



Universidade Federal  
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
DESENVOLVIMENTO, PLANEJAMENTO E  
TERRITÓRIO - PGDPLAT**

**LIDIANE FERNANDA FERREIRA**

**ANÁLISE DOS FATORES DETERMINANTES DAS PERDAS NA  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA OS MUNICÍPIOS DO CAMPO DAS  
VERTENTES NO PERÍODO DE 2009 A 2022**

**São João del-Rei – MG**

**Setembro - 2024**

**LIDIANE FERNANDA FERREIRA**

**ANÁLISE DOS FATORES DETERMINANTES DAS PERDAS NA  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA OS MUNICÍPIOS DO CAMPO DAS  
VERTENTES NO PERÍODO DE 2009 A 2022**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Planejamento e Território da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), como um dos requisitos para obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Desenvolvimento, Planejamento e Território.

Linha de Pesquisa: Desenvolvimento, sustentabilidade e território.

Orientador: Talles Girardi de Mendonça.

**São João del-Rei – MG**

**Setembro - 2024**

**LIDIANE FERNANDA FERREIRA**

**ANÁLISE DOS FATORES DETERMINANTES DAS PERDAS NA  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA OS MUNICÍPIOS DO CAMPO DAS  
VERTENTES NO PERÍODO DE 2009 A 2022**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Planejamento e Território da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), como um dos requisitos para obtenção do grau de mestre.

Aprovado: 13/ 09/ 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Talles Girardi de Mendonça/ UFSJ

---

Profa. Dra. Patrícia Alves Rosado Pereira/ UFSJ

---

Prof. Dr. Douglas Marcos Ferreira/ UFSJ

---

Profa. Dra. Michele Polline Veríssimo/ UFU

## RESUMO

O acesso aos serviços básicos de saneamento, assim como a água potável são essenciais para qualidade de vida, é um direito básico à dignidade da pessoa humana. Com o aumento da demanda e a crise hídrica em muitas regiões, mostra-se relevante a gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água. Nesse sentido, em decorrência dos vazamentos nas redes de distribuição, desperdícios e da falta de água nas residências dos municípios do Campo das Vertentes, é necessário gerir estratégias de atuação a fim de reduzir as perdas de água e assim, o percentual de água perdida retorne à população. Uma das maneiras de atingir esse objetivo é verificar algumas das etapas que podem determinar as perdas de água no sistema de distribuição nos municípios do Campo das Vertentes, Minas Gerais, região sudeste do Brasil, escolhida por pertencer a uma das principais regiões reconhecidas por importantes nascentes. Para isso, foram coletados dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), compreendendo os anos de 2009 a 2022, referente a 6 indicadores operacionais relacionados às perdas, sendo eles: índice de perdas na distribuição de água, investimentos pelos prestadores de serviço, prestadores de serviços [Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e a Prefeitura Municipal de cada município], a população urbana, extensão da rede de água, volume de água micromedido e volume de água macromedido. Para atender os objetivos do trabalho foi utilizado a metodologia de dados em painel, com informações agregadas para municípios. Os resultados mostraram que os variáveis investimentos realizados pelos prestadores de serviço, extensão da rede de água, volume micromedido e volume macromedido impactam as perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes. Além disso, foi constatado que os investimentos, quando realizados de forma adequada, mesmo que indiretamente, atuam como forma de reduzir as perdas de água. Por conseguinte, é essencial dispor de planos de ação estruturais, coerentes, contínuos e eficazes para avaliar, controlar e reduzir as perdas de água de cada município do estudo.

**Palavras chave:** Perdas na distribuição de água; Campo das Vertentes Minas Gerais; Método de dados em painel.

## ABSTRACT

Access to basic sanitation services, like drinking water, is essential for quality of life and is a basic right to human dignity. With the increase in demand and the water crisis in many regions, it is important to manage losses in water supply systems. In this sense, as a result of leaks in distribution networks, waste and the lack of water in homes in the municipalities of the campo das vertentes, it is necessary to manage action strategies in order to reduce water losses so that the percentage of water lost is returned to the population. One of the ways to achieve this goal is to verify some of the stages that can determine water losses in the distribution system in the municipalities of the campo das vertentes, Minas Gerais, in the southeastern region of Brazil, chosen because it belongs to one of the main regions recognized for its important springs. To this end, data was collected from the National Sanitation Information System (SNIS), covering the years 2009 to 2022, on 6 operational indicators related to losses, namely: the rate of water distribution losses, investments by service providers, service providers (Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) and the municipal government of each municipality), the urban population, the length of the water network, the volume of micrometered water and the volume of macrometered water. To meet the objectives of the study, the panel data methodology was used, with aggregated information for municipalities. The results showed that the variables investments made by service providers, length of water network, micrometered volume and macrometered volume have an impact on water losses in the municipalities of the campo das vertentes. It was also found that when investments are made properly, even if indirectly, they act as a way of reducing water losses. It is therefore, essential to have coherent, continuous and effective structural action plans to assess, control and reduce water losses in each municipality in the study.

**Keywords:** Water distribution losses; Campo das vertentes Minas Gerais; Panel data method.

## **LISTAS DE TABELAS**

**Tabela 1 - Estatística descritiva.**

**Tabela 2 - População, perdas de água entre os municípios e natureza jurídica.**

**Tabela 3 - Evolução das perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes.**

**Tabela 4 – Tabela 4 – Matriz de Correlação de Pearson para as perdas na distribuição de água, 2009 a 2022.**

**Tabela 5- Modelo de efeitos fixos para as perdas na distribuição de água, 2009 a 2022.**

**Tabela 6- Perdas de água e investimentos nos municípios do Campo das Vertentes.**

**Tabela 7- Efeitos aleatórios dos investimentos realizados pelo prestador de serviço, 2009 a 2022.**

## **LISTA DE APÊNDICE**

**APÊNDICE A – Tabela de teste de igualdade de variância para índice de perdas dos municípios.**

**APÊNDICE B – Tabela de teste de igualdade de variância para investimentos nos municípios.**

**APÊNDICE C – Tabela de teste de igualdade de variância para extensão da rede nos municípios.**

## **LISTAS DE QUADROS**

**Quadro 1 - Balanço Hídrico.**

**Quadro 2- Perdas aparentes e sua origem.**

**Quadro 3- Testes e correções para os modelos.**

**Quadro 4 - Lista de variáveis e sinal esperado no Modelo Econométrico.**



## **LISTAS DE FIGURAS**

- Figura 1 - Tipos de vazamentos em uma rede de distribuição (Perdas Reais).**
- Figura 2 - Tipos de perdas aparentes em um sistema de abastecimento.**
- Figura 3: Ações para o Controle de Perdas Reais.**
- Figura 3: Ações para o Controle de Perdas Aparentes.**
- Figura 4. Área de estudo Campo das Vertentes.**
- Figura 5 – Síntese das ações para o controle e a redução de Perdas Aparentes.**
- Figura 6 - Área de estudo Campo das Vertentes.**
- Figura 7 - Perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes 2009.**
- Figura 8 - Perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes 2017.**
- Figura 9 - Perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes 2018.**
- Figura 10 – Evolução temporal das perdas x investimento.**

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**EXT RED - Extensão da rede de água.**

**IPD - índice de perdas na distribuição.**

**INPS - Investimentos totais realizados pelo prestador de serviços.**

**POP\_URB - População urbana.**

**SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.**

**Vol prod - Volume produzido.**

**Vol micr - Volume micromedido.**

**Vol Cons - Volume Consumido.**

**Vol Macr - Volume Macromedido.**

**COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais.**

**SE - Sociedade de Economia Mista com Administração Pública.**

**SAS - Serviço de Água e Saneamento.**

**SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto.**

**DAMAE - Departamento Autônomo Municipal de Água e Esgoto.**

**PMAV - Prefeitura Municipal de Alfredo Vasconcelos**

**PMAC - Prefeitura Municipal de Antônio Carlos.**

**PMB - Prefeitura Municipal de Barroso.**

**PMCN - Prefeitura Municipal de Capela Nova**

**PMC - Prefeitura municipal de Caranaíba.**

**PMC - Prefeitura Municipal de Carandaí.**

**PMDM - Prefeitura Municipal de Desterro de Melo.**

**PMI - Prefeitura Municipal de Ibertioga.**

**PMR - Prefeitura Municipal de Ressaquinha.**

**PMSBT - Prefeitura Municipal de Santa Bárbara do Tugúrio.**

**PMSR - Prefeitura Municipal de Senhora dos Remédios.**

**PMC - Prefeitura Municipal de Carrancas.**

**PMI - Prefeitura Municipal de Ijaci.**

**PMI - Prefeitura Municipal de Itumirim.**

**PMI - Prefeitura Municipal de Itutinga.**

**PML - Prefeitura Municipal de Luminárias.**

**PMRV - Prefeitura Municipal de Ribeirão Vermelho.**

**PMCBM - Prefeitura municipal de Conceição da Barra de Minas.**

**PMCXC - Prefeitura Municipal de Coronel Xavier Chaves.**

**PMDC - Prefeitura Municipal de Dores de Campos.**

**PMLD - Prefeitura Municipal de Lagoa Dourada.**

**PMMDM - Prefeitura Municipal de Madre de Deus de Minas.**

**PMN - Prefeitura Municipal de Nazareno.**

**PMP - Prefeitura Municipal de Prados.**

**PMRC - Prefeitura Municipal de Resende Costa.**

**PMR - Prefeitura Municipal de Ritópolis.**

**PMSCM - Prefeitura Municipal de Santa Cruz de Minas.**

**PMSG - Prefeitura Municipal de Santana do Garambéu.**

**PMST - Prefeitura Municipal de São Tiago.**

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Justificativa.....</b>	<b>15</b>
<b>2 ASPECTOS CONCEITUAIS SOBRE AS PERDAS DE ÁGUA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Conceitos fundamentais sobre perdas de água.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Caracterização das perdas.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Marco Regulatório sobre perdas de água.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Formas de prevenção das perdas.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5 Revisão de literatura empírica.....</b>	<b>28</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Área de estudo.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Método e modelo econométrico de dados em painel.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3 Fonte e base de dados.....</b>	<b>39</b>
<b>3.4 Tratamento dos dados e variáveis do modelo econométrico.....</b>	<b>40</b>
<b>4 RESULTADO.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Estatística descritiva, evolução das perdas de água e matriz de correlação.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Análise de regressão e ações que explicam as perdas de água nos municípios da mesorregião.....</b>	<b>50</b>
<b>4.3 Análise dos investimentos realizados no combate às perdas nos municípios da mesorregião.....</b>	<b>53</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial à vida e constitui um papel crucial no desenvolvimento socioeconômico de uma região. Segundo a Assembleia Geral das Nações Unidas, o direito à água tratada e ao saneamento básico adequado é um direito humano, fundamental para a redução da pobreza e para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2010). Com o crescimento acelerado das cidades, torna-se cada vez mais importante e urgente a universalização do saneamento básico pelos benefícios que propiciam ao desenvolvimento social, cultural e econômico (BRASIL, 2007).

Conforme Gomes (2021), o sistema de abastecimento de água é fundamental para assegurar o acesso da população aos recursos hídricos com qualidade e a quantidade necessária para atender às demandas da população. No entanto, um dos fatores que agravam a condição dos sistemas de abastecimento de água são a precariedade dos sistemas e a quantidade insuficiente de operadores que quando os têm, não possuem treinamento e capacidade de modo a controlar os índices de perdas na distribuição (ABES, 2013).

Nesse sentido, para Maia (2018), as perdas que ocorrem em um sistema de abastecimento de água, estão diretamente ligadas à eficiência e ao controle de desperdício do sistema, além de ser um indicador de desempenho operacional de suma importância para a prestadora do serviço de abastecimento. De acordo com Tsutiya (2006), os fatores que geram essas perdas, podem ocorrer em várias de suas etapas: na captação, na estação de tratamento, na adução, nos reservatórios, nas redes e ramais, nas ligações, instalações internas e podem ser por vazamentos, erros de medição, consumos não autorizados desde a saída até a chegada ao consumidor final. A prevenção dos fatores geradores das perdas exige algum nível de investimento, cabendo aos envolvidos as devidas realizações.

Sob uma visão econômica, na perspectiva de Andrade Sobrinho e Borja (2016) e Carvalho *et al.* (2004), as perdas de água nos sistemas de abastecimento público geram desperdício dos recursos, o que normalmente reflete nos usuários. No contexto ambiental, as perdas de água além de representar desperdício dos recursos hídricos, podem representar indiretamente risco à saúde ao serem afetados pela qualidade da água. Sendo assim, esses desperdícios trazem efeitos negativos tanto ao meio ambiente quanto ao sistema como um todo, além de afetar os usuários, o que pode ocasionar o aumento de custo na captação, adução, tratamento e distribuição final, determinando assim o aumento no custo da receita operacional (CARVALHO *et al.*, 2004). Dessa maneira, sem contabilizar as perdas, além de os prestadores de serviços não repassarem

esse valor para as melhorias necessárias nos sistemas de abastecimento, tornam-se ainda ineficientes quanto à distribuição da água.

Nesse contexto, nos dias atuais vive-se um momento em que com a crise hídrica, cresce a preocupação com a escassez dos recursos. De forma geral, os serviços públicos de saneamento básico no Brasil devem prover o abastecimento de água potável em cada residência, em todas as áreas urbanas ou rurais. Um exemplo desse quadro é a mesorregião do Campo das Vertentes, em Minas Gerais, no sudeste brasileiro. Esta região possui aproximadamente 594.581 habitantes segundo o Censo Demográfico do IBGE (2021) e, é composta por 36 municípios, agrupados em três microrregiões: Lavras, Barbacena e São João del-Rei. O Produto Interno Bruto (PIB) da mesorregião, em valores correntes em 2021, foi de R\$ 17 bilhões, representando 2% do Produto total do Estado de Minas Gerais. A economia da mesorregião concentrou-se basicamente no setor de serviços e setor industrial, nos quais são atividades econômicas que utilizam água, assim como o abastecimento de água e esgotamento sanitário, setor agropecuário, agricultura, entre outras atividades.

Há alguns anos, a Agência Nacional de Águas (ANA) declarou que a mesorregião do Campo das Vertentes sofreu problemas de abastecimento de água em alguns períodos mais secos. Os municípios enfrentaram uma crise hídrica que afetou a capacidade dos reservatórios de operar em níveis ideais de abastecimento. Porém, de acordo com a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), nem sempre a capacidade dos reservatórios consegue operar até o nível máximo normal, pois todos os reservatórios são de pequeno porte e, com isso, somente a Usina Hidrelétrica de Camargos tem capacidade de regularização de vazões de água. Essa opção é utilizada no período chuvoso para enchimento dos reservatórios com o objetivo de que durante o tempo seco liberem mais água (ANA, 2017).

Em decorrência dessas características geográficas e dos problemas de abastecimento, é de grande importância analisar as perdas no sistema de abastecimento de água nos municípios do Campo das Vertentes e verificar os fatores com maior influência, a fim de propor soluções para evitar desperdícios ao sistema e reduzir os índices de perdas. Desse modo, o presente estudo objetiva verificar os fatores determinantes do índice de perdas no sistema de distribuição de água nos municípios do Campo das Vertentes, no período de 2009 a 2022. Mais especificamente, os objetivos são: verificar a evolução das perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes, identificar quais variáveis afetam as perdas de água e analisar a efetividade das ações e dos investimentos realizados no combate às perdas nos municípios da mesorregião.

Como contribuição ao saneamento básico, esta pesquisa auxilia na implementação de alguns dos determinantes que, certamente, diminuirão as perdas de água, propondo melhorias no desempenho financeiro das empresas prestadoras de serviços. Nesta perspectiva, a presente pesquisa reúne várias estratégias no intuito de responder o seguinte problema de pesquisa: Existe algum fator no decorrer do sistema de abastecimento que determina as perdas na distribuição de água dos municípios do Campo das Vertentes? Desse modo, é de interesse da presente pesquisa testar a hipótese de que o aumento nos investimentos aplicados em água está associado à redução das perdas na distribuição de água.

### **1.1 Justificativa**

A análise das perdas na distribuição de água nos anos de 2009 a 2022 é relevante pois, em um sistema de abastecimento, o volume de perdas de água é um fator chave na avaliação da eficiência das atividades comerciais e de distribuição de um operador de saneamento. O diagnóstico das perdas é baseado no comportamento dos índices competentes, que, caso esteja elevado, sinaliza a necessidade de esforços para reduzir possíveis ineficiências no âmbito do planejamento, da manutenção, do direcionamento dos investimentos e de atividades operacionais e comerciais (Trata Brasil, 2022).

Em vista disso, segundo o Instituto Trata Brasil, existem diferentes déficits hídricos nas regiões do Brasil. Logo, a urgência na implementação de planos e ações efetivas focadas na redução das perdas torna-se ainda maior. Sendo assim para fins de comparação: “Consideram-se municípios com padrão de excelência em perdas aqueles que possuem indicadores inferiores a 25%. Em 2020, o índice nacional de perdas na distribuição, foi de 40,14%, demonstrando uma deterioração ante os 39,24% auferidos em 2019” (Trata Brasil, 2022).

De acordo com o índice nacional, a quantidade da água tratada perdida nos sistemas de distribuição no Brasil representa um volume de água, capaz de abastecer 66 milhões de brasileiros, ou seja, o déficit de 35 milhões de pessoas sem acesso ao recurso hídrico não existiria mais (Trata Brasil, 2022). No que se refere aos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no Brasil, a média de 37%, equivale a 3,7 litros de água perdidas para cada 10 litros produzidos, devido a fraudes, vazamentos, roubos ou erros de leitura em hidrômetros, entre outros fatores. Nos países com melhor nível de eficiência, o indicador é de 20% (SNIS, 2022).

Na mesorregião do Campo das Vertentes, somente no ano de 2018 houve uma perda

média de 28% de água. Quanto a isso, todos os sistemas de abastecimento de água têm nível de perda aceitável e o índice dos municípios do Campo das Vertentes é menor do que o nacional, mas também é elevado por representar uma mesorregião, logo, perder 28% da água que se trata é uma situação preocupante, pois pode aumentar a ocorrência de crise hídrica e a chance de desabastecimento.

Portanto, este estudo se diferencia de outros na área de perdas no sistema de distribuição de água, pois além de abranger uma mesorregião, concilia os determinantes das perdas relacionados a redes, volumes e investimentos e apresenta novas ações que podem ser focadas pelas empresas no combate às perdas de água, como a priorização de ações vinculadas à diminuição das perdas, visto a pressão da sociedade em momentos vivenciados de crise hídrica nos municípios.

Apesar da importância de medir perdas na produção, o foco da presente discussão serão as perdas na etapa de distribuição, definição que aborda também o aspecto da água que é entregue, mas não contabilizada (TARDELLI FILHO, 2016). Nesse sentido, faz-se importante questionar: como desenvolver uma gestão de perdas eficiente em sistemas de abastecimento? Como conferir aos decisores o conhecimento para promover melhorias e como conscientizar os envolvidos? Além dessas, são muitas as indagações. São muitos os fatores que influenciam direta ou indiretamente essa problemática. Tais evidências instigam um estudo no abastecimento de água com vários elementos que serão apresentados no decorrer do trabalho.

A estrutura do estudo está organizada em cinco seções além desta introdução. Na próxima seção, apresentam-se os aspectos conceituais sobre as perdas de água. Na terceira seção são descritos a metodologia utilizada e os dados. Na quarta seção apresentam-se os resultados, na quinta e última seção as considerações finais.



## **2 ASPECTOS CONCEITUAIS SOBRE AS PERDAS DE ÁGUA**

Esta seção insere-se no debate da problemática da redução de perdas na mesorregião do Campo das Vertentes, e antes de apresentar o quadro específico dos municípios com relação as perdas, é necessário compreender melhor o assunto discutido, através dos conceitos básicos e da lei. O primeiro tópico inclui o conceito das perdas de água. O segundo tópico inclui a caracterização das perdas. O terceiro tópico apresenta o Marco Regulatório sobre perdas de água. O quarto tópico apresenta as formas de prevenção das perdas, e o quinto tópico traz a evidência empírica.

### **2.1 Conceitos fundamentais sobre perdas de água**

Em vários lugares do mundo a situação é crítica devido a questão do abastecimento frente à escassez hídrica e financeira da empresa responsável. Ocorrem situações como o não aproveitamento ou não faturamento pelo uso da água devido à ineficiência do sistema. A realidade brasileira se apresenta com crescentes discussões sobre as perdas, o que deram impulso ao planejamento de ações centradas no combate às perdas e melhorias na eficiência das empresas do setor de saneamento, apesar disso, ainda está distante do ideal, com percentual de perdas do país próximo a 40% (SNIS, 2019).

Este entendimento sobre a necessidade de racionalizar e se esforçar para atingir melhores níveis de desempenho em um sistema de abastecimento, tornou as perdas de água um dos principais temas de debate que se discute em várias áreas como: o campo do saneamento básico, que aborda a infraestrutura e os serviços necessários para fornecer água potável e tratar esgoto, profissionais da área de engenharia civil e ambiental, que trabalham no desenvolvimento de tecnologias e métodos para detectar e reparar vazamentos, a gestão de recursos hídricos, que envolve a administração e a conservação dos recursos hídricos, estudos de economia e políticas públicas, que analisam o impacto financeiro das perdas de água e desenvolvem estratégias para reduzir essas perdas, dentre outras áreas de educação e conscientização (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – (SABESP, 2001); Trata Brasil, 2022).

Devido a isso, a expansão do acesso à água em condições de potabilidade, capaz de atender as demandas populacionais, é o grande desafio dos prestadores de serviço de

abastecimento de água. Muitas são as cidades que sofrem problemas graves nas redes de distribuição e um instrumento fundamental e sustentável dos recursos hídricos é o controle das perdas de água nesses sistemas.

Por definição, pode-se dizer que perdas em sistemas de abastecimento nada mais são que a diferença entre o volume total de água produzido nas estações de tratamento e a soma dos volumes medidos nos hidrômetros instalados nos imóveis dos clientes (SABESP, 2001). Nesse mesmo sentido, as perdas na distribuição divulgadas no sistema de dados do SNIS são consideradas como a diferença entre a água que foi disponibilizada para distribuição (após o tratamento) e o volume que foi consumido, ou seja, é a diferença entre a água que é captada no manancial (o *input* do processo) e a água entregue a população (*output*).

Segundo Tsutiya (2006), as perdas, em grande parte, são causadas por operação e manutenção deficientes das tubulações e inadequada gestão comercial das companhias de saneamento. Contudo, isso não quer dizer que é possível contar com “perda zero” no sistema de abastecimento de água, pois as perdas acontecem em todos os sistemas apenas a quantidade perdida é que varia. As perdas podem ocorrer em qualquer fase no decorrer do sistema de abastecimento, a partir da captação até a distribuição.

Pela terminologia da Associação Internacional de Águas (IWA), perdas de água é o volume referente à diferença entre a água entregue ao sistema de abastecimento e os consumos autorizados, medidos e não-medidos, faturados e não-faturados, fornecidos aos consumidores cadastrados, à própria prestadora de serviços e a outros que estejam implícitas ou explicitamente autorizados a fazê-lo (ALEGRE et al., 2006).

As perdas de água estão presentes em todas as partes de um sistema de abastecimento, desde a captação até a residência de cada usuário. Para a determinação e a identificação das perdas é fundamental que os volumes em cada parte do sistema sejam medidos através da macromedição e da micromedição (Sá, 2007).

## **2.2 Caracterização das perdas de água**

Na literatura técnica, os prestadores e reguladores comumente utilizam a metodologia proposta pela International Water Association (IWA). A IWA é uma associação sem fins lucrativos, de âmbito internacional, criada oficialmente em 1999. Sua missão é desenvolver

uma rede mundial de profissionais ligados a água, objetivando avançar nas melhores práticas um gerenciamento sustentável de água (IWA, 2008). É uma tentativa de padronizar o balanço hídrico de forma a estabelecer usos ou destinos da água em um sistema de abastecimento.

A IWA apresenta um esquema do processo pelos quais a água passa desde o momento que entra no sistema até chegar ao consumidor final para fins de obtenção de parâmetros, visualizadas num quadro chamado de “Balanço Hídrico” (Quadro 1). Trata-se de uma forma de caracterizar as perdas no serviço de abastecimento de água sob o foco da “distribuição”, onde evidencia as diferentes formas de se perder água.

Esse balanço, tem como parâmetro inicial o volume de água que entra no sistema, ao qual os cálculos para o balanço de água estão relacionados. Ele pode ser classificado como consumo autorizado ou como perda de água. O primeiro faz referência ao recurso hídrico fornecido aos clientes autorizados (medidos ou não), enquanto o último corresponde à diferença entre o volume de entrada e o consumo autorizado (Trata Brasil, 2022).

Quadro 1- Balanço Hídrico

Volume de entrada no sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo medido faturado (incluindo água importado)	Água Faturada
			Consumo estimado faturado	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo medido não faturado	Água não faturada (ANF)
			Consumo estimado não faturado	
	Perda de água	Perdas aparentes (não físicas)	Consumo não autorizado	
			Erro de Medição (macro e micromedição)	
Perdas Reais (físicas)		Vazamentos e extravasamentos em reservatórios		
	Vazamentos em adutoras e redes			
	Vazamentos em Ramais até o ponto de medição do cliente			

Fonte: CARVALHO et. al (2003).

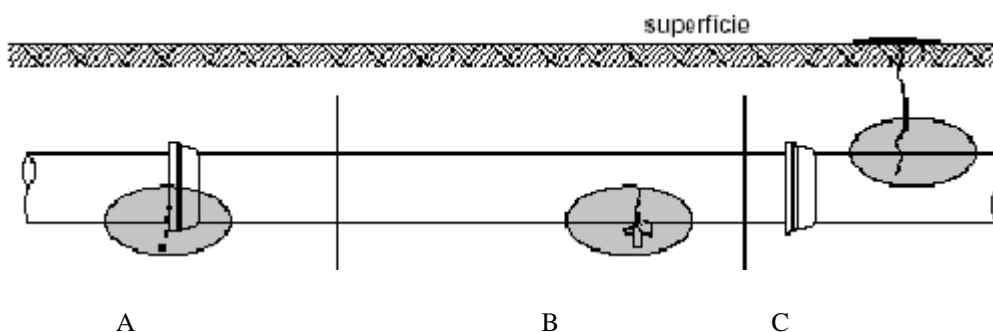
O consumo autorizado pode ser classificado como faturado ou não faturado, ou seja, medido ou não medido por hidrômetros para fins residenciais, comerciais e industriais. Em um sistema de abastecimento de água, as perdas totais podem ser classificadas levando em conta sua natureza: perdas aparentes (perdas não físicas) e perdas reais (perdas físicas).

Segundo Carvalho (2003), as perdas aparentes (não físicas) consistem no consumo não autorizado, ou seja, os volumes de água são consumidos, porém não faturados. São caracterizados por imprecisões ligadas à medição. Já as perdas reais (físicas) consistem nos vazamentos nas adutoras de água bruta e equivalem ao volume de água perdido em diferentes etapas como: captação, tratamento, armazenamento e distribuição, antes de chegar ao usuário. A Água Não Faturada (ANF) é a diferença entre a água que entra no processo do sistema de abastecimento e o consumo de água autorizado e medido por hidrômetros.

O controle de perdas físicas é de fundamental importância para a sustentabilidade ambiental e dos sistemas de abastecimento, principalmente nos centros urbanos brasileiros, onde o crescimento desordenado aliado a uma infraestrutura velha e inadequada faz com que o serviço de fornecimento de água fosse menosprezado durante anos, gerando um desperdício de recursos e gastos desnecessários (GENTIL ET. AL, 2019).

Para Gentil et. al (2019), o controle ativo dos vazamentos, através da pesquisa e reparo do vazamento não visível é uma das ações mais importantes no combate às perdas reais no sistema de abastecimento e podem ser classificados em três diferentes tipos: vazamentos inerentes, vazamentos não visíveis e vazamentos visíveis, como ilustrado na Figura 1 (SABESP, 2001).

Figura 1 - Tipos de vazamentos em uma rede de distribuição (Perdas Reais)

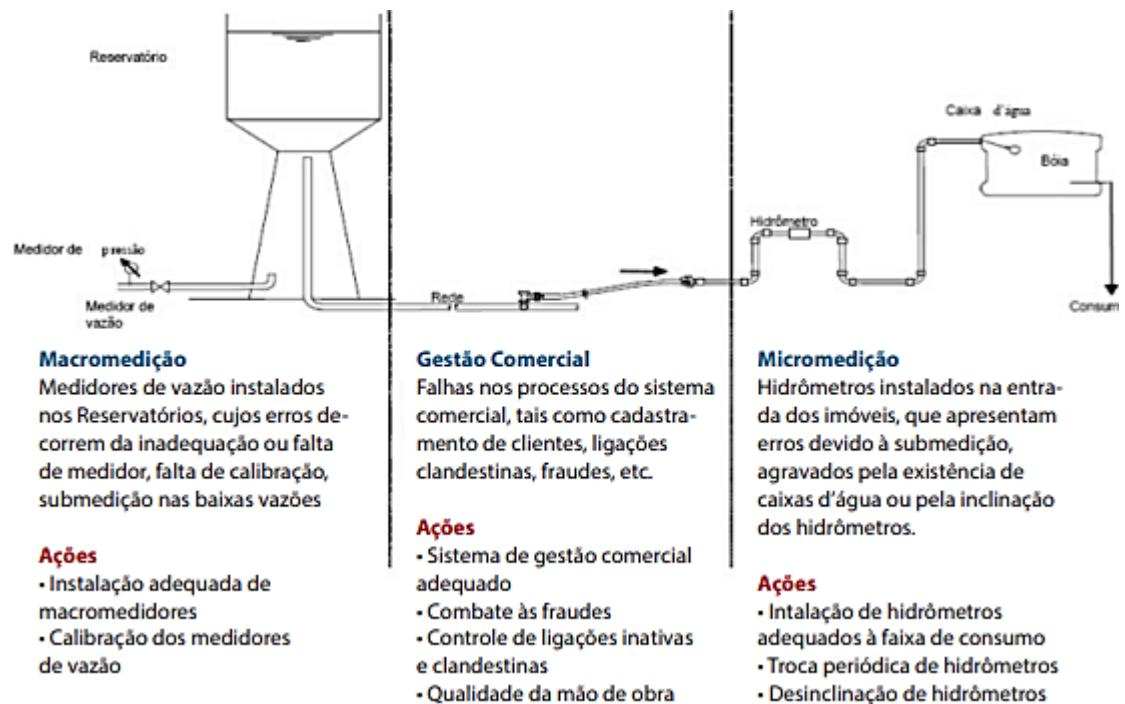


Fonte: Sabesp (2001).

- A- Vazamentos não visíveis: subterrâneo, possui baixa vazão, não é detectável por meio de equipamentos. Ocorre em juntas ou conexões e são difíceis de serem localizadas. Como forma de correção é necessário reduzir a pressão, materiais de qualidade e mão de obra.
- B- Vazamentos não visíveis: subterrâneo, carece de equipamentos para detectar e localizar. Para corrigir é necessário reduzir a pressão e pesquisar o vazamento por meio dos equipamentos.
- C- Vazamentos visíveis: emerge à superfície, ocorrem com maior frequência, porém são detectáveis e reparados rapidamente. Podem alcançar grande magnitude dependendo do vazamento, das condições do solo e da cobertura da tubulação.

As perdas aparentes também denominadas perdas comerciais, são decorrentes de erros na medição dos hidrômetros (por equívoco de leituras ou falha nos equipamentos), de fraudes, de ligações clandestinas ou mesmo de falhas no cadastro comercial como ilustrado na Figura 2. As perdas aparentes também podem ter origens e magnitudes distintas (Quadro 2).

Figura 2 - Tipos de perdas aparentes em um sistema de abastecimento



Fonte: Carvalho (2023), adaptado de FUNASA (2014).

Quadro 2: Perdas aparentes e sua origem

PERDAS APARENTES	MAGNITUDE	ORIGEM		
		Procedimentos cadastrais e de faturamento; Manutenção preventiva; Adequação de hidrômetros; e Monitoramento do sistema	Ligações clandestinas/irregulares Ligações sem hidrômetros Hidrômetros parados Hidrômetros que subestimam o volume consumido Ligações inativas reabertas.	Fraudes
		Erros de leitura Número de economias errado		

Fonte: Adaptado de GO ASSOCIADOS (2021).

Em suma, segundo Carvalho et. al (2003), as perdas são caracterizadas reais quando consideramos os vazamentos, os desperdícios de água em si, e são aparentes quando ocorrem problemas comerciais, de gestão, além de fraudes de usuários e erros de medição, ou seja, são produzidas por erros humanos. Como pode-se observar um sistema é bem complexo e exige um estudo bastante detalhado afim de identificar as perdas; esse assunto mostra-se relevante para todos os serviços públicos ou privados de água, são situações frequentes entre as empresas de saneamento.

### 2.3 Marco Regulatório sobre perdas de água

Atualmente, o setor de saneamento básico no Brasil tem recebido maior atenção governamental. Atender aos fundamentos do saneamento básico está entre os maiores desafios da infraestrutura e não o atender reflete atraso no setor. As principais normas que regulam o setor de saneamento estão representadas pela nova Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Esta é a lei de saneamento mais recente que dispõe em seu Art. 1º:

“Esta Lei atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000 , para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003 , para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005 , para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal , a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 , para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 , para tratar de prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação a unidades regionais, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017 , para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados” (BRASIL, 2020).

A Lei 9.433/1997, também de grande importância para o saneamento básico, refere-se à Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Conforme o artigo 1º da PNRH (1997), toma-se como base os fundamentos I e II, onde expressa que a água é um bem de domínio público e que ela é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, e conforme o artigo 2º da PNRH (1997), assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Já a Política Nacional de Saneamento Básico (2020) atribui à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) algumas competências conforme o artigo 4º-A parágrafo 1º, estabelece normas de referência sobre padrões de qualidade e eficiência na prestação, na manutenção e na operação dos sistemas de saneamento básico, além de estabelecer sobre a redução progressiva e controle da perda de água entre outras normas. Essas são leis que buscam algumas exigências para garantir a sustentabilidade em saneamento básico no Brasil e em específico sobre os recursos hídricos.

No Brasil, a NBR 12218 (NB 594) (2017) discorre sobre os Projetos de Redes de Distribuição de Água para Abastecimento Público, assegurando elementos necessários para o desenvolvimento do projeto, como que as redes são obrigadas a disponibilizarem água potável para os seus consumidores continuamente e mantendo a quantidade e pressões estabelecidas na norma. O projeto também assegura o programa de controle e redução de perdas; as legislações pertinentes vigentes; os critérios, procedimentos e diretrizes da operadora do sistema de abastecimento de água entre outros. Além dessa norma, outra mudança trazida pelo novo saneamento é que a ANA passará a emitir normas de referência relacionadas ao manejo de resíduos sólidos e à drenagem de águas pluviais em cidades.

Diante de tais leis e normas vigentes, as perdas de água instituem um dos temas mais importantes do Saneamento no Brasil. Recentemente, o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) publicou a Portaria Nº 490, de 22 de março de 2021, no Diário Oficial da União, sobre o Marco Legal do Saneamento, que determina os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto na Lei de Saneamento Básico, onde visa estabelecer ao cumprimento do índice de perda de água na distribuição.

A normativa do saneamento básico em seu primeiro artigo determina que “a alocação de recursos públicos federais e os financiamentos com recursos da União ou com recursos geridos ou operados por órgãos ou entidades ficam condicionados ao cumprimento de índice de perda de água na distribuição”. Está normativa do MDR indica até 2034 uma meta de índice de perdas na distribuição de no máximo 25% e índice de perdas por ligação uma meta de 216,0 litros/ligação/dia para todos os operadores no país.

Segundo essas novas diretrizes, “para fins de comprovação do cumprimento do índice de perda de água na distribuição, devem ser adotados os seguintes indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): o IN049 - índice de perdas na distribuição, medido em percentual; e IN051 - índice de perdas por ligação, medido em litros/ligação/dia”. Para alcançar as metas de universalização estabelecidas na normativa sobre Saneamento, até 2033 os municípios devem considerar iniciativas que contemplem a redução das perdas.

Nesse sentido, o setor de recursos hídricos, terá a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico como responsável por promover cursos e seminários voltados à capacitação dos atores envolvidos na regulação do setor de saneamento nas esferas municipal, intermunicipal, distrital e estadual. Além disso, quando solicitada, a ANA terá a atribuição de realizar a medição e arbitragem de conflitos entre o poder concedente, o prestador de serviços de saneamento e a agência que regula tais serviços prestados (ANA, 2023).

Em termos práticos, os municípios possuem delegações em vigor, contratos e prestações de serviços entre outras atribuições, porém, não apresenta a formalidade desses serviços ou obrigatoriedade sobre os procedimentos, para que os mesmos atinjam o cumprimento de tais indicadores. É necessário não apenas metas e funções, mas sim acompanhamento, sem a necessidade de solicitação, a fim de obter a universalização do serviço. Como diz o diretor presidente interino da ANA, “Precisamos promover uma cooperação que seja efetiva, entender o que cada um tem de melhor, o que cada um pode contribuir com o outro” (ABIJAODI, 2023). Ou seja, é necessário um debate conjunto para que a regulação funcione, conscientização não somente da população, dos prestadores, mas de todos os envolvidos, para assim, como o proposto no novo marco legal, de uma legislação forte, poder abrir espaço para mais serviços com excelência.

#### **2.4 Formas de prevenção das perdas**

Existem várias ações que contribuem na prevenção das perdas de água, porém, demandam constante esforço e aplicação de recursos a fim de evitar o aumento das perdas. Para lidar com perdas e com outros desafios pertinentes à distribuição de água, são diversos os caminhos possíveis. Os principais métodos de prevenção de perdas físicas ou não físicas, reais ou aparentes no geral podem ser classificados segundo a Sabesp (2010) em: Localização de vazamentos; Gerenciamento de pressões para reduzir e estabilizar a quantidade de vazamentos; Reparos dos vazamentos em redes e ramais; Renovação de redes e ramais antigos; substituição de tubulações e hidrômetros de modo a medir o volume consumido e combater as irregularidades



(fraudes). Em específico, as ações para o controle das Perdas Reais basicamente estão listadas a seguir:

- **“Gerenciamento de Pressões**, em que através do zoneamento piezométrico e adoção de equipamentos para aumentar (apenas para atingir uma região mais alta) ou reduzir as pressões, consegue-se trabalhar com pressões adequadas às normas estabelecidas e devidamente estabilizadas;
- **Controle Ativo de Vazamentos**, em que se busca identificar e reparar aqueles vazamentos não visíveis passíveis de detecção por meio de métodos acústicos (utilização de geofones, p. ex.), ao qual se contrapõe o "controle passivo de vazamentos" (só reparar os vazamentos quando afloram à superfície); é uma atividade essencial em qualquer programa de redução de Perdas Reais, cuja eficácia depende do planejamento da atividade (frequência maior de pesquisas em áreas com maior histórico de incidência de vazamentos ou elevada vazão mínima noturna), da qualidade da mão de obra empregada e dos recursos materiais e tecnológicos colocados à disposição dos técnicos;
- **Agilidade e Qualidade no Reparo dos Vazamentos**, em que a operadora de saneamento deve montar uma logística para reparar os vazamentos visíveis e não visíveis com maior agilidade, bem como capacitar a mão de obra empregada e utilizar materiais e métodos adequados de execução dos reparos. Fugas de água reparadas sem os devidos cuidados certamente voltarão a ocorrer no mesmo ponto (retrabalho), desperdiçando recursos financeiros e perpetuando as perdas;
- **Gerenciamento da Infraestrutura**, em que se buscam a boa execução das implantações das tubulações (qualidade dos projetos, materiais e mão de obra) e a substituição das mesmas quando o histórico de problemas assim justificar. É a atividade mais importante para o combate às Perdas Reais, com resultados definitivos e duradouros, porém com maiores custos agregados” (SABESP, 2014).

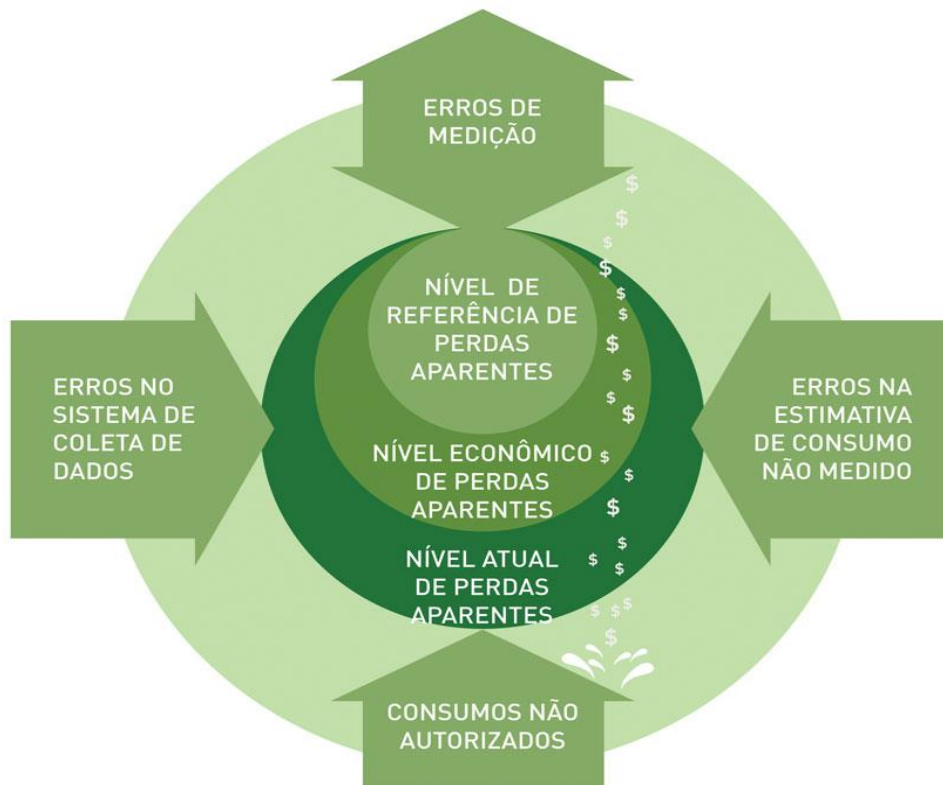
Figura 3 - Ações para o Controle de Perdas Reais



Em específico, as ações para o controle das Perdas Aparentes basicamente estão listadas a seguir:

- **“Erros de Medição**, em que os volumes apurados pelos hidrômetros sistematicamente são menores do que os efetivos, por conta de valores de alguns fluxos que passam se situarem nas faixas de baixa precisão dos hidrômetros; esta submedição é potencializada pela existência de caixas d’água com boia, pelo tempo de instalação do hidrômetro ou pela instalação inclinada do mesmo. Ensaios realizados com hidrômetros residenciais Classe B, com tempos de instalação entre seis e oito anos, mostraram os seguintes percentuais de submedição (ARREGUI, 2007): o Sem caixas d’água domiciliares: -7% | o Com caixas d’água domiciliares: -17%
- **Consumos Não Autorizados**, representados pelas fraudes e ligações clandestinas realizadas nos hidrômetros ou cavaletes, bem como pelo roubo de água nos hidrantes públicos; são considerados como "crime" e é uma parcela difícil de ser avaliada, por razões óbvias, lançando-se mão de estimativas 26%;
- **Erros no Sistema de Coleta de Dados**, representados pelos problemas encontrados no sistema de macromedição e nos sistemas de apuração de consumos (leitura e processamento), falhas no Cadastro Comercial e outras anomalias nos processamentos dos sistemas comerciais da companhia de saneamento;
- **Erros na Estimativa de Consumos Não Medidos**, representados pelas estimativas requeridas para valorar os consumos dos imóveis conectados desprovidos de hidrômetros” (SABESP, 2014).

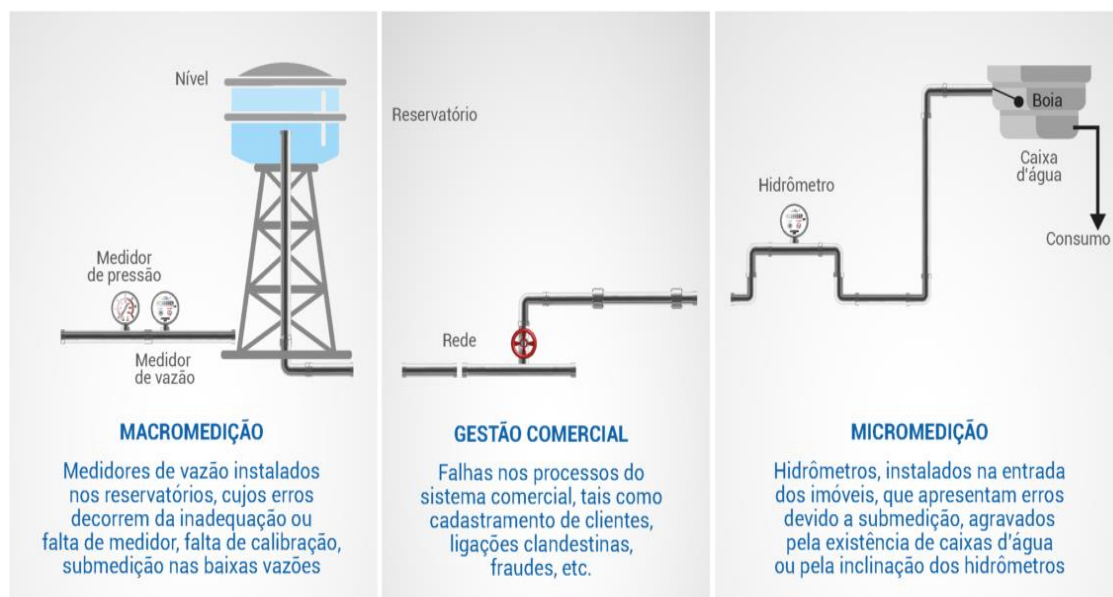
Figura 4 - Ações para o Controle de Perdas Aparentes



Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015).

A figura 5 apresenta, em síntese, as principais ações para o controle e a redução das perdas aparentes. No âmbito da macromedição, as ações adequadas são a instalação adequada de macromedidores e a calibração dos medidores de vazão. No âmbito da gestão comercial, as ações incluem o controle de ligações inativas e clandestinas. No que concerne à micromedição, as ações abrangem a instalação adequada e a substituição periódica dos hidrômetros (ABES, 2013).

Figura 5 – Síntese das ações para o controle e a redução de Perdas Aparentes



Fonte: TARDELLI FILHO, J. Controle e Redução de Perdas. In TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. 2006.

Segundo a Sabesp (2013), as Perdas Inevitáveis (Reais ou Aparentes) é um termo usado para atribuir níveis de perdas considerados naturais, que é improvável não ocorrer. Constituem um nível aceitável de perdas, ocorrem por erros técnicos ou tecnológicos em todo e qualquer sistema de abastecimento. É a confirmação apresentada pelo autor Tsutiya de que não existe “Perda Zero” em um sistema de abastecimento de água.

Outra forma de prevenção além da detecção, é a execução do combate as perdas juntamente com a prestadora de serviços como o planejamento e gestão. Portanto, é necessário o levantamento de vários dados para análise, identificação do número de ligações ativas e inativas, informações cadastrais, entre outras. A execução dos instrumentos de prevenção aqui apresentado exige algum nível de investimento, cabe assim, verificar através de alguns trabalhos sobre perdas de água, sua relação com possíveis variáveis.

## 2.5 Revisão de literatura empírica

Têm-se, na literatura empírica trabalhos que visam a analisar as empresas prestadoras de serviços de saneamento básico. Trabalhos, como o de Cambrainha e Fontana (2015), analisaram a correlação entre as variáveis perdas e investimentos para todos os Estados do Nordeste do Brasil que resultou em correlação fraca. Portanto, examinaram outras variáveis determinantes dos investimentos, como o volume de água produzido e a extensão (comprimento) da rede de distribuição, concluindo que são as mais importantes para explicar tanto as perdas quanto os investimentos em água, não havendo relação direta entre elas.

Outro fator a ser considerado em relação aos investimentos para o saneamento básico como um todo é em relação à forma de gestão do prestador de serviço (público ou privado) e se existe alguma tendência a influenciar no seu desempenho. Nozaki (2007), buscou analisar o setor de saneamento no Brasil, procurando identificar os principais fatores que limitam a expansão dos serviços, o investimento e a eficiência do saneamento, resultando que os prestadores dos serviços de saneamento básico privados obtiveram melhor performance do que os públicos. Com isso, concluiu-se que é necessária a adoção de medidas pelo poder público a fim de propiciar maiores investimentos no setor.

Em se tratando das perdas, Andrade Sobrinho e Borja (2016) analisaram os fatores que têm influenciado na efetividade da gestão das perdas de água e energia em sistemas de abastecimento operados pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento (Embasa) na região metropolitana de Salvador (RMS). Eles realizaram uma pesquisa documental e verificaram o comportamento dos indicadores e os resultados dos programas implementados. Os dados evidenciaram que, apesar dos programas, as perdas de água se mantiveram elevadas e as ações de eficiência energética foram mais eficazes. Os autores concluíram que o sucesso das ações para o uso eficiente da água e da energia exige a superação das abordagens parciais e voltadas para a dimensão técnico-operacional, devendo-se incorporar a noção da complexidade e o caráter intersetorial e integrado.

Em conformidade com a análise das perdas de água, o trabalho de Vargas e Azevedo (2021) verificou a distribuição estatística em sistemas de distribuição. Para tanto, os autores examinaram variáveis quantitativas entre perdas na distribuição, o tamanho das cidades (população urbana), as ligações ativas de água, o tamanho dos sistemas de distribuição (extensão da rede de água) e o volume produzido, concluindo que quanto maior a cidade, há muito mais interações e mais produção *per capita* do que se poderia esperar em um sistema trivial ou seja, quanto maiores as cidades, maiores são os efeitos gerados sobre as perdas reais,

pois o consumo da água furtada faz aumentar a pressão na rede de água projetada para um consumo menor, levando a mais vazamentos.

Costa, Ferreira e Rainho (2019) também seguiram a abordagem quanto aos recursos hídricos. Eles buscaram, em seu trabalho, identificar os determinantes que explicam o índice de perda na distribuição de água para as empresas de saneamento brasileiras como também utilizaram uma regressão múltipla para avaliar a relação entre os potenciais determinantes e o índice de perda na distribuição de água. Os resultados indicaram que os índices de perda na distribuição de água podem ser reduzidos quando as empresas possuem certas características de governança como controle privado e/ou capital aberto, bem como optam pela gestão terceirizada via contratação por performance ou investindo em tecnologia para informar vazamento como atendimento telefônico e *online*. Além disso, as evidências apontam que, quando as empresas vivenciam períodos de crise hídrica, apresentam menor índice de perda na distribuição em virtude de anteciparem suas ações de controle de perda para reverter o contexto negativo da crise.

Borges (2007) traz, em seu trabalho a importância da eficiência na micromedição, pois além de se chegar a um índice de perdas aceitável, proporciona outras vantagens às empresas de saneamento como: sensibilidade ao detectar vazamentos, informações precisas para previsão das demandas futuras e tarifas justas e confiáveis. Nesse sentido, aumentando o volume micromedido de água, reduzem-se as perdas na distribuição de água. O estudo buscou avaliar as perdas comerciais causadas pela submedição dos hidrômetros instalados na área urbana da cidade de Uberlândia-MG comumente utilizados.

Outra abordagem é quanto ao uso da água por meio de dados em painel, Cruz *et al.* (2019) estimaram a função da demanda municipal por água por meio da estrutura de dados em painel dinâmico, a fim de verificar os impactos da política de preço na quantidade consumida de água. A abordagem resultou em demonstração de que a elasticidade de longo prazo é maior do que a de curto prazo (anual). Ademais, foram levadas em consideração as diferentes regiões hidrográficas e as características operacionais de cada município.

Existem vários outros estudos sobre as perdas na distribuição de água, dentre eles, a literatura constatou que as perdas na distribuição estão vinculadas com a extensão das redes, porque quanto maior a extensão de redes, maior a ocorrência de vazamentos em pontos críticos e variações de pressões (Cambrainha; Fontana, 2015; Costa; Ferreira; Rainho, 2019; Vargas; Azevedo, 2021). A literatura também constatou que o volume macromedido e o volume micromedido também estão vinculados às perdas de água, uma vez que o sucesso das

companhias de saneamento é diretamente proporcional à eficiência da micromedição e macromedição realizada de forma que deficiências na micro e macromedições aumentam as irregularidades nas instalações e fraudes nos hidrômetros (Sá, 2007; ABES, 2013; Lins, 2021). Para Segundo e Marques (2019), a micromedição está entre os indicadores operacionais mais significativos que o SNIS disponibiliza em relação à análise de perdas de água.

Dessa maneira, em virtude do gerenciamento das perdas de água, a eficiência nos sistemas de distribuição é imperiosa, devendo essa gestão ser adicionada às ações e aos projetos, por razões de caráter social, ambiental e econômico.

Sendo assim, com base na realidade descrita, este trabalho se propõe a se diferenciar de outros estudos na abrangência de uma microrregião, conciliado com os determinantes das perdas na etapa de distribuição relacionados a redes, volumes, investimentos, número de habitantes, prestadores de serviços e na apresentação de novas ações que podem ser focadas pelas empresas no combate às perdas de água como a priorização de ações vinculadas à diminuição das perdas, visto a pressão da sociedade em momentos vivenciados de crise hídrica nos municípios da mesorregião.

Mediante todos os mecanismos disposto nessa contextualização dos aspectos conceituais para o controle das perdas na distribuição de água, faz-se necessário analisar os fatores determinantes nas etapas do sistema de abastecimento e a avaliação das perdas na distribuição de água na mesorregião do Campo das Vertentes.

### **3 METODOLOGIA**

Dada a relevância apresentada na seção anterior sobre o estudo envolvendo as perdas na distribuição de água, o presente trabalho propõe uma pesquisa de caráter exploratório, para que se tenha uma visão geral do assunto, e descritivo, para expor as características entre as variáveis, com apresentação de análise qualitativa e quantitativa relativa aos municípios do Campo das Vertentes, a fim de mensurar a coleta e análise dos dados. Esta metodologia se divide em: Área de estudo, Método, Modelo econométrico de dados em painel, fonte e base de dados e tratamento dos dados.

#### **3.1 Área de estudo**

A mesorregião do Campo das Vertentes é constituída de três microrregiões: Barbacena,

São João del-Rei e Lavras, que englobam no total 36 municípios. A microrregião de Barbacena é formada pelos municípios de Alfredo Vasconcelos, Antônio Carlos, Barbacena, Barroso, Capela Nova, Caranaíba, Carandaí, Desterro do Melo, Ibertioga, Ressaquinha, Santa Bárbara do Tugúrio e Senhora dos Remédios. A microrregião de Lavras é constituída pelos municípios de Carrancas, Ijaci, Ingai, Itumirim, Itutinga, Lavras, Nepomuceno e Ribeirão Vermelho. E, finalmente, a microrregião de São João del-Rei é formada pelos seguintes municípios: Conceição da Barra de Minas, Coronel Xavier Chaves, Dolores de Campos, Luminárias, Madre de Deus de Minas, Nazareno, Piedade do Rio Grande, Prados, Resende Costa, Ritópolis, Santa Cruz de Minas, Tiradentes (ROCHA et al., 2004) (Figura 6).

**Figura 6 – Área de estudo Campo das Vertentes**



Fonte: IBGE (2012).

A mesorregião do Campo das Vertentes do estado de Minas Gerais está localizada na região Sudeste do Brasil, entre a Zona da Mata e o Sul de Minas. De acordo com Cidade Brasil (2021), a mesorregião apresenta uma área de 12.580 km<sup>2</sup> de superfície, densidade demográfica de 47,3 hab./km<sup>2</sup> e altitude de 967 m. A população total da mesorregião do Campo das Vertentes em 2021, segundo o Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), era de 594.581 habitantes, sendo que, desse total, a maior parte reside nos centros urbanos. Na região, 53% dos habitantes estão concentrados nas cidades de Barbacena, com 127.261 habitantes; Lavras, com 100.773 habitantes; e São João del Rei, com 85.934 habitantes.

O restante dos municípios, com exceção das cidades de Carandaí e Nepomuceno com população, respectivamente, de 19.646 e 26.882 habitantes, é constituído de pequenas cidades com população inferior a 11 mil habitantes.

O Produto Interno Bruto da mesorregião, em valores correntes de 2021 foi de R\$ 17 bilhões, representando 2% do Produto total do estado de Minas Gerais. A economia concentrou-se, basicamente, no setor de serviços, com produto de R\$ 6,7 bilhões, e no setor industrial, com produção de R\$ 3,4 bilhões. A agropecuária, com participação total da região de 3,9%, teve sua produção estimada de R\$ 2,1 bilhões. Os municípios de Barbacena, Lavras e São João del-Rei, com produto, respectivamente, de R\$ 3,5, R\$ 2,9 e R\$ 3 bilhões, concentraram 55% do produto total da região.

Em termos de clima, é uma região notadamente amena, com municípios e cidades que chegam a estar entre as mais frias do estado de Minas Gerais, como Ibertyoga, Lavras, Barbacena e São João Del-Rei. Essa mesorregião possui relevos, muitas nascentes de rios e pequenos cursos de água, o que faz colaborar para a formação de importantes bacias hidrográficas: Bacia do Alto Rio Grande, Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes e Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré (Conheça Minas, 2017). Além disso, a região é montanhosa, fazendo parte da Serra da Mantiqueira.

A Serra da Mantiqueira abrange três estados, Minas Gerias, São Paulo e Rio de Janeiro. É uma serra fundamental não somente para o abastecimento, mas principalmente para a manutenção das florestas remanescentes da Mata Atlântica, além de ter início em um dos municípios do Campo das Vertentes (Barbacena). Os declives das serras da região lembram mares de morros, escorrem águas de nascentes, riachos e córregos. Suas águas deságuam em rios, que contribuem para a formação de bacias hidrográficas do Brasil, duas de âmbito nacional: as Bacias do Paraíba do Sul e do São Francisco e uma internacional, a Bacia do Paraná. Seus campos nativos são formados por terem como características vegetações rasteiras, formada nos declives vertentes das serras. Por isso o nome Campo das Vertentes (CONHEÇA MINAS, 2017).

No Campo das Vertentes existem várias atividades econômicas que utilizam água. Algumas delas incluem abastecimento de água e esgotamento sanitário, setor industrial, agropecuária e agricultura, entre outras atividades. O setor industrial na mesorregião utiliza água para produzir os alimentos de toda a população. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) para a Alimentação e Agricultura (FAO), a agricultura é o setor que mais consome água no mundo, cerca de 70%. A água também desempenha um papel crucial na



agropecuária, e seu uso consciente é fundamental para a sustentabilidade do setor. Além disso, a ONU estima que 72% da água fresca doce retirada do planeta é destinada à irrigação (Oliveira; Moretti, 2024). Além dessas atividades, o Campo das Vertentes é um importante divisor de águas do planalto brasileiro, como citado anteriormente.

Para o abastecimento de água e o esgotamento sanitário, tem-se como prestadores de serviços a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), autarquias e Prefeituras dos municípios, que atuam fornecendo serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto. A Copasa é uma sociedade de economia mista brasileira com administração pública de Minas Gerais, atua na região fornecendo serviços de abastecimento de água em 28 municípios da mesorregião, sendo 4 desses municípios abastecidos pela Copasa e Prefeitura municipal no mesmo município (abastecimento misto) e 24 municípios abastecidos somente pela Copasa. A prefeitura dos municípios atua como departamento público de abastecimento de água em 11 municípios, sendo 8 abastecidos somente pela prefeitura local ou autarquia (SNIS, 2021).

Considerando-se a possibilidade de ocorrência de escassez dos recursos hídricos em consequência do crescimento populacional e o aumento da demanda de água por habitante em cada município, a mesorregião do Campo das Vertentes é considerada uma boa área de estudo, já que abrange uma significativa quantidade de municípios e possui diferentes prestadores de serviços de água. Além de ter grande importância quanto aos recursos hídricos e ser fundamental para vários cursos d'água, necessita de melhoria nas infraestruturas, redes e distribuição, a fim de evitar as perdas das águas.

### **3.2 Método e modelo econométrico de dados em painel**

O modelo de regressão com dados em painel será aplicado a fim de compreender a associação entre três tipos de dados que em geral estão disponíveis para a análise aplicada: as séries temporais, os cortes transversais e os painéis. De acordo com Gujarati e Porter (2011), nas séries temporais, observa-se os valores de uma ou mais variáveis em um período de tempo (como as variáveis dependentes e independentes ao longo de vários anos). Nos dados de corte transversal, coletam-se dados relativos a uma ou mais variáveis para várias unidades ou entidades amostrais no mesmo período (como os índices de perdas para os municípios do Campo das Vertentes no período de 2009 a 2022). Nos dados em painel, a mesma unidade de corte transversal (município) é acompanhada ao longo do tempo.

São várias as vantagens de usar dados em painel: primeiro, eles aumentam

consideravelmente o tamanho da amostra e os graus de liberdade, além disso, são mais eficientes, informativos e possuem maior variabilidade por combinar a temporaneidade com corte transversal. Segundo que, ao estudar observações repetidas de corte transversal, os dados em painel são mais adequados para estudar a dinâmica da mudança; e terceiro, os dados em painel permitem estudar modelos comportamentais mais complicados e detecta e mede melhor os efeitos que não são observados apenas em corte transversal ou em uma série temporal separados (GUJARATI & PORTER, 2011).

Apesar das vantagens substanciais, segundo Gujarati & Porter (2011), os dados em painel impõem vários problemas de estimação e inferência, os problemas inerentes aos dados de corte transversal (heterocedasticidade) e de séries temporais (por exemplo, autocorrelação) que precisam ser tratados.

No caso em estudo, o uso de dados em painel se deve à disponibilidade de dados de corte transversal para todos os municípios da mesorregião do Campo das Vertentes, acompanhados ao longo do tempo. Em síntese, os dados em painel têm uma dimensão espacial e outra temporal.

Sendo assim, para analisar os fatores determinantes das perdas de água nos municípios utiliza-se a metodologia de dados em painel, conforme o modelo empírico apresentado na equação (1):

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + u \quad (1)$$

em que  $i$  indexa a unidade de variação ( $i= 1, 2, 3, \dots$ ), isto é, os municípios do Campo das Vertentes, e  $t$  indexa a unidade de tempo disponível ( $t= 2009, \dots, 2022$ ), indicando que temos observações tanto na dimensão espacial (municípios) como temporal (anos). Neste trabalho, cada unidade amostral possui o mesmo número de observações temporais; logo, temos um painel balanceado. O  $Y$  é o logaritmo das perdas de água. O conjunto  $(\beta_1 + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + u)$  são os parâmetros a serem estimados e  $u$  é o termo do erro. Com relação à escolha da proxy para as perdas de água, o Índice de perdas na distribuição é a variável mais adequada ao objetivo. Sendo assim, a especificação proposta pelos autores Cambrinha e Fontana (2015), Vargas e Azevedo (2021) e Sá (2007) para estimar o status de perdas de água é:

$$IPD_{it} = \beta_0 + \beta_1 INPS_{1it} + \beta_2 Extred_{2it} + \beta_3 Volmacr_{3it} + \beta_4 Volmicro_{4it} + \mu \quad (2)$$

No qual o índice de perdas (IPD) é dependente dos investimentos totais realizados pelo prestador de serviços (INPS), da extensão da rede de água (Ext red), do volume micromedido

(Vol micr), do volume macromedido (Vol macr) e seus interceptos ( $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_9$ ).

Para Gujarati e Porter (2011), existem quatro técnicas principais de estimação de painéis curtos, que é o estudo em questão. São elas: Modelo Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para dados empilhados (*pooled data*), o Modelo de Mínimos Quadrados com Variáveis Dummies para efeitos fixos (MQVD), Modelo de Efeitos Fixos dentro de um grupo (*fixed effects within-grup model*), Modelo de Efeitos Aleatórios (MEA).

No modelo Pooled, todas as observações são empilhadas, ignorando a estrutura de dados em painel. Desta forma, todas as observações são tratadas como não correlacionadas para os municípios, com erros homoscedásticos. Trata-se, portanto, da forma mais simplista e ingênua, pois desconsidera as dimensões de tempo e espaço combinados, ao mesmo tempo que estima a regressão pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) (GUJARATI E PORTER 2011).

Para os Modelos de Efeitos Fixos e Modelo de Efeitos Aleatório, em sentido amplo, tanto o Método de Efeitos Fixos quanto o Método de Efeitos Aleatórios, utilizam estimadores com diferentes propriedades. No Método de Efeitos Fixos, se os efeitos estão correlacionados com as variáveis explicativas, o estimador de efeitos fixos é consistente e eficiente, enquanto o de efeitos aleatórios é não consistente, ou seja, no efeito fixo cada unidade analisada tem seu próprio intercepto (modelo 2).

No Método de Efeitos Aleatórios assume-se que o efeito individual de cada município existe, porém não está correlacionado às variáveis explicativas, logo, o estimador de efeitos aleatórios é consistente e eficiente, enquanto o estimador de efeitos fixos produzirá estimativa consistente, mas não eficiente, ou seja, no efeito aleatório as unidades analisadas pertencem a um universo maior e apresentam um valor comum para o intercepto (modelo 3), em que  $\omega_{it}$  corresponde às diferenças do intercepto das unidades amostrais mais o resíduo do modelo propriamente dito.

$$IPD_{it} = \beta_0 + \beta_1 INPS_{1it} + \beta_2 Extred_{2it} + \beta_3 Volmacr_{3it} + \beta_4 Volmicro_{4it} + \omega_{it} \quad (3)$$

Uma forma de adequar os dados, facilitar a interpretação e corrigir vários erros como dados outliers (valores extremos) heterocedásticos entre outros, é a forma funcional linear. A forma funcional linear dos dados também chamado de logaritmo natural é simplesmente transformar as variáveis em logaritmos, de modo que os coeficientes de regressão têm interpretações de mudanças percentuais, ou seja, todas as variáveis estarão na mesma unidade (%). A seguir apresenta-se o Quadro de testes.

Quadro 3- Testes e correções para os modelos

Modelos	Teste	Descrição	Interpretação
Modelo Pooled X Modelo de Efeitos Fixos	F de chow	Realizado para a comprovação de “quebra” (rompimento) numa tendência estável de série histórica. A hipótese nula é de que há igualdade nos interceptos e nas inclinações para todos os indivíduos, caracterizando o modelo de dados agrupados (pooled) (SMOLSKI, 2019).	$P > 0,05$ : não se rejeita $H_0$ (O modelo Pooled é melhor).
Modelo Efeitos de Fixos (EF) X Modelo de Efeitos Aleatórios (EA)	Teste de Hausman	Ao executar o teste de Hausman, a hipótese nula é que a covariância entre as variáveis independentes e alfa é zero. Se este for o caso, então EA é preferível a EF. Se a hipótese nula não for verdadeira, devemos seguir o modelo EF. (SMOLSKI, 2019).	$P > 0,05$ : não se rejeita $H_0$ (O modelo de efeitos aleatórios é melhor).
Modelo de Efeitos Aleatórios X Modelo Pooled	Teste Breusch-Pagan	Teste desenvolvido por Breusch & Pagan (1980), que compara as estimativas com base nos resíduos do modelo de agrupamento. (SMOLSKI, 2019).	$P > 0,05$ : não se rejeita $H_0$ (O modelo Pooled é melhor).
Autocorrelação	Wooldridge	O teste de Wooldridge pode ser realizado com o intuito de se testar a presença ou não de autocorrelação nos resíduos do modelo. (FUINHAS, J. A. Et al, 2019).	$P > 0,05$ : $H_0$ : Ausência de autocorrelação $H_1$ : Presença de autocorrelação
Heterocedasticidade	Wald	Teste de Wald para heterocedasticidade em grupo, é testada para os modelos de Efeitos Fixos. (GUJARATI & PORTER, 2011).	$P > 0,05$ : $H_0$ : Ausência de heterocedasticidade $H_1$ : Presença de heterocedasticidade
Homogeneidade de Variâncias*	Levene	Teste de homogeneidade de variâncias entre grupos menos sensível aos desvios de normalidade e mais robusto. (FAVERO & BELFIORE, 2017).	$P > 0,05$ : $H_0$ : As variâncias são homogêneas $H_1$ : As variâncias são heterogêneas

Fonte: Smolski, 2019. Gujarati e Porter (2011). Wooldridge (2011). Fuinhas, J. A. Et al (2019).

Nota\*: Teste Levene realizado no Eviews.

Segundo Gujarati e Porter (2011), Fuinhas *et al* (2019) e Wooldridge (2002), ao utilizar o método de Pooled e de Efeitos Fixos (EF), antes de prosseguir com os demais testes, é útil visualizar a diferença e escolha entre os modelos, para tanto é utilizado um teste formal, o teste F (para auxiliar na escolha entre os modelos de Pooled e EF).

Ao utilizar os Métodos de Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios realiza-se o teste de Hausman, um teste formal para nos auxiliar na escolha entre os modelos de EF e EA. Além do teste de Hausman, também se realiza o teste LM de Breusch-Pagan (BP) que pode ser utilizado para verificar a hipótese entre os modelos de Efeitos Aleatórios e Modelo Pooled, de que há ou não há efeitos aleatórios, e optar por um ou outro modelo, antes mesmo de realizar as devidas correções. O teste BP também ajuda a reforçar o teste de Hausman (GUJARATI e PORTER, 2011; FUINHAS ET AL, 2019; WOOLDRIDGE, 2002).

Em razão da escolha do melhor modelo, deve-se proceder aos testes de diagnósticos para verificação da presença de autocorrelação e heterocedasticidade e realizar as correções com os testes de Wooldridge (autocorrelação) e de Wald (heterocedasticidade) Quadro 3.

Neste estudo serão testados os modelos de MQO para dados empilhados, de efeitos fixos e efeitos aleatórios estimados pelo software Stata, versão 15.

### **3.3 Fonte e base de dados**

A pesquisa será desenvolvida a partir de dados secundários de domínio público, obtidos mediante coleta em banco de dados disponibilizados gratuitamente. Inicialmente, será realizado um levantamento dos dados públicos de série histórica do Ministério de Desenvolvimento Regional, disponíveis no site eletrônico do SNIS, disponível até 2022. O “SNIS se constitui no maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento no Brasil, apoiando-se em um banco de dados que contém informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico financeiro, contábil e de qualidade sobre a prestação de serviços de água, esgotos e de manejo de resíduos sólidos urbanos” (SNIS, 2019).

Serão extraídos do banco de dados SNIS, os dados relativos ao abastecimento de água dos municípios da mesorregião do Campo das Vertentes, Minas Gerais, nos anos de 2009 a 2022. O período escolhido para o estudo de pesquisa deve-se à disponibilidade dos dados completos para as variáveis dos municípios no SNIS, além de considerar o Marco Regulatório do Saneamento, que estabeleceu a normativa sobre perdas de água em 2021.

As variáveis que podem relacionar ao índice de perdas de água, assim como outras, são ferramentas úteis de aprimoramento e auxílio na gestão, comunicam a realidade e sinalizam as

prioridades no setor. Seguindo a realidade dos municípios, foi possível avaliar os indicadores a serem utilizados no estudo, tendo como variável dependente o índice de perdas de água e variáveis independentes, os investimentos pelos prestadores de serviço, a extensão da rede de água, volume de água micromedido e volume de água macromedido e os prestadores de serviços dos municípios entre 2009 e 2022.

Nesse sentido, cabe justificar o uso de tais variáveis para o estudo. Ainda que haja um aumento nos investimentos aplicados em água ou aumento no volume de água nos municípios do Campo das Vertentes, os relatórios apresentados pelo SNIS, não revelam se os mesmos, assim como as outras variáveis, contribuem para o combate às perdas de água. Logo, utilizam-se os investimentos pelos prestadores de serviço como variável independente, de forma a contribuir para a confirmação de que realmente os investimentos são ou não suficientes para alcançar efetivamente os déficits relativos de água nos municípios, além disso, será testada no presente trabalho sua influência na perda de água juntamente com as outras variáveis.

Utiliza-se as medidas de extensão da rede de água, volume de água micromedido, e volume macromedido também como variáveis independentes, pois além de estarem na literatura vinculadas às perdas na distribuição de água, são variáveis relativas à infraestrutura e ao fornecimento de serviços individualizados, independentemente de quem seja(m) o(s) prestador(es) de serviços.

A população urbana será utilizada no trabalho para contornar o viés derivado das diferentes definições de cidade, pois os limites municipais muitas vezes são diferentes do perímetro urbano legal e da área efetivamente urbanizada, à qual é majoritariamente provido o abastecimento (VARGAS et al. 2021). Uma limitação da variável população urbana, no qual não será abordado neste estudo, mas que é importante ressaltar, é quanto a prestação de serviço misto do município, ou seja, parte da população é atendida pela Copasa e parte da população é atendida pela prefeitura do município.

Segundo Nozaki (2007), as empresas privadas ou de sociedade de economia mista, apresentam estímulos econômicos diferentes das empresas públicas no setor de abastecimento de água, para tanto, o tipo de prestador (público, privado ou misto) é outro aspecto usado na literatura como uma das variáveis determinantes das perdas. Assim, será analisada graficamente a relação dos prestadores de serviços de abastecimento: sociedade de economia mista com administração pública (Copasa) ou pública (prefeitura de cada município ou autarquia) para verificar a existência desse efeito na perda de água para os municípios.

O SNIS, como forma de levantar o indicador de perdas de água, possui o Índice de Perdas

na Distribuição (IN049\_AE), representado como IPD. O indicador aponta a diferença entre o volume de água que é produzido nas estações de tratamento e a soma dos volumes medidos nos hidrômetros da população. A expressão de cálculo de tais indicadores por meio dos Glossários de Informações e Indicadores SNIS (2019) é representado pela forma de cálculo:

$$\frac{\text{Vol prod} + \text{Vol importado} - \text{Vol cons} - \text{Vol serviço}}{\text{Vol prod} + \text{Vol importado} - \text{Vol serviço}} \times 100$$

no qual, as informações envolvidas são: Vol prod: Volume de água produzido; Vol cons: Volume de água consumido; Vol importado: Volume de água tratada importado; Vol serviço: Volume de serviço. Como *proxy* para as perdas de água optou-se pela utilização do Índice de Perdas na Distribuição de Água (IPD). Todas as variáveis do modelo econométrico são apresentadas a seguir.

Como o objetivo do trabalho é analisar alguns dos determinados fatores expostos pela literatura de panorama material e comercial a fim de explicar as perdas no sistema de distribuição, como variáveis independentes vinculadas às hipóteses, tem-se:

INPS (investimentos totais realizados pelo prestador de serviços): valor dos investimentos totais realizados no ano de referência, diretamente ou por meio de contratos celebrados pelo próprio prestador de serviços, pagos com recursos próprios, onerosos e não onerosos feitos no(s) sistema(s) de abastecimento de água, de esgotamento sanitário ou em outros investimentos relacionados aos serviços de água e esgotos, além de despesas capitalizáveis. O SNIS coleta informações sobre os investimentos segundo o destino dos recursos e também segundo a origem dos recursos (SNIS, 2019).

POP\_URB (População Urbana do Município do ano de referência) (fonte: IBGE): de acordo com o SNIS, população urbana de um município inclui tanto a população atendida quanto a que não é atendida com os serviços. No SNIS é adotada uma estimativa usando a respectiva taxa de urbanização do último Censo ou Contagem de População do IBGE, multiplicada pela população total estimada anualmente pelo IBGE.

Ext red (Extensão da Rede de Água): extensão da rede de água compreende o comprimento total da malha de distribuição de água, incluindo adutoras, subadutoras e redes distribuidoras e excluindo ramais prediais, operada pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência (SNIS, 2019).

Vol micr (Volume de Água Micromedido): volume de água micromedido é o volume

anual de água medido pelos hidrômetros instalados nas ligações ativas de água. Não deve ser confundido com o volume de água consumido (SNIS, 2019).

Vol Macr (Volume de Água Macromedido): é o valor da soma dos volumes anuais de água medidos por meio de macromedidores permanentes: na(s) saída(s) da(s) ETA(s), da(s) UTS(s) e do(s) poço(s), bem como no(s) ponto(s) de entrada de água tratada importada, se existirem (SNIS, 2019).

Prest (Copasa e ou prefeitura do município): variável que representa se a empresa que presta serviço de abastecimento de água no município naquele período possui controle de sociedade de economia mista com administração pública (Copasa) e controle municipal (Prefeitura) ou apenas controle sociedade de economia mista com administração pública ou apenas controle municipal, sendo representados por: dummy dcopmun, dcop e dmun respectivamente.

### **3.4 Tratamento dos dados e variáveis do modelo econométrico**

A pesquisa foi realizada do banco de dados do SNIS para a mesorregião do Campo das Vertentes referente aos 36 municípios. As variáveis descritas no tópico anterior foram coletadas em nível municipal, com informações de 2009 a 2022, período em que os dados estão completos. Após a obtenção dos dados, realiza-se o tratamento das variáveis coletadas.

Em relação as análises, foram coletadas as variáveis seguindo a literatura e que possivelmente explicarão as perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes. Para a análise descritiva do índice de perdas e investimentos realizados pelos prestadores de serviços, os municípios com dados faltantes foram desconsiderados da análise para estas variáveis, restando 28 municípios. Para as demais variáveis a análise será com os 36 municípios.

Em relação a estimação com IPD, foram desconsiderados da análise econométrica os municípios que tiveram variáveis com dados faltantes. São eles: Caranaíba, Ijaci, Senhora dos Remédios e Dolores de Campos, nos quais faltam todos os dados de investimentos; e Carrancas, Luminárias, Santa Cruz de Minas e Santana do Garambéu, nos quais faltam dados de quase todos os anos de perdas e todos de investimentos, restando na amostra apenas os municípios com dados completos, com o objetivo de se ter um painel equilibrado e assim contribuir para a explicação dos resultados.

A variável população foi retirada da amostra para estimação, pois será analisada graficamente juntamente com as perdas de água assim como as variáveis para prestador de serviços de abastecimento. Tais variáveis de prestação de serviços foram retiradas do modelo econométrico, pois



não justifica a pouca quantidade de municípios que são abastecidos somente com prefeitura ou com abastecimento misto.

A variável volume produzido é uma das variáveis que a literatura (Cambrainha; Fontana, 2015; Vargas; Azevedo, 2021) aponta como fator determinante das perdas, porém, é uma das variáveis que integra a fórmula do índice de perdas, o que não lhe permite ser uma das variáveis explicativas das perdas neste estudo.

Para a variável investimentos realizados pelo prestador de serviço (INPS), de acordo com Gujarati e Porter (2011), no contexto de investimentos, defasagem refere-se à diferença entre as expectativas dos investidores e a realidade da empresa. Sendo assim, considerou-se a defasagem para o período de um ano dos dados de investimentos, pois, de acordo com o indicador financeiro, a defasagem representa o tempo de retorno de um investimento.

Após analisar as variáveis e excluir municípios, decidiu-se por manter observações e registros com valores 0 (zero) para qualquer variável, restando na amostra final 28 municípios, uma variável dependente e quatro variáveis independentes. Com isso, o número de observações foi de 505 para 392 observações. Seguindo o tratamento dos dados, estes foram organizados em planilha Excel e as observações da base de dados foram estruturadas seguindo o modelo de dados em painel. Para analisar os dados, foram utilizadas técnicas de caráter exploratório e descritivo para expor as características entre as variáveis, com apresentação de análise quantitativa referente aos municípios do Campo das Vertentes, além da análise de dados em painel equilibrado.

Quadro 4 - Lista de variáveis e sinal esperado no Modelo Econométrico

<b>Categoria</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Notação</b>	<b>Unidades</b>	<b>Sinal esperado*</b>
	Perdas	IPD	1.000 m <sup>3</sup> /ano	-
Recurso	Investimentos totais realizados pelo prestador de serviços	INPS	R\$/ano	-
Infraestrutura material	Extensão da rede de água	Extred	Quilômetros	+
Infraestrutura comercial	Volume micromedido	Volmicr	1.000 m <sup>3</sup> /ano	-
	Volume macromedido	Volmacr	1.000 m <sup>3</sup> /ano	-

Fonte: SNIS (2019). Adaptado pela autora.

\*Nota: Sinal esperado da variável em relação as perdas.

Para facilitar a interpretação dos resultados do modelo econométrico, com base na literatura utilizada como referência para este estudo, o Quadro 4 mostra o impacto esperado das variáveis utilizadas no modelo sobre o índice de perdas para a estimação. O sinal esperado para as variáveis propõe que o aumento das mesmas, resulte em redução das perdas na distribuição

de água (Quadro 4).

## 4 RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados da pesquisa. Primeiramente discorre descritivamente sobre a estatística dos dados, posteriormente apresenta a evolução das perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes, seguido da evolução das variáveis explicativas em relação às perdas e matriz de correlação. Em seguida, busca-se analisar por meio da análise de regressão quais variáveis afetam as perdas de água. Por fim, apresenta-se uma análise de quais ações explicam as perdas de água nos municípios da mesorregião.

### 4.1 Estatística descritiva, evolução das perdas de água e matriz de correlação

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das sete variáveis incluindo as variáveis prestadores de serviços (dcop, dcopmun e dmun), contendo número de observações, média aritmética e desvio padrão mínimo e máximo. Ainda que a descrição não seja satisfatória para realizar uma análise do efeito das perdas de água, ao comparar as informações estatísticas é possível perceber as diferenças médias nas características dos municípios (Tabela1).

Tabela 1 - Estatística descritiva

Variável <sup>a</sup>	Observações	Média	Desvio Padrão	Mín	Máx
IPD*	392	26,33	7,863	3,56	62,33
INPS*	392	641882,6	2041719	1996,27	16121557,8
POP_URB	392	14.736	28328,84	1.337	130.396
Ext red*	392	66,15222	115,7985	8,46	811.9
Vol micr	391	582,138	1186,658	0	5268,89
Vol macr	392	758,794	1435,84	0	7921,21
dcop	505	0,6673	0,471637	0	1
dmun	505	0,2217	0,415857	0	1
dcopmun	505	0,1386	0,345885	0	1

Fonte: SNIS (2019). Adaptado pela autora.

Nota\*: Consideram-se os 28 municípios que dispõe de dados.

Nota<sup>a</sup>: **IPD**: porcentagem do volume de água que se perde na distribuição de água (%); **INPS**: valor do investimento em reais por ano (R\$/ano); **POP\_URB**: número de habitantes urbanos em milhar (habitantes); **Ext red**: extensão da rede de água em quilômetros (Km); **Vol micr**: volume de água micromedido por ano em metros cúbicos (m<sup>3</sup>/ano); **Vol macr**: volume de água macromedido por ano em metros cúbicos (m<sup>3</sup>/ano); **dcopmun**: dummy indicando que o município possui prestação de serviços de abastecimento de água tanto da Copasa quanto da prefeitura; **dcop**: dummy indicando que o município possui prestação de serviços de abastecimento de água da Copasa; **dmun**: dummy indicando que o município possui prestação de serviços de abastecimento de água da prefeitura.

É possível observar a enorme assimetria das variáveis, por possuírem grande amplitude estatística, desde municípios com 1.337 habitantes até 130.396 habitantes. Quanto à extensão da rede de água, nota-se que a mesorregião possui municípios com quilometragem da rede muito pequena representando 8,56 km. Observa-se que os municípios se apresentam com o mínimo de perdas em 3,56% em um ano até municípios com 62,33% (exceto municípios com dados faltantes) de perdas de água. Além disso, constata-se grandes variações dos volumes macromedidos e micromedidos, o que indica que o município não possui medição ou não apresenta informações ao SNIS quanto aos medidores dos sistemas de abastecimento de água nos municípios, conforme pode observar pelos valores representando o mínimo de 0 e o máximo de 7.921,21 m<sup>3</sup>/ano e 5.268,89 m<sup>3</sup>/ano, respectivamente.

Em relação aos investimentos realizados pelos prestadores de serviços nos municípios (INPS), nota-se que os prestadores de serviços investiram um montante de R\$641.882,60 em água nos 14 anos de serviços de abastecimento. É também possível verificar grandes variações de investimentos, desde município com R\$1.996,27 de investimento até município com R\$16.121.557,80 milhões investidos.

No que tange à natureza dos prestadores de serviços de abastecimento de água (Copasa e Prefeitura), percebe-se que as empresas de abastecimento na mesorregião do Campo das Vertentes possuem predominantemente prestações de serviço da Copasa com 66,73%. Todavia, não será utilizada a variável binária para apenas um dummy, representando os prestadores de serviços apenas da Copasa na análise de regressão. No entanto, será utilizada, mais adiante, outra forma de análise dos prestadores em relação as perdas de água.

Dito isso, torna-se essencial analisar a evolução da variável dependente do estudo do índice de perdas na distribuição de água (IPD), a fim de se ter uma noção de quais anos e quais municípios obtiveram maiores perdas. Por conseguinte, como todos os sistemas de abastecimento de água têm nível de perda aceitável como já mencionado, o Marco Legal do Saneamento determina que o índice de perda de água na distribuição deve ser de, no máximo, 25%. Nesse sentido, com exceção dos municípios com nenhum dado para perdas e investimentos, analisa-se a evolução das perdas de água nos 28 municípios do Campo das Vertentes (tabelas 2 e 3).

Na Tabela 2, observa-se que os anos de 2009, 2017 e 2018 apresentaram os maiores índices de perda acima da média permitida, com valores de 28,21%, 26,93% e 28%, respectivamente. Segundo o relatório da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), um dos

fatores que justificam esses aumentos nos períodos foi que, entre 2003 e 2016, quase metade (47,5%) dos municípios brasileiros declarou Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública pelo menos uma vez por conta de cheias, dos quais 55% ficam no Sudeste ou no Sul. A publicação da ANA, que conta com dados de mais de 50 instituições parceiras, informa que secas e cheias representaram 84% dos quase 39 mil desastres naturais entre 1991 e 2012 no território nacional, afetando cerca de 127 milhões de brasileiros (ANA, 2017).

Tabela 2 - Evolução das perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes

Ano	Média de perdas na distribuição de água <sup>o</sup>
2022	<b>25.55%</b>
2021	<b>25.65%</b>
2020	24%
2019	24.27%
2018	<b>28%</b>
2017	<b>26.93%</b>
2016	22.73%
2015	23.71%
2014	23.38%
2013	22.51%
2012	<b>25.27%</b>
2011	24.29%
2010	<b>25.37%</b>
2009	<b>28.21%</b>

Fonte: dados da pesquisa. Elaborada pela autora.

Nota<sup>a</sup>: Média de perdas na distribuição de água. As médias em negrito demonstram os índices de perda acima de 25%.

De acordo com outro relatório da ANA, (2017), em Minas Gerais, a população de 59 cidades mineiras passou por rodízio, chegando a cinco dias sem água. Segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), 50% das estações de abastecimento em Minas Gerais abaixaram o volume mínimo esperado e foram classificados em estado de “restrição” (ANA, 2017). Nos períodos entre 2017 e 2018, os municípios da região Sudeste também passaram por cheias, inundações, seca ou estiagem, o que também pode esclarecer o aumento das perdas de água na região. Nesse sentido, é importante verificar as perdas em relação ao número populacional e prestadores de serviços de abastecimento.

Através dos dados fornecidos pelo SNIS, a classificação dos municípios da região em estudo com a sua população e a natureza jurídica da prestadora de serviços de água que o atende é apresentado a seguir.

Tabela 3 – População, perdas de água entre os municípios e natureza jurídica

Microrregiões	Municípios	População*	Índice de perdas <sup>a</sup> (%)	Prestadores de serviço	Natureza
<b>Barbacena</b> (extred 47.96 km)**	Alfredo Vasconcelos	4.413	<b>31.13</b>	COPASA	S E mista
	Antônio Carlos	7.966	<b>25.41</b>	COPASA	S E mista
	Barbacena	127.748	<b>36.61</b>	COPASA- SAS	S E mista e Público
	Barroso	17.453	<b>33.91</b>	COPASA	S E mista
	Capela Nova	1.985	17.93	COPASA	S E mista
	Caranaíba	1.127	-	PMC	Público
	Carandaí	19.646	<b>28.52</b>	COPASA	S E mista
	Desterro do Melo	1.322	23.07	COPASA	S E mista
	Ibertioga	3.432	21.87	COPASA	S E mista
	Ressaquinha	3.097	<b>26.11</b>	COPASA	S E mista
	Santa Bárbara do Tugúrio	2.098	<b>31.05</b>	COPASA	S E mista
	Senhora dos Remédios	3.524	-	PMSR	Público
<b>Lavras</b> (extred 139.15 km)**	Carrancas	2.681	-	PMC	Público
	Ijaci	6.378	-	COPASA- PMI	Público e S E mista
	Ingaí	1.727	18.98	COPASA	S E mista
	Itumirim	4.581	21.64	COPASA	S E mista
	Itutinga	2.640	23.97	COPASA	S E mista
	Lavras	100.773	<b>28.28</b>	COPASA	S E mista
	Luminárias	4.173	-	PML	Público
	Nepomuceno	20.826	<b>41.89</b>	SAAE	Público
Ribeirão Vermelho	3.761	<b>29.89</b>	COPASA	S E mista	
<b>São João del Rei</b> (extred 47.65 km)**	Conceição da Barra de Minas	2.782	<b>25.79</b>	COPASA	S E mista
	Coronel Xavier Chaves	1.880	20.58	COPASA	S E mista
	Dores de Campos	9.359	-	PMDC	Público
	Lagoa Dourada	7.372	22.67	COPASA- PMLD	Público e S E mista
	Madre de Deus de Minas	3.896	<b>25.07</b>	COPASA	S E mista
	Nazareno	6.621	20.58	COPASA	S E mista
	Piedade do Rio Grande	3.275	<b>31.98</b>	COPASA	S E mista
	Prados	6.457	24.46	COPASA	S E mista
	Resende Costa	9.311	22.07	COPASA	S E mista
	Ritápolis	3.128	<b>26.27</b>	COPASA	S E mista
	Santa Cruz de Minas	8.723	-	PMSCM	Público
	Santana do Garambéu	1.844	-	PMSG	Público
	São João del Rei	85.934	24.78	COPASA- DAMAE	Autarquia e S E mista
São Tiago	8.806	22.72	COPASA	S E mista	
Tiradentes	6.302	<b>30.70</b>	COPASA	S E mista	

Fonte: SNIS (2019), IBGE (2022). Adaptado pela autora. Dados da pesquisa.

Nota\*: Média populacional em 2021. \*\*Média da extensão da rede por microrregião de 2009 a 2022.

Nota<sup>a</sup>: Média de perdas na distribuição de água de 2009 a 2022. As médias em negrito demonstram os índices de perda acima de 25%.

De acordo com a Tabela 3, os municípios que possuem como prestador de serviço de abastecimento de água a administração pública direta e autarquia, representam em torno de 22%. Algo que é notável quanto à prestação de serviços unicamente das Prefeituras é que os municípios, em sua maioria, não dispõem de informações no SNIS (2019), o que pode ser observado pelos dados sem valores nas perdas de água (tabela 3), assim como outros dados omitidos na amostra.

A Tabela 3 mostra que o maior número de municípios com perdas de água se encontra na microrregião de Barbacena, e os principais prestadores para essa microrregião são predominantemente serviços da Copasa. No município de Barbacena em específico, esse fato pode ser explicado pelo frequente desperdício de água na cidade. Segundo o diretor da autarquia do município, o engenheiro civil Daniel Salgarello, dos 17 milhões de litros d'água produzidos pelo Serviço de Água e Saneamento (SAS), pelo menos 30% são desperdiçados ou seja, 5 milhões de litros. Segundo Salgarello, é uma perda significativa e inevitável, porém, o desperdício seria suficiente para abastecer parte dos lares sem acesso; como ação de medidas foi proposto rodízio e conscientização da população (BARBACENA TEM, s/d).

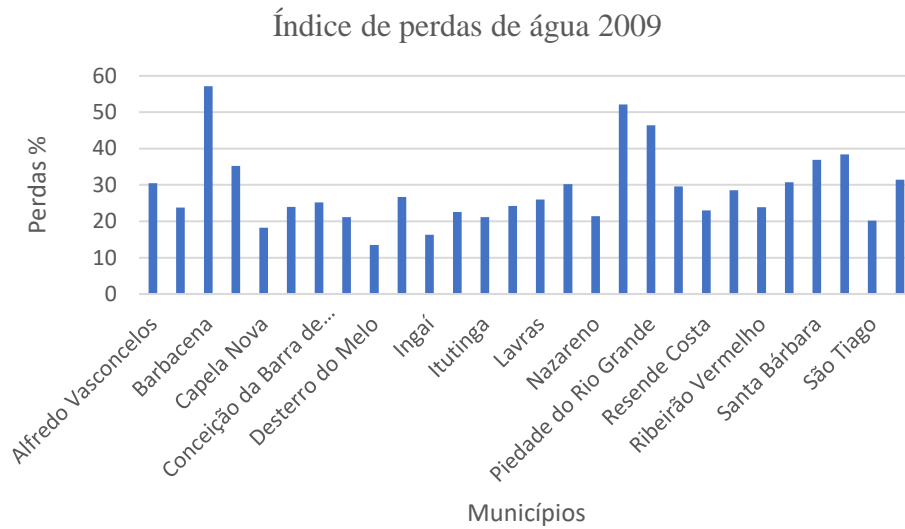
Para representar o tamanho da cidade tem-se o número populacional. Em termos de quantidade de habitantes, Caranaíba representa a menor cidade do Campos das Vertentes, com 1.127 habitantes, e Barbacena representa a maior cidade com 127.748 habitantes no município, até o ano de 2021 (IBGE, 2022). Para Vargas e Azevedo (2021), quanto maior a cidade, maiores são os efeitos gerados sobre as perdas reais, pois o consumo da água furtada faz aumentar a pressão na rede de água projetada para um consumo menor, levando a mais vazamentos.

Nas figuras 5, 6 e 7 podem ser observadas as perdas de forma detalhada através do gráfico de coluna agrupada, a fim de comparar valores entre alguns municípios, onde se verificaram índices de perdas nos anos de 2009, 2017 e 2018 acima de 25%.

As figuras 5, 6 e 7 nos permitem uma análise quanto aos municípios que mais perdem água durante a sua distribuição nos anos de 2009, 2017 e 2018. Destaca-se que o município Senhora dos Remédios apresenta o maior índice de perdas da mesorregião do Campo das Vertentes, representando 71% de perdas de água para os anos de 2017 e 2018. Além disso, Senhora dos remédios é um dos municípios marcados por um grande número de valores omissos no SNIS (2019) são eles: investimentos totais realizados pelos prestadores de serviços para todos os anos de 2009 a 2022, extensão da rede e volume micromedido para os anos de 2011 a 2015, o que não nos permite uma análise mais detalhada para esse município e outros

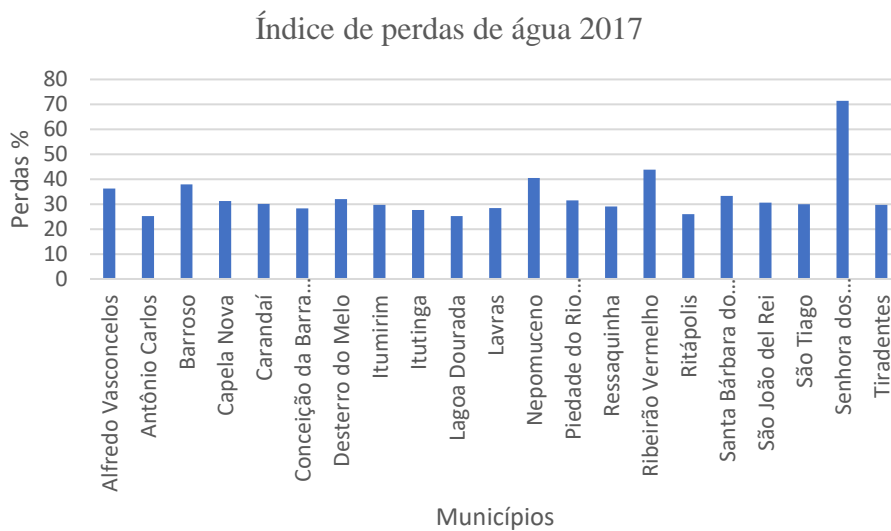
municípios com dados faltantes das reais perdas quanto às variáveis usadas para o estudo.

Figura 5 - Perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes 2009



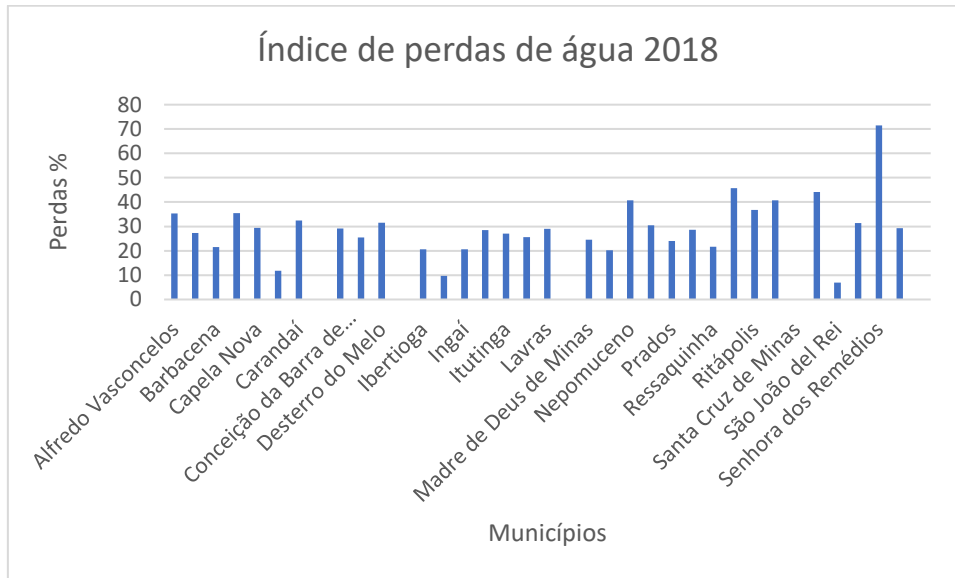
Fonte: dados da pesquisa elaborada pela autora.

Figura 6 - Perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes 2017



Fonte: dados da pesquisa elaborada pela autora.

Figura 7 - Perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes 2018



Fonte: dados da pesquisa elaborada pela autora.

Dentre os municípios com perdas extremas nos anos de 2009, 2017 e 2018, têm-se Barbacena com 57,12%, Nepomuceno com 52,10%, Piedade do Rio Grande com 46,41%, Ribeirão Vermelho com 45,69%, Santa Bárbara do Turgúrio 40,71% e São João del-Rei com 38,39%. Alfredo Vasconcelos, Barroso, Ritápolis e Santana do Garambéu representam também nos anos de comparação perdas acima de 35% de água.

Figura 8 - Perdas de água nos municípios do Campo das Vertentes 2022



Fonte: dados da pesquisa elaborada pela autora.



A análise dos dados do índice de perdas de água permite inferir que a região do Campo das Vertentes ainda no ano de 2022 possuía 12 dos 36 municípios no qual a adoção de medidas para reduzir as perdas são emergentes, representando perdas de água acima de 30%. Dentre esses municípios com perdas extremas no ano de 2022, Santa Cruz de Minas conta com 50% de perdas, Barbacena com 44,24%, São João del-Rei com 44,17%, Nepomuceno com 42,33%, Luminárias com 38% e Tiradentes com 35,04% (Figura 8).

A seguir, na Tabela 4, são apresentadas as correlações entre as variáveis dependentes e explicativas de 28 municípios (os quais possuem dados completos), que serão analisadas também na regressão.

Tabela 4 – Matriz de Correlação de Pearson para as perdas na distribuição de água, 2009 a 2022

Variável*	lnIPD	lnINPS	lnExt red	lnVol micr	lnVol macr
lnIPD	1.0000				
lnINPS	0.1622	1.0000			
lnExt red	0.0563	0.6727	1.0000		
lnVol micr	0.1928	0.3789	0.4081	1.0000	
lnVol macr	0.0410	0.4206	0.5878	0.1752	1.0000

Fonte: resultados da pesquisa. Elaborada pela autora.

Nota\*: **IPD**: porcentagem do volume de água que se perde na distribuição de água (%); **INPS**: valor do investimento em reais por ano (R\$/ano); **Ext red**: extensão da rede de água em quilômetros (Km); **Vol micr**: volume de água micromedido por ano em metros cúbicos (m<sup>3</sup>/ano); **Vol macr**: volume de água macromedido por ano em metros cúbicos (m<sup>3</sup>/ano);

Na Tabela 4, são apresentadas as correlações entre as variáveis e, é possível observar correlação positiva entre todas as variáveis em relação ao índice de perdas de água. Apesar disso, observa-se fraca correlação entre as variáveis, uma vez que em nenhuma delas a correlação é superior a 0,2%. No entanto, apesar de terem sido ponderadas relações positivas e fraca correlação, são necessárias a compreensão e a explicação das variáveis independentes em relação às perdas de água, como será abordada mais adiante. Para isso, realiza-se a análise de regressão para identificar causalidades ou relação entre as variáveis contidas na Tabela 4.

#### 4.2 Análise de regressão e ações que explicam as perdas de água nos municípios da mesorregião

As estimações obtidas pelo MQO são apresentadas na Tabela 5, no qual foram testados os três modelos (Pooled, Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios), a fim de identificar o modelo que

mais se adequa ao estudo das perdas de água para a mesorregião.

Tabela 5- Modelo de efeitos fixos para as perdas na distribuição de água, 2009 a 2022

Variável dependente: log (IPD)		
Variáveis independentes*	Coeficiente	Valor P
lnINPS	0,0325*	0,015
lnExt red	-0,4043*	0,019
lnVol micr	-0,0752**	0,052
lnVol macr	-0,0318*	0,030
Constant	4,9113	0,000
Observations	339	
Rho	0,8351	
Teste F	11,91	0,000
Teste Breusch-Pagan <sup>a</sup>	230,91	0,000
Teste de Hausman <sup>a</sup>	54,94	0,000
Teste de Wald <sup>a</sup>	1547,21	0,000
Teste Wooldridge <sup>a</sup>	14,909	0,004

Fonte: resultados da pesquisa. Elaborada pela autora.

\*Significância estatística ao nível de 5%. \*\*Significância estatística ao nível de 10%.

<sup>a</sup>Calculadas a partir do método de efeito aleatório.

Nota\*: **IPD**: porcentagem do volume de água que se perde na distribuição de água (%); **INPS**: valor do investimento em reais por ano (R\$/ano); **Ext red**: extensão da rede de água em quilômetros (Km); **Vol micr**: volume de água micromedido em metros cúbicos por ano (m<sup>3</sup>/ano); **Vol macr**: volume de água macromedido em metros cúbicos por ano (m<sup>3</sup>/ano);

Conforme os testes para os modelos, os resultados apresentados na Tabela 5 (teste de Hausman) demonstram evidências amostrais para rejeitar a hipótese nula de que o efeito individual não é correlacionado com as variáveis explicativas. Portanto, recomenda-se a utilização de efeitos fixos.

Nesse sentido, inicialmente, através da hipótese vinculada à variável Investimentos Totais Realizados pelo Prestador de Serviços (lnINPS), é possível observar associação positiva e estatisticamente significativa no nível de 95% de confiança. No que tange à análise da variável INPS, a cada elevação de 1% nos investimentos, em R\$/ano, as perdas de água aumentam em 0,032%. Sendo assim, o resultado se alinha com o trabalho de Cambrainha e Fontana (2015) e com outros, como o de Carvalho (2023), que concluíram que, quanto maior é o investimento realizado, maior é o índice de perdas na distribuição de água. Em se tratando disso, o esperado é que um aumento nos investimentos reduzisse as perdas de água, uma vez que, quando os prestadores de serviços investissem mais nos sistemas de abastecimento, haveria redução das perdas nos municípios.

Para Carvalho (2023), os resultados reforçam a indicação de que o conhecimento dos investimentos em sua totalidade é imprescindível para uma avaliação mais robusta. Os autores Cambrinha e Fontana (2015) evidencia que os investimentos se apresentam com relação positiva, pois os investimentos totais aplicados no setor de água não estão agindo em prol da redução dos índices de perda, mas sim aplicados no direcionamento do aumento do volume de água coletada e do aumento na extensão da rede. Dessa forma, como proposta para encontrar tal relação, os autores propuseram utilizar a variável investimentos como *proxy* das perdas de água, a fim de compreender em quais áreas os investimentos estão sendo empregados.

No que se refere às variáveis Extensão da rede de água (lnExt red), Volume de água micromedido (lnVol micr) e Volume de água macromedido (lnVol macr), os resultados demonstram uma relação negativa e significativa com o índice de perdas de água, o que significa que um aumento nessas variáveis reduz o índice de perdas na distribuição de água dos municípios. Em termos práticos, para um aumento de 1% no volume de água micromedido e no volume macromedido nos municípios, em m<sup>3</sup>/ano, as perdas de água são reduzidas em 0,075% e 0,031%, respectivamente, e para um aumento de 1% na extensão da rede de água (comprimento total da malha de distribuição de água) nos municípios, em Km/ano, reduz as perdas de água em 0,40%.

Observa-se que apenas as variáveis Volume micromedido e Volume macromedido estão em concordância com o sinal esperado no Quadro 4. Nesse cenário, assim como abordado anteriormente, o Volume macromedido e o Volume micromedido também estão vinculados às perdas de água, pois a ineficiência nessas etapas da distribuição aumentam as irregularidades nas instalações e fraudes nos hidrômetros (Sá, 2007; ABES, 2013; Lins, 2021). Sá (2007) traz que, para a correta caracterização das perdas faz-se primordial uma macromedição confiável na entrada dos setores, para que se possa comparar com o volume micromedido em cada ligação desse setor, e assim, seja possível encontrar o volume que foi perdido e tentar reduzi-lo. Como solução, a fim de evitar problemas na macromedição e na micromedição, Sá (2007) aponta a importância da implantação do Projeto de Hidrometração, focada no comportamento do sistema de abastecimento de água.

Por conseguinte, o resultado para a variável Extensão da rede de água não resultou como o esperado no Quadro 2, porém o resultado se alinha com o trabalho de Cambrinha e Fontana (2015) e com outras pesquisas, como a de Costa, Ferreira e Rainho (2019), que concluíram que, quanto maior é a extensão da rede, menor é o índice de perdas na distribuição de água.

Costa, Ferreira e Rainho (2019) obtiveram em seu trabalho resultados incoerentes com o

proposto na literatura. Os autores esperavam que a variável Extensão da rede tivesse relação positiva com as perdas de água, pois quanto maior é a extensão, maior a possibilidade de vazamentos pelo percurso. Entretanto, foi observado que as redes de distribuição com maiores distâncias influenciam negativamente os índices de perdas com significância de 10%. Já Cambrinha e Fontana (2015) observaram que o aumento da extensão da rede é entendido como uma das possíveis variáveis causadoras do aumento das perdas de água. Como solução, evidenciaram que os investimentos atuam indiretamente na redução das perdas através da extensão da rede e do volume de água produzido, o que pode ser um fator a justificar os sinais positivos para as variáveis Investimentos e Extensão da rede. Todavia, os testes para os dois trabalhos citados não conseguiram comprovar tal relação para os sinais encontrados nos municípios da amostra estudada.

Na busca por uma avaliação mais detalhada da relação entre as variáveis, propõe-se realizar outros testes. Primeiro realiza-se o teste de igualdade de variância dos municípios da mesorregião, através do teste Levene para a variável dependente (índice de perdas), e, posteriormente, realiza-se para as variáveis explicativas (investimentos realizados e extensão da rede de água), a fim de fornecer outras compreensões sobre os sinais dos coeficientes encontrados para a variável dependente em relação as variáveis explicativas (Tabela 5), cujos resultados para o teste se encontram em Apêndices. Logo, oferece-se a possibilidade de analisar se as variâncias dos dados pertencentes às variáveis são homogêneas ou heterogêneas.

Com o teste Levene de Howard (1960), ao obter um nível de significância do teste maior que o nível de significância a 5%, não se rejeita a hipótese que promove homogeneidade das variâncias. É visto na interação dos municípios para a variável perdas que, dos três principais municípios (microrregião de Barbacena, Lavras e São João del-Rei), dois deles (Barbacena e São João del-Rei) possuem variações nos dados que diferem significativamente dos outros municípios, mas não entre eles. De maneira geral, para a variável índice de perdas, para 42% da amostra, rejeita-se a hipótese nula de igualdade das variâncias e, para 58%, não se rejeita a hipótese nula.

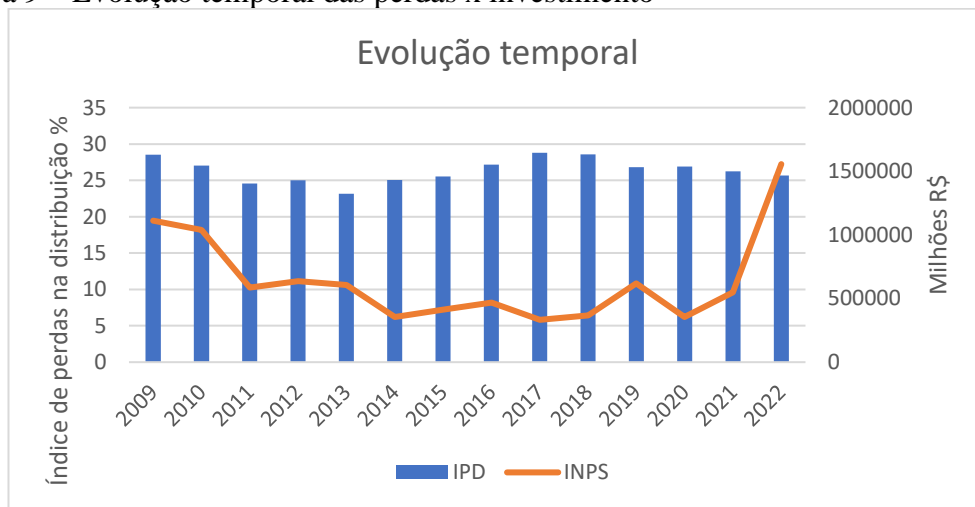
Para a variável Investimentos realizados pelos prestadores de serviços e extensão da rede de água, de maneira geral, quase 84% e 74%, respectivamente, da amostra promovem homogeneidade das variâncias. É validada a hipótese que promove a homogeneidade nas variâncias para os resultados maiores que 5% em 72% de toda a amostra para as três variáveis (Perdas, Investimentos e Extensão da rede). Sendo assim, o teste afirma, para a amostra das três variáveis, a não ocorrência de igualdade de variâncias em 28% das interações dos municípios.

Essa heterogeneidade, em parte da amostra e homogeneidade em sua maioria, tende a impactar no modelo de dados em painel, o que certamente pode ter afetado as variáveis no modelo e resultar sinais contrários, como ocorrido na Tabela 5.

### 4.3 Análise dos investimentos realizados no combate às perdas nos municípios da mesorregião

Na busca de identificar a efetividade dos investimentos realizados no combate às perdas nos municípios da mesorregião, realizou-se outro teste, como propõem Carvalho (2023) e Cambrinha e Fontana (2015). A variável Investimentos totais realizados pelo prestador de serviços (INPS), vinculada à hipótese deste estudo, nos permite verificar, a partir de uma análise gráfica a evolução temporal da região com relação aos índices de perdas, como sugere a pesquisa de Carvalho (2023), a fim de compreender a associação positiva e estatisticamente significativa observada na Tabela 5.

Figura 9 – Evolução temporal das perdas x investimento



Nota\*: média do comportamento temporal do índice de perdas e dos valores dos investimentos realizados para cada ano do período de estudo, nos 36 municípios.

Analisando a evolução do índice de perdas na distribuição e os investimentos realizados pelo prestador de serviço, nota-se que as duas variáveis não seguem, aparentemente, um comportamento claro. Pode-se observar, na maioria dos anos, que os investimentos não justificam as perdas. No entanto, no ano de 2022, os investimentos aumentaram e as perdas reduziram logo, para compreender esse auge nos investimentos e redução das perdas no período entre 2021 e 2022, analisa-se os municípios de forma detalhada nos períodos, a fim de comparar os valores entre os índices de perdas e os investimentos (Tabela 6).

Tabela 6- Perdas de água e investimentos nos municípios do Campo das Vertentes

Municípios	Índice de perdas 2021(%)	Índice de perdas 2022 (%)	Investimentos 2021 (R\$)	Investimentos 2022 (R\$)
Alfredo Vasconcelos	<b>30.15</b>	<b>32.7</b>	73.436,39	85.928,54
Antônio Carlos	<b>29.95</b>	<b>26.21</b>	117.756,44	140.004,1
Barbacena	<b>45.72</b>	<b>44.24</b>	<b>3.039.015,95</b>	<b>4.786.110,00</b>
Barroso	<b>31.88</b>	<b>30.36</b>	396.405,72	1.399.113,09
Capela Nova	16.94	11.6	28.621,60	48.548,35
Caranaíba	11.76	10.53	-	-
Carandaí	<b>32.45</b>	<b>25.98</b>	218.898,88	371.700,9
Desterro do Melo	<b>25.19</b>	22.1	157.430,09	129.266,42
Ibertioga	22.2	23.22	55.649,57	82.400,01
Ressaquinha	<b>26.89</b>	<b>28.65</b>	28.759,76	40.794,46
Santa Bárbara do Tugúrio	<b>27.77</b>	24.83	62.387,18	37.819,82
Senhora dos Remédios	18.72	17.99	-	-
Carrancas	12.28	12.28	-	-
Ijaci	9.72	15.39	-	-
Ingáí	19.16	20.39	25.640,35	34.478,29
Itumirim	23.93	18.29	89.656,53	116.256,7
Itutinga	<b>25.94</b>	22.21	53.000,46	71.593,83
Lavras	<b>33.53</b>	<b>33.15</b>	<b>2.394.660,68</b>	<b>16.121.558,00</b>
Luminárias	<b>29.6</b>	<b>38</b>	-	-
Nepomuceno	23.64	42.33	416.045,82	120.478,3
Ribeirão Vermelho	24.96	24.85	63.276,49	72.045,56
Conceição da Barra de Minas	<b>26.2</b>	<b>31.26</b>	46.806,09	67.928,15
Coronel Xavier Chaves	<b>26.07</b>	23.27	27.837,13	410.320,3
Dores de Campos	3.83	3.83	-	-
Lagoa Dourada	24.02	26.23	93.778,56	154.893,3
Madre de Deus de Minas	<b>26.74</b>	<b>29.58</b>	62.693,07	79.867,39
Nazareno	20.2	20.07	512.888,36	1.156.319,00
Piedade do Rio Grande	<b>27.21</b>	<b>27.58</b>	68.328,96	86.569,68
Prados	23.15	20.9	185.407,58	534.795,8
Resende Costa	21.75	21.58	1.254.695,72	2.091.297,00
Ritápolis	<b>30.72</b>	<b>26.77</b>	56.605,26	78.920,29
Santa Cruz de Minas	<b>50</b>	<b>50</b>	-	-
Santana do Garambéu	<b>53.5</b>	12.04	-	-
São João del Rei	8.77	44.17	<b>5.406.691,44</b>	<b>14.176.540,00</b>
São Tiago	23.35	22.15	255.884,36	576.391,5
Tiradentes	<b>35.84</b>	<b>35.04</b>	189.092,09	475.781,1

Fonte: SNIS (2019). Adaptado pela autora. Dados da pesquisa.

Nota\*: Valores do índice de perdas em negrito demonstram os índices de perda acima de 25%. Valores dos investimentos em negrito demonstram valores mais altos de investimentos.

A relação do índice de perdas com os investimentos realizados pelos prestadores de serviços na Tabela 6 mostra que sete municípios não apresentaram dados de perdas e nem de investimentos, e dois municípios reduziram os investimentos de 2021 para 2022. É possível também perceber que as perdas de água foram reduzidas e os investimentos tiveram um

significativo aumento em 26 dos municípios da amostra. Além disso, no ano de 2022, observa-se que os municípios com os maiores investimentos no período foram Lavras com R\$ 16.121.557,8, São João del-Rei com R\$14.176.540,18 e Barbacena com R\$ 4.786.110,00 investidos.

Pode-se observar que, mesmo com aumento nos investimentos e redução das perdas de água, não é possível entender aqui (Tabela 6) de forma clara em que esses investimentos estão sendo empregados. Dessa maneira, os resultados impulsionaram o prosseguimento da pesquisa, buscando conhecer as informações dos investimentos para não se interpretar a ausência destes na problemática das perdas nos municípios, como propõem Carvalho (2023) e Cambrinha e Fontana (2015). Nesse sentido, realiza-se a análise de regressão em painel entre a variável Investimentos e as outras variáveis do estudo (Extensão da rede, Volume micromedido e Volume macromedido) – Tabela 7 – como maneira de justificar, mesmo que indiretamente, o Índice de perdas na distribuição, como sugere o trabalho de Cambrinha e Fontana (2015). Diante disso, já que houve aumento dos valores investidos (Tabela 6) e os investimentos não se demonstram combatentes das perdas de água em sua totalidade (Tabela 5) juntamente com as outras variáveis determinantes, propõe-se a determinar em que âmbito os investimentos podem estar sendo aplicados.

Tabela 7- Efeitos aleatórios dos investimentos realizados pelo prestador de serviço, 2009 a 2022  
Variável dependente: log (INPS)

Variáveis independentes	Coeficiente	Efeitos fixos	
			Valor P
lnExt red	1,4927*		0,000
lnVol macr	0,0116		0.909
lnVol micr	0,0748		0,528
Constant	5,0269		0,000
Observations	339		
Rho	0,2844		
Teste Breusch-Pagan <sup>a</sup>	102,51		0,000
Teste de Hausman <sup>a</sup>	5,04		0.169
Teste de Wald <sup>a</sup>	1,6e+05		0,000
Teste Wooldridge <sup>a</sup>	18,721		0,002

Fonte: Resultados da pesquisa. Elaborada pela autora.

\* Significância estatística ao nível de 5%.

<sup>a</sup>Calculadas a partir do método de efeitos aleatórios.

Para a análise de regressão em painel entre as variáveis, conforme o Teste Hausman, optou-se pelo modelo de efeitos aleatórios, pois com base no P-valor, não se pode rejeitar a

Hipótese nula a 5% de significância.

Ao relacionar as áreas em que os investimentos podem estar sendo empregados, foi possível verificar qual a contribuição dos investimentos realizados pelos prestadores de serviços em relação a redução das perdas de água. Os resultados do modelo de efeito aleatório descritos na Tabela 7 demonstram que dentre as variáveis utilizadas, apenas a variável Extensão da rede de água apresentou significância estatística com coeficiente em torno de 1,49%. Em termos práticos, para um aumento de 1% da extensão da rede de água nos municípios, em quilômetros por ano, requer uma elevação nos investimentos de 1,49%. No estudo de Cambrinha e Fontana (2015), no qual se realizou o mesmo procedimento em outros estados e se encontrou uma relação semelhante a essa, tem-se a extensão da rede de água como uma das possíveis causadoras de aumento no índice de perdas. Segundo os autores, a comprovação dessa hipótese testada leva a crer que os investimentos, mesmo que indiretamente, atuam de forma a aumentar as perdas.

Nesse contexto, o sinal positivo para a variável Extensão da rede certamente indica aumento populacional ou seja, aumentar a extensão da rede de distribuição pode estar relacionado ao aumento do número de usuários dos municípios do Campo das Vertentes, necessitando, assim, de melhorias na estrutura e, conseqüentemente, mais investimentos para garantir que a água chegue até o consumidor, com o mínimo de perdas possível.

Portanto, testar a hipótese do trabalho de que o aumento nos investimentos aplicados em água está associado à redução das perdas na distribuição de água, pode-se evidenciar que os investimentos, quando realizados de forma adequada, mesmo que indiretamente, podem atuar como maneira de reduzir as perdas de água.

Estes resultados são considerados como esperados para o trabalho desenvolvido pela mesorregião por se tratar de uma região com muitos municípios representando amostra diversificada em relação aos outros estudos realizados. Na literatura, são encontrados vários estudos que analisam individualmente os municípios em relação as perdas de água. Isso representa a necessidade de uma análise individual em cada município da mesorregião para trabalhos futuros em relação aos fatores determinantes das perdas de água.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou os índices de perdas na distribuição de água dos municípios do Campo das Vertentes, no período de 2009 a 2022, e verificou quais são os fatores determinantes das perdas de água no sistema de distribuição desses municípios por meio da análise de dados em painel.

Verificou-se que em média as perdas apresentaram um índice em torno de 25,5% para todos os 36 municípios do Campo das Vertentes ao longo dos 14 anos, prevalecendo alguns municípios que isoladamente apresentaram índice de perdas em torno de 71%. Essas e outras considerações isoladas confirmaram que os municípios necessitam do uso de ferramentas de gestão para o controle das perdas.

Nesse sentido, como forma de determinar quais fatores explicam as perdas de água no sistema de distribuição dos municípios, utilizou-se nesse estudo como variáveis representativas das perdas: os investimentos realizados pelos prestadores de serviços, população urbana, extensão da rede de água, volume micromedido, o volume macromedido e prestadores de serviços, variáveis essas apontadas pela literatura e Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento como importantes determinantes da redução das perdas de água dos municípios.

Com o modelo de dados em painel, as variáveis explicativas se mostraram significativas, porém, algumas variáveis resultaram com sinais contrários ao esperado em relação ao índice de perdas de água, indicando que municípios que se mostram com aumento na quilometragem da rede de água e com aumento da micromedida e macromedida do volume de água, reduzem as perdas na distribuição de água. Outra indicação foi que, municípios que se apresentam com maiores investimentos, possuem maiores porcentagens de perdas de água. Com base nesse aspecto, utilizaram-se testes de igualdade de variância, o que detectou a ocorrência de diferenças significativas entre os municípios e certamente contribuiu para esclarecer os sinais que afetaram as variáveis no modelo.

Este estudo evidenciou, como resposta aos fatores determinantes das perdas, que a Extensão da rede de água, o Volume micromedido, o Volume macromedido e os Investimentos totais realizados pelos prestadores de serviços, mesmo com fraca correlação, conjuntamente são significativos para explicar as perdas na distribuição de água da amostra analisada, confirmando a importância destes e de outros fatores na determinação da gestão das perdas nos municípios, como apontado pela literatura existente.

Dentre as variáveis que explicam as perdas de água, destacaram-se os investimentos totais realizados pelos prestadores de serviços. A relação evidenciou a grande influência dos investimentos em aumentar as perdas. Logo, realizaram-se outros testes e ficou evidente que os investimentos são explicados pela variável extensão da rede de água.

Em vista disso, não se comprova a hipótese do trabalho de que o aumento nos investimentos aplicados em água está associado diretamente a redução, mas pode estar associado indiretamente à redução das perdas na distribuição de água, uma vez que a ação dos investimentos se aplica à área do sistema de abastecimento, que refletem na redução das perdas. Em consequência disso, chega-se à conclusão de que ações, como aumentar a quilometragem da rede de água, aumentar a micromedicação e a macromedicação do volume de água e o aumento nos investimentos, contribuem para a redução das perdas na distribuição de água.

Nesse caso, o estudo reforça a importância dos fatores determinantes e da análise individual dos municípios, já que os resultados para os testes realizados demonstram que a mesorregião possui uma amostra diversificada em relação aos municípios com as perdas de água e variações quanto às perdas de água com o passar dos anos.

De certa forma, cabe apontar algumas limitações e considerações do estudo. Algumas das limitações deste trabalho podem ser atribuídas aos dados faltantes. Muitas vezes, os prestadores de serviços divulgam o mínimo necessário de dados ao sistema de informações (SNIS, 2019), o que impossibilitou a análise do estudo para os municípios de toda a mesorregião, bem como a compreensão exata dos investimentos totais realizados pelos prestadores de serviços, em especial, a área exata em que estão sendo empregados. A pesquisa também aponta possíveis fragilidades na dimensão do número populacional dos municípios com abastecimento de água misto, no qual não foi apresentada a quantidade de habitantes que é abastecida pela Copasa e a quantidade que é abastecida pela Prefeitura no mesmo município. Com isso não foi possível relatar as possíveis diferenças entre os abastecimentos misto dentro do município, reforçando, assim, a sugestão da análise individual dos municípios para as variáveis.

Considera-se que a principal contribuição da pesquisa foi verificar se as variáveis apontadas na literatura como importantes determinantes das perdas de água são cruciais para reduzir o índice de perdas. Outra contribuição foi verificar se existem igualdade de variância entre os municípios e se os investimentos estão contribuindo para a eficiência no sistema de abastecimento de água, a fim de evitar as perdas nos municípios do Campo das Vertentes. No entanto, existem inúmeras lacunas a serem preenchidas para o entendimento das perdas de água nos municípios da mesorregião. Além da sugestão de estudo individual para os municípios,

algumas variáveis de grande importância para o entendimento dessa questão, das quais não foram determinadas nesta pesquisa, são o levantamento de variáveis socioeconômicas e a qualidade da rede de distribuição dos municípios.

Por fim, a pesquisa atingiu seus objetivos de verificar alguns dos fatores determinantes do índice de perdas de água no sistema de distribuição nos municípios do Campo das Vertentes e analisou algumas das ações que explicam essas perdas. Apontou também outros pontos que merecem a atenção científica para futuros estudos e proposição de melhorias dos sistemas de abastecimento de água, como um estudo detalhado sobre as estratégias de atuação dos prestadores de serviços de cada município, uma avaliação da eficiência de suas atividades e as possíveis aplicações dos seus investimentos.

## REFERÊNCIAS

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate.** 2013. Disponível em: [https://www.abes-sp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/perdas\\_resumo.pdf](https://www.abes-sp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/perdas_resumo.pdf). Acesso em: 10 de dezembro de 2022. 11985080238

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. Disponível em: <[https://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas\\_Abes.pdf](https://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf)> Acesso em: 20 de setembro. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Relatório da ANA apresenta situação das águas do Brasil no contexto de crise hídrica. Ministério da integração nacional e do desenvolvimento regional. 04, de dezembro. 2017. Gov.br. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Região Hidrográfica Amazônica. Ministério do meio ambiente e mudança do clima. 2023. Gov.br. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/regioes-hidrograficas/regiao-hidrografica-amazonica>. Acesso em: 22 de maio de 2023.

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRERA, E.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R. **Performance indicators for water supply services.** 2. Ed. Londres: IWA. (IWA Manual of Best Practice Series.). 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218 (NB594) de 05/2017:** o projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, p. 1. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211:1992** – Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro. ABR 1992.

ARAGÃO, Judith; ABREU, Diego. **Burocracia e entraves ao setor de saneamento.** Confederação Nacional da Indústria (CNI), 2014. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/saneamento-basico/>>. Acesso em: 29 de maio de 2023.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, janeiro de 2007. **Lei Nacional de Saneamento Básico.** Brasília, DF: Presidência da República, [2020]. Disponível em <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm)> Acesso em: 20 de maio de 2023.

BRASIL. Lei nº14.026 de 15 de julho de 2020. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.** Brasília, DF: Presidência da República, [2000]. Disponível em <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm)> Acesso em: 29 de maio de 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: il.

BEZERRA, S. de T. M., PERTEL, M., & MACÊDO, J. E. S. DE. Avaliação de desempenho dos sistemas de abastecimento de água do Agreste brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 3, p 249–258, 2019.

BORGES, E. J. B. Análise da micromedicação do volume de água potável domiciliar e sua influência no cálculo das perdas no sistema de distribuição. <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14237/1/EJBBorgesDISPRT.pdf>. Acesso em: 08 de junho de 2024.

CALLEGARI- JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Tradução. Artmed Editora, 2009.

CAMBRAINHA, G. M. G.; FONTAN, M. E. Análise da aplicação de investimentos em perdas de água no nordeste brasileiro. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 2, mai-ago.2015, p.983-994. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas –UFSSM ISSN: 22361170. DOI: 105902/2236117015520. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2022/07/revistas15520-73215-1-ED.pdf>. Acesso em: 20 de jul. de 2023.

CARVALHO, F. S. et al. **Estudos sobre perdas no sistema de abastecimento de água da cidade de Maceió**. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luís: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), p. 18, 2004.

CARVALHO, R. S. **Investimentos em controle de perdas dos sistemas de abastecimento de água nas Bacias hidrográficas Piracicaba, Capivari e Jundiá**. Trabalho de Dissertação de Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 158 p. 2023.

CIDADE BRASIL. Mesorregião do Campo das Vertentes. Copyright. 2012-2023. Disponível em: <<https://www.cidade-brasil.com.br/mesorregiao-do-campo-das-vertentes.html>> Acesso em: 10 de setembro de 2023.

CRUZ, F. et al. **Consumo municipal de Água Brasil: uma Análise em painel dinâmico**. Área 3 Economia Regional e Urbana. 2019. Disponível em: [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.anpec.org.br%2Fsul%2F2019%2Fsubmissao%2Ffiles\\_I%2Fi3-275746280bfff725f95ce96e591c2a7d.docx&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.anpec.org.br%2Fsul%2F2019%2Fsubmissao%2Ffiles_I%2Fi3-275746280bfff725f95ce96e591c2a7d.docx&wdOrigin=BROWSELINK). Acesso em: 16 de setembro de 2023.

COSTA, F. et al. Determinantes da Redução da Perda de Distribuição de Água nas Empresas de Saneamento. N. 16. XIX USP Internacional Conference in Accounting. São Paulo. 2019.

CONHEÇA MINAS. **As cidades do Campo das Vertentes**. 2017. Disponível em: <https://www.conhecaminas.com/2017/02/12-lindas-cidades-do-campo-das-vertentes.html>. Acesso em: 20 de setembro de 2024.

EMBRAPA. **Recursos Hídricos no Brasil e no mundo**. Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento. 2001. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/23443/1/doc-33.pdf>. Acesso em: 10 de Jan de 2023.

FONSECA, E. et al. Conflitos pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco - Estudos de caso no Estado da Bahia. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e823997929, 2020 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7929>. Disponível em: <file:///C:/Users/lidia/Downloads/7929-Article-113838-1-10-20200909.pdf>. Acesso em: 10 de Jan de 2023.

FUINHAS, J. A. Et al. **Exercícios Introdutórios de Análise Econômica de Dados**. Editor: UBI- Universidade Beira Interior. ISBN: 978-989-654-535-2. Disponível em: PDF/ PDF/ A. 2019.

GO ASSOCIADOS. **Perdas de água 2021 (SNIS 2019):** desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. São Paulo, junho de 2021. Disponível em: [https://dssbr.ensp.fiocruz.br/wp-content/uploads/2022/06/Estudo\\_de\\_Perdas\\_2021.pdf](https://dssbr.ensp.fiocruz.br/wp-content/uploads/2022/06/Estudo_de_Perdas_2021.pdf). Acesso em: 10 de Jan de 2023.

GOMES, Murielle. **Sistema de abastecimento de água. Saneamento**. 18 de agosto de 2021. Disponível em: <https://canteirodeengenharia.com.br/2021/08/18/sistema-de-abastecimento-de-agua/>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

GUJARATI e PORTER, Damodar N. e Dawn C. Porter. **Econometria básica**. 5ª edição. AMGH Editora Ltda. 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2021**.

IGAM. **Bacia Hidrográfica do Rio Grande**. Instituto Mineiro de Gestão das águas. Portal meioambiente.mg. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br>. Acesso em: 16 de Jan de 2023.

ISAIA, Daniel. **Estados do Sul ainda enfrentam desafio de preservar recursos hídricos**. 2017 - Porto Alegre. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/acervo/geral/audio/2017-03/estados-do-sul-ainda-enfrentam-desafio-de-preservar-recursos-hidricos/>. Acesso em: 22 de maio de 2023.

IWA – International Water Association. About IWA – Who we are. Disponível em: <<https://iwa-network.org/>> Acesso em julho de 2023.

LINS, Felipe Belvoir Hedjazi. **Uma abordagem sobre pontos relevantes a considerar em norma de referência para o saneamento sobre diretrizes para redução progressiva e controle das perdas de água**. Fundação Escola de sociologia e política de São Paulo. MBA em saneamento ambiental. São Paulo. 2021.

MAIA, Larissa. **Avaliação das perdas no sistema de abastecimento de água na cidade de Pau dos Ferros- RN**. Pau dos Ferros: (S. n.), 2007. 60p.

MIRANDA, Luis Alcides Schiavo; MONTAGGIA, Luis Olinto (Org). **Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento**. Porto Alegre: (S.n.), 2007. 148p.

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 março 2021.

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. Recursos hídricos. 03 de fevereiro de 2014. Gov.br. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mre/pt-br/assuntos/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/meio-ambiente-e-mudanca-do-clima/recursos-hidricos>. Acesso em: 16 de Jan de 2023.

NOZAKI, Vitor Toyoji. **Análise do setor de saneamento Básico no Brasil. Ribeirão Preto.** 2007. 109 p:il. Dissertação de mestrado apresentado a faculdade de Administração, Economia e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96131/tde-25072007152652/publico/VictorToyojideNozaki.pdf>. Acesso em: 23 de maio de 2023.

ONU. **Centro Regional de informações para Europa.** Água. UNRIC. 2022. Disponível em: <https://unric.org/pt/agua/>. Acesso em: 14 de dez 2022.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Tratamento de Efluentes.** 2015. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo>. Acesso em: 14 de dez 2022.

REZENDE, Lucas A. M. S. **Impactos das mudanças climáticas na estrutura de custos das firmas de abastecimento de água da região norte do brasil.** Universidade Federal do Amazonas faculdade de estudos sociais departamento de economia e análise. Manaus– AM. 2023. Disponível em: [https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/6679/4/TCC\\_LucasRezende.pdf](https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/6679/4/TCC_LucasRezende.pdf) Acesso em: 20 de janeiro de 2024.

ROCHA, Luiz Eduardo V.; GIAROLA, Eduardo; RIBEIRO, Claudiney Guimaraes; CAMPOS, Eneida M. G. Panorama geral das condições de vida na mesorregião do campo das vertentes (mg): uma análise de estatística multivariada de componentes principais. O impacto da Pesquisa Operacional nas novas tendências multidisciplinares. Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ. Departamento de Ciências Econômicas - DCECO. São João del-Rei (MG). 2004.

SALGARELLO, Daniel. Barbacena desperdiça cerca de 30% de toda água captada. Barbacena Tem. Disponível em: [www.barbacenatem.com.br](http://www.barbacenatem.com.br). Acesso em: 02/08/2024.

SÁ, Clarissa Campos. A importância da micromedição no combate às perdas de água – Estudo da hidrometração da companhia águas de Joinville. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis – SC. 2007.

SABESP. **Perdas na distribuição de água.** Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Município de Diadema. Situação atual e análises a longo prazo. Setembro / 2013. Disponível em: 02. Anexo I Complemento Perdas Diadema.pdf ([allevanteducao.com.br](http://allevanteducao.com.br)). Acesso em: 20 de jul de 2023.

SABESP. **Controle de perdas**. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (2001). Disponível em: <<https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=37>> Acesso em: 12 de agosto de 2022.

SANTO, S. Avaliação dos investimentos e seus impactos nos sistemas de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Brasil no período de 2002 a 2021. Engenharia, Meio Ambiente e Sistemas de Informações Ltda. Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. Disponível em: [https://aesbe.org.br/novo/wp-content/uploads/2023/05/Apres-Estudo-Investimentos\\_2001\\_2021\\_Aesbe-02052023.pdf](https://aesbe.org.br/novo/wp-content/uploads/2023/05/Apres-Estudo-Investimentos_2001_2021_Aesbe-02052023.pdf). Acesso em: 08 de junho de 2024.

SEGUNDO, J. de S., & MARQUES, B. C. D. Análise de perdas em sistemas de abastecimento de água na bacia Apodi- Mossoró. Universidade Federal Rural – UFERSA. Curso de bacharelado interdisciplinar em ciência e tecnologia. Mossoró. 2019.

SNIS. **Glossários de Informações e Indicadores**. Disponível em: <[www.snis.gov.br/glossarios](http://www.snis.gov.br/glossarios)> Acesso em: 12 de Jan de 2023.

SMOLSKI, F. M. da S., & BATTISTI, I. D. E. (2019). **Software R: curso avançado**. Curso Avançado em Estatística com R da UFFS. Cerro Largo (2019). Disponível em: <<https://smolski.github.io/livroavancado/>> Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

SOLDERA, Bruna. **Recursos hídricos na região Sudeste**. 09 fevereiro 2022 Postado em Blog. Disponível em: <https://aguasustentavel.org.br/conteudo/blog/159-recursos-hidricos-na-regiao-sudeste>. Acesso em: 12 de Jan de 2023.

TARDELLI, F, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. Ponto de vista Revista DAE. São Paulo, 2016.

TRATA BRASIL. **Estudo de perdas de água do Instituto Trata Brasil de 2022 (SNIS 2020)**: desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico no brasil. Pdf. Go associados.

TSUTIYA, M.T. **abastecimento de Água**. São Paulo, 2006. 3ª. Edição. Escola Politécnica da USP, 643 p. (UITASP).

VARGAS, J. C. B., & Azevedo, B. B. (2021). Complexidade, leis de escala urbana e perdas na distribuição de água potável: análise da rede de cidades do sul do Brasil. *Ambiente Construído*, 21(3), 65–78. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000300538>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/BWBgWkgmzxv5jZyNfQCyQSR/#>. Acesso em: 21 de mai. de 2023.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. Introdução à econometria: uma abordagem moderna/ Jeffrey M. Wooldridge; tradução José Antônio Ferreira; revisão técnica Galo Carlos Lopez Noriega. - São Paulo: Cengage Learning, 2014. Reimpr da 2. Ed. De 2010. ISBN978-85-221-0446-8.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. *Econometric analysis of cross section and panel data*. The MIT Press: London, England, 2011.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2002.



## APÊNDICES

APÊNDICE A – Teste de igualdade de variância para índice de perdas dos municípios

Municípios/ siglas	AV	AC	Bb	Br	CN	Ca	CBM	CXC	DM	Ib	Ig	Im	It	LD	Lv	MM	Nz	Np	PRG	Pd	RC	Rs	RV	Rt	SBM	SJ	ST	Td
Alfredo Vasconcelos	xx	0.47	0.00	0.17	0.10	0.55	0.99	0.20	0.11	0.04	0.88	0.81	0.07	0.70	0.48	0.14	0.74	0.39	0.15	0.85	0.93	0.22	0.02	0.43	0.04	0.00	0.22	0.72
Antônio Carlos		xx	0.00	0.53	0.03	0.81	0.37	0.04	0.02	0.15	0.55	0.29	0.25	0.23	0.94	0.43	0.25	0.20	0.04	0.32	0.41	0.58	0.00	0.13	0.00	0.00	0.06	0.62
Barbacena			xx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00
Barroso				xx	0.23	0.27	0.13	0.01	0.00	0.22	0.20	0.06	0.42	0.05	0.43	0.76	0.05	0.11	0.00	0.07	0.14	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.16
Capela Nova					xx	0.04	0.08	0.43	0.66	0.00	0.08	0.12	0.01	0.15	0.03	0.01	0.14	0.58	0.69	0.11	0.11	0.01	0.61	0.28	0.79	0.02	0.48	0.05
Carandaí						xx	0.43	0.04	0.02	0.04	0.65	0.34	0.09	0.26	0.86	0.23	0.28	0.22	0.04	0.37	0.48	0.38	0.00	0.14	0.00	0.00	0.06	0.75
Conceição da Barra de Minas							xx	0.14	0.08	0.01	0.85	0.78	0.02	0.65	0.37	0.06	0.66	0.70	0.37	0.12	0.83	0.93	0.01	0.37	0.02	0.00	0.18	0.64
Coronel Xavier Chaves								xx	0.66	0.00	0.15	0.26	0.17	0.33	0.04	0.01	0.29	0.95	0.68	0.24	0.23	0.01	0.14	0.65	0.43	0.00	0.94	0.07
Desterro do Melo									xx	0.00	0.08	0.14	0.00	0.18	0.02	0.00	0.16	0.82	0.98	0.13	0.13	0.01	0.28	0.40	0.78	0.01	0.74	0.04
Ibertioga										xx	0.05	0.01	0.66	0.01	0.10	0.47	0.01	0.05	0.00	0.01	0.03	0.39	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Ingaí											xx	0.68	0.08	0.57	0.57	0.17	0.62	0.04	0.34	0.11	0.73	0.26	0.01	0.34	0.02	0.00	0.17	0.84
Itumirim												xx	0.02	0.87	0.30	0.06	0.92	0.46	0.19	0.95	0.88	0.11	0.02	0.53	0.05	0.00	0.28	0.49
Itutinga													xx	0.02	0.18	0.72	0.02	0.07	0.01	0.02	0.06	0.59	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.05
Lagoa Dourada														xx	0.23	0.04	0.94	0.51	0.23	0.82	0.76	0.08	0.03	0.64	0.07	0.00	0.35	0.39
Lavras															xx	0.35	0.25	0.20	0.04	0.40	0.42	0.51	0.00	0.12	0.00	0.00	0.06	0.65
Madre de Deus de Minas																xx	0.04	0.09	0.01	0.07	0.12	0.84	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.14
Nazareno																	xx	0.49	0.21	0.88	0.81	0.09	0.03	0.59	0.06	0.00	0.31	0.42
Nepomuceno																		xx	0.82	0.44	0.42	0.12	0.30	0.72	0.67	0.01	0.99	0.27
Piedade do Rio Grande																			xx	0.17	0.17	0.02	0.32	0.44	0.82	0.01	0.74	0.07
Prados																				xx	0.93	0.12	0.02	0.50	0.04	0.00	0.26	0.53
Resende Costa																					xx	0.19	0.02	0.47	0.05	0.00	0.25	0.64
Ressaquinha																						xx	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	0.26
Ribeirão Vermelho																							xx	0.08	0.35	0.03	0.18	0.01
Ritópolis																								xx	0.22	0.00	0.63	0.21
Santa Bárbara																									xx	0.01	0.52	0.01
São João del Rei																										xx	0.00	0.00
São Tiago																											xx	0.10
Tiradentes																												xx

Fonte: resultados da pesquisa. Elaborada pela autora.

Nota: Valores em (%). Os valores representados pela cor laranja, as variâncias são homogêneas (5%), para os demais valores as variâncias são heterogêneas (5%).

### Apêndice B - Teste de igualdade de variância para investimentos nos municípios

Municípios/ siglas	AV	AC	Bb	Br	CN	Ca	CBM	CXC	DM	Ib	Ig	Im	It	LD	Lv	MM	Nz	Np	PRG	Pd	RC	Rs	RV	Rt	SBM	SJ	ST	Td	
Alfredo Vasconcelos	xx	0.07	0.00	0.02	0.35	0.04	0.42	0.00	0.05	0.63	0.01	0.03	0.04	0.04	0.00	0.96	0.02	0.05	0.88	0.00	0.00	0.01	0.87	0.74	0.37	0.00	0.00	0.00	
Antônio Carlos		xx	0.00	0.03	0.02	0.05	0.78	0.00	0.06	0.03	0.00	0.49	0.05	0.77	0.00	0.08	0.03	0.05	0.08	0.00	0.00	0.00	0.08	0.04	0.98	0.00	0.01	0.00	
Barbacena			xx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	
Barroso				xx	0.02	0.48	0.03	0.21	0.28	0.02	0.01	0.04	0.25	0.03	0.00	0.02	0.77	0.11	0.02	0.04	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.00	0.26	0.00	
Capela Nova					xx	0.03	0.21	0.00	0.05	0.57	0.28	0.01	0.04	0.01	0.00	0.33	0.01	0.04	0.28	0.00	0.00	0.31	0.28	0.48	0.22	0.00	0.00	0.00	
Carandaí						xx	0.04	0.13	0.59	0.04	0.03	0.05	0.55	0.05	0.00	0.04	0.43	0.17	0.04	0.23	0.00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.01	0.15	0.00	
Conceição da Barra de Minas							xx	0.00	0.06	0.31	0.07	0.45	0.05	0.64	0.00	0.43	0.02	0.05	0.45	0.00	0.00	0.00	0.07	0.45	0.83	0.00	0.01	0.00	
Coronel Xavier Chaves								xx	0.12	0.00	0.00	0.01	0.10	0.00	0.00	0.00	0.21	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.82	0.00	
Desterro do Melo									xx	0.05	0.05	0.07	0.96	0.06	0.00	0.05	0.26	0.30	0.05	0.69	0.01	0.05	0.05	0.05	0.06	0.01	0.13	0.04	
Ibertioga										xx	0.02	0.01	0.04	0.02	0.00	0.60	0.01	0.04	0.51	0.00	0.00	0.02	0.50	0.87	0.29	0.00	0.00	0.00	
Ingaí											xx	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.01	0.09	0.00	0.00	0.00	
Itumirim												xx	0.05	0.66	0.00	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.00	0.00	0.03	0.02	0.70	0.00	0.02	0.00	
Itutinga													xx	0.05	0.00	0.04	0.23	0.32	0.04	0.73	0.01	0.04	0.04	0.04	0.05	0.01	0.11	0.04	
Lagoa Dourada														xx	0.00	0.04	0.03	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.90	0.00	0.01	0.00	
Lavras															xx	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	
Madre de Deus de Minas																xx	0.02	0.05	0.92	0.00	0.00	0.01	0.92	0.70	0.38	0.00	0.00	0.00	
Nazareno																	xx	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00	0.27	0.00	
Nepomuceno																		xx	0.05	0.38	0.60	0.04	0.05	0.05	0.05	0.08	0.07	0.88	
Piedade do Rio Grande																			xx	0.00	0.00	0.00	1.00	0.61	0.40	0.00	0.00	0.00	
Prados																				xx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	
Resende Costa																					xx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.47
Ressaquinha																						xx	0.00	0.01	0.10	0.00	0.00	0.00	
Ribeirão Vermelho																							xx	0.60	0.40	0.00	0.00	0.00	
Ritápolis																								xx	0.31	0.00	0.00	0.00	
Santa Bárbara																									xx	0.00	0.02	0.00	
São João del Rei																										xx	0.00	0.06	
São Tiago																											xx	0.00	
Tiradentes																												xx	

Fonte: resultados da pesquisa. Elaborada pela autora.

Nota: Valores em (%). Os valores representados pela cor laranja, as variâncias são homogêneas (5%), para os demais valores as variâncias são heterogêneas (5%).

APÊNDICE C – Teste de igualdade de variância para extensão da rede de água dos municípios

Municípios/ siglas	AV	AC	Bb	Br	CN	Ca	CBM	CXC	DM	Ib	Ig	Im	It	LD	Lv	MM	Nz	Np	PRG	Pd	RC	Rs	RV	Rt	SBM	SJ	ST	Td
Alfredo Vasconcelos	xx	0.21	0.00	0.28	0.02	0.55	0.24	0.00	0.07	0.02	0.02	0.89	0.57	0.34	0.00	0.98	0.02	0.00	0.84	0.20	0.97	0.57	0.01	0.01	0.27	0.18	0.18	0.51
Antônio Carlos		xx	0.00	0.05	0.11	0.12	0.91	0.01	0.45	0.08	0.09	0.26	0.34	0.08	0.00	0.20	0.10	0.00	0.27	0.80	0.24	0.31	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.04
Barbacena			xx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Barroso				xx	0.01	0.65	0.05	0.00	0.02	0.01	0.01	0.23	0.12	0.96	0.00	0.29	0.01	0.00	0.21	0.05	0.27	0.12	0.22	0.01	0.62	0.00	0.75	0.67
Capela Nova					xx	0.02	0.08	0.02	0.30	0.77	0.89	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.92	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.62	0.07	0.00	0.01	0.02
Carandaí						xx	0.13	0.01	0.05	0.02	0.02	0.47	0.28	0.70	0.00	0.56	0.02	0.00	0.44	0.12	0.53	0.28	0.07	0.02	0.44	0.00	0.46	0.97
Conceição da Barra de Minas							xx	0.00	0.37	0.06	0.07	0.30	0.40	0.09	0.00	0.23	0.08	0.00	0.31	0.91	0.27	0.36	0.00	0.04	0.13	0.00	0.04	0.11
Coronel Xavier Chaves								xx	0.01	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.01
Desterro do Melo									xx	0.21	0.25	0.09	0.07	0.04	0.00	0.07	0.27	0.00	0.09	0.11	0.08	0.05	0.00	0.15	0.09	0.00	0.02	0.04
Ibertioga										xx	0.86	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.84	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.85	0.23	0.00	0.01	0.02
Ingaí											xx	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.98	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.70	0.07	0.00	0.01	0.02
Itumirim												xx	0.68	0.30	0.00	0.87	0.02	0.00	0.95	0.26	0.92	0.00	0.00	0.02	0.25	0.00	0.15	0.44
Itutinga													xx	0.18	0.00	0.55	0.01	0.00	0.73	0.30	0.61	0.99	0.00	0.00	0.19	0.00	0.08	0.25
Lagoa Dourada														xx	0.00	0.35	0.02	0.00	0.27	0.08	0.33	0.17	0.23	0.02	0.61	0.00	0.73	0.72
Lavras															xx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Madre de Deus de Minas																xx	0.02	0.00	0.82	0.19	0.95	0.55	0.01	0.01	0.28	0.00	0.19	0.53
Nazareno																	xx	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.69	0.07	0.00	0.01	0.02
Nepomuceno																		xx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00
Piedade do Rio Grande																			xx	0.26	0.87	0.72	0.00	0.01	0.24	0.00	0.14	0.40
Prados																				xx	0.23	0.24	0.00	0.00	0.13	0.00	0.03	0.10
Resende Costa																					xx	0.61	0.01	0.02	0.27	0.00	0.18	0.50
Ressaquinha																						xx	0.00	0.00	0.19	0.00	0.08	0.25
Ribeirão Vermelho																							xx	0.00	0.86	0.00	0.44	0.08
Ritópolis																								xx	0.06	0.00	0.01	0.01
Santa Bárbara																									xx	0.00	0.78	0.45
São João del Rei																										xx	0.00	0.00
São Tiago																											xx	0.47
Tiradentes																												xx

Fonte: resultados da pesquisa. Elaborada pela autora.

Nota: Valores em (%). Os valores representados pela cor laranja, as variâncias são homogêneas (5%), para os demais valores as variâncias são heterogêneas (5%).