, M. R. **Hidráulica para engenheiros sanitaristas e ambientais.** 1ª edição. Belo Horizonte: Segrac Editora, 2007. Volume 4 Sistemas de tratamento de águas. 545 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG. 4a ed., 472 p. (2014).

WERDINE, Demarcus. **Perdas de água em sistemas de abastecimento.** 2002. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2002.

## GLOSSÁRIO

**Volume de água produzido:** volume de água disponível para consumo anualmente, medido ou estimado na saída das estações de tratamento de água.

**Volume de água consumido:** volume de água consumido por todos os usuários anualmente.

**Volume de água tratada importado:** volume anual de água importada de outros agentes fornecedores.

**Volume de serviço:** soma dos volumes gastos de forma anual para uso nas atividades operacionais e especiais, desconsiderando a água de lavagem das estações de tratamento de água.

**Quantidade de ligações ativas de água:** quantidade de ligações ativas de água oriundas da rede pública, providas ou não de hidrômetro.

**Volume de água faturado:** volume de água anual debitado ao total das economias (medidas ou não).

**APÊNDICE A: DADOS UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DO VOLUME PRODUZIDO**

<b>Ano</b>	<b>Volume de água tratada importado (1000 m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de serviço (1000 m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo médio per capita (L/hab.dia)</b>
2001	0	-	-
2002	0	-	180
2003	0	-	175,3
2004	0	-	167,9
2005	0	1.135,09	166,8
2006	0	1.166,10	169,3
2007	0	1.182,96	168,8
2008	0	1.147,02	164,9
2009	0	1.153,69	160,5
2010	0	1.164,16	170,6
2011	0	1.195,65	181,2
2012	0	1.241,22	181,7
2013	0	1.260,54	179,12
2014	0	1.240,61	171,34
2015	0	1.121,36	155,94
2016	0	1.120,09	160,61
2017	0	1.163,13	159,33
2018	0	1.204,62	157,38
2019	0	1.197,31	159,71