



**MILENA SILVEIRA MONTEIRO**

**POTENCIAL DE REÚSO NÃO POTÁVEL DE ÁGUA NO  
MUNICÍPIO DE SANTO ANTÔNIO DO AMPARO – MG**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**MILENA SILVEIRA MONTEIRO**

**POTENCIAL DE REÚSO NÃO POTÁVEL DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE SANTO  
ANTÔNIO DO AMPARO – MG**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental, para obtenção do título de Bacharel.

Prof (a) Dr. (a). Paula Peixoto Assemany

Orientador (a)

**LAVRAS – MG**

**2023**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por iluminar e abençoar todo o meu caminho, para que eu possa concluir mais essa etapa da minha vida.

Aos meus pais Marlize e Geraldo, por serem minhas maiores inspiração de vida, a minha mãe, uma mulher guerreira, que me faz ser forte a cada dia, a sua fé que é inabalável, que desde a primeira prova da faculdade com suas velas e orações, o meu pai Geraldo, que nos meus piores momentos esteve comigo, sempre me dando carinho e apoio. Obrigada por sempre confiarem em mim e estarem presentes em todos os momentos, esse é o meu sonho e sei que é o de vocês também.

Ao meu companheiro Guilherme, que me acompanhou durante todo o percurso, me apoiando, acalmando, me ajudando a levantar em momentos difíceis e por sempre se fazer presente na minha vida, sou eternamente grata.

Ao meu amigo Luiz, meu irmão de vida, que esteve presente em toda a minha caminhada, me apoiando, sou grata por todo conhecimento compartilhado nesses anos, no qual me fez uma pessoa melhor.

As minhas amigas, Priscilla, Julia, Larysse e Bianca por sempre estarem presentes desde o início dessa jornada, na alegria e na tristeza como dizemos, entramos com um sonho e saímos com vários outros. Vou levar para a vida, agradeço todos os momentos juntas.

A empresa jr. Preserva Junior a qual me proporcionou um leque de conhecimentos, onde pude desenvolver meu lado pessoal e profissional e que me abriu muitas portas no decorrer da graduação. Ao Núcleo de Estudos em Hidráulica e Hidrologia, que também contribuiu com toda essa bagagem de conhecimentos. Sou imensamente grata por todas as pessoas que passaram pela minha vida, cada uma contribuiu para que hoje eu esteja onde estou.

A minha orientadora Prof. Dra. Paula Assemany por sempre estar presente e disponível, por todo auxílio e paciência durante a construção deste trabalho. Admiro muito como pessoa e como profissional, imensamente grata por ter o privilégio em tê-la como professora e orientadora.

Aos professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Lavras por terem contribuído no meu crescimento pessoal e profissional.

## RESUMO

O crescente aumento populacional, a escassez hídrica e a poluição das águas afetam a disponibilidade hídrica e pressionam cada vez mais os mananciais, com isso é notório a busca por fontes alternativas desse recurso, como a prática de reúso. Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo determinar o potencial de reúso não potável de água no município de Santo Antônio do Amparo-MG. O Índice de Potencial de Reúso (IPR) foi obtido utilizando-se do processo de hierarquia analítica, via método multicritério de apoio à decisão. Após a obtenção do IPR, verificou-se a adequabilidade dos efluentes tratados para uso nas modalidades de reúso especificadas nas legislações e normas existentes, e por fim realizou-se o levantamento quantitativo da demanda de água em usos urbanos no município, visando o reúso urbano não potável e o retorno econômico desta prática. O IPR obtido foi de 0,287, ocupando o sétimo lugar do total de treze municípios normalizados em comparação. Os critérios como as demandas potenciais para o reúso não potável (agrícola e industrial), a infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto e o balanço hídrico contribuíram de forma positiva no valor do IPR, porém a geração total de esgoto e a capacidade das ETEs não contribuíram de forma expressiva. A partir da análise dos efluentes das ETEs Amparo I e Amparo II e comparação com padrões de reúso previstos em legislações e regulamentações sobre o tema, foi verificado que estes são passíveis de serem utilizados na fertirrigação de pomares, forragens, cereais, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual conforme o reúso agrossilvopastoril e o reúso urbano que não tenha contato direto com o usuário. Por sua vez, o reúso urbano que tenha contato direto com o usuário (lavagem de veículos e irrigação dos jardins) e o reúso industrial não são tipologias de reúso aplicáveis dada a qualidade microbiológica dos efluentes tratados, sendo necessário realizar a adequação da variável *E.coli* do efluente. Além disso necessita-se o levantamento e monitoramento de outras variáveis físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes tratados. A partir da análise quantitativa das demandas de água em atividades urbanas no município, como lavagens de veículos e irrigação de jardim da praça, poderia obter-se uma economia mensal de R\$3.187,84 desde que utilizado somente o efluente da ETE Amparo II. Portanto, este trabalho se tornou fundamental principalmente pela compilação de dados sobre o município, como também pode servir de base para próximos estudos na região, e com apoio à tomada de decisão da aplicação da prática de reúso no município ou em outros municípios de características semelhantes, tendo como pontos positivos o retorno econômico e diminuição na pressão sobre a demanda hídrica.

**Palavras-chave:** índice de potencial de reúso, reúso agrícola, reúso industrial, reúso urbano, efluente.

## ABSTRACT

The growing population, water scarcity, and water pollution affect the availability of water and increase the pressure on water sources, being very important the search for alternative water sources, such as the practice of reuse. Therefore, the present study aimed to determine the potential for non-potable water reuse in the municipality of Santo Antônio do Amparo-MG. The Reuse Potential Index (RPI) was obtained using the analytical hierarchy process through a multicriteria analysis for decision support. After obtaining the RPI, the adequacy of the treated effluents was compared to standards of existing legislation and technical regulations. Finally, a quantitative survey of water demand for urban uses in the municipality was carried out, aiming at the non-potable urban reuse and the economic return of this practice. The IPR obtained was 0.287, occupying the seventh place of the total of thirteen normalized municipalities in comparison. Criteria such as potential demands for non-potable reuse (agricultural and industrial) and wastewater collection and treatment infrastructure contributed positively to the value of RPI. However, the total wastewater generation and the wastewater treatment plants (WWTPs) capacity did not contribute significantly. Based on the analysis of the effluents from the Amparo I and Amparo II ETEs and comparison with the reuse patterns provided for in legislation and regulations on the subject, it was verified that these are likely to be used in the fertigation of orchards, fodder, cereals, pastures for cattle and other crops through surface runoff or punctual irrigation system according to agrosivipastoral reuse and urban reuse that does not have direct contact with the user. In turn, urban reuse that has direct contact with the user (vehicle washing and garden irrigation) and industrial reuse are not applicable reuse typologies given the microbiological quality of the treated effluents, being necessary to reduce *E. coli* concentration in the effluent. In addition, it is necessary to monitor other physical, chemical, and microbiological variables of the treated effluents. From the quantitative analysis of water demand in urban activities in the municipality, such as vehicle washing and garden irrigation, it is possible to get a monthly saving of R\$3.187,84 by using only the effluent of Amparo II WWTP. Therefore, this work has become fundamental, mainly due to the compilation of data about the municipality, as it can also serve as a basis for future studies in the region, and with support for decision-making regarding the application of the practice of reuse in the municipality or in other municipalities with similar characteristics., having as positive points the economic return and decrease in pressure on water demand.

**Keywords:** reuse potential index, agricultural reuse, industrial reuse, urban reuse, effluent

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Uso global de água doce (agricultura, indústria e uso doméstico) em metros cúbicos (m <sup>3</sup> /ano).<br>.....   | 15 |
| Figura 2: Retirada dos usos consuntivos por setor da água no Brasil, no ano de 2021 em porcentagem.<br>.....   | 16 |
| Figura 3: Retirada dos usos consuntivos por setor da água no Brasil, no ano de 2021 em m <sup>3</sup> /s.....  | 16 |
| Figura 4: Retirada de água por setor em m <sup>3</sup> /s em 2000 e 2020, com projeção para 2040. ....   | 17 |
| Figura 5: Exposição média dos usuários de água por país ao estresse hídrico, a razão entre a retirada e a oferta de água no ano de 2013.....   | 18 |
| Figura 6: Formas potenciais de reúso de água. ....   | 23 |
| Figura 7 - Fluxograma do Método de Análise Hierárquica - AHP .....   | 40 |
| Figura 8: Localização do município de Santo Antônio do Amparo e cidades limítrofes. ....   | 41 |
| Figura 9: Estação de Tratamento de Esgoto (ETE Amparo I). ....   | 42 |
| Figura 10: Tratamento preliminar da ETE Amparo II, a esquerda gradeamento e caixa de areia e a direita 2 caixas separadoras de água e gordura. ....  | 43 |
| Figura 11: Tratamento secundário da ETE Amparo II, a esquerda 5 reatores UASB e 5 Filtro aeróbio, a direita 5 leitos de secagem em bloco. ....   | 43 |
| Figura 12: A direita tanque de cloração e a esquerda Calha Parshall.....   | 44 |
| Figura 13: Fluxograma da metodologia utilizada para obtenção do Índice de Potencial de Reúso (IPR).<br>.....   | 45 |
| Figura 14: Fluxograma referente aos critérios e subcritérios adotados no estudo.....   | 46 |
| Figura 15: Índice de Potencial de Reúso – IPR do município de Santo Antônio do Amparo em relação aos outros municípios utilizados na normalização.....                                     | 62 |
| Figura 16: Demanda de água na irrigação e industrial (G2) do município de Santo Antônio do Amparo se comparado com os municípios utilizados na normalização.....                           | 63 |
| Figura 17: Dados em relação à Infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto (G3) do município de Santo Antônio do Amparo se comparado com os municípios utilizados na normalização. .... | 63 |
| Figura 18: Balanço hídrico do município de Santo Antônio do Amparo se comparado com os municípios de São Paulo utilizados na normalização.....   | 64 |
| Figura 19: Distância entre a ETE Amparo I ao Jardim da Praça do município de Santo Antônio do Amparo/MG.....   | 68 |
| Figura 20: Distância entre a ETE Amparo I ao Almojarifado do município de Santo Antônio do Amparo/MG.....  | 69 |
| Figura 21; Distância entre a ETE Amparo II ao Jardim da Praça do município de Santo Antônio do Amparo/MG.....  | 69 |
| Figura 22: Distância entre a ETE Amparo II ao Almojarifado do município de Santo Antônio do Amparo/MG.....   | 70 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Classificações e parâmetros para esgotos em cada classe. ....  | 30 |
| Tabela 2: Tratamento necessário para cada classe. ....   | 30 |
| Tabela 3: Padrões de qualidade para o reúso agrossilvipastoril. ....   | 32 |
| Tabela 4: Padrões de qualidade para o reúso urbano. ....   | 33 |
| Tabela 5: Padrões de qualidade para o reúso ambiental. ....  | 33 |
| Tabela 6: Padrões de qualidade para reúso para diferentes modalidades. ....  | 35 |
| Tabela 7: Índice Randômico (IR) referente a matrizes de ordem $n \leq 10$ ....   | 51 |
| Tabela 8: Dados dos subcritérios (Técnico, Ambiental e Socioeconômico) dos municípios selecionados de São Paulo utilizados na normalização. ....       | 52 |
| Tabela 9: Dados dos subcritérios (Técnico, Ambiental e Socioeconômico) do Município de Santo Antônio do Amparo. ....                                   | 54 |
| Tabela 10: Vazão outorga de irrigação, consumo agroindustrial e industrial em litros por segundo (L/s) do município de Santo Antônio do Amparo. ....   | 56 |
| Tabela 11: Dados das variáveis para o cálculo do Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana do Município (ICTEM). ....          | 56 |
| Tabela 12: Matriz de comparação paritária de critérios. ....   | 57 |
| Tabela 13: Valores obtidos de n, IR, IC, $\lambda_{\text{máx}}$ e RC referente a matriz de comparação paritária de critérios. ....                     | 57 |
| Tabela 14: Matriz de comparação paritária dos subcritérios técnicos. ....  | 57 |
| Tabela 15: Valores obtidos de n, IR, IC, $\lambda_{\text{máx}}$ e RC referente a matriz de comparação paritária dos subcritérios técnicos. ....        | 57 |
| Tabela 16: Matriz de comparação paritária dos subcritérios ambientais. ....  | 58 |
| Tabela 17: Valores obtidos de n, IR, IC, $\lambda_{\text{máx}}$ e RC referente a matriz de comparação paritária dos subcritérios ambientais. ....      | 58 |
| Tabela 18: Matriz de comparação paritária dos subcritérios socioeconômicos. ....   | 58 |
| Tabela 19: Valores obtidos de n, IR, IC, $\lambda_{\text{máx}}$ e RC referente a matriz de comparação paritária dos subcritérios socioeconômicos. .... | 58 |
| Tabela 20: Soma de cada coluna da matriz e comparação paritária dos critérios. ....  | 59 |
| Tabela 21: Média de cada linha da matriz comparação paritária dos critérios, resultando nos pesos. ...   | 59 |
| Tabela 22: Soma de cada coluna da matriz e comparação paritária dos subcritérios técnicos. ....  | 59 |
| Tabela 23: Média de cada linha da matriz comparação paritária dos subcritérios técnicos, resultando nos pesos. ....                                    | 59 |
| Tabela 24: Soma de cada coluna da matriz e comparação paritária dos subcritérios ambientais. ....  | 60 |
| Tabela 25: Média de cada linha da matriz comparação paritária dos subcritérios ambientais, resultando nos pesos. ....                                  | 60 |
| Tabela 26: Soma de cada coluna da matriz e comparação paritária dos subcritérios socioeconômicos. ....   | 60 |
| Tabela 27: Média de cada linha da matriz comparação paritária dos subcritérios socioeconômicos, resultando nos pesos. ....                             | 60 |
| Tabela 28: Pesos locais ( $W_{\text{local}}$ ) e globais ( $W_{\text{global}}$ ) dos critérios e subcritérios. ....                                    | 61 |
| Tabela 29: Índice de Potencial de Reuso do município de Santo Antônio do Amparo – MG. ....   | 61 |
| Tabela 30: Laudo físico, químico e microbiológico do efluente na saída das ETEs Amparo I e II. ....  | 65 |
| Tabela 31: Modalidades possíveis do reúso e variáveis necessárias para monitoramento. ....   | 67 |
| Tabela 32: Modalidades de reúso não aplicável e variáveis necessárias para adequação e monitoramento. ....   | 67 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 33: Demanda urbana do município de Santo Antônio do Amparo/MG. ....   | 68 |
| Tabela 34: Relação de gasto mensal com transporte do efluente tratado das ETEs Amparo I e II à praça e ao Almoarifado..... | 70 |

### **LISTA DE QUADRO**

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1: Outorgas vigentes no município de Santo Antônio do Amparo com usos em irrigação, consumo agroindustrial e industrial disponíveis no site da SEMAD. .... | 55 |
|---|----|

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 12 |
| 2. OBJETIVO GERAL .....   | 13 |
| 2.1. Objetivos Específicos.....   | 13 |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO.....   | 14 |
| 3.1. Importância da Água.....   | 14 |
| 3.2. Uso da Água no Brasil .....  | 15 |
| 3.3. Escassez Hídrica no Brasil e no Mundo .....  | 18 |
| 3.4. Poluição.....  | 19 |
| 3.5. Reúso de Água .....  | 22 |
| 3.6. Reúso Urbano.....  | 24 |
| 3.7. Reúso Agrícola.....  | 25 |
| 3.8. Reúso Industrial .....   | 26 |
| 3.9. Legislações e regulamentações sobre a prática de reúso .....                         | 29 |
| 3.9.1. Norma técnica .....  | 29 |
| 3.9.2. Âmbito Federal.....  | 30 |
| 3.9.3. Âmbito Estadual.....   | 31 |
| 3.9.4. Legislações Internacionais .....   | 35 |
| 4. Estudos que abordaram o tema de Reúso de esgoto doméstico .....                        | 36 |
| 4.1. Reúso para fins urbanos .....  | 36 |
| 4.2. Reúso para fins agrícolas .....  | 38 |
| 5. Método Multicritério de apoio a Decisão (MMAD) .....                                   | 39 |
| 6. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 40 |
| 6.1. Caracterização do Município .....  | 40 |
| 6.2. Descrição das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) no município .....             | 42 |
| 6.3. Obtenção do Índice de Potencial de Reúso.....  | 44 |
| 5.4 Verificação da adequabilidade dos efluentes tratados com as modalidades de reúso .... | 53 |
| 5.5. Reúso Urbano.....  | 53 |
| 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 54 |
| 7.1. Subcritérios técnicos, ambientais e socioeconômicos .....                            | 54 |
| 7.2. Comparação paritária e análise de consistência.....                                  | 57 |

|  |    |
|--|----|
| 7.4. Índice de Potencial de Reúso .....  | 61 |
| 7.5. Verificação da adequabilidade dos efluentes tratados com as modalidades de reúso das Estações de Tratamento de Esgoto ..... | 64 |
| 7.6. Análise quantitativa do reúso urbano no município .....   | 68 |
| 8. CONCLUSÃO .....   | 71 |
| 9. SUGESTÕES .....   | 72 |
| REFERÊNCIAS .....  | 72 |

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Monteiro, Milena Silveira.

Potencial de reúso não potável de água no município de Santo  
Antônio do Amparo - MG / Milena Silveira Monteiro. - 2023.  
89 p.

Orientador(a): Paula Peixoto Assemany.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Lavras,  
2023.

Bibliografia.

1. Reúso não potável de água. 2. Estação de Tratamento de  
Esgoto. 3. Índice de potencial de reúso. I. Assemany, Paula Peixoto.  
II. Título.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde muitos anos, o recurso hídrico é visto como ilimitado, porém, devido ao crescimento da população, atrelado também a poluição dos mananciais e as alterações climáticas, é possível observar impactos no Brasil e no mundo no que se refere a escassez hídrica e à presença de eventos extremos.

No Brasil, segundo o projeto Aqueduct (WRI, 2014), 45% de toda população residente em cidades com um grande núcleo populacional enfrenta riscos médios a extremos de estresse hídrico. No Norte de Minas devido às atividades antrópicas realizadas ao longo dos anos na área da sub-bacia do rio Riachão, mudanças no uso e ocupação do solo foram ocasionadas, resultando na degradação do solo, como também no uso intensivo de água para irrigação, o que culminou na escassez desse recurso (FRÓES; HAMDAN, 2005). Em 1995 e 2002 o rio secou, e toda população foi prejudicada pela falta de água para consumo humano e animal (ATLAS, 2010).

Tanto a poluição das águas quanto a escassez hídrica têm impacto na disponibilidade hídrica, diante disso busca-se cada vez mais fontes alternativas sendo uma delas a água de reúso, que consiste no reaproveitamento de águas que já foram utilizadas para serem utilizadas em usos posteriores (LAVRADOR FILHO, 1987). Esta atividade engloba diversas modalidades de reúso: reúso urbano, industrial, agrícola, recreação, ambiental, recarga de aquíferos subterrâneos e aumento no suprimento de água potável (HESPANHOL, 2008). A prática de reúso tem impacto positivo na racionalização de água, no qual diminui a demanda sobre os mananciais e reduz a poluição do corpo hídrico.

A utilização de esgoto doméstico de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) para fins não potável (agrícola, industrial e urbano) é realizada em diversos países, principalmente em locais de escassez hídrica, devido ao seu uso amplo, exigência de qualidade de água inferior, além de apresentar baixo risco (HESPANHOL, 2002), desde que utilizado com cautela, seguindo as legislações vigentes.

Portanto, devido à crescente procura por fontes alternativas, o reúso não potável a partir de esgoto doméstico vem tomando espaço. Porém é necessário avaliações a respeito da viabilidade do reúso e a sua adequabilidade para cada modalidade de reúso, para que se tenha embasamento a respeito das possibilidades e assim um melhor planejamento da aplicação do reúso.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Determinar o potencial de reúso não potável de água no município de Santo Antônio do Amparo-MG.

### **2.1. Objetivos Específicos**

Realizar a caracterização do município considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais;

Obter o Índice de Potencial de Reúso (IPR) não potável do esgoto tratado proveniente das ETEs contidas no município;

Verificar a adequabilidade dos efluentes tratados de acordo com a qualidade da água requerida para as modalidades de reúso;

Levantar a demanda de água em atividades urbanas no município;

Estimar o retorno econômico com o reúso urbano não potável.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Importância da Água**

A água é um recurso essencial para a vida, ocupando cerca de 70% da superfície da terra (CASTRO, 2012). Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022), aproximadamente 97,5% da água no planeta é salgada, 2,5% de água doce, sendo que deste último valor, 69% encontra-se nas geleiras, 30% corresponde às águas subterrâneas e 1% localizam-se em rios.

A água doce é disponibilizada devido a um dos processos mais importantes que é o ciclo hidrológico (BUTTS, 1997), no qual possui os seguintes mecanismos de transferência da água: precipitação, escoamento superficial, infiltração, evaporação e transpiração (VON SPERLING, 2014).

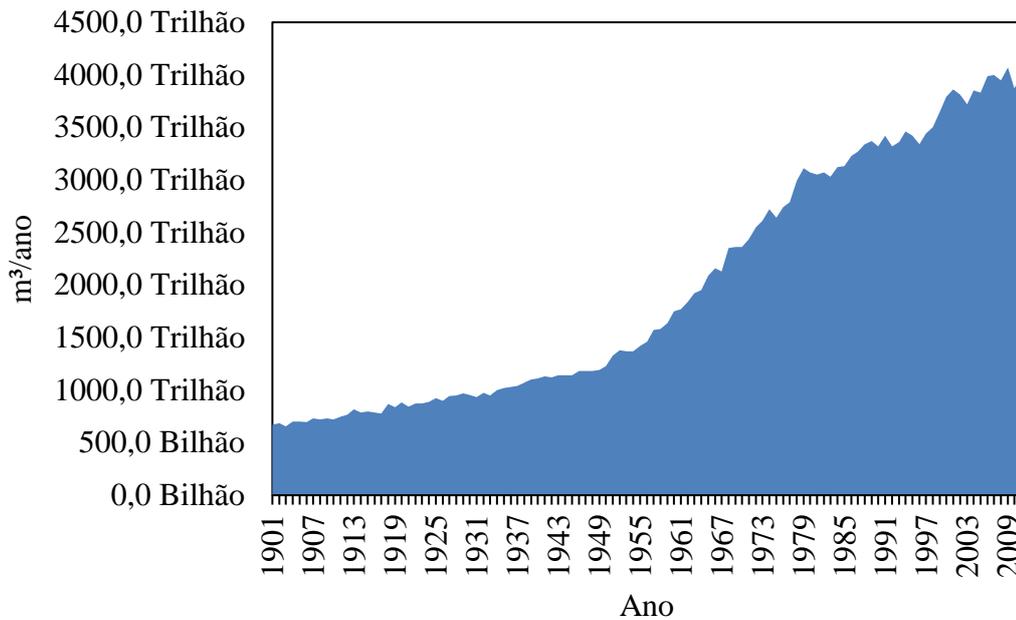
Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) a água possui os principais usos, sendo eles o abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, dessedentação de animais, preservação da flora e da fauna, recreação e lazer, criação de espécies, geração de energia elétrica, navegação, harmonia paisagística, diluição e transporte de despejos.

A agricultura retira cerca de 70% de água anualmente em todo o mundo, utilizada na irrigação, incluindo também a água para rebanhos bovinos e aquicultura. Além disso, 19% é utilizado nas indústrias, incluindo a geração de energia, sendo que os municípios utilizam apenas 11% (FAO, 2011).

Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, o uso de água doce no mundo teve um aumento de seis vezes nos últimos cem anos e a cada ano cresce uma taxa de 1% (UNESCO, 2019). E ainda de acordo com Burek et al. (2016), esse aumento continuará até 2050, o que equivale de 20% a 30% em relação ao uso atual.

Na Figura 1 é apresentado o aumento do uso da água no decorrer dos anos de 1991 a 2014, no qual está diretamente relacionado com o aumento populacional.

Figura 1: Uso global de água doce (agricultura, indústria e uso doméstico) em metros cúbicos (m<sup>3</sup>/ano).



Fonte: Adaptado de Our World in Data (2022).

Além disso, a água doce não está distribuída de forma uniforme no mundo (MOTTA, 2021). Segundo o Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), a América do Sul por exemplo conta com 26% do total de água doce do planeta, porém com uma população mundial de 6%. O continente asiático, por sua vez, possui 36% do total de água e 60% da população mundial.

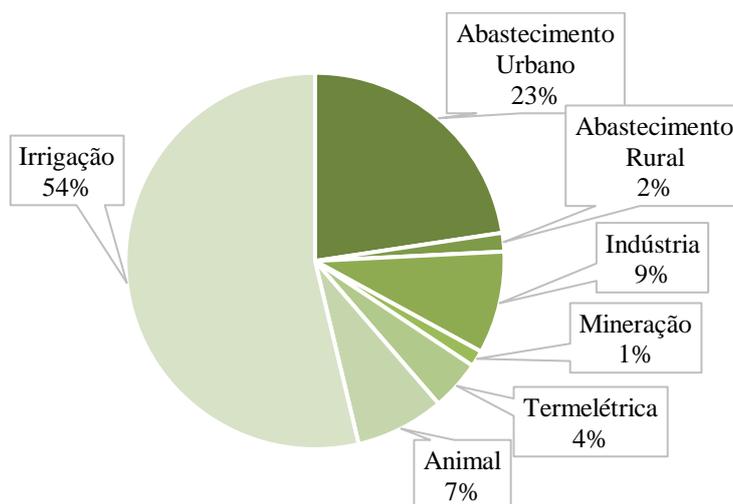
### 3.2. Uso da Água no Brasil

Apesar do Brasil possuir uma das maiores reservas de água do mundo, não há uma uniformidade ao acesso (BARROS et al., 2012). Realizando uma análise entre a oferta e demanda, algumas regiões do país possuem alta demanda, ou seja, uma maior população, porém baixa oferta de água e em outras regiões uma menor população, porém alta disponibilidade de água, assim como mencionado acima para outras regiões do mundo. A região Norte possui em torno de 68,5% dos recursos hídricos nacionais, porém abriga apenas 8,3% da população. Já a região Sudeste, possui 6,0% do total de água do país, e abriga 42,1% da população. A distribuição de água no Nordeste é a mais crítica pois possui somente 3,3% do volume de água do país e conta com 27,8% da população do Brasil (TRATA BRASIL, 2018).

Cada tipo de uso está relacionado com a quantidade e qualidade. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021), os usos podem ser classificados em consuntivos, como por exemplo: irrigação, abastecimento humano (urbano e rural), indústrias, geração de termelétrica e mineração. E não consuntivos, que não consomem água diretamente, como por exemplo a navegação, recreação, turismo, pesca e lazer.

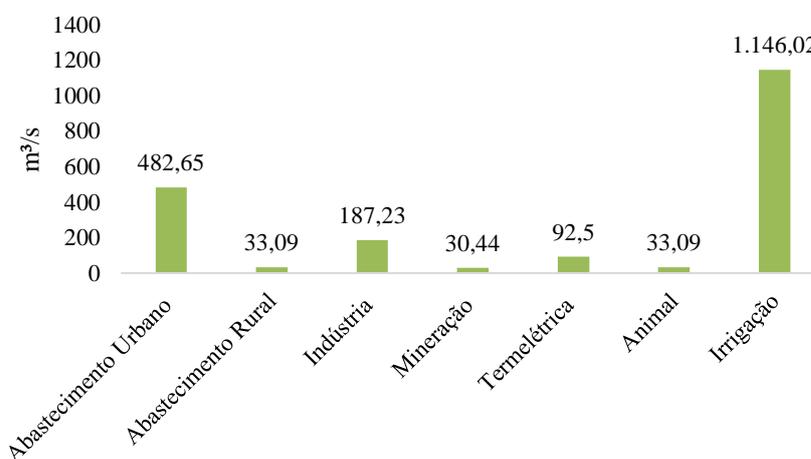
No último relatório de 2022 realizado pela Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil, publicado pela ANA, as retiradas dos usos consuntivos setoriais referentes ao ano de 2021, está representado nas Figuras 2 e 3.

Figura 2: Retirada dos usos consuntivos por setor da água no Brasil, no ano de 2021 em porcentagem.



Fonte: Adaptado de ANA (2022).

Figura 3: Retirada dos usos consuntivos por setor da água no Brasil, no ano de 2021 em m³/s.

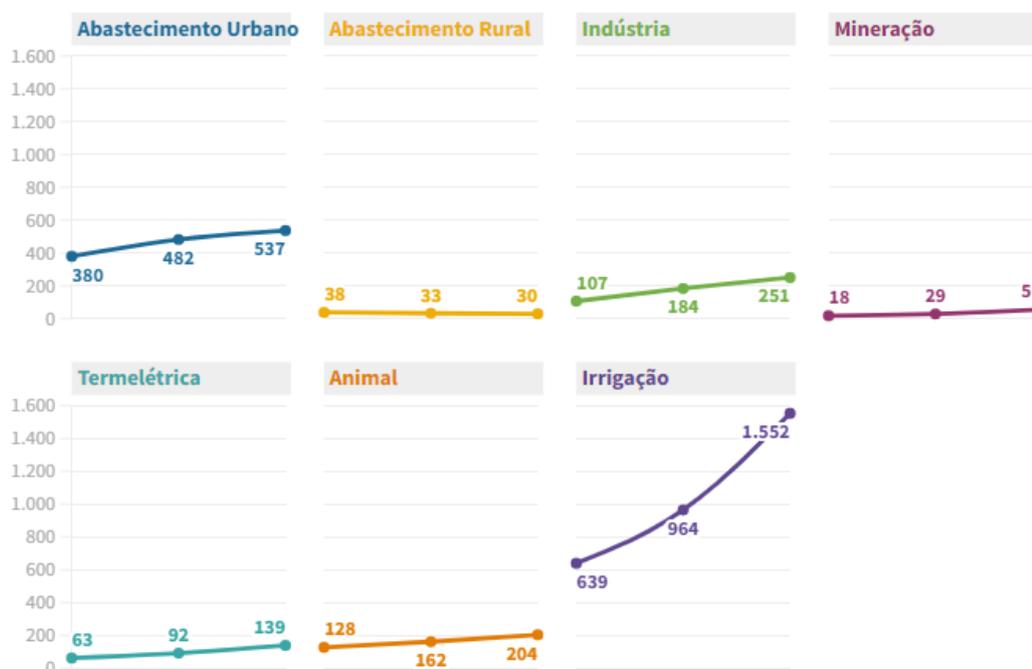


Fonte: Adaptado de ANA (2022).

A demanda de água no Brasil cresce continuamente ao longo dos anos, principalmente para abastecimento urbano das cidades, indústria e agricultura. A retirada para irrigação aumentou de 640 para 965 m<sup>3</sup>/s nas últimas duas décadas e equivale a 50% da retirada total pelos usos consuntivos por setores da água em 2020 (ANA, 2021). No Brasil o setor agrícola além de possuir o maior uso de água, é o que mais desperdiça, devido ao manejo e doses aplicadas incorretamente nas culturas. De acordo com o Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO (2011), se os produtores rurais deixassem de utilizar apenas 10% do que consomem, seria capaz de fornecer água potável, em até duas vezes a população mundial (BORGES, 2021).

A ANA (2021) ainda prevê que haverá um aumento de 42% das retiradas de água nos próximos 20 anos, de 1.947 m<sup>3</sup>/s para 2.770 m<sup>3</sup>/s, o que equivale a um acréscimo de 26 trilhões de litros ao ano retirados de mananciais. Somente para a demanda de irrigação, esse acréscimo pode chegar a 15% no ano de 2040, considerando as mudanças climáticas, que aumentam a necessidade de retirada de água, como consta na Figura 4.

Figura 4: Retirada de água por setor em m<sup>3</sup>/s em 2000 e 2020, com projeção para 2040.

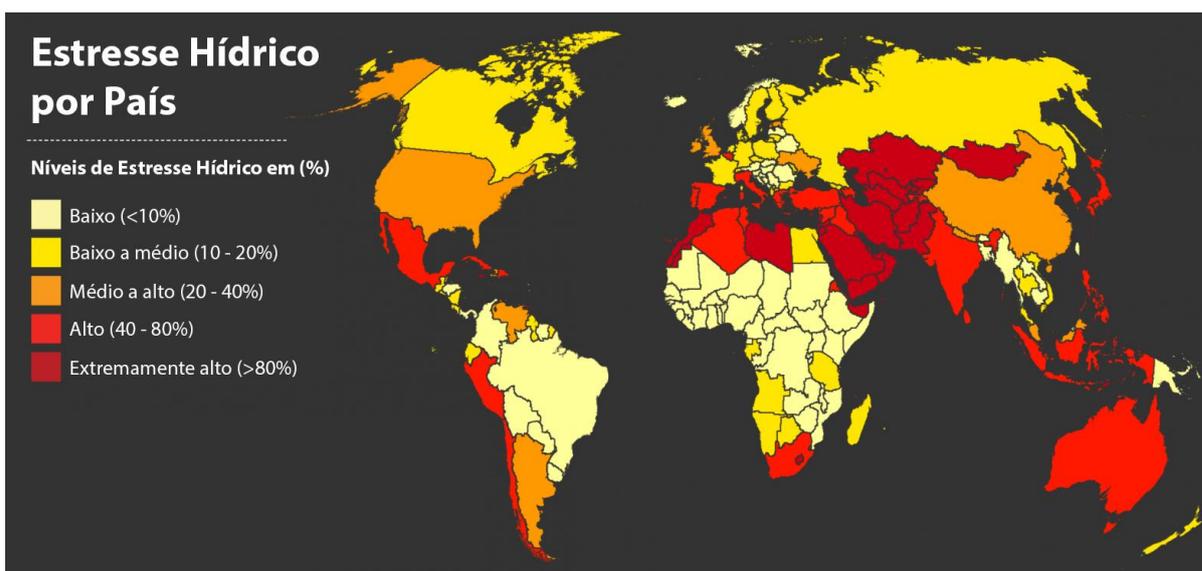


Fonte: ANA (2021).

### 3.3. Escassez Hídrica no Brasil e no Mundo

Desde muitos anos a água é vista como um recurso ilimitado (CUBA et al., 2015), porém devido ao crescente aumento populacional em algumas regiões, e como consequência uma maior demanda por água, além das alterações climáticas e poluição dos mananciais (FARIA et al., 2021), esta visão pode ser contestada. Em escala mundial o estresse hídrico por país pode ser observado na Figura 5.

Figura 5: Exposição média dos usuários de água por país ao estresse hídrico, a razão entre a retirada e a oferta de água no ano de 2013.



Fonte: Adaptado de GASSERT et al. (2013).

De acordo com Gassert et al. (2013), no ano de 2013 foi verificado que 37 países tiveram estresse hídrico de alto a extremamente alto, ou seja, muitas pessoas estão competindo por esse recurso que está limitado. Isso significa que 80% da água disponível para uso doméstico, agrícola e industrial é retirada anualmente. Neste destaca-se os países: México, Chile, Arábia Saudita, Israel, Afeganistão, Barein, Catar, Emirados Árabes Unidos, Iêmen, Irã, Iraque, Jordânia, Kuwait, Turquia, Líbano, Omã e Síria, Austrália, entre outros.

No Brasil, segundo o projeto Aqueduct (MADDOCKS; SHIAO; MANN, 2014), 45% de toda população residente em cidades com um grande núcleo populacional enfrenta riscos médios a extremos de estresse hídrico. As regiões da Bahia, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte possuem risco de estresse hídrico extremamente alto. E as regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Campinas, Ribeirão Preto e Vitória possuem risco alto (WRI BRASIL, 2019).

O crescimento populacional tem intensificado os riscos de estresse hídrico, um exemplo é a bacia do Alto Tietê, com uma população superior a 15 milhões de habitantes, que conta com um dos maiores polos industriais do país, possui vazões insuficientes em relação à demanda da Região Metropolitana de São Paulo e municípios ao redor (HESPANHOL, 2002).

No Norte de Minas devido às atividades antrópicas realizadas ao longo dos anos na área da sub-bacia do rio Riachão, mudanças no uso e ocupação do solo foram ocasionadas, resultando na degradação do solo, como também no uso intensivo de água para irrigação, o que culminou na escassez desse recurso (FRÓES; HAMDAN, 2005). Em 1995 e 2002 o rio secou, e toda população foi prejudicada pela falta de água para consumo humano e animal (ATLAS, 2010).

O aumento populacional e intensificação das atividades antrópicas, têm auxiliado nas mudanças climáticas, e com isso maiores riscos de ocorrência de eventos extremos. No Brasil ocorreram diversos eventos. Nos anos de 2005 e 2010 a Amazônia passou por secas intensas e nos anos de 2009, 2012, 2014 e 2015 ocorreram enchentes. Em 2013 seca no semiárido do Nordeste, em 2014 enchentes em Rondônia e Acre, no ano de 2008 chuvas intensas no Vale do Itajaí, e o mesmo ocorreu nos estados de Alagoas e Pernambuco no ano de 2010, na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 e em Salvador no ano de 2015 (MARENGO; ALVES, 2015).

Uma das realidades de escassez hídrica no país ocorre nas regiões áridas e semi-áridas, que se tornou um fator limitante para o crescimento urbano, industrial e agrícola, no qual planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos procuram novas fontes de água para suprir a demanda nessas áreas (HESPANHOL, 2002).

### **3.4. Poluição**

A poluição de recursos hídricos (rios, oceanos, lagos, entre outros), ocorre principalmente a partir de atividades antrópicas (FERNANDES; NETO; MATTOS, 2007). von Sperling (2014) define a poluição como sendo a adição de substâncias ou de formas de energia no qual direta ou indiretamente, venha alterar as características naturais do corpo hídrico de tal forma que prejudique o seu uso. Há duas fontes de poluição, a poluição pontual que consiste na poluição concentrada em um local como por exemplo o lançamento de esgoto em um rio. E a fonte difusa refere-se à poluição ao longo do corpo d'água de forma distribuída.

O descarte incorreto de efluentes nos rios, seja doméstico ou industrial, o uso excessivo de defensivos agrícolas sem um manejo correto, além do descarte de resíduos sólidos nos corpos d'água, pode vir a alterar a qualidade da água. De acordo com von Sperling (1996), a poluição

proveniente de práticas agrícolas é considerada difusa, devido a dificuldade de identificação, monitoramento e controle.

Os produtos químicos utilizados na irrigação podem ser lixiviados pelas camadas do solo ou através da chuva serem arrastados através do escoamento superficial (VERVIER et al., 1999; AGRAWAL, 1999). De acordo com Mees et al. (2009), no Brasil as agroindústrias trazem um maior impacto pela alta concentração de substâncias orgânicas, nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), sólidos, óleos e graxas. E a presença desses nutrientes pode vir a causar a eutrofização (KRONVANG et al., 1996).

As principais fontes de poluição dos recursos hídricos se concentram nos conglomerados urbanos dos países menos desenvolvidos, que estão diretamente relacionados com o saneamento e o tratamento dos efluentes (SILVA; PEREIRA, 2019). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017), houve uma melhora no tratamento de esgoto doméstico entre os anos de 2008 e 2017, de 49,3% para 62,8%, contendo em operação pelo menos uma ETE. Porém, ainda não é 100% e a falta de tratamento culmina na alteração da qualidade do corpo hídrico.

A contaminação por esgoto bruto pode provocar um desequilíbrio no ambiente aquático, podendo ser devido à presença de compostos antropogênicos ou por alterações de várias substâncias presentes no corpo hídrico (SODRÉ; GRASSI, 2007). Além disso, pode vir a afetar a saúde da população pela veiculação hídrica de doenças como a febre tifóide, cólera e a esquistossomose (FERNANDES; NETO; MATTOS, 2007). A água contaminada por patógenos é a principal fonte de transmissão de doenças e de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) 80% das doenças dizem respeito à veiculação hídrica (COELHO et al., 2007).

Em um estudo realizado por Krusche et al. (2002) na Bacia do Rio Piracicaba, os autores verificaram que o aporte de esgoto bruto e tratado lançado nos rios e córregos ocasionou no aumento de nitrogênio no material particulado orgânico e o crescimento do fitoplâncton. E de acordo com Williams et al. (2001), apenas 16% do esgoto doméstico recebia tratamento (SODRÉ, 2012).

A presença de animais no entorno dos cursos d'água também pode alterar a qualidade da água. Ribeiro (2021) realizou o monitoramento da qualidade da água do rio Paraná, no município de Aparecida do Taboado - MS, e verificou que 57% das amostras não atenderam o valor permitido na legislação para fósforo total e 61% das amostras não atenderam o valor permitido para DBO, e que estes foram devido a presença de bovinos no entorno do rio.

Além disso, foi verificado por Valente, Padilha e Silva (1997) o aumento de nitrogênio e fósforo na represa Barra Bonita, o que estava contribuindo para a eutrofização do corpo d'água. Isto devido ao lançamento de esgoto sem tratamento da cidade de Botucatu - SP que ocasionou alterações na qualidade da água.

Outro exemplo é a Zona de Anoxia no Golfo do México, essa zona está relacionada com o excesso de nutrientes (nitrogênio e fósforo) do rio Mississippi, em que a maior parte do nitrogênio tem origem antrópica, pois na extensa bacia de drenagem do rio possui uma região com intensa atividade agrícola (DAGG; RAÇA, 2003).

Ainda sobre a poluição do rio Mississippi, segundo Greenhalgh e Sauer (2003), 50% do nitrogênio vinha de fertilizantes, 24% de deposição atmosférica, descargas das águas subterrâneas e erosão do solo, 15% de estrume animal e 11% de fontes pontuais municipais e industriais. Esse excesso de nutrientes altera a qualidade da água, impedindo o seu uso, além de causar a eutrofização e prejudicar toda a vida aquática.

Em um levantamento realizado em conjunto com a Repórter Brasil, Public Eye e Agência Pública, no qual os dados foram obtidos a partir do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) do Ministério da Saúde, foram identificados entre os anos de 2014 a 2017 no Brasil, 27 princípios ativos de pesticidas na água em 1.396 municípios, sendo estes localizados nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Tocantins, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Mato Grosso, Rio de Janeiro, Sergipe, Rio Grande do Sul e Espírito Santo (ARANHA; ROCHA, 2019).

De acordo com United Nation World Water Assessment Programme - WWAP (2017), mais de 80% das águas residuárias do mundo são descartadas no corpo hídrico sem o devido tratamento. Sendo que uma das principais formas de poluição do recurso hídrico é a presença de nutrientes (WWAP, 2019).

Segundo Pasqualetto (2022), para manter a conservação do recurso hídrico é necessário ter um equilíbrio dinâmico entre a oferta e demanda de água, para isso é necessário políticas de racionalização do uso da água. Tanto a poluição das águas quanto a escassez hídrica afetam a disponibilidade de água e pressionam cada vez mais os mananciais, portanto busca-se fontes alternativas para atender as necessidades básicas da população (FARIA et al., 2021).

Sendo assim, a água de reúso é uma das alternativas que tem aumentado a cada dia, devido ao aumento populacional, conseqüentemente maior demanda em diferentes setores econômicos, e a distribuição irregular da população e de água no planeta. Esta prática diminui

a demanda sobre os mananciais de água, devido a redução do uso de água potável (SOUZA; PACHECO; SANTOS, 2022).

### **3.5. Reúso de Água**

O reúso de água possui diversas definições. De acordo com Lavrador Filho (1987), a água de reúso consiste no aproveitamento de águas que foram utilizadas, uma ou mais vezes, em algum tipo de uso, para assim suprir as necessidades de usos posteriores, até mesmo o original. Telles e Costa (2013) definem o reúso de água como aquela água em que esteja dentro dos padrões permitidos para determinado tipo de uso.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1973), o reúso é dividido em reúso indireto, reúso direto e reciclagem interna:

- Reúso indireto: água já utilizada, uma ou mais vezes para o uso doméstico e industrial, no qual é lançada no corpo hídrico superficial ou subterrâneo e utilizada à jusante em sua forma diluída;
- Reúso direto: consiste no uso planejado e definido dos efluentes tratados para uma finalidade em específico;
- Reciclagem interna: consiste no uso interno da água nas instalações industriais.

Segundo Lavrador Filho (1987) as formas de reúso de água são classificadas em reúso indireto não planejado, reúso indireto planejado e o reúso direto planejado:

- Reúso indireto não planejado de água: consiste na utilização da água em alguma atividade humana, onde é lançada no curso d'água e realizada o uso outra vez à jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada;
- Reúso indireto planejado de água: ocorre quando os efluentes, após o seu devido tratamento, são descarregados de forma planejada no corpo hídrico superficial ou subterrâneo, para ser utilizados à jusante, de maneira controlada, para algum tipo de uso;
- Reúso direto planejado da água: após o tratamento do efluente, este é enviado diretamente do ponto de descarga até o local de reúso com os devidos tratamentos necessários para o uso.

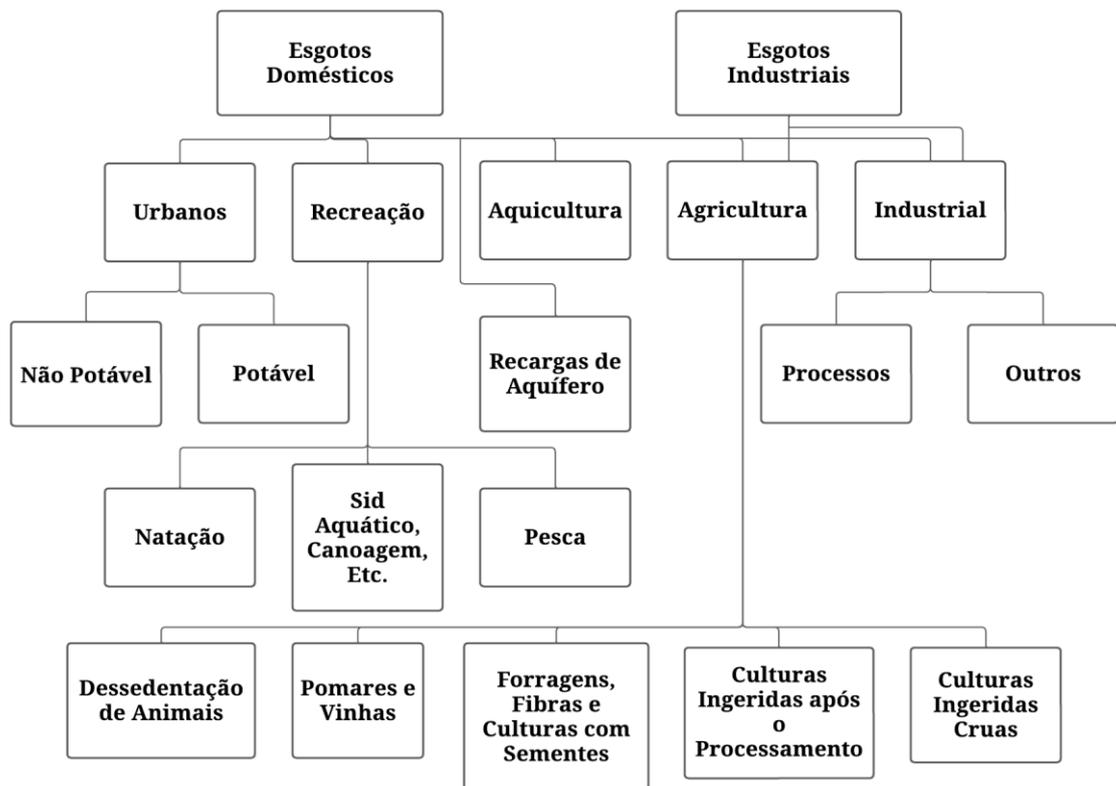
Além disso, Westerhoff (1984) classifica o reúso de água como potável e não potável:

- No reúso potável possui o reúso potável direto e o indireto:

- O reúso potável direto: consiste no efluente tratado que é realizado o uso diretamente no sistema de água potável;
- Reúso potável indireto: ocorre quando o efluente tratado é descarregado no corpo hídrico superficial ou subterrâneo para diluição, e posteriormente é realizada sua captação, tratamento e utilizado como água potável.

As modalidades do reúso podem ser definidas de acordo com o Manual de Reúso de Água da Agência de Proteção Ambiental - EPA (USEPA, 2004) em diversos tipos, sendo estes: urbano, industrial, agrícola, recreação, ambiental, recarga de aquíferos subterrâneos e aumento no suprimento de água potável (Figura 6).

Figura 6: Formas potenciais de reúso de água.



Fonte: Adaptado de Hespanhol (2008).

Em geral, segundo Mota (2002), as principais vantagens da prática de reúso são:

- O aumento da disponibilidade de água;
- O suprimento de água durante todo o ano;

- A utilização da água para usos nobres, como o abastecimento humano;
- Evita a poluição no curso d'água;
- Diminuição no uso de fertilizantes na irrigação, pois os efluentes domésticos possuem nutrientes e matéria orgânica;
- Benefícios sociais e econômicos devido a produção de alimentos quando utilizado em irrigação e piscicultura.

### **3.6. Reúso Urbano**

Segundo Hespanhol (2002), no setor urbano o reúso de efluentes é vasto e diversificado. Porém, alguns usos demandam água de alta qualidade, sendo necessário sistemas de tratamento avançados. O reúso urbano pode ser utilizado para fins potáveis e não potáveis. O reúso para fins potáveis deve seguir alguns critérios devido ao risco de contaminação por organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos.

A respeito do reúso para fins potáveis, a Organização Mundial da Saúde não recomenda o reúso direto de efluente de uma estação de tratamento de esgoto a uma estação de tratamento de água e logo em seguida a sua distribuição. Deve-se utilizar especificamente esgotos domésticos, pois caso tenha efluentes industriais este pode conter micro-poluentes orgânicos, não sendo viável para essa prática. Além da necessidade de terem unidades de tratamento suplementares (HESPANHOL, 2002).

No que tange ao reúso para fins não potáveis, segundo Hespanhol (2002), envolve risco menores e exige níveis menos avançados de tratamento para o seu uso, porém é necessário a identificação de potenciais riscos de contaminação quando em contato direto da população com áreas do município (exemplo: gramados, jardins, campos de esporte, entre outros). Essa prática possui diversas aplicações como:

Irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, campos de futebol, quadras de golfe, jardins de escolas e universidades, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de avenidas e rodovias; irrigação de áreas ajardinadas ao redor de edifícios públicos, residenciais e industriais; reserva de proteção contra incêndios; controle de poeira em movimentos de terra, entre outros; sistemas decorativos aquáticos tais como fontes e chafarizes, espelhos e quedas d'água; descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios comerciais e industriais e lavagem de trens e ônibus públicos (HESPANHOL, 2002).

O reúso urbano também engloba as águas cinzas que de acordo com Feitosa (2016) são definidas como águas provenientes de banheiras, chuveiros, lavatórios, tanques e máquinas de

lavar, ou seja, são efluentes de origem doméstica que não possuem ligação com o sistema sanitário e pias de cozinha. Para Del Porto e Steinfeld (2000), as águas cinzas compõem cerca de 50 a 82% do volume total de efluentes produzidos em uma residência.

Santos e Malinowski (2005), avaliaram o potencial de reúso de água no meio industrial agrícola e urbano, a partir de efluente tratado de duas ETEs, verificaram que é interessante o reúso indireto planejado, visto que o reúso direto planejado aumenta os custos de implantação se comparado com o volume de água economizados.

### **3.7. Reúso Agrícola**

O reúso de efluente na agricultura se torna uma alternativa crescente para a irrigação e segundo Hespanhol (2002), esse aumento se deu devido a dificuldade de se encontrar fontes alternativas de água para irrigação, preço alto de fertilizantes, os altos custos para o tratamento necessário do descarte correto de efluentes no corpo d'água, a garantia de riscos mínimos à saúde pública e impactos no solo (desde que seja tomado os devidos cuidados), a aceitação da população e o reconhecimento do valor inerente da prática de reúso na agricultura por parte dos órgãos gestores de recursos hídricos.

A disposição de águas residuárias no solo deve ser em quantidades adequadas para que não coloque em risco os recursos ambientais, como o solo, a água, o ar e os organismos. Além disso, o conjunto solo e planta é utilizado para a degradação, assimilação e imobilização dos componentes do efluente. O solo ainda é utilizado como meio de depósito e tratamento de efluentes (REZENDE, 2003).

A partir de estudos realizados por Matos, Brasil e Fonseca (2003), Feitosa et al. (2009), Monteggia et al. (2007), Garcia (2003) e Barroso e Wolff (2011), nota-se que o uso de efluentes na agricultura traz diversos impactos positivos no solo como:

- Estruturação e estabilização dos agregados;
- Diminuição da massa específica e aumento da macroporosidade do solo;
- Maior retenção de água no solo;
- Aumento da capacidade de troca catiônica (CTC);
- Distribuição de macro e micronutrientes ao longo do tempo;
- Alteração no pH;
- Complexação e quelação de substâncias tóxicas;
- Auxiliam na microbiologia do solo;
- Entre outros.

Hardan e Al-Ani (1978) verificaram um aumento significativo da taxa de infiltração no solo, a partir de aplicações crescentes de águas residuárias do processamento da tâmara. Já Falkiner e Smith (1997) realizaram um estudo de fertirrigação com o uso de efluente tratado, no qual identificaram aumento no valor de pH e diminuição no alumínio trocável no solo. Ainda foi observado um aumento na capacidade de troca de cátions do solo (CTC).

Garcia (2003) realizou um estudo sobre as alterações físicas, químicas e mobilidade de íons no solo do uso de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro e foi verificado que as concentrações de sódio e potássio, pH, CTC efetiva, saturação de bases, soma de bases e condutividade elétrica aumentaram a partir da aplicação da água residuária. Porém altas concentrações ocasionaram na diminuição da proporção de argila dispersa e um aumento da razão de adsorção de potássio, diante disso a água residuária traz muitos benefícios ao solo, mas deve-se realizar a aplicação correta, pois em altas concentrações pode vir a contaminar o lençol freático (GARCIA, 2003).

Oliveira et al. (2000) avaliaram o impacto de aplicações sucessivas de águas residuárias de suinocultura, com diferentes concentrações de sólidos totais sobre a capacidade de infiltração de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo. Os autores verificaram que ocorreu um aumento na concentração de sólidos totais o que provocou uma diminuição na infiltração do solo, ou seja, diminuiu a microporosidade do solo.

O reúso possui riscos e estes estão relacionados na maioria das vezes com aplicações incorretas e manejo inadequado no solo. De acordo com alguns estudos realizados por Bertossi (2013) e Garcia (2003), nota-se alguns dos riscos como:

- Selamento superficial;
- Desestruturação do solo;
- Salinização;
- Toxicidade às plantas;
- Indisponibilidade de alguns micronutrientes;
- Risco de contaminação de água subterrânea.

### **3.8. Reúso Industrial**

A prática de reúso na indústria vem tomando espaço devido ao grande volume de água que é necessária para os processos e, portanto, um maior custo com água potável. Diante disso, o uso de efluentes tratados reduz o custo e se torna uma alternativa viável (SANTOS et al.,

2008), além de que a construção de estações de tratamento de efluentes próximo a indústria é interessante pois diminui o custo com transporte (GOHRINGER, 2006).

Segundo Hespanhol (2002), os usos industriais se caracterizam como uso em torres de resfriamento, caldeiras, construção civil (inclusive a preparação e cura de concreto), e para compactação do solo, irrigação de áreas verdes que possuem nas industriais, lavagens de pisos e peças, entre outros.

O reúso de água na indústria pode se dar de duas formas, conforme pontua Hespanhol et al. (2007):

- Reúso macro externo: uso de efluentes tratados provenientes de estações de tratamento de esgotos;
- Reúso macro interno: a utilização interna de efluentes seja ele tratado ou não, vindos de algum processo da própria empresa. Este reúso possui duas formas: o reúso em cascata e o reúso de efluentes tratados:
  - Reúso em cascata: efluente proveniente de um dos processos da empresa, no qual é utilizado diretamente, sem tratamento, em um outro uso na sequência, desde que o efluente atenda aos padrões de qualidade deste;
  - Reúso de efluente tratado: este se dá a partir do efluente proveniente do próprio local em questão, que através das estações de tratamento estejam de acordo com os padrões de qualidade exigidos para os usos pré-estabelecidos.

O reúso na indústria deve ter os devidos cuidados em relação a qualidade da água para evitar a ocorrência de incrustações, corrosão metálica e o crescimento biológico. A incrustação pode ocorrer devido a presença de precipitação de sais como por exemplo carbonato, sulfatos e fosfatos (VIDAL, 2015).

A corrosão pode ocorrer devido a presença de oxigênio dissolvido ou gases que podem vir a danificar os equipamentos (BOIM, 2003), e o crescimento biológico ou biofilme pode se dar devido ao aquecimento e a umidade de torres de resfriamento, no qual a presença de nutrientes, matéria orgânica e a temperatura acelera essa formação (FRANCO, 2013).

Diversas áreas do ramo industrial como petróleo, petroquímica, celulose, mineração e siderurgia possuem projetos de reúso de água (LIMA, 2018). Um exemplo é o Aquapolo, que é uma parceria entre a BRK Ambiental e a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo).

O Aquapolo possui capacidade de produção de 1000 L/s de água de reúso que equivale ao volume para abastecer uma cidade de 500 mil habitantes, e desses 1000 L/s fornece 650 L/s para o Polo Petroquímico de Capuava e indústrias da Região do ABC Paulista (AQUAPOLO, 2022).

No Brasil existem diversos outros casos de sucesso do reúso de água na indústria, como o Projeto Água Viva que é uma parceria entre a Brasken e a CETREL criado em 2012, no qual realiza o aproveitamento de efluentes do Polo de Camaçari. Essa prática evitou a captação no curso d'água natural em mais de 4 milhões de metros cúbicos até os dias atuais, com isso o aproveitamento de águas pluviais (60%) e efluentes industriais (40%) diminuíram os custos da indústria (CETREL, 2019).

A Petrobrás também realiza o reúso, visto ao grande volume de água utilizado (LIMA, 2018). No ano de 2019 a Petrobras atingiu um volume de água de reúso de 82 milhões de m<sup>3</sup>, o que se refere a 34% da demanda total de água doce para os processos operacionais e administrativos. Este valor seria suficiente para abastecer cerca de 1,5 milhão de habitantes por ano e a partir do reúso tiveram uma economia anual de R\$35,8 milhões em relação aos custos de captação de água e lançamento de efluentes (PETROBRAS, 2020). Um dos casos positivos realizados pela Petrobrás foi na Refinaria Planalto de Paulínia (REPLAN) que possui 18 ações de reúso e obteve uma economia de cerca de 3,2 bilhões de litros de água e que representa em torno de 15% do consumo de água na refinaria (PETROBRÁS, 2021).

A Raízen é uma empresa presente nos setores de produção de cana de açúcar e etanol, distribuição de combustíveis e geração de energia. Na safra de 2015/2016 foi criado o programa ReduSa com o objetivo de melhorar o consumo de água por tonelada de cana processada e o consumo de água fria em caldeiras de alta pressão (LIMA, 2018). Algumas das práticas foram realizadas no programa como o: reúso dos efluentes da lavagem dos filtros da Estação de Tratamento de Água (ETA), reúso dos efluentes no processo de regeneração das resinas da água desmineralizada, reúso da água da cana de açúcar em vários processos, incluindo o uso em make-up de torres de resfriamento, entre outros (RAÍZEN, 2017). E de acordo com Lima (2018), a Raízen em dois anos obteve a redução de mais de 8 bilhões de litros em captação, o que corresponde ao consumo de água de 135 mil habitantes.

A empresa Votorantim Celulose e Papel (VCP) localizada no município de Jacareí é uma empresa de celulose e papel, com uma vazão de água consumida de 68,3 m<sup>3</sup>/tonelada e vazão de efluentes gerados de 61,2 m<sup>3</sup>/tonelada. Para otimizar o uso da água, são realizadas ações como o reaproveitamento de água de refrigeração, o tratamento do condensado, a

instalação de controles de nível, instalação de linhas e bombas e a construção de tanque reversa para área de preparação de tintas na fabricação de papel (CETESB, 2002). De acordo com a CETESB (2002), esta prática teve como ponto positivo a redução na vazão de captação de 34% e 45% na vazão de efluente. É uma economia no tratamento de água e efluentes dos anos de 1998 a 2001 de US\$ 3,8 milhões.

### **3.9. Legislações e regulamentações sobre a prática de reúso**

#### **3.9.1. Norma técnica**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas criou a NBR nº 13969 de 1997, que trata especificamente sobre projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanque séptico (ABNT, 1997). Nesta norma, é abordado sobre o reúso local, em que os esgotos domésticos após a etapa de tratamento devem ser reutilizados para usos que não exijam qualidade de água potável (Tabelas 1 e 2), como na:

- Irrigação dos jardins;
- Lavagem dos pisos e dos veículos automotivos;
- Descarga dos vasos sanitários;
- Manutenção paisagística dos lagos e canais com água;
- Irrigação dos campos agrícolas e pastagens.

Além disso, a NBR nº 13969 de 1997 traz algumas restrições, onde não se deve utilizar o efluente tratado para irrigação de hortaliças e frutas de ramos rastejantes como por exemplo melão e melancia. É admitido o reúso para as culturas de milho, arroz, trigo, café e outras árvores frutíferas, a partir de escoamento no solo, lembrando que deve ser interrompido a irrigação 10 dias antes da colheita (ABNT, 1997).

Tabela 1: Classificações e parâmetros para esgotos em cada classe.

| Classe | Turbidez (uT) | Coliforme Fecal (NMP/100 mL) | Oxigênio Dissolvido (mg/L) | Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) | pH        | Cloro residual (mg/L) |
|--------|---------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------|
| 1      | < 5           | < 200                        | -                          | < 200                             | 6,0 - 8,0 | 0,5 - 1,5             |
| 2      | < 5           | < 500                        | -                          | -                                 | -         | > 0,5                 |
| 3      | < 10          | < 500                        | -                          | -                                 | -         | -                     |
| 4      | -             | < 5000                       | > 2,0                      | -                                 | -         | -                     |

Classe 1: Reúso na lavagem de carros e outros usos que tenha o contato direto da pessoa com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluso chafarizes; Classe 2: para a lavagem de carro e outros usos que tenha o contato direto da pessoa com a água, na lavagens de calçadas, pisos e irrigação dos jardins, como também a manutenção dos lagos e canais para usos paisagísticos, exceto chafarizes; Classe 3: reúso nas descargas dos vasos sanitários; Classe 4: reúso nos pomares, forragens, cereais, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Fonte: Adaptado de ABNT (1997).

Tabela 2: Tratamento necessário para cada classe.

| Classe | Tratamento necessário   |
|--------|---|
| 1      | Tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB), filtração convencional (areia e carvão ativado) e cloração. OBS: pode substituir a filtração convencional por membrana filtrante |
| 2      | Tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB), filtração de areia e desinfecção. OBS: pode substituir a filtração convencional por membrana filtrante                 |
| 3      | Cloração  |
| 4      | -   |

Fonte: Adaptado de ABNT (1997).

### 3.9.2. Âmbito Federal

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) traz a Resolução nº 54 de 2005, em que estabelece modalidades, diretrizes e critérios a respeito do reúso direto não potável de água (BRASIL, 2005). O reúso não potável de água disposto nesta resolução contempla os seguintes usos:

- Reúso urbano: irrigação paisagística, lavagem de veículos e logradouros públicos, construção civil, desobstrução de tubulações, edificações, combate a incêndio, dentro de áreas urbanas;

- Reúso agrícola e florestal: produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- Reúso ambiental: projetos de recuperação do meio ambiente;
- Reúso industrial: reúso em processos, atividades e operações industriais;
- Reúso na aquicultura: reúso na criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Em seu Art 3º, inciso 2º a resolução dispõe o seguinte: “As diretrizes, critérios e parâmetros específicos para os tipos de reúso definidas nos incisos deste artigo serão estabelecidos pelos órgãos competentes” (BRASIL, 2005).

Em 2010 o CNRH criou a Resolução nº 121 que dispõe sobre diretrizes e critérios para o reúso direto não potável, no uso agrícola e florestal. Nesta resolução é definido que as características da água para o reúso agrícola e florestal devem atender os limites definidos na legislação pertinente (BRASIL, 2010). Porém é possível notar certa lacuna em relação a informações sobre os limites e quais legislações seguir.

### **3.9.3. Âmbito Estadual**

#### **3.9.3.1. Minas Gerais**

O Estado de Minas Gerais conta com a Deliberação Normativa CERH-MG nº 65 de 2020 descreve a respeito do reúso direto de água não potável, vindos de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) dos sistemas públicos e privados (MINAS GERAIS, 2020). Esta Deliberação define alguns itens:

- Esgoto sanitário: efluentes residenciais, comerciais e institucionais, além das águas que provêm da rede coletora, e podendo conter uma parte mínima de águas residuárias que não seja doméstico;
- Água para reúso: efluentes vindos da ETE, no qual os processos de tratamento devem estar de acordo com os padrões de qualidade para cada modalidade de uso;
- Reúso direto: consiste no uso direto após tratamento seguindo os padrões de qualidade, sem lançamento ou diluição no corpo hídrico;
- Uso amplo: água com qualidade superior, no qual possui diversas aplicações;
- Uso limitado: água com qualidade inferior e que diante disso sua aplicação fica limitada.

Ainda, a Deliberação define algumas modalidades de reúso:

- Uso agrossilvipastoril: fertirrigação de culturas que não são ingeridas cruas, no qual incluem as culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores em relação a determinadas restrições. A sua aplicação no uso amplo é

permitida fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão, já no uso limitado é apenas por fertirrigação superficial ou localizada.

- Uso urbano: em relação a sua aplicação, no uso amplo é aceito a lavagem de praças, pátios, ruas e avenidas, estacionamento e outros usos semelhantes em áreas públicas, em lavagem de veículos comuns e uso em prédios seja comercial ou industrial, porém restrito a descargas sanitárias. No uso limitado é aceito a lavagem de veículos pesados (como caminhões de coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, de coleta seletiva, de construção civil, de mineração, trens e aviões), no combate a incêndios, umectação do solo, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto.
- Uso ambiental: pode ser aplicado na recuperação florística ou de áreas degradadas, na fertirrigação superficial, localizada ou até mesmo por aspersão, desde que de forma controlada.
- Uso industrial: o reúso pode ser realizado em atividades industriais, na construção civil, mineração e nas etapas de produção.

A Deliberação dispõe a respeito dos padrões de qualidade para o reúso agrossilvipastoril (Tabela 3), para o reúso urbano (Tabela 4) e de reúso ambiental (Tabela 5). E pontua que a aplicação de sódio no solo a partir da água de reúso é de 300 kg/(ha.ano).

Tabela 3: Padrões de qualidade para o reúso agrossilvipastoril.

| Uso      | Aplicação   | pH    | Coliformes termotolerantes ou <i>E.coli</i> (NMP/100 mL) | Ovos de helmintos (nº de ovos/L) | Condutividade elétrica (µS/cm) | RAS      |
|----------|---|-------|--|----------------------------------|--------------------------------|----------|
| Amplo    | <sup>1</sup> Fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão.   | 6 - 9 | $\leq 1 \times 10^4$                                     | $\leq 1$                         | $\geq 500^2$                   | $\leq 3$ |
| Limitado | Apenas fertirrigação superficial ou localizada, evitando qualquer contato da água para reúso com o produto alimentício. | 6 - 9 | $\leq 1 \times 10^6$                                     | $\leq 1$                         | $\geq 500^2$                   | $\leq 3$ |

<sup>1</sup>Árvores frutíferas, no qual os frutos podem ser consumidos crus ou com casca, desde que adotada uma técnica de irrigação que impossibilite o contato do fruto com a água de reúso.

<sup>2</sup>Consiste no mínimo valor para que não ocorra o risco de dispersão da argila do solo, levando em consideração os valores de RAS que o esgoto sanitário pode apresentar.

Fonte: Adaptado de Minas Gerais (2020).

Tabela 4: Padrões de qualidade para o reúso urbano.

| Uso      | Aplicação  | pH    | Coliformes termotolerantes ou <i>E.coli</i> (NMP/100 mL) | Ovos de helmintos (nº de ovos/L) |
|----------|--|-------|--|----------------------------------|
| Amplio   | Lavagem de pátios, ruas e avenidas, estacionamentos ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias).  | 6 - 9 | $\leq 1 \times 10^3$                                     | $\leq 1$                         |
| Limitado | <sup>1</sup> Lavagem de veículos especiais (coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, construção civil, coleta seletiva e mineração), na lavagem externa de aviões e trens, umectação do solo, no combate a incêndio, na desobstrução de galerias de água pluvial e da rede de esgoto. | 6 - 9 | $\leq 1 \times 10^4$                                     | $\leq 1$                         |

<sup>1</sup>Para desobstrução de galerias de águas pluviais e de redes de esgoto,  $1 \times 10^7$  NMP/100 mL consiste no valor limite referente a coliformes termotolerantes ou *E.coli*.

Fonte: Adaptado de Minas Gerais (2020).

Tabela 5: Padrões de qualidade para o reúso ambiental.

| Uso      | Aplicação  | pH    | Coliformes termotolerantes ou <i>E.coli</i> (NMP/100 mL) | Ovos de helmintos (nº de ovos/L) |
|----------|--|-------|--|----------------------------------|
| Limitado | Recuperação florística; recuperação de áreas degradadas, desde que o acesso seja restrito. | 6 - 9 | $\leq 1 \times 10^6$                                     | $\leq 1$                         |

Fonte: Adaptado de Minas Gerais (2020).

Já a qualidade para o reúso industrial no que tange a utilização em processos internos da empresa é de responsabilidade do empreendedor, e os demais usos devem seguir as Tabelas 3 e 5 (MINAS GERAIS, 2020).

### 3.9.3.2. São Paulo

O estado de São Paulo possui a Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01 de 2020, que regulamenta o reúso direto não potável de água, para uso urbano, em que o efluente provém de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário (ETEs) (São Paulo, 2020). A Resolução dispõe que a água de reúso para fins urbanos são efluentes tratados proveniente de ETEs, no qual o tratamento possa atender aos devidos usos urbanos, não necessitando que seja uma água potável (SÃO PAULO, 2020).

Nesta resolução ficam definidas as seguintes modalidades:

- Irrigação paisagística: áreas verdes de condomínios, taludes de rodovias, cemitérios, parques, jardins, campos de esporte e de lazer urbanos;
- Lavagem de logradouros e outros ambientes públicos e privados;
- Construção civil: cura de concreto em obras, umectação a fim de realizar a compactação em terraplenagens, amassamento em concreto não estrutural, lamas de perfuração nos métodos não destrutivos com o intuito de realizar a escavação de túneis, resfriamento de rolos compressores em pavimentação e o controle de poeira nas obras e aterros.
- A desobstrução das galerias de água pluvial e rede de esgotos;
- Lavagem de veículos: ônibus, aviões, trens, caminhões de lixo (coleta seletiva e de construção civil), e embarcações.
- Combate a incêndio: é necessário estar acondicionado em reservatório que tenha instalações hidráulicas específicas para este uso.

### **3.9.3.3. Ceará**

O Estado do Ceará conta com a Lei nº 16.033 de 2016 que trata sobre o reúso de água não potável no estado (CEARÁ, 2016). As modalidades de reúso disposta na lei são:

- Reúso urbano: lavagem de logradouros públicos e veículos, irrigação paisagística, desobstrução de tubulações, construção civil e combate à incêndio;
- Reúso agrícola e florestal: irrigação na produção agrícola e cultivo de florestas plantadas, tendo ainda como subproduto a recarga de lençol subterrâneo;
- Reúso ambiental: implantação de projetos de recuperação ambiental;
- Reúso industrial: em processos, atividades e operações industriais;
- Reúso na aquicultura: criação de animais ou o uso em cultivo de vegetais aquáticos.

Devido a busca pela racionalização no Estado, na Resolução COEMA nº 2 de 2017 é incluído em seu Art. 2º definir diretrizes, critérios e parâmetros específicos para a prática de reúso não potável (CEARÁ, 2017). Nesta é estabelecido padrões de qualidade para reúso externo de efluente sanitário para fins urbanos, agrícolas e industriais, ambientais e para aquicultura (Tabela 6).

Tabela 6: Padrões de qualidade para reúso para diferentes modalidades.

| Reúso externo de efluentes sanitários para as seguintes modalidades | Coliformes Termotolerantes (CT/100 mL) | Ovos de helmintos (ovo/L de amostra) | Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | pH        | Razão de Adsorção de Sódio (RAS)          | Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|---|--|--------------------------------------|--|-----------|---|------------------------------------|
| <sup>1</sup> Urbano   | 5000                                   | 1                                    | 3000   | 6,0 - 8,5 | -   | -                                  |
| <sup>2</sup> Agrícola e Industrial                                  | 1000                                   | 1                                    | 3000   | 6,0 - 8,5 | (15 mmolcL <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup> | -                                  |
| Ambiental   | 10000                                  | 1                                    | 3000   | 6,0 - 8,5 | -   | -                                  |
| Aquicultura   | 1000                                   | Não detectado                        | 3000   | 6,0 - 8,0 | -   | 40                                 |

<sup>1</sup>para irrigação paisagística (Coliformes termotolerantes deve ser até 1000 CT/100 mL). <sup>2</sup>culturas consumidas cruas que tenha contato direto com a água (Coliformes termotolerantes - Não detectado, Ovos de Geohelminthos - Não detectado).

Fonte: Adaptado de Ceará (2017).

#### 3.9.3.4. Paraná

O estado do Paraná conta com a Lei nº 20448 de 2020 que dispõe sobre o uso responsável de água no estado. Essa lei afirma a necessidade da racionalização de água, no qual é abordado o reúso de água como uma das medidas, e que os novos edifícios comerciais, industriais e residenciais deverão realizar o consumo de água, como o reúso de água proveniente de aparelhos de ar condicionado e a captação da água da chuva. Porém fica vedado o reúso para consumo humano e animal (PARANÁ, 2020).

Diante das leis e normas brasileiras apresentadas, nota-se uma certa lacuna de padrões para modalidades de reúso a seguir, no qual traz uma certa abertura para que possa realizar o reúso porém, não possui o incentivo necessário.

#### 3.9.4. Legislações Internacionais

Nos Estados Unidos os regulamentos de utilização da água de reúso, seja para definir programas ou políticas de reúso, são de responsabilidade dos Estados. A Lei da Água Potável Segura (*Safe Drinking Water Act*) e a Lei da Água Limpa (*Safe Drinking Water Act*) auxiliam para que os estados possam permitir, regular e supervisionar o reúso da água como julgarem adequado (EPA, 2022).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency - EPA) criou o documento “*Guidelines for Water Reuse*”, onde são apresentados os tipos de usos e os parâmetros de qualidade da água e serve como direcionamento para os Estados (EUA, 2004). As primeiras diretrizes e padrões sobre o reúso de água foram criadas no

ano de 1918 pelo Estado da Califórnia que padronizou a utilização da água de reúso para irrigação agrícola (MOURA et al. 2020). Após, diversos outros Estados do país criaram programas e legislações para incentivo da prática de reúso, como é o caso dos Estados do Alaska (Alaska, 2002), Arizona (ADEQ, 2018) e Colorado (EUA, 2017), dentre outros.

A Namíbia possui a legislação *Water Resources Management Act. 11* (NAMÍBIA,2013), voltada para o reúso de água na irrigação. As variáveis de qualidade para controle da prática do reúso são as microbiológicas (*Escherichia coli*), DBO, DQO, pH, entre outras (MOURA et al. 2020).

A Tunísia conta com a legislação *Standard for the use of treated wastewater in agriculture NT 106.03 de 1989*, que estabelece padrões para o uso de águas residuais tratadas na agricultura (TUNÍSIA, 1989).

Em Israel ocorre a prática de reúso desde 1963, no qual é tratada como política pública para a gestão de recursos hídricos no país, a partir da Lei nº 5719 de 1959 (ISRAEL,1959) conhecida como Lei das águas (HENDGES; ANTES; TONES, 2018). Segundo Oron et al. (2014), Israel possui ainda as regulamentações BS-8525-1 de 2010 e a BS-8525-2 de 2011. Na primeira são estabelecidos os limites das variáveis (cloro residual, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio, nitrogênio total, fósforo e coliformes fecais) para o reúso. Já a segunda fica estabelecida a concentração máxima dos parâmetros coliformes fecais, quantidade de ovos de helmintos, presença de óleos e gorduras, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos suspensos totais em relação a cada uso, direto e indireto.

A Espanha conta com uma lei nacional, que é a Lei nº 58 de 2005, conhecida como Lei da Água, que tem como objetivo o estabelecimento das bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas (UNIÃO EUROPEIA, 2005). E possui também o Decreto 1620/2007 que trata sobre o regime legal de reutilização de água tratada, constando os usos urbanos, agrícolas, industriais, recreativos e ambientais e para cada uso é definido a qualidade da água (ESPANHA, 2007).

#### **4. Estudos que abordaram o tema de Reúso de esgoto doméstico**

##### **4.1. Reúso para fins urbanos**

Rolleberg e Sobral (2016) avaliaram o potencial de reúso de água a partir dos efluentes de 64 Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico - ETEs em Fortaleza. Foram analisados dados, como as vazões de cada ETE, as características físicas e químicas do efluente tratado e

a classificação das estações de acordo com o efluente tratado, após foi determinado o potencial de reúso, e por fim um levantamento de possíveis consumidores. Os autores verificaram que o potencial de reúso do esgoto tratado foi de 263.000 m<sup>3</sup>/dia, com capacidade de irrigar as áreas verdes de Fortaleza, como também a limpeza dos logradouros públicos e ainda o uso na construção civil.

Obraczka et al. (2019) verificaram o potencial da água de reúso proveniente das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) no município do Rio de Janeiro a partir de banco de dados sobre reúso, mapeamento georreferenciado de geradores e potenciais consumidores. Identificou-se que devido às distâncias do meio rural e os altos custos da água convencional para empreendimentos maiores, o reúso urbano/industrial se torna mais viável. Segundo os autores, as ETEs Alegria e Deodoro geram grandes vazões de efluentes com padrões de qualidade que é permitido para uso em lavagens, limpeza de equipamentos, umectação de vias e desobstrução de redes (OBRACZKA et al. 2019).

Silva (2018) avaliou a eficiência de três ETEs, do tipo compactas para reúso direto não potável. Foram analisadas três ETEs (processo anaeróbio, aeróbio e misto), com os seguintes resultados:

- ETE A - processo anaeróbio (dois reatores UASB, dois filtros anaeróbios e uma câmara com radiação UV): boa remoção de DBO e DQO de 71,54% e 72,34% e não foi eficiente na remoção de nutrientes e patógenos. Esta foi considerada do ponto de vista operacional a mais viável para a prática de reúso;
- ETE B - processo aeróbio (lodo ativado convencional composta por tanque submerso aeróbio, um tanque submerso de decantação e uma câmara de desinfecção de cloro): baixa remoção de DBO e DQO de 67,37% e 66,72% e não foi eficiente remoção de nutrientes e patógenos. Esta teve pior resultado, contendo maior carga orgânica e nutrientes.
- ETE - por processo misto (reator anaeróbio seguido de reator aeróbio com leito móvel e por uma câmara de desinfecção): boa remoção de DBO e DQO de 77,57% e 75,59%, obteve uma boa desinfecção, porém sem remoção de nutrientes. Neste caso, apresentou desempenho semelhante ao da ETE A.

Bezerra et al. (2017) verificaram que a utilização de um reator sequencial em batelada aeróbio para o tratamento de esgoto doméstico teve uma eficiência de remoção de 85% de

matéria orgânica e com isso há possibilidade de uso em praças públicas ou de condomínios residenciais.

#### **4.2. Reúso para fins agrícolas**

Araújo et al. (2005) realizaram uma análise do potencial do reúso de efluentes tratados vindos de uma estação de tratamento de esgoto do município de Ponta Negra em Natal. A ETE era composta por tratamento preliminar, lagoas de estabilização em série, sendo uma lagoa facultativa primária e duas lagoas de maturação. Foi verificada a viabilidade da prática de reúso, porém, são necessários tratamentos adicionais para determinados usos. No efluente foram identificadas altas concentrações de coliformes termotolerantes, portanto, de acordo com Organização Mundial da Saúde, o efluente analisado está dentro dos padrões para o uso na irrigação restritiva (cereais, culturas industriais, forragens, pastos e árvores) e na irrigação restrita e localizada (no caso em que a exposição com o ser humano não ocorra).

Giafferis (2011) realizou um estudo em uma planta de tratamento de esgoto no Distrito de Tibiriçá, a estação é composta por filtro anaeróbio de fluxo ascendente e sistemas alagados construídos em paralelo. Foi analisada a eficiência dos três sistemas de alagados construídos para possível reúso e uma das conclusões obtidas foi de que os nutrientes presentes no efluente analisado (nitrogênio e fósforo) podem ser benéficos na irrigação agrícola, economizando com fertilizantes, além de proteger os mananciais.

Silva, Júnior e Silva (2021) realizaram uma análise da aplicação de diluições com esgoto doméstico tratado no desenvolvimento de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth e *Amburana cearensis* (Fr. All) A.C Smith. Foram utilizadas cinco diluições de água de reúso com água de abastecimento:

- T1: 100% água de reúso + 0% água de abastecimento;
- T2: 75% água de reúso + 25% água de abastecimento;
- T3: 50% água de reúso + 50% água de abastecimento;
- T4: 25% água de reúso + 75% água de abastecimento;
- T5: 0% água de reúso + 100% água de abastecimento.

Em relação à cultura *A. cearensis* os melhores tratamentos identificados com maior número de matéria seca nas folhas e raízes secundárias foram os 2, 3 e 4. Já para *M. caesalpinifolia*, as diluições do esgoto não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Com isso, Silva, Júnior e Silva (2021) concluíram que o esgoto doméstico proporcionou um efeito positivo ou neutro no desenvolvimento das espécies.

Souza (2015) verificou a eficiência da estação piloto de tratamento de esgoto (ETE) que foi instalada na Universidade Federal de São Carlos, no Centro de Ciências Agrárias, localizada na área rural do Município de Araras, Estado de São Paulo, a estação conta com: tanque séptico, tanque de microalgas, filtro anaeróbio de fluxo ascendente e *wetlands*. O esgoto bruto provém de refeitório e banheiros da UFSCar/Araras. Através de análises, Souza (2015) concluiu que a eficiência da ETE é em torno de 90% e que o efluente final possui cálcio, potássio, nitrogênio e fósforo, como também matéria orgânica e sais, que constitui como potencial reuso na agricultura e que estão de acordo com a NBR 13.969/1997.

Silva et al. (2005) realizaram um experimento em escala piloto, instalado e monitorado em uma área da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). O sistema era composto de um reator UASB e um Filtro Anaeróbio de Chicanas (FAC). O FAC obteve eficiência de 85% e 86% de remoção de sólidos suspensos totais e voláteis, com possibilidade de uso na irrigação por gotejamento. O efluente tratado apresentou baixa concentração de matéria orgânica, alta concentração de nitrogênio e fósforo, um pH entre 7,3 a 8,2, com possibilidade de uso na fertirrigação de culturas, como feijão e milho. Além disso o FAC utilizado no pós-tratamento de efluente do reator UASB obteve um efluente com ausência de ovos de helminto e coliformes termotolerantes ( $10^3$  a  $10^4$  UFC/100mL), podendo ser usado somente na fertirrigação de culturas forrageiras e culturas não consumidas cruas (SILVA et al., 2005).

Silva et al. (2015) realizaram uma análise da utilização de esgoto doméstico tratado com reator anaeróbio e lagoa de polimento no cultivo de mudas de eucalipto da espécie *Urograndis*, considerando os seguintes tratamentos:

- Tratamento 1, 2, 3 e 4: irrigação com esgoto com lâmina a 100, 80, 60 e 40% do índice CP (CP: conteúdo de água retida pelo solo após a sua saturação e consequente cessamento da drenagem por ação da gravidade);
- Tratamento 5 e 6: irrigação foi feita com água a 80% de CP. E somente no tratamento 5 teve adição de fertilizantes.

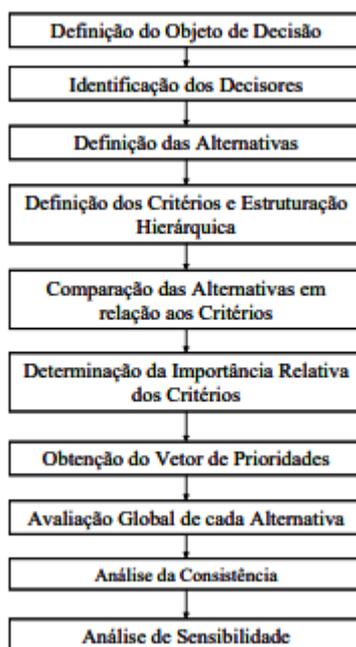
Foi verificado que os melhores desempenhos em relação ao crescimento da planta foram os obtidos nos tratamentos 2 e 3 (entre 80 e 60% do índice de CP).

## **5. Método Multicritério de apoio a Decisão (MMAD)**

O Método Multicritério de Apoio a Decisão (MMAD) permite realizar a comparação de critérios definidos, seja quantitativo ou qualitativo, para a tomada de decisão (FUKASAWA, 2021). Este método é bastante utilizado em diversas áreas, como nas engenharias. Dentre os

MMAD, o Método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - AHP) consiste em um dos métodos mais utilizados como apoio à decisão, foi criado em 1980 por Thomas Saaty. A seguir é apresentado um exemplo do AHP:

Figura 7 - Fluxograma do Método de Análise Hierárquica - AHP



Fonte: Vieira (2006).

Fukasawa (2021) utilizou o Método Multicritério de Apoio a Decisão na criação do índice de Potencial de Reuso de Água (IPR) não potável para o reúso industrial e agrícola, foi utilizado o Processo de Hierarquia Analítica (AHP) utilizando de critérios técnicos, ambientais e socioeconômicos. O autor utilizou como área de obtenção dos valores a Região Metropolitana de São Paulo, no qual é possível replicar essa metodologia para vários municípios.

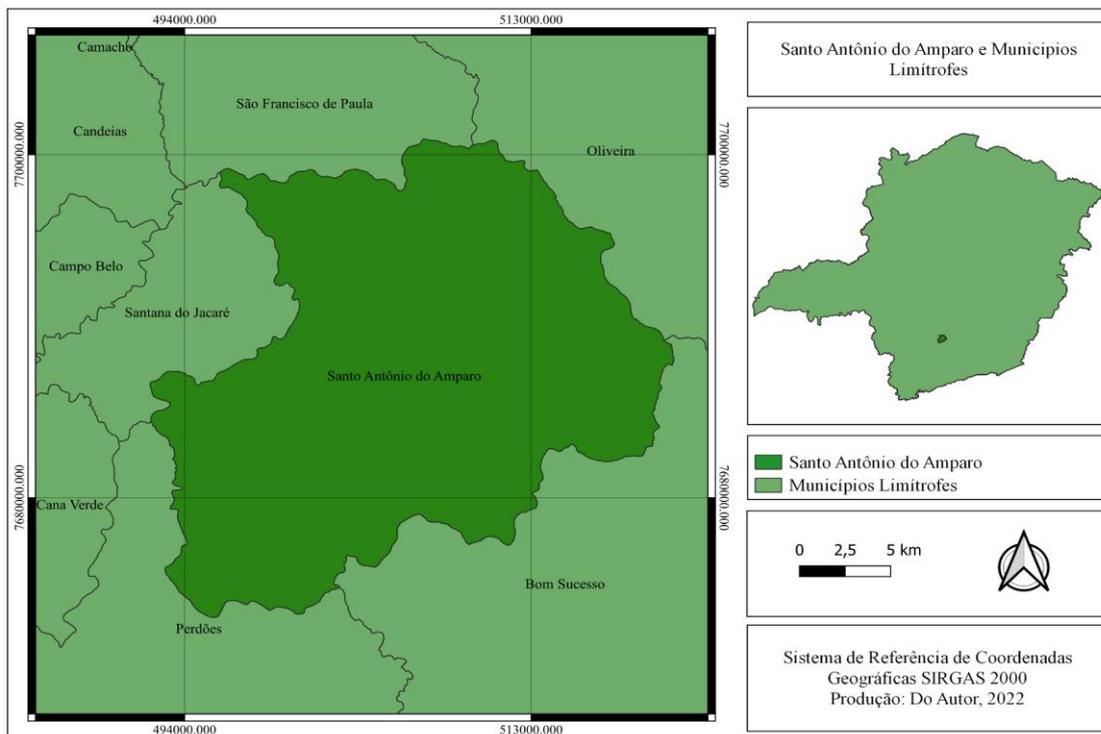
## 6. MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1. Caracterização do Município

O município de Santo Antônio do Amparo está localizado no estado de Minas Gerais, situado na mesorregião Oeste de Minas, tendo como municípios limítrofes Oliveira, Santana do Jacaré, Perdões, Bom Sucesso e São Francisco de Paula (Figura 7). Conta com 17.345 habitantes, uma área territorial de 488,885 km<sup>2</sup>, altitude de 990 m, um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,672 e Produto Interno Bruto per capita de R\$17.170,10 (IBGE, 2010; 2022; 2019; 2020). Caracterizado como um bioma da Mata Atlântica (IBGE,

2019), o clima da região é tropical mesotérmico (Cwa), com temperatura média de 20°C e pluviosidade média anual de 1.373 mm (CLIMATE-DATA, 2022).

Figura 8: Localização do município de Santo Antônio do Amparo e cidades limítrofes.



Fonte: Do Autor (2023).

A respeito da hidrografia, o município pertence à sub bacia do Rio Grande, e a Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos. Os principais rios do município são o Rio do Amparo, Ribeirão do Amparo e Ribeirão da Barra (SNIRH, 2022). O município está inserido no Comitê de Bacia Hidrográfica Vertentes do Rio Grande (GD2) (IGAM,2022).

Segundo IBGE (2017), 2.486 m<sup>3</sup> de água são tratados por dia, sendo consumidos 1.800 m<sup>3</sup>/d, com índice de perda na distribuição de 27,6%. Em relação ao esgotamento sanitário no município, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021) é realizada a coleta de 79% de esgoto e 50,09% do esgoto é coletado e tratado.

A agência responsável pela regulação dos serviços de abastecimento público e esgotamento sanitário do município é a Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento Básico de Minas Gerais – ARISB-MG, e os serviços são prestados pela concessionária Águas de Santo Antônio do Amparo SPE EIRELI.

## 6.2. Descrição das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) no município

O município possui 2 ETEs. A ETE Amparo I (Figura 8) (20°57'17.40"S, 44°55'12.97"O) possui uma vazão máxima de 5,2 L/s e conta com tratamento preliminar e tratamento secundário, com as seguintes características:

- Gradeamento e caixa de areia;
- 3 Reatores UASB de polímero revestido de fibra com 55 m<sup>3</sup> cada;
- 6 Filtros aeróbios de polímero revestido de fibra com 21 m<sup>3</sup> cada;
- 3 Leitos de secagem em alvenaria com 5 m x 5 m x 0,7 m.

Figura 9: Estação de Tratamento de Esgoto (ETE Amparo I).



Fonte: Google Earth (2019).

Após o tratamento, o efluente é lançado no corpo hídrico Ribeirão do Amparo. De acordo com a empresa responsável, após a secagem no leito o transporte do lodo é realizado pela Caprimar e o tratamento e disposição são realizados pela Central de Tratamento de Resíduos de Minas Gerais (CTR).

A ETE Amparo II (Figuras 9, 10 e 11) (20° 56' 27.299" S, 44° 56' 22.262" W) possui uma vazão máxima de 15 L/s, é composta dos níveis de tratamento preliminar e secundário, a partir das seguintes unidades:

- Gradeamento, caixa de areia e 2 caixas separadoras de água e gordura;
- 5 Reatores UASB de polímero revestido de fibra com 100 m<sup>3</sup> cada;
- 5 Filtros aeróbios de polímero revestido de fibra com 100 m<sup>3</sup> cada;
- 5 Leitos de secagem em bloco drenante com 5 m x 5 m x 0,7 m;
- Calha Parshall.

Figura 10: Tratamento preliminar da ETE Amparo II, a esquerda gradeamento e caixa de areia e a direita 2 caixas separadoras de água e gordura.



Fonte: Do Autor (2023).

Figura 11: Tratamento secundário da ETE Amparo II, a esquerda 5 reatores UASB e 5 Filtro aeróbio, a direita 5 leitos de secagem em bloco.



Fonte: Do Autor (2023).

Figura 12: A direita tanque de cloração e a esquerda Calha Parshall.



Fonte: Do Autor (2023).

De acordo com a Empresa Águas de Santo Antônio do Amparo, a ETE possui também um tanque clorador, porém não é utilizado. Após o tratamento, o efluente é lançado no corpo hídrico Ribeirão da Barra. E assim como para a ETE Amparo I, após a secagem no leito o transporte do lodo é realizado pela Caprimar, com o tratamento e disposição realizados pela Central de Tratamento de Resíduos de Minas Gerais (CTR). Além disso, a ETE Amparo I possui estrutura para receber mais 3 conjuntos de reatores e filtros, podendo ter a ampliação de sua capacidade até 25 L/s.

### 6.3. Obtenção do Índice de Potencial de Reúso

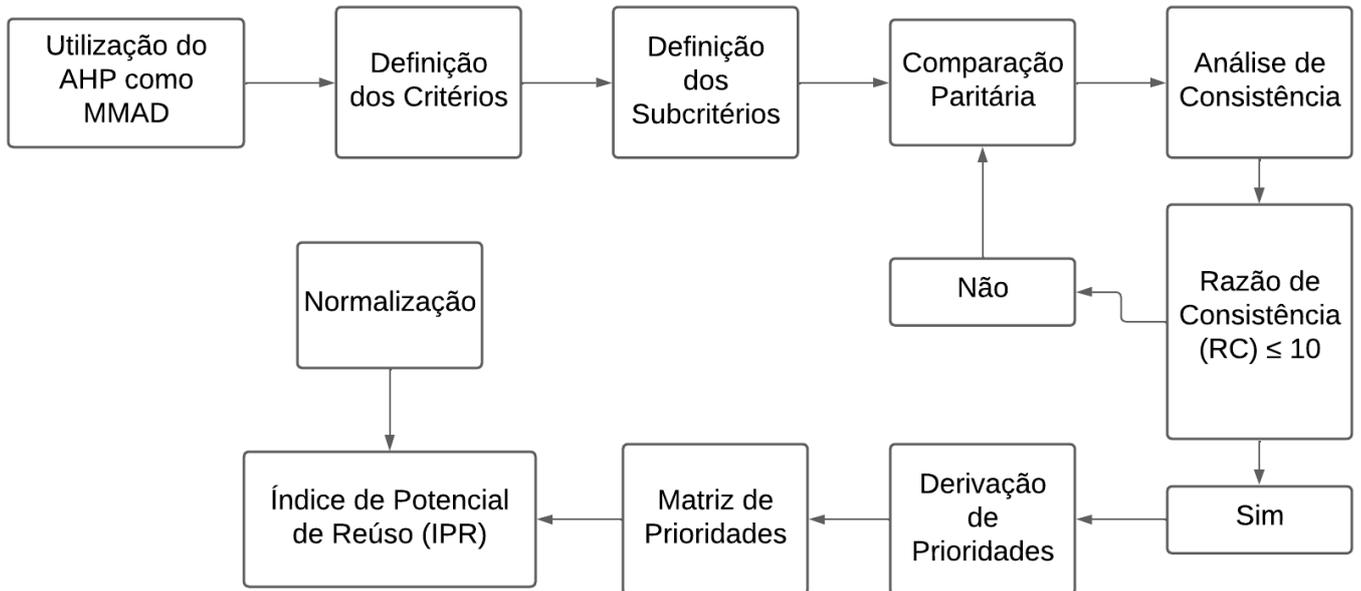
A obtenção do Índice de Potencial de Reúso (IPR) foi realizada a partir da metodologia de Fukasawa e Mierzwa (2020). Este, por sua vez, busca apresentar a atratividade do reúso de uma área em relação a outras áreas. Utilizou-se o Processo de Hierarquia Analítica (AHP) como Método Multicritério de Apoio à Decisão (MMAD). Assim, foram definidos os critérios e subcritérios, e realizadas em sequência as etapas de comparação paritária e análise de consistência, derivação de prioridades e obtenção da matriz de prioridades, a normalização e por fim obtenção do IPR (Figura 12).

Foram realizados os seguintes itens para obtenção do IPR:

- I. Definição de Critérios e Subcritérios

- II. Comparação paritária e análise de consistência
- III. Derivação de Prioridades
- IV. Normalização
- V. Obtenção do Índice de Potencial de Reúso

Figura 13: Fluxograma da metodologia utilizada para obtenção do Índice de Potencial de Reúso (IPR).

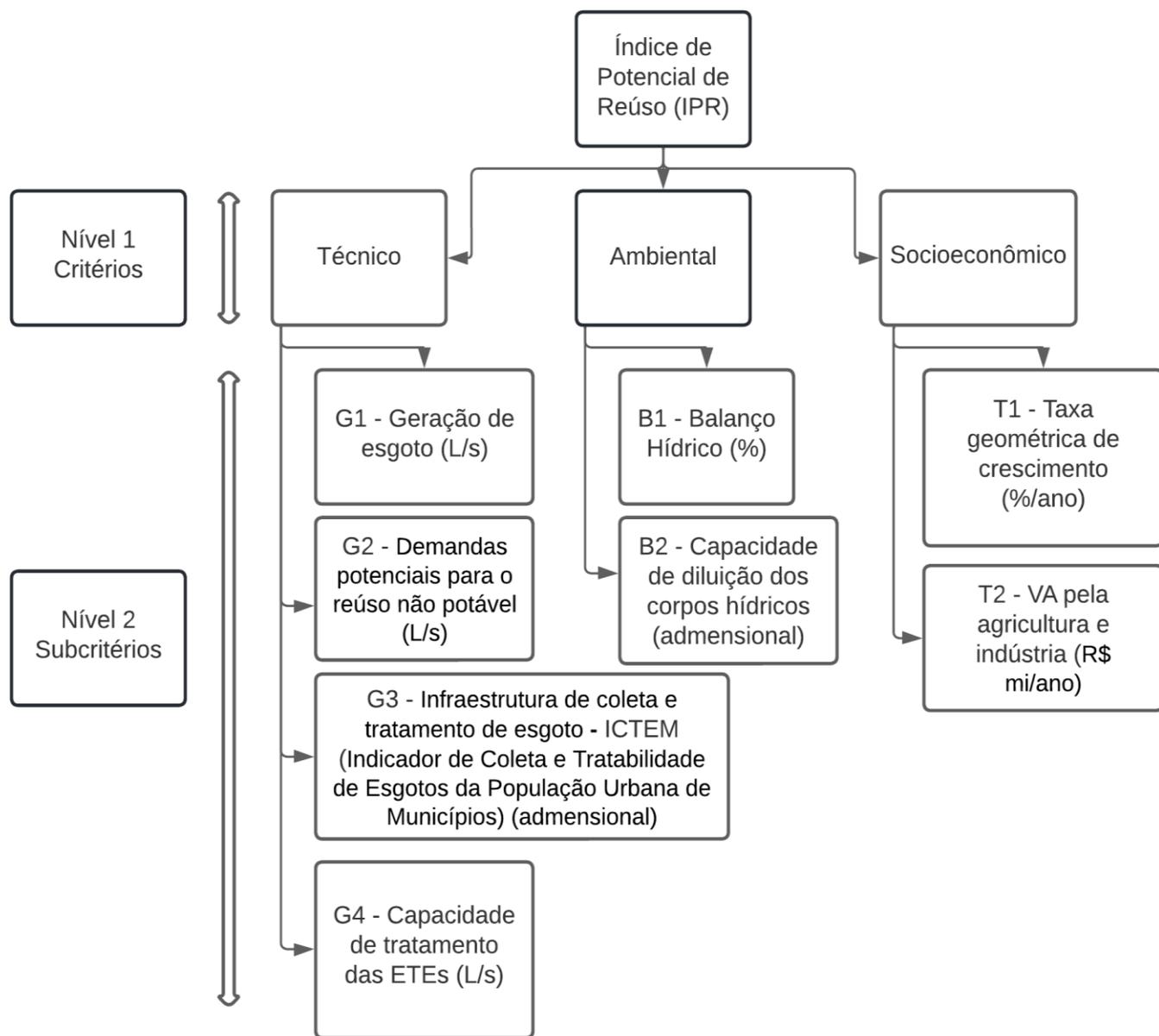


Fonte: Adaptado de Fukasawa (2021).

### I. Definição de Critérios e Subcritérios

Foram adotados os critérios técnicos, ambientais e socioeconômicos, e dentro de cada critério foram definidos os subcritérios (Figura 13).

Figura 14: Fluxograma referente aos critérios e subcritérios adotados no estudo.



Fonte: Adaptado de Fukasawa e Mierzwa (2020).

**i) Subcritérios Técnicos:**

• **Geração total de esgoto (G1)**

Nesta etapa, obteve-se a geração total de esgoto (L/s) no município a partir da Equação 1, onde foi considerado um coeficiente de retorno (R) de 0,8, um consumo per capita (q) de 117,41 L/hab/d a partir do SNIS (2021), e conforme IBGE (2010) uma população (Pop) de 17.345 habitantes.

$$Q_{méd} = \frac{Pop \times q \times R}{86400} \quad \text{Equação 1}$$

A geração de esgoto no município foi considerada como um fator positivo para o reúso, visto que quanto maior o valor deste subcritério (G1) maior é a oferta. O valor de G1 foi expresso em litros por segundo (L/s).

- **Demandas potenciais para o reúso não potável (G2)**

As demandas abordadas no presente trabalho foram as demandas agrícolas, agroindustriais e industriais. As demandas foram obtidas através da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). Para isso, foi realizada uma pesquisa dos processos de outorga no município, e os dados de vazão outorgada para os usos citados anteriormente, selecionando somente as licenças concedidas e em vigor.

Este subcritério foi definido como positivo para o potencial de reúso, assim, quanto maior o valor de (G2) maior é a demanda. O valor de G2 foi expresso em litros por segundo (L/s).

- **Infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto (G3)**

Nesta etapa, o valor de infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto foi obtido a partir do Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgotos da População Urbana de Municípios - ICTEM (CETESB, 2022), utilizando a Equação 2.

$$ICTEM = 0,015C + 0,015T + 0,065E + D + Q \quad \text{Equação 2}$$

Em que,

C = porcentagem (%) da população urbana atendida por rede de coleta de esgotos;

T = porcentagem (%) da população urbana com esgoto tratado;

E = eficiência global de remoção de carga orgânica (%);

D = parcela que recebe valor de zero, caso a destinação de lodos e resíduos de tratamento for inadequada e 0,2 se for adequada;

Q = parcela que recebe valor de zero, caso o efluente altere o enquadramento da classe do corpo receptor ou caso existir lançamento direto ou indireto de esgoto não tratado. É atribuído o valor de 0,3 caso o efluente não altere a classe do corpo receptor.

A porcentagem da população urbana atendida por rede de coleta de esgotos (C) e a porcentagem da população urbana com esgoto tratado (T) foram obtidos a partir do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021). A eficiência global de remoção de carga orgânica (E) foi obtida a partir da Equação 3, onde a porcentagem de remoção de carga orgânica pelas ETEs (N) foi obtida através de laudos com resultados de análises físicas e químicas do efluente tratado disponibilizados pela empresa Águas de Santo Antônio do Amparo.

$$E = (0,01C * 0,01T * 0,01N) * 100 \text{ Equação 3}$$

Em que:

N= eficiência de remoção da carga orgânica pelas ETEs (%).

Foi obtida a eficiência global de remoção de carga orgânica (E) da ETE Amparo I e ETE Amparo II, após isso, foi feita a média entre as duas.

As informações a respeito da destinação do lodo (D) e o lançamento de efluentes no corpo receptor (Q) foram obtidas junto à empresa Águas de Santo Antônio do Amparo.

Considerou-se este subcritério (G3) como um fator positivo para o reúso, visto que valores altos de infraestrutura de coleta e tratamento de esgotos ocasionam em maiores possibilidades da atividade de reúso. O valor de ICTEM é adimensional, e varia de 0 a 10.

- **Capacidade das Estações de Tratamento de Esgoto (G4)**

Estes dados foram fornecidos pela empresa Águas de Santo Antônio do Amparo. O valor de G4 foi expresso em litros por segundo (L/s).

**ii) Subcritérios Ambientais**

- **Balanco hídrico (B1)**

Foi obtido o balanço hídrico (L/s), a partir da razão entre a demanda total e a disponibilidade hídrica natural, sendo a última mensurada a partir da  $Q_{95\%}$  referente ao corpo d'água Ribeirão Laranjeiras. A demanda total foi obtida a partir da Equação 4.

$$QMDC = \frac{Pop \times q \times kl}{86400} \text{ Equação 4}$$

Em que:

Pop = população abastecida (hab);

q = consumo per capita de água (L/hab/d);

k1 = coeficiente do dia de maior consumo.

Obteve-se o consumo per capita de água (q = 117,41 L/hab/d) a partir do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), e foi adotado o valor de 1,5 para o coeficiente do dia de maior consumo. Já a disponibilidade hídrica natural ( $Q_{95\%} = 56,48$  L/s) foi coletada no Atlas de Esgoto (ANA, 2020). A partir desses dados calculou-se o balanço hídrico (Equação 5).

$$\text{Balanço Hídrico} = \frac{QMDC}{Q_{95\%}} \quad \text{Equação 5}$$

Adotou-se o balanço hídrico como um fator positivo, pois quanto maior o valor de (B1), maior é a pressão sobre os recursos hídricos, com isso mais favorável é a busca por fontes alternativas, neste caso, o reúso. O valor de B1 foi expresso em porcentagem (%).

- **Capacidade de diluição do corpo hídrico (B2)**

Este subcritério é qualitativo e foi obtido a partir do Atlas de Esgotos (ANA, 2010) a capacidade de diluição do principal corpo receptor. Considerou-se que quanto pior for a capacidade de diluição dos corpos hídricos, maiores são as possibilidades de reúso.

Por ser um dado qualitativo, foi considerado as seguintes condições, conforme Fukasawa e Mierzwa (2020):

$$\begin{aligned} \text{Nulo} &= 1.0 \\ \text{Muito baixo/baixo} &= 0.667 \\ \text{Alto/muito alto} &= 0.333 \\ \text{Limitada} &= 0 \end{aligned}$$

### iii) **Subcritérios Socioeconômicos**

- **Taxa geométrica de crescimento demográfico - TGCD (T1)**

A taxa geométrica de crescimento demográfico foi obtida a partir da Equação 6:

$$TI = \left( \sqrt[10]{\frac{\text{População 2010}}{\text{População 2000}}} - 1 \right) \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

Os dados de população foram obtidos a partir do IBGE (2010) em função dos últimos censos disponíveis. Este subcritério foi considerado positivo, visto que a taxa de crescimento está diretamente ligada a demanda por água, com isso quanto maior o valor

de (T1) maior a demanda, portanto maior o potencial de reúso. O valor de TGDC foi expresso em porcentagem ao ano (% a.a).

- **Valor adicionado (T2) pela agricultura e indústria**

Dado obtido a partir do IBGE (2020). Este foi considerado como um fator positivo para a prática de reúso, pois quanto maior a riqueza dos setores maior é o potencial de reúso. Este subcritério é dado em milhões de reais por ano (R\$ mi/ano) que consiste no valor adicionado bruto à preços recorrentes com base no Produto Interno Bruto (PIB).

## II. Comparação paritária e análise de consistência

Nesta etapa, foi realizado o cálculo de consistência das matrizes de cada nível hierárquico, sendo que para obter o autovalor máximo de cada matriz ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) utilizou-se o software Scilab. Feito isso, foi calculado o Índice de Consistência (IC), e por fim o cálculo da Razão de Consistência (RC) a partir dos Índices Randômicos (IR) proposto por Saaty e Vargas (2012). Obtido o valor de RC, verificou-se a sua adequação, comparando-o com o valor máximo permitido pelo método AHP ( $\leq 0,10$ ) tanto para os critérios quanto para os subcritérios.

O Índice de Consistência (IC) foi obtido a partir da Equação 7:

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

IC = Índice de consistência;

$\lambda_{\text{máx}}$  = Autovalor máximo da matriz;

n = Ordem da matriz.

Obteve-se a Razão de Consistência (RC) a partir da Equação 8:

$$RC = \frac{IC}{IR} \leq 0,10 \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

RC = Razão de consistência;

IC = Índice de consistência;

IR = Índice randômico.

O Índice Randômico (IR) foi obtido através da Tabela 7.

Tabela 7: Índice Randômico (IR) referente a matrizes de ordem  $n \leq 10$

| n  | 1 | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IR | 0 | 0 | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |

Fonte: Saaty e Vargas (2012).

### III. Derivação de Prioridades

Após realizada a comparação entre pares, seguiu-se o Método das Médias dos Valores Normalizados para a derivação das prioridades de cada subcritério para se ter a matriz final de prioridades. Primeiramente, somou-se os valores de cada coluna da matriz, normalizou-se cada valor em relação a soma e por fim obteve-se o vetor “ $w_{local}$ ” a partir da média dos valores normalizados de cada linha. Após, fixou-se os valores de  $w_{local}$  dos critérios e multiplicou-se por cada valor de  $w_{local}$  dos subcritérios, obtendo assim os valores de  $w_{global}$ .

### IV. Normalização

Para obter o Índice de Potencial de Reúso (Item V) foi realizada a normalização dos dados de critérios e subcritérios. O método adotado foi o de normalização de Transformação Linear (TL). Este foi realizado para todos os subcritérios, exceto para o subcritério G3 (ICTEM), pois este já abrange valores de 0 a 10 e o B2 (Capacidade de diluição do corpo hídrico) pois é um subcritério qualitativo.

A normalização dos subcritérios (G1, G2, G3, G4, B1, T1 e T2) foram obtidos a partir da Equação 9.

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad \text{Equação 9}$$

Para o subcritério B2 foi adotado as seguintes condições:

$$\begin{aligned} \text{Nulo} &= 1.0 \\ \text{Muito baixo/baixo} &= 0.667 \\ \text{Alto/muito alto} &= 0.333 \\ \text{Limitada} &= 0 \end{aligned}$$

Os valores dos subcritérios do município de Santo Antônio do Amparo foram normalizados com os da Região Metropolitana de São Paulo, disponíveis em Fukasawa e Mierzwa (2020). Porém, foi realizada uma pré-seleção (Tabela 8) de municípios de São Paulo

com no máximo 91.157 habitantes, para se obter valores próximos da realidade do município em estudo, visto que haviam outros municípios com uma população muito alta e conseqüentemente maiores as demandas e mais discrepante seriam os dados dos subcritérios.

Tabela 8: Dados dos subcritérios (Técnico, Ambiental e Socioeconômico) dos municípios selecionados de São Paulo utilizados na normalização.

| Município                           | Subcritérios Técnico |          |         |          | Subcritérios Ambiental |          | Subcritérios Socioeconômico |                 |
|-------------------------------------|----------------------|----------|---------|----------|------------------------|----------|-----------------------------|-----------------|
|                                     | G1 (L/s)             | G2 (L/s) | G3 adm) | G4 (L/s) | B1 (%)                 | B2 (adm) | T1 (% ao ano)               | T2 (R\$ mi/ano) |
| São Lourenço da Serra (15.978 hab)  | 10                   | 0        | 3,98    | 17       | 2                      | 0,333    | 1,11                        | 25.210          |
| Salesópolis (17.252 hab)            | 60                   | 103      | 6,77    | 35       | 5                      | 0,667    | 0,75                        | 32.768          |
| Pirapora do Bom Jesus (19.178 hab)  | 13                   | 10       | 2,87    | 36       | 10                     | 0,667    | 1,85                        | 53.526          |
| Guararema (30.136 hab)              | 34                   | 222      | 5,8     | 33       | 5                      | 0,333    | 1,33                        | 295.548         |
| Juquitiba (31.844 hab)              | 22                   | 4        | 3,25    | 18       | 2                      | 0,333    | 0,56                        | 52.376          |
| Biritiba-Mirim (32.936 hab)         | 107                  | 846      | 4,52    | 55       | 44                     | 0,667    | 1,27                        | 392.916         |
| Rio Grande da Serra (51.436 hab)    | 16                   | 19       | 4,76    | 24       | 47                     | 0,667    | 1,29                        | 152.599         |
| Vargem Grande Paulista (53.468 hab) | 70                   | 50       | 1,57    | 0        | 66                     | 0,667    | 2,13                        | 670.654         |
| Santa Isabel (57.966 hab)           | 47                   | 201      | 0,93    | 0        | 6                      | 0,667    | 0,91                        | 340.836         |
| Embu-Guaçu (69.901 hab)             | 103                  | 9        | 4,63    | 140      | 16                     | 0,667    | 0,83                        | 215.939         |
| Cajamar (77.934 hab)                | 115                  | 131      | 1,08    | 0        | 52                     | 0,667    | 1,99                        | 1.957.493       |
| Arujá (91.157 hab)                  | 147                  | 53       | 6,2     | 154      | 47                     | 0,667    | 1,88                        | 844.072         |

Fonte: Adaptado de Fukasawa e Mierzwa (2020).

## V. Obtenção do Índice de Potencial de Reúso

Feita a normalização dos critérios e subcritérios, e com a obtenção dos pesos locais destes ( $w_{local}$ ) e os pesos globais ( $w_{global}$ ) dos subcritérios, calculou-se o Índice de Potencial de Reúso pela Equação 10.

$$IPR = \sum_i^N (w_i \times x_i) \text{ Equação 10}$$

Em que:

IPR = Índice de Potencial de Reúso;

$w_i$  = Prioridade global de cada subcritério;

$x_i$  = Valor normalizado de cada subcritério;

N = Número total de subcritérios.

#### **5.4 Verificação da adequabilidade dos efluentes tratados com as modalidades de reúso**

Nesta etapa, foram disponibilizados pela empresa de saneamento do município, dois laudos de qualidade do efluente tratado do 1º bimestre e do 1º semestre de 2022 referente a ETE Amparo I e um laudo do 1º primeiro trimestre do ano de 2022 referente a ETE Amparo II. Posteriormente, foi realizada a análise das variáveis de qualidade do esgoto tratado a fim de verificar a adequabilidade para reúso nas modalidades de reúso agrícola, agroindustrial, industrial e urbano de acordo com a NBR nº 13969 de 1997 (ABNT, 1997), Deliberação Normativa CERH-MG nº 65 de 2020 (MINAS GERAIS, 2020) e Lei Estadual nº 16.033/2016 (CEARÁ, 2017).

#### **5.5. Reúso Urbano**

Na obtenção do IPR não foi considerado o uso urbano, pois para os municípios que foram utilizados na normalização utilizou-se somente as demandas de irrigação, consumo agroindustrial e industrial. Dessa forma, para o presente estudo, considerou-se interessante incluir uma análise mais detalhada dessa modalidade de reúso para o município em questão.

Para isso, os dados de uso de água no meio urbano foram obtidos a partir da Secretaria de Obras do município de Santo Antônio do Amparo, além disso foram obtidas as distâncias da ETE Amparo I e II até os locais informados pelo município (uso urbano) a partir do Google Earth.

No cálculo de retorno econômico com a prática de reúso não potável, foi adotado o uso de um caminhão pipa do município com capacidade de 5.000 litros para o transporte do efluente tratado (ETE Amparo I e ETE Amparo II) até os locais de reúso, em que este percorreria em média 3,5 km/L, considerando o preço do diesel de R\$5,83 (PETROBRÁS, 2023).

Levou-se em consideração a vazão informada pela Secretaria de Obras, em que esta serviu de base para verificação da quantidade de viagens com o caminhão pipa que seriam necessárias para suprir a demanda de lavagem e irrigação do almoxarifado e praça, respectivamente.

Com isso, foi obtido o total que seria gasto por mês com a prática de reúso, a partir da distância total a ser percorrida no mês (km/mês), o preço do diesel (R\$) e o rendimento do caminhão pipa (km/L). Obtido esse valor, foi realizada a comparação com o valor gasto na conta de água informado pelo município com esses usos.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1. Subcritérios técnicos, ambientais e socioeconômicos

A partir da realização dos cálculos foi possível obter os valores (Tabela 9) dos subcritérios para o município de Santo Antônio do Amparo: G1 - Geração total de esgoto, G2 - Demandas potenciais para o reúso não potável, G3 - Infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto, G4 - Capacidade das Estações de Tratamento de Esgoto, B1 - Balanço hídrico, B2 - Capacidade de diluição do corpo hídrico, T1 - Taxa geométrica de crescimento demográfico (TGCD) e T2 - Valor adicionado pela agricultura e indústria.

Tabela 9: Dados dos subcritérios (Técnico, Ambiental e Socioeconômico) do Município de Santo Antônio do Amparo.

| Município               | Subcritérios Técnico |             |             |             | Subcritérios Ambiental |             | Subcritérios Socioeconômico |                       |
|-------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------|
|                         | G1<br>(L/s)          | G2<br>(L/s) | G3<br>(adm) | G4<br>(L/s) | B1<br>(%)              | B2<br>(adm) | T1<br>(% ao ano)            | T2<br>(R\$<br>mi/ano) |
| Santo Antônio do Amparo | 18,86                | 229,50      | 4,71        | 20,2        | 62,60                  | 0,333       | 0,74                        | 76.071                |

Fonte: Do Autor (2023).

A partir de pesquisa realizada na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), foi possível obter os empreendimentos, coordenadas, usos e vazão outorgada em vigência (Quadro 1) para os usos agrícola, agroindustrial e industrial.

Quadro 1: Outorgas vigentes no município de Santo Antônio do Amparo com usos em irrigação, consumo agroindustrial e industrial disponíveis no site da SEMAD.

| Empreendimento  | Coordenadas      |                  | Usos                   | Vazão outorgada (L/s) |
|---|------------------|------------------|------------------------|-----------------------|
|   |                  |                  |                        |                       |
| Fazenda NKG – Fazenda da Lagoa                                | 20°54'05''S      | 44°52'16''W      | Irrigação              | 2,80                  |
|   | 20° 53' 59,5''S  | 44° 52' 59,4''W  | Irrigação              | 0,90                  |
|   | 20°55'42''S      | 44°52'30''W      | Irrigação              | 35,50                 |
| Fazenda Praia Grande  | 20°48'32,52''S   | 44°54'49,61''W   | Irrigação              | 40,50                 |
|   | 20°47'06,84''S   | 44°54'16,52''W   | Irrigação              | 10,56                 |
|   | 20°48'02,53''S   | 44°52'44,18''W   | Irrigação              | 23,40                 |
|   | 20°47'55,57''S   | 44°52'40,50''W   | Irrigação              | 24,58                 |
| Fazenda do Cruzeiro   | 20°56'24'' S     | 44°49'34''W      | Irrigação              | 1,14                  |
| GTRT Agropecuaria LTDA – Fazenda Pinhal                       | 20° 55' 13,36''S | 44° 50' 51,31''W | Consumo agroindustrial | 0,84                  |
| Fazenda Matr. 22088 e 17204                                   | 20°53'38''S      | 44°57'33,54''W   | Irrigação              | 6,67                  |
|   | 20°53'40''S      | 44°57'19''W      | Irrigação              | 8,61                  |
|   | 20°53'34''S      | 44°57'41''W      | Irrigação              | 3,06                  |
| Henrique Dias Cambraia e Outros – Samambaia II (Campo Alegre) | 20°58'16,11''S   | 44°52'32,67''W   | Beneficiamento do Café | 0,19                  |
| Gerdau Aços Longos S/A -Fazenda Paraíso                       | 20° 51' 35,0''S  | 44° 55' 46,0''W  | Irrigação              | 1,00                  |
| Gerdau Aços Longos S/A – Fazenda Pau D'Óleo                   | 20° 49' 39,23''S | 44° 52' 37,83''W | Irrigação              | 1,00                  |
| Gerdau Aços Longos S/A – Fazenda Caxambu                      | 20° 49' 37,55''S | 44° 52' 36,36''W | Consumo agroindustrial | 1,00                  |
| Fazenda Samambaia I   | 20° 53' 30,0''S  | 44° 58' 46,0''W  | Consumo agroindustrial | 0,60                  |
| Fazenda Samambaia I   | 20° 53' 30,0''S  | 44° 58' 46,0''W  | Consumo agroindustrial | 0,60                  |
| Fazenda Caxambu II  | 20°50'15,08''S   | 44°53'22,94''W   | Irrigação              | 46,75                 |
| Fazenda Arco Íris   | 20° 58' 9,13''S  | 44° 54' 21,92''W | Consumo agroindustrial | 0,90                  |
| Fazenda São Paulo   | 20° 53' 48,0''S  | 44° 48' 29,0''W  | Irrigação              | 1,00                  |
| Fazenda Mirante   | 20° 57' 24,0''S  | 44° 54' 41,0''W  | Irrigação              | 0,92                  |
| Fazenda Santa Rita  | 20° 53' 6,99''S  | 44° 55' 40,17''W | Irrigação              | 0,95                  |
| Fazenda Guariroba I e Fazenda Guariroba II                    | 20°55'04,7''S    | 44°57'27,19''W   | Irrigação              | 3,38                  |
| Estância IPE  | 20° 56' 56,0''S  | 44° 53' 24,0''W  | Irrigação              | 0,50                  |
| Sítio Vista Alegre  | 20° 58' 4,14''S  | 44° 50' 47,32''W | Irrigação              | 1,00                  |
| Fazenda Promissão   | 20°58'22,89''S   | 44°55'33,33''W   | Irrigação              | 6,40                  |
| Fazenda Santa Maria   | 20° 56' 8,67''S  | 44° 59' 9,36''W  | Irrigação              | 0,70                  |
| Fazenda Álamo   | 20° 58' 20,17''S | 44° 56' 4,74''W  | Irrigação              | 1,00                  |
| Fábrica de Laticínios Minas Milk Ltda.                        | 20°59'23''S      | 45°02'28''W      | Consumo Industrial     | 1,67                  |
| Laticínios Esperança Eireli ME e Talles Batista Fojo – ME     | 21°01'36,25''S   | 44°59'33,83''W   | Consumo Industrial     | 1,39                  |

Fonte: Do Autor (2023).

Com isso, os valores do subcritério G2 referentes às demandas agrícolas, agroindustriais e industriais retornou o resultado apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Vazão outorga de irrigação, consumo agroindustrial e industrial em litros por segundo (L/s) do município de Santo Antônio do Amparo.

| <b>Irrigação (L/s)</b> | <b>Consumo Agroindustrial (L/s)</b> | <b>Industrial (L/s)</b> | <b>Total (L/s)</b> |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| 222,50                 | 3,94                                | 3,06                    | 229,49             |

Fonte: Do Autor, 2023.

Via cálculo do ICTEM (G3), foram obtidos os valores dispostos na Tabela 11. Considerou-se 0,2 na variável (D), pois de acordo com a empresa de saneamento, o transporte do lodo é realizado pela Caprimar, e o tratamento e disposição pela CTR. E o valor de 0,3 para (Q) foi adotado, pois de acordo com as variáveis analisadas para o atendimento da DN COPAM/CERH-MG 08/2022 (MINAS GERAIS, 2022), os resultados reportados nos laudos atendem aos limites estabelecidos (Tabelas 30 e 33).

Tabela 11: Dados das variáveis para o cálculo do Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana do Município (ICTEM).

| <b>Variáveis (ICTEM)</b>     | <b>Média</b> |
|------------------------------|--------------|
| <b>C (%)</b>                 | 79,00        |
| <b>T (%)</b>                 | 50,09        |
| <b>E (%) - ETE Amparo I</b>  | 33,00        |
| <b>E (%) - ETE Amparo II</b> | 36,96        |
| <b>N (%) - ETE Amparo I</b>  | 83,4         |
| <b>N (%) - ETE Amparo II</b> | 93,4         |
| <b>D (adm)</b>               | 0,2          |
| <b>Q (adm)</b>               | 0,3          |
|                              | 34,98        |

C: Porcentagem da população atendida por rede de coleta de esgoto; T: Porcentagem da população urbana com esgoto tratado; E: Eficiência global de remoção de carga orgânica ; N: Eficiência de remoção da carga orgânica pelas ETES D: parcela que recebe valor de zero, caso a destinação de lodos e resíduos de tratamento foi inadequada e 0,2 se for adequada; Q: parcela que recebe valor de zero, caso o efluente altere o enquadramento da classe do corpo receptor ou caso existir lançamento direto ou indireto de esgoto não tratado. É atribuído o valor de 0,3 caso o efluente não altere a classe do corpo receptor.

Fonte: Do Autor, 2023.

O cálculo de demanda total de água (QMDC) retornou uma vazão de 35,35 L/s, com isso obteve-se o balanço hídrico (B1) (Figura 10). Para os demais subcritérios, de acordo com o Atlas de Esgoto (ANA, 2010), a capacidade de diluição do corpo hídrico é considerada Ótima/Boa/regular, com isso o valor de (B2) foi adotado como 0,333 (Figura 10). O valor

adicionado pela agricultura e indústria conforme IBGE (2020), foi de 57.399,01 e 18.672,56 (R\$ mi/ano), respectivamente, que consiste no valor adicionado bruto à preços recorrentes com base no Produto Interno Bruto (PIB).

## 7.2. Comparação paritária e análise de consistência

A partir da matriz de critérios e subcritérios obteve-se o índice randômico (IR), o índice de consistência (IC) e a razão de consistência (RC), sendo possível observar que o valor de (RC) foi inferior a 0,10 permitindo a utilização das matrizes (Tabelas 12 a 19).

Tabela 12: Matriz de comparação paritária de critérios.

| <b>Critério</b>       | <b>Técnico</b> | <b>Ambiental</b> | <b>Socioeconômico</b> |
|-----------------------|----------------|------------------|-----------------------|
| <b>Técnico</b>        | 1              | 4                | 6                     |
| <b>Ambiental</b>      | 0,25           | 1                | 2                     |
| <b>Socioeconômico</b> | 0,1666         | 0,5              | 1                     |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 13: Valores obtidos de n, IR, IC,  $\lambda_{\text{máx}}$  e RC referente a matriz de comparação paritária de critérios.

| <b>n (ordem da matriz)</b> | <b>IR (Índice Randômico)</b> | <b>IC (Índice de Consistência)</b> | <b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b> | <b>RC (Razão de Consistência)</b> |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|-----------------------------------|
| 3                          | 0,52                         | 0,004601356                        | 3,0092027                                | 0,0088488                         |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 14: Matriz de comparação paritária dos subcritérios técnicos.

|                    | <b>Técnico</b> | <b>G1</b> | <b>G2</b> | <b>G3</b> | <b>G4</b> |
|--------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Subcritério</b> | <b>G1</b>      | 1         | 2         | 5         | 2         |
|                    | <b>G2</b>      | 0,5       | 1         | 3         | 2         |
|                    | <b>G3</b>      | 0,2       | 0,33333   | 1         | 0,25      |
|                    | <b>G4</b>      | 0,5       | 0,5       | 4         | 1         |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 15: Valores obtidos de n, IR, IC,  $\lambda_{\text{máx}}$  e RC referente a matriz de comparação paritária dos subcritérios técnicos.

| <b>n (ordem da matriz)</b> | <b>IR (Índice Randômico)</b> | <b>IC (Índice de Consistência)</b> | <b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b> | <b>RC (Razão de Consistência)</b> |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|-----------------------------------|
| 4                          | 0,89                         | 0,031861                           | 4,0956                                   | 0,04                              |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 16: Matriz de comparação paritária dos subcritérios ambientais.

|                    | <b>Ambiental</b> | <b>B1</b> | <b>B2</b> |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|
| <b>Subcritério</b> | <b>B1</b>        | 1         | 1         |
|                    | <b>B2</b>        | 1         | 1         |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 17: Valores obtidos de n, IR, IC,  $\lambda_{\text{máx}}$  e RC referente a matriz de comparação paritária dos subcritérios ambientais.

| <b>n (ordem da matriz)</b> | <b>IR (Índice Randômico)</b> | <b>IC (Índice de Consistência)</b> | $\lambda_{\text{máx}}$ | <b>RC (Razão de Consistência)</b> |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 2                          | 0                            | 0                                  | 2                      | 0                                 |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 18: Matriz de comparação paritária dos subcritérios socioeconômicos.

|                    | <b>Socioeconômico</b> | <b>T1</b> | <b>T2</b> |
|--------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| <b>Subcritério</b> | <b>T1</b>             | 1         | 0,5       |
|                    | <b>T2</b>             | 2         | 1         |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 19: Valores obtidos de n, IR, IC,  $\lambda_{\text{máx}}$  e RC referente a matriz de comparação paritária dos subcritérios socioeconômicos.

| <b>n (ordem da matriz)</b> | <b>IR (Índice Randômico)</b> | <b>IC (Índice de Consistência)</b> | $\lambda_{\text{máx}}$ | <b>RC (Razão de Consistência)</b> |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 2                          | 0                            | 0                                  | 2                      | 0                                 |

Fonte: Do Autor, 2023.

### 7.3. Derivação de Prioridades

A partir dos cálculos, foram obtidas as somas de cada coluna de cada matriz, tanto dos critérios quanto dos subcritérios (Tabelas 20, 22, 24 e 26), depois a normalização resultou nos valores conforme Tabelas 21, 23, 25 e 27, e por fim obteve-se valores dos pesos locais e globais (Tabela 28).

Tabela 20: Soma de cada coluna da matriz e comparação paritária dos critérios.

| <b>Critério</b>       | <b>Técnico</b> | <b>Ambiental</b> | <b>Socioeconômico</b> |
|-----------------------|----------------|------------------|-----------------------|
| <b>Técnico</b>        | 1              | 4                | 6                     |
| <b>Ambiental</b>      | 0,25           | 1                | 2                     |
| <b>Socioeconômico</b> | 0,1666         | 0,5              | 1                     |
| <b>Soma</b>           | 1,4166         | 5,5              | 9                     |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 21: Média de cada linha da matriz comparação paritária dos critérios, resultando nos pesos.

| <b>Critério</b>       | <b>Técnico</b> | <b>Ambiental</b> | <b>Socioeconômico</b> | <b>Média (Pesos)</b> |
|-----------------------|----------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Técnico</b>        | 0,705882353    | 0,727272727      | 0,666666667           | 0,700                |
| <b>Ambiental</b>      | 0,176470588    | 0,181818182      | 0,222222222           | 0,194                |
| <b>Socioeconômico</b> | 0,117647059    | 0,090909091      | 0,111111111           | 0,107                |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 22: Soma de cada coluna da matriz e comparação paritária dos subcritérios técnicos.

|                    | <b>Técnico</b> | <b>G1</b> | <b>G2</b>   | <b>G3</b> | <b>G4</b> |
|--------------------|----------------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| <b>Subcritério</b> | <b>G1</b>      | 1         | 2           | 5         | 2         |
|                    | <b>G2</b>      | 0,5       | 1           | 3         | 2         |
|                    | <b>G3</b>      | 0,2       | 0,333333    | 1         | 0,25      |
|                    | <b>G4</b>      | 0,5       | 0,5         | 4         | 1         |
|                    | <b>Soma</b>    | 2,2       | 3,833333333 | 13        | 5,25      |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 23: Média de cada linha da matriz comparação paritária dos subcritérios técnicos, resultando nos pesos.

|                    | <b>Técnico</b> | <b>G1</b>      | <b>G2</b>      | <b>G3</b>      | <b>G4</b> | <b>Média (Pesos)</b> |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|----------------------|
| <b>Subcritério</b> | <b>G1</b>      | 0,4545454      | 0,5217391<br>3 | 0,384615       | 0,380952  | 0,435                |
|                    | <b>G2</b>      | 0,2272727<br>2 | 0,2608695<br>6 | 0,2307692<br>3 | 0,380952  | 0,275                |
|                    | <b>G3</b>      | 0,0909090<br>9 | 0,0869565<br>2 | 0,0769230<br>7 | 0,047619  | 0,076                |
|                    | <b>G4</b>      | 0,2272727<br>2 | 0,1304347<br>8 | 0,3076923<br>0 | 0,190476  | 0,214                |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 24: Soma de cada coluna da matriz e comparação paritária dos subcritérios ambientais.

|                    | <b>Ambiental</b> | <b>B1</b> | <b>B2</b> |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|
| <b>Subcritério</b> | <b>B1</b>        | 1         | 1         |
|                    | <b>B2</b>        | 1         | 1         |
|                    | <b>Soma</b>      | 2         | 2         |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 25: Média de cada linha da matriz comparação paritária dos subcritérios ambientais, resultando nos pesos.

|                    | <b>Ambiental</b> | <b>B1</b> | <b>B2</b> | <b>Média (Pesos)</b> |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|----------------------|
| <b>Subcritério</b> | <b>B1</b>        | 0,5       | 0,5       | 0,500                |
|                    | <b>B2</b>        | 0,5       | 0,5       | 0,500                |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 26: Soma de cada coluna da matriz e comparação paritária dos subcritérios socioeconômicos.

|                    | <b>Socioeconômico</b> | <b>T1</b> | <b>T2</b> |
|--------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| <b>Subcritério</b> | <b>T1</b>             | 1         | 0,5       |
|                    | <b>T2</b>             | 2         | 1         |
|                    | <b>Soma</b>           | 3         | 1,5       |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 27: Média de cada linha da matriz comparação paritária dos subcritérios socioeconômicos, resultando nos pesos.

|                    | <b>Socioeconômico</b> | <b>T1</b>   | <b>T2</b>   | <b>Média (Pesos)</b> |
|--------------------|-----------------------|-------------|-------------|----------------------|
| <b>Subcritério</b> | <b>T1</b>             | 0,333333333 | 0,333333333 | 0,333                |
|                    | <b>T2</b>             | 0,666666667 | 0,666666667 | 0,667                |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 28: Pesos locais (Wlocal) e globais (Wglobal) dos critérios e subcritérios.

|                                | <b>Wlocal</b> | <b>Wglobal</b> |
|--------------------------------|---------------|----------------|
| <b>Critério Técnico</b>        | 0,700         |                |
| <b>G1</b>                      | 0,435         | 0,305          |
| <b>G2</b>                      | 0,275         | 0,192          |
| <b>G3</b>                      | 0,076         | 0,053          |
| <b>G4</b>                      | 0,214         | 0,150          |
| <b>Critério Ambiental</b>      | 0,194         |                |
| <b>B1</b>                      | 0,500         | 0,097          |
| <b>B2</b>                      | 0,500         | 0,097          |
| <b>Critério Socioeconômico</b> | 0,107         |                |
| <b>T1</b>                      | 0,333         | 0,036          |
| <b>T2</b>                      | 0,667         | 0,071          |

Fonte: Do Autor, 2023.

#### **7.4. Índice de Potencial de Reúso**

A partir da normalização foi possível obter o índice de potencial de reúso para o município de Santo Antônio do Amparo. Este por sua vez, retornou um valor de 0,287, ocupando o sétimo lugar do total de treze municípios (Tabela 29 e Figura 14).

Tabela 29: Índice de Potencial de Reuso do município de Santo Antônio do Amparo – MG.

| Municípios              | Técnico |       |       |         |       |       |         |       |       |         |       |       | Ambiental |       |       |                   |       |       | Socioeconômico |       |       |                |       |       | IPR   |
|-------------------------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------------------|-------|-------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|
|                         | G1      |       |       | G2      |       |       | G3      |       |       | G4      |       |       | B1        |       |       | B2                |       |       | T1             |       |       | T2             |       |       |       |
|                         | W       | 0,305 |       | W       | 0,192 |       | W       | 0,053 |       | W       | 0,15  |       | W         | 0,097 |       | W                 | 0,097 |       | W              | 0,036 |       | W              | 0,071 |       |       |
|                         | D (L/s) | N     | N. W  | D (L/s) | N     | N. W  | D (adm) | N     | N. W  | D (L/s) | N     | N. W  | D (%)     | N     | N. W  | D (adm)           | N     | N. W  | D (% ao ano)   | N     | N. W  | D (R\$ mi/ano) | N     | N. W  |       |
| Santo Antônio do Amparo | 18,86   | 0,128 | 0,039 | 229,49  | 0,271 | 0,052 | 4,71    | 0,696 | 0,037 | 20,2    | 0,131 | 0,020 | 62,60%    | 0,948 | 0,092 | Alto/muito alto   | 0,333 | 0,032 | 0,74%          | 0,347 | 0,013 | 76071,00       | 0,04  | 0,003 | 0,287 |
| Biritiba-Mirim          | 107,00  | 0,728 | 0,222 | 846     | 1,000 | 0,192 | 4,5     | 0,668 | 0,035 | 55      | 0,357 | 0,054 | 44,00%    | 0,667 | 0,065 | Muito baixo/baixo | 0,667 | 0,065 | 1,27%          | 0,596 | 0,021 | 392916,00      | 0,20  | 0,014 | 0,668 |
| Arujá                   | 147,00  | 1,000 | 0,305 | 53      | 0,063 | 0,012 | 6,2     | 0,916 | 0,049 | 154     | 1,000 | 0,150 | 47,00%    | 0,712 | 0,069 | Muito baixo/baixo | 0,667 | 0,065 | 1,88%          | 0,883 | 0,032 | 844072,00      | 0,43  | 0,031 | 0,712 |
| Salesópolis             | 60,00   | 0,408 | 0,124 | 103     | 0,122 | 0,023 | 6,77    | 1,000 | 0,053 | 35      | 0,227 | 0,034 | 5,00%     | 0,076 | 0,007 | Muito baixo/baixo | 0,667 | 0,065 | 0,75%          | 0,352 | 0,013 | 32768,00       | 0,02  | 0,001 | 0,321 |
| Cajamar                 | 115,00  | 0,782 | 0,239 | 131     | 0,155 | 0,030 | 1,08    | 0,160 | 0,008 | 0       | 0,000 | 0,000 | 52,00%    | 0,788 | 0,076 | Muito baixo/baixo | 0,667 | 0,065 | 1,99%          | 0,934 | 0,034 | 1957493,00     | 1,00  | 0,071 | 0,523 |
| Vargem Grande Paulista  | 70,00   | 0,476 | 0,145 | 50      | 0,059 | 0,011 | 1,57    | 0,232 | 0,012 | 0       | 0,000 | 0,000 | 66,00%    | 1,000 | 0,097 | Muito baixo/baixo | 0,667 | 0,065 | 2,13%          | 1,000 | 0,036 | 670654,00      | 0,34  | 0,024 | 0,391 |
| Rio Grande da Serra     | 16,00   | 0,109 | 0,033 | 19      | 0,022 | 0,004 | 4,76    | 0,703 | 0,037 | 24      | 0,156 | 0,023 | 47,00%    | 0,712 | 0,069 | Muito baixo/baixo | 0,667 | 0,065 | 1,29%          | 0,606 | 0,022 | 152599,00      | 0,08  | 0,006 | 0,259 |
| Pirapora do Bom Jesus   | 13,00   | 0,088 | 0,027 | 10      | 0,012 | 0,002 | 2,87    | 0,424 | 0,022 | 36      | 0,234 | 0,035 | 10,00%    | 0,152 | 0,015 | Muito baixo/baixo | 0,667 | 0,065 | 1,85%          | 0,869 | 0,031 | 53526,00       | 0,03  | 0,002 | 0,199 |
| Embu-Guaçu              | 103,00  | 0,701 | 0,214 | 9       | 0,011 | 0,002 | 4,63    | 0,684 | 0,036 | 140     | 0,909 | 0,136 | 16,00%    | 0,242 | 0,024 | Muito baixo/baixo | 0,667 | 0,065 | 0,83%          | 0,390 | 0,014 | 215939,00      | 0,11  | 0,008 | 0,498 |
| Guararema               | 34,00   | 0,231 | 0,071 | 222     | 0,262 | 0,050 | 5,8     | 0,857 | 0,045 | 33      | 0,214 | 0,032 | 5,00%     | 0,076 | 0,007 | Alto/muito alto   | 0,333 | 0,032 | 1,33%          | 0,624 | 0,022 | 295548,00      | 0,15  | 0,011 | 0,271 |
| Santa Isabel            | 47,00   | 0,320 | 0,098 | 201     | 0,238 | 0,046 | 0,93    | 0,137 | 0,007 | 0       | 0,000 | 0,000 | 6,00%     | 0,091 | 0,009 | Muito baixo/baixo | 0,667 | 0,065 | 0,91%          | 0,427 | 0,015 | 340836,00      | 0,17  | 0,012 | 0,252 |
| São Lourenço da Serra   | 10,00   | 0,068 | 0,021 | 0       | 0,000 | 0,000 | 3,98    | 0,588 | 0,031 | 17      | 0,110 | 0,017 | 2,00%     | 0,030 | 0,003 | Alto/muito alto   | 0,333 | 0,032 | 1,11%          | 0,521 | 0,019 | 25210,00       | 0,01  | 0,001 | 0,123 |
| Juquitiba               | 22,00   | 0,150 | 0,046 | 4       | 0,005 | 0,001 | 3,25    | 0,480 | 0,025 | 18      | 0,117 | 0,018 | 2,00%     | 0,030 | 0,003 | Alto/muito alto   | 0,333 | 0,032 | 0,56%          | 0,263 | 0,009 | 52376,00       | 0,03  | 0,002 | 0,136 |

W: Peso global;

D: Dados,

N: Normalização,

IPR: Índice de Potencial de Reúso;

G1 - Geração total de esgoto;

G2 - Demandas potenciais para o reúso não potável;

G3 - Infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto;

G4 - Capacidade das Estações de Tratamento de Esgoto;

B1 - Balanço hídrico;

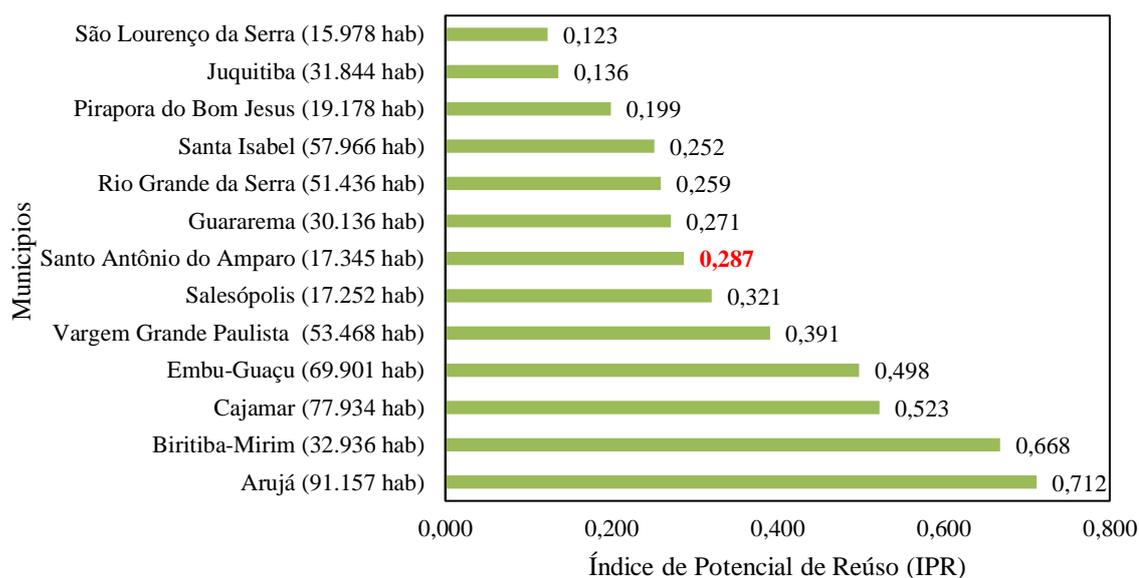
B2 - Capacidade de diluição do corpo hídrico;

T1 - Taxa geométrica de crescimento demográfico (TGCD);

T2 - Valor adicionado pela agricultura e indústria.

Fonte: Do Autor, 2023.

Figura 15: Índice de Potencial de Reúso – IPR do município de Santo Antônio do Amparo em relação aos outros municípios utilizados na normalização.



Fonte: Do Autor, 2023.

Conforme Tabela 28 de pesos locais ( $W_{local}$ ) e globais ( $W_{global}$ ) dos critérios e subcritérios, observa-se que os subcritérios técnicos possuem maior peso, em segundo lugar o ambiental e por último o socioeconômico.

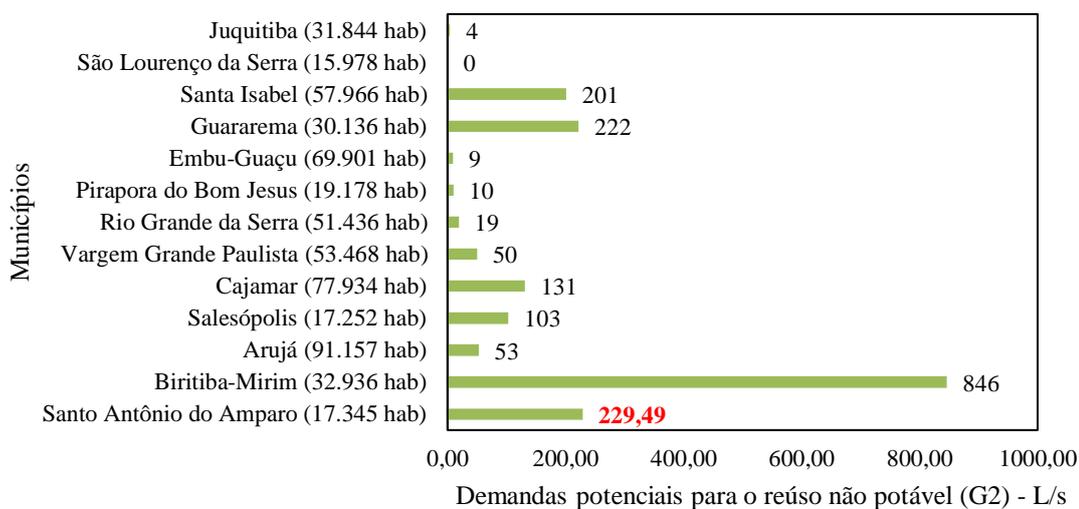
O índice obtido foi baixo ( $IPR=0,287$ ), devido principalmente aos subcritérios técnicos de maior peso, sendo estes a geração total de esgoto ( $G1=18,86$  L/s), devido ao tamanho da população, e a capacidade das ETEs ( $G4=20,2$  L/s). Porém, espera-se que a capacidade das ETEs venha a ter um aumento, visto que atualmente as estações operam com capacidade próxima à máxima de projeto, como é o caso da ETE Amparo II. Segundo dados da concessionária responsável, a capacidade total instalada dessa ETE é de 23,15 L/s e atualmente a vazão média de operação é de 15 L/s, com pico de 18 L/s para tratamento de 50,09% do esgoto conforme SNIS (2021). Dessa forma, o IPR pode no futuro, ter uma melhora, considerando a ampliação desses subcritérios, principalmente o aumento da capacidade das ETEs.

Já as demandas potenciais para o reúso não potável na irrigação, no consumo agroindustrial e industrial ( $G2=229,49$  L/s) foram significativas, situando o município atrás somente do município de Biritiba-Mirim (Figura 15). Essa demanda é confirmada visto que o município em estudo tem sua economia voltada ao agronegócio.

Além disso, visto que o subcritério G2 foi obtido a partir dos registros de outorga disponível do site da SEMAD, a vazão outorgada pode ser maior do que a obtida em pesquisa, devido principalmente a possível falta de atualização do sistema dos processos de outorga.

Diante disso, quanto maior a vazão outorgada, maior seria o IPR, pois o G2 é um fator positivo para o reúso.

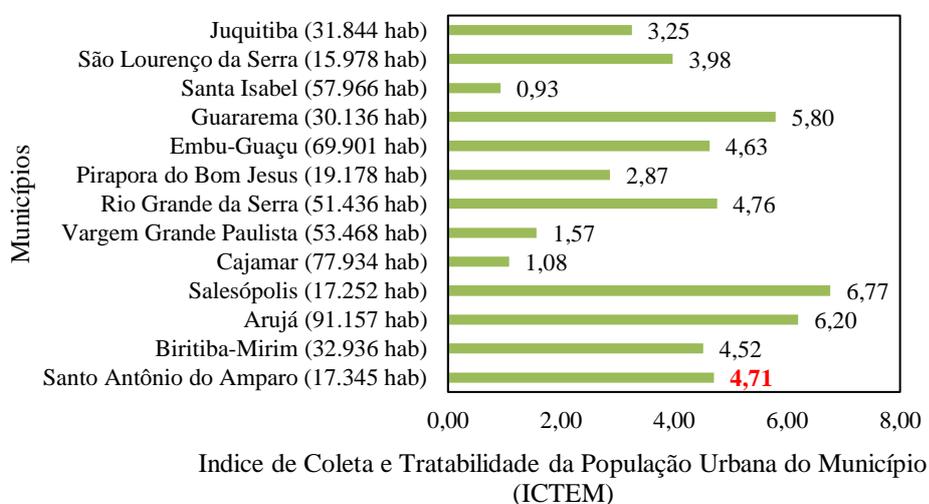
Figura 16: Demanda de água na irrigação e industrial (G2) do município de Santo Antônio do Amparo se comparado com os municípios utilizados na normalização.



Fonte: Do Autor, 2023.

Outro subcritério que contribuiu com o aumento do IPR foi a infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto (G3), com um valor de 4,71, ocupando a quinta posição dos demais municípios normalizados (Figura 16).

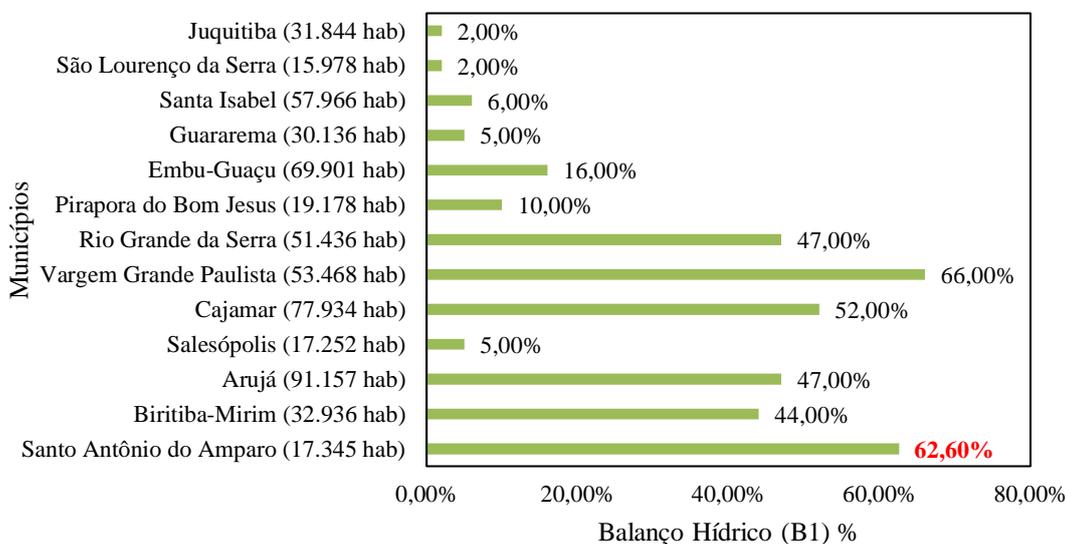
Figura 17: Dados em relação à Infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto (G3) do município de Santo Antônio do Amparo se comparado com os municípios utilizados na normalização.



Fonte: Do Autor, 2023.

O subcritério de balanço hídrico (B1) também contribuiu positivamente com o IPR, com um valor de 62,60% ocupando a segunda posição entre os municípios, com isso percebe-se que o município sofre uma grande pressão sobre os recursos hídricos, o que torna a prática de reúso uma alternativa atrativa (Figura 17).

Figura 18: Balanço hídrico do município de Santo Antônio do Amparo se comparado com os municípios de São Paulo utilizados na normalização.



Fonte: Do Autor, 2023.

### 7.5. Verificação da adequabilidade dos efluentes tratados com as modalidades de reúso das Estações de Tratamento de Esgoto

A partir dos laudos disponibilizados pela empresa Águas de Santo Antônio do Amparo foi possível obter a qualidade física, química e microbiológica do efluente na saída das duas ETEs em estudo (Tabela 30).

Realizando uma análise em conjunto da ETE Amparo I e II, é verificado que o monitoramento da variável *E. coli* na entrada e saída da ETE Amparo II não é realizado, conforme as condicionantes do Licenciamento Ambiental Simplificado nº 4743, no Parecer Único nº 268/SEMAD/SUPRAM SUL-DRRA/2020. Com isso, para esta ETE considerou-se que a concentração de *E. coli* é próxima à concentração da ETE Amparo I visto que as duas ETEs possuem etapas de tratamento semelhantes.

Tabela 30: Laudo físico, químico e microbiológico do efluente na saída das ETEs Amparo I e II

| Variável                                    | Resultado | Unidade   |
|---|-----------|-----------|
| <b>1° Bimestre de 2022 – ETE Amparo I</b>   |           |           |
| pH  | 7,40      | -         |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)        | 102       | mg/L      |
| Demanda Química de Oxigênio (DQO)           | 231       | mg/L      |
| Sólidos Sedimentáveis                       | 0,69      | mL/L      |
| <i>Escherichia coli</i>                     | 1119,9    | NMP/100mL |
| <b>1° Semestre de 2022 – ETE Amparo I</b>   |           |           |
| Óleos e Graxas                              | < 10      | mg/L      |
| <b>1° Trimestre de 2022 – ETE Amparo II</b> |           |           |
| pH  | 6,79      | -         |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)        | 50        | mg/L      |
| Demanda Química de Oxigênio (DQO)           | 133       | mg/L      |
| Óleos e Graxas                              | < 10      | mg/L      |
| Sólidos em Suspensão                        | 47        | mg/L      |
| Sólidos Sedimentáveis                       | 0,19      | mL/L      |

Fonte: Do Autor, 2023.

A partir da comparação do efluente tratado (Tabela 30) com a NBR nº 13969/1997 (Tabela 1), é possível o reúso em pomares, forragens, cereais, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, considerando que a variável *Escherichia coli* do efluente é de 1.119,9 NMP/100mL, menor que 5.000 NMP/100mL disposto na norma (ABNT, 1997). Porém, para seguir com o reúso é importante realizar a análise química de oxigênio dissolvido, que deve ser menor que 2,0 mg/L nesta prática, e não foi informado pela empresa como variável monitorada.

Considerando a Deliberação Normativa CERH-MG nº 65/2020, é possível o uso do efluente para reúso agrossilvipastoril na fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão, pois as variáveis de pH (entre 6 – 9) e *Escherichia coli* (menor que  $1 \times 10^4$  NMP/100mL) estão de acordo com o estabelecido. No entanto, faz-se necessário a análise da condutividade elétrica ( $\geq 500^2 \mu\text{S/cm}$ ), ovos de helmintos ( $\leq 1$  nº de ovos/L) e RAS (razão de adsorção de sódio  $\leq 3$ ),

lembrando que conforme a Deliberação a aplicação de sódio não deve ultrapassar 300 kg/(ha.ano) (MINAS GERAIS, 2020).

A respeito do reúso urbano, de acordo com a NBR nº 13969/1997 não é indicado o reúso para a lavagem de carro e outros usos que tenha o contato direto da pessoa com a água, como lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, pois estes usos exigem valor de *E. coli* menor que 500 NMP/100mL (ABNT, 1997), limite não atendido pelo efluente que possui 1.119,9 NMP/100mL.

De acordo com a CERH-MG nº 65/2020, é possível o reúso urbano na lavagem de veículos especiais (coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, na coleta seletiva, construção civil como também na mineração), lavagem externa de aviões e trens, na umectação do solo, no combate a incêndio, na desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto (pH entre 6 – 9 e *E. coli* menor que  $1 \times 10^4$  NMP/100mL), porém faz-se necessário a análise de ovos de helmintos que deve ser  $\leq 1$  nº de ovos/L (MINAS GERAIS, 2020).

Em relação ao reúso industrial, de acordo com a CERH-MG nº 65/2020 e com a Lei nº 16.033/2016 do estado do Ceará, é permitido essa prática desde que a variável *E. coli* seja  $\leq 1 \times 10^3$  NMP/100mL. Observa-se que o efluente tratado tem um valor de *E. coli* um pouco maior que o permitido, além disso faz-se necessário a análise de ovos de helmintos que deve ser  $\leq 1$  nº de ovos/L (MINAS GERAIS, 2020; CEARÁ, 2017).

Em relação ao reúso ambiental, de acordo com a CERH-MG nº 65/2020 é possível o uso desse efluente, pois o pH do efluente está entre 6-9 e *E.coli*  $\leq 1 \times 10^6$ , mas assim como para demais usos, é necessário a análise de ovos de helmintos que deve ser  $\leq 1$  nº de ovos/L.

Em resumo, na Tabela 31 são apresentadas as possibilidades de reúso a partir das legislações vigentes, como também as variáveis necessárias de monitoramento para tal uso. Na Tabela 32, por sua vez, são apresentadas as modalidades não aplicáveis, e as variáveis necessárias para adequação e monitoramento.

Tabela 31: Modalidades possíveis do reúso e variáveis necessárias para monitoramento.

| <b>Modalidade de reúso aplicável</b>  | <b>Variável necessária para verificação da modalidade de reúso aplicável</b>  | <b>Norma/Lei</b>   |
|---|---|--------------------|
| Pomares, forragens, cereais, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual   | OD (deve ser <2,0 mg/L)   | NBR nº 13969/1997  |
| Reúso agrossilvipastoril: na fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão  | condutividade elétrica (deve ser $\geq 500^2 \mu\text{S/cm}$ ), ovos de helmintos ( $\leq 1$ nº de ovos/L) e RAS (razão de adsorção de sódio $\leq 3$ ) | CERH-MG nº 65/2020 |
| Reúso urbano: na lavagem de veículos especiais, lavagem externa de trens e aviões, umectação do solo, combate a incêndio, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto | ovos de helmintos que deve ser $\leq 1$ nº de ovos/L  | CERH-MG nº 65/2020 |

Fonte: Do Autor, 2023.

Tabela 32: Modalidades de reúso não aplicável e variáveis necessárias para adequação e monitoramento.

| <b>Modalidade de reúso não aplicável</b>   | <b>Variável necessária para adequação a modalidade de reúso</b> | <b>Variável necessária para verificação da modalidade de reúso aplicável</b>   | <b>Norma/Lei</b>                                |
|--|---|--|---|
| Reúso Urbano: para a lavagem de carro e outros usos que tenha o contato direto da pessoa com a água, na lavagem de calçadas, pisos e irrigação dos jardins | $E. coli \leq 1 \times 10^3$ NMP/100mL                          | Ovos de helmintos (nº de ovos/L) deve ser menor ou igual a 1   | CERH-MG nº 65/2020                              |
| Reúso Industrial   | $E. coli \leq 1 \times 10^3$ NMP/100mL                          | Ovos de helmintos (nº de ovos/L) deve ser menor ou igual a 1; Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) menor ou igual a 3000; Razão de Adsorção de Sódio (RAS) deve ser menor ou igual a $(15 \text{ mmolcL}^{-1})^{1/2}$ | CERH-MG nº 65/2020 e Resolução COEMA nº 02/2017 |

Fonte: Do Autor, 2023.

## 7.6. Análise quantitativa do reúso urbano no município

A partir das informações disponibilizadas pela Secretária de Obras, de demanda de água urbana no município em estudo, foi possível obter a vazão e o gasto mensal do almoxarifado para a lavagem dos veículos públicos e irrigação de um dos jardins (Tabela 33).

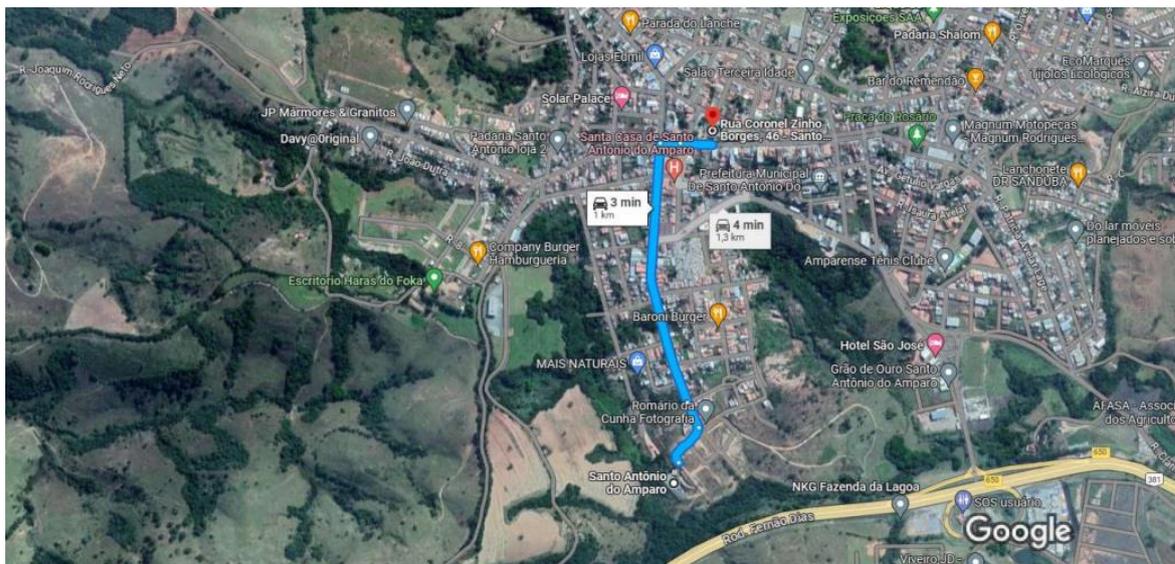
Tabela 33: Demanda urbana do município de Santo Antônio do Amparo/MG.

| Local   | m <sup>3</sup> /mês | m <sup>3</sup> /d | L/s          | R\$/mês         |
|---|---------------------|-------------------|--------------|-----------------|
| Prefeitura Municipal Santo Antônio do Amparo - Almoxarifado | 3                   | 0,099             | 0,001        | 56,13           |
| Jardim de Baixo (Praça)                                     | 181                 | 5,950             | 0,069        | 3.487,13        |
| <b>Total</b>  | <b>184</b>          | <b>6,049</b>      | <b>0,070</b> | <b>3.543,26</b> |

Fonte: Do Autor, 2023.

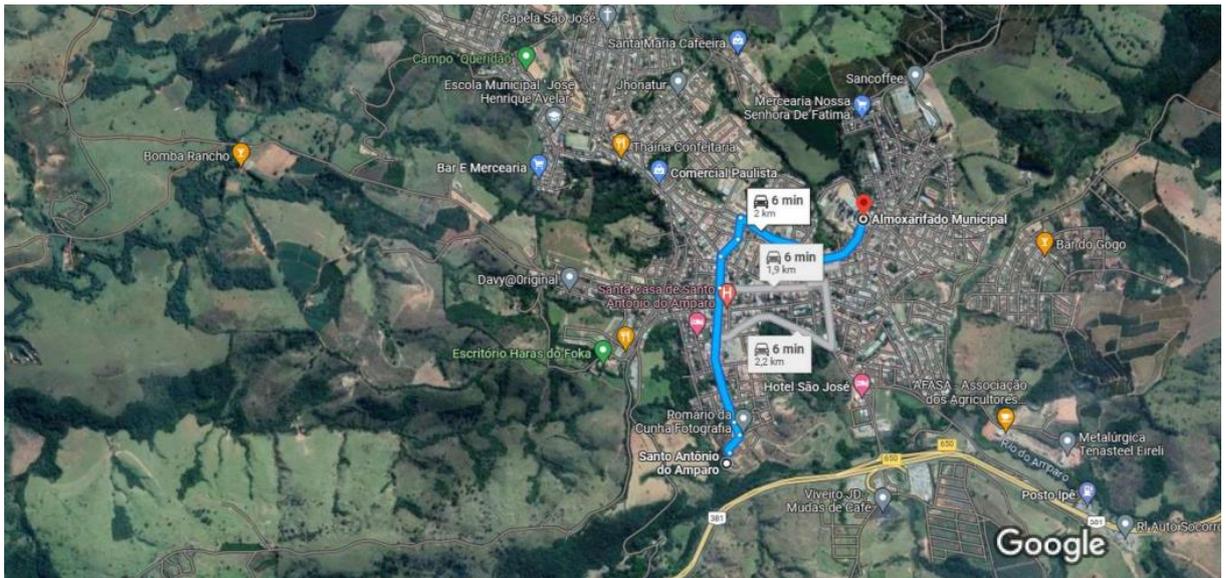
As distâncias entre a ETE Amparo I e Jardim da Praça (Figura 18) (1 km), ETE Amparo I e Almoxarifado (Figura 19) (2 km), ETE Amparo II e Jardim da Praça (Figura 20) (2,7 km) e ETE Amparo II e Almoxarifado (Figura 21) (3,4 km) foram obtidas traçando a rota de percurso no Google Earth.

Figura 19: Distância entre a ETE Amparo I ao Jardim da Praça do município de Santo Antônio do Amparo/MG.



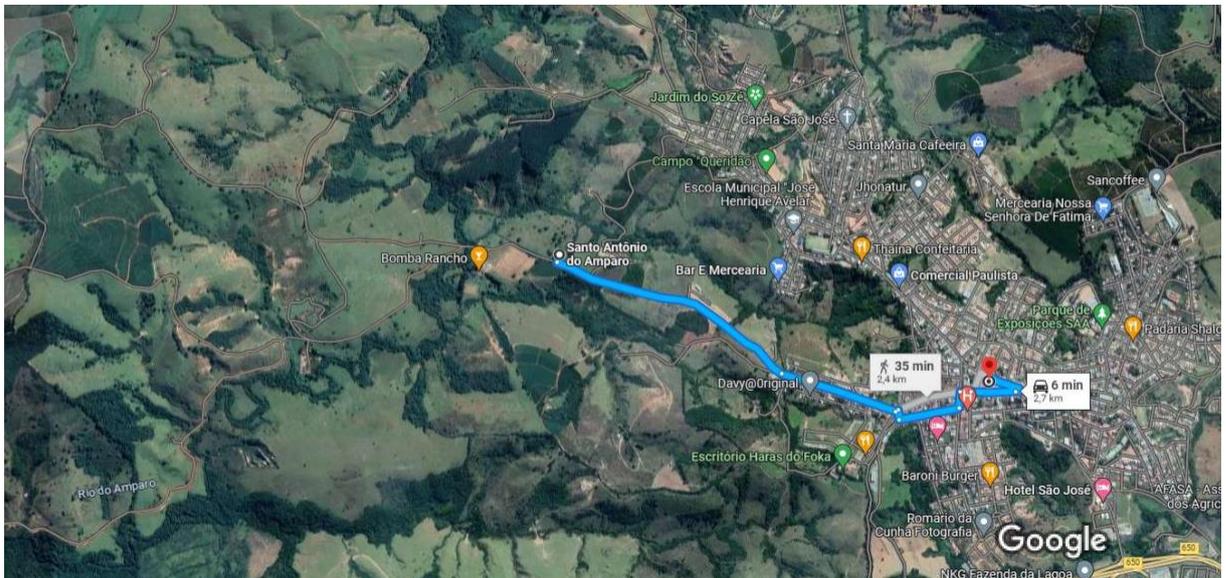
Fonte: Google Earth, 2023.

Figura 20: Distância entre a ETE Amparo I ao Almoxarifado do município de Santo Antônio do Amparo/MG.



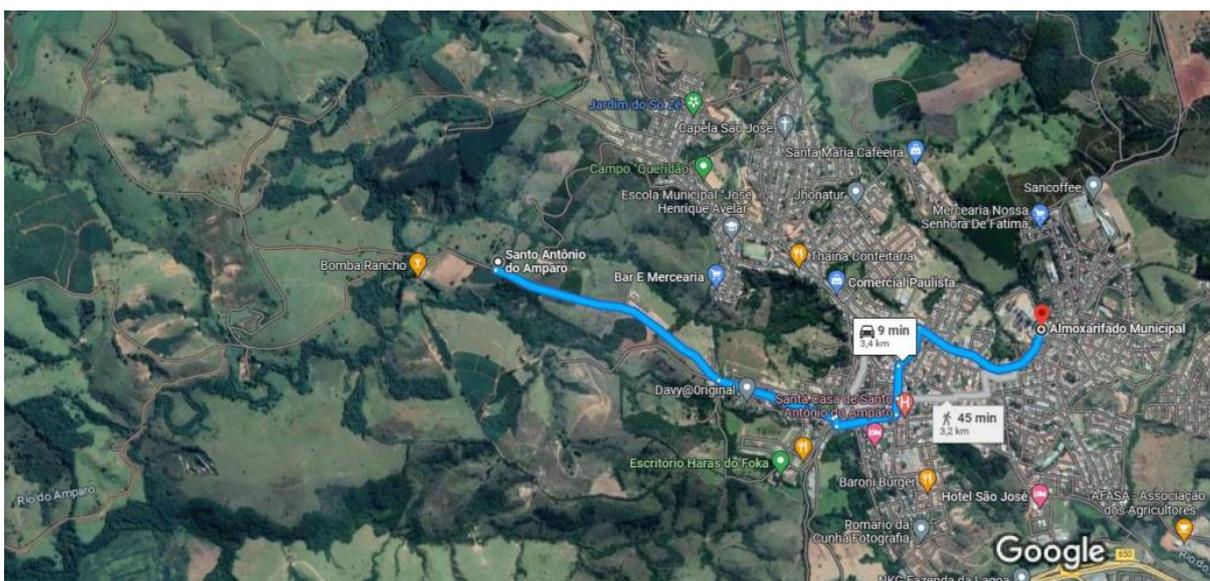
Fonte: Google Earth, 2023.

Figura 21; Distância entre a ETE Amparo II ao Jardim da Praça do município de Santo Antônio do Amparo/MG.



Fonte: Google Earth, 2023.

Figura 22: Distância entre a ETE Amparo II ao Almojarifado do município de Santo Antônio do Amparo/MG.



Fonte: Google Earth, 2023.

Visto que a demanda informada do almojarifado é de 3 m<sup>3</sup>/mês, considerando que a lavagem ocorre duas vezes ao mês a depender da necessidade, seriam necessárias duas viagens. Já a demanda de irrigação do jardim da praça é de 181 m<sup>3</sup>/mês, o que equivale a cerca de trinta e sete viagens para suprir essa demanda.

O uso com a lavagem de veículos e irrigação do jardim de uma das praças é de 184 m<sup>3</sup>/mês, no qual são gastos R\$3.543,26. Com a prática de reúso utilizando da mesma vazão, o gasto seria de R\$491,95 ao mês (Tabela 34), observando uma economia mensal de R\$3.051,31.

Tabela 34: Relação de gasto mensal com transporte do efluente tratado das ETEs Amparo I e II à praça e ao Almojarifado.

| Transporte                   | Distância (km) | Quantidade de viagens | Distância Total (km) – ida e volta | Litros/km   | L/R\$         |
|------------------------------|----------------|-----------------------|------------------------------------|-------------|---------------|
| ETE Amparo I – Praça         | 1              | 37                    | 74                                 | 21,14       | 123,24        |
| ETE Amparo I – Almojarifado  | 2              | 2                     | 8                                  | 2,28        | 13,29         |
| ETE Amparo II – Praça        | 2,7            | 37                    | 199,8                              | 57,08       | 332,77        |
| ETE Amparo II – Almojarifado | 3,4            | 2                     | 13,6                               | 3,88        | 22,65         |
|                              |                |                       |                                    | Total (R\$) | <b>491,95</b> |

Fonte: Do Autor, 2023.

Neste estudo, não foi necessário o aluguel do caminhão pipa, visto que o município já conta com um, além disso a ETE Amparo II já possui um tanque clorador, porém não é utilizado. Sendo assim, essa prática torna-se viável desde que seja utilizada somente o efluente da ETE Amparo II que já conta com um tanque clorador, não sendo necessário a instalação da unidade de tratamento de desinfecção, além da ETE Amparo II ter uma vazão de 15 L/s (saída da ETE), maior que a ETE Amparo I.

Considerando o reúso não potável proveniente somente da ETE Amparo II, seria gasto mensalmente um total de R\$355,42 (Tabela 36), caracterizando uma economia de R\$3.187,84.

Tabela 36: Relação de gasto mensal com transporte do efluente tratado das ETEs Amparo II à praça e ao Almojarifado.

| <b>Transporte</b>            | <b>Distância (km)</b> | <b>Quantidade de viagens</b> | <b>Distância Total (km) – ida e volta</b> | <b>Litros/km</b>   | <b>L/R\$</b>  |
|------------------------------|-----------------------|------------------------------|---|--------------------|---------------|
| ETE Amparo II – Praça        | 2,7                   | 37                           | 199,8                                     | 57,08              | 332,77        |
| ETE Amparo II – Almojarifado | 3,4                   | 2                            | 13,6                                      | 3,88               | 22,65         |
|                              |                       |                              |   | <b>Total (R\$)</b> | <b>355,42</b> |

Fonte: Do Autor, 2023.

## 8. CONCLUSÃO

Diante do estudo realizado, o município de Santo Antônio do Amparo se encontrou na sétima posição do total de treze municípios em relação ao Índice de Potencial de Reúso (IPR). Os subcritérios que contribuíram de forma significativa foram a demanda na irrigação, consumo agroindustrial e industrial, a infraestrutura de coleta e tratabilidade e o balanço hídrico. Já os subcritérios de geração total de esgoto e a capacidade das ETEs não contribuíram de forma expressiva, devido à baixa densidade populacional, porém espera-se que a capacidade das ETEs aumente, visto que estas operam próximo da geração total de esgoto do município.

Após análise das características físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes da ETE Amparo I e ETE Amparo II, observa-se que conforme normas e regulamentações sobre o tema, o reúso pode ser aplicável em pomares, forragens, cereais, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, o reúso agrossivipastoril e o reúso urbano desde de que não tenha contato direto do usuário com a água. O reúso urbano que tenha contato direto (ex. lavagem de veículos e irrigação dos jardins) e o reúso industrial não é aplicável, no qual deve-se realizar a adequação da variável *E.coli* do

efluente, sendo necessário a etapa terciária de desinfecção nas ETEs, além do monitoramento de outras variáveis contidas em normas e regulamentações.

Com a estimativa do retorno econômico com o reúso urbano não potável, pode-se concluir que é viável economicamente o reúso urbano no almoxarifado e na irrigação do jardim da praça desde que utilizado o efluente somente da ETE Amparo II.

Portanto, este estudo se mostra de fundamental importância, principalmente pela compilação de dados sobre o município, como também poderá servir de base para próximos estudos na região e suporte à tomada de decisão sobre a prática de reúso no município de Santo Antônio do Amparo e municípios com características semelhantes.

## 9. SUGESTÕES

Para posteriores estudos, torna-se interessante a utilização de dados dos subcritérios dos municípios próximos a Santo Antônio do Amparo, ou da bacia que este se encontra, as condições socioeconômicas, demográficas e ambientais variam de região para região e com isso afetam no resultado final da análise. Nos métodos de tomada de decisão é válido também analisar os pesos dos critérios e subcritérios, como também a necessidade de modificação destes.

## REFERÊNCIAS

ADEQ. Arizona Department of Environmental Quality. **Water Quality Division: Recycled Water Rulemaking**. 2018. Disponível em: <[Recycled Water Rulemaking | ADEQ Arizona Department of Environmental Quality \(azdeq.gov\)](#)>. Acesso em 25 abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Água no Mundo**. Disponível em: <[Água no mundo — Português \(Brasil\) \(www.gov.br\)](#)>. Acesso em 03 abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil. 2021. Disponível em: <<https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>>. Acesso em 03 abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil. 2022. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em 03 abr. 2022.

ALASKA. Department of Environmental Conservation. **ALASKA WATER AND SEWER CHALLENGE**. Disponível em:<[Alaska Water and Sewer Challenge](#)>. Acesso em 01 mai. 2022.

ARANHA, A., ROCHA, L. “Coquetel” com 27 agrotóxicos foi achado na água de 1 em cada 4 municípios. Agência Pública/Repórter Brasil. 2019. Disponível em:<“[Coquetel” com 27 agrotóxicos foi achado na água de 1 em cada 4 municípios | Por trás do alimento \(portrasdoalimento.info\)](#)>. Acesso em 17 mai. 2022.

ARAÚJO, G. M. Avaliação do Potencial do Reúso das Águas Residuárias Tratadas, Provenientes do Sistema de Lagoas de estabilização de Ponta Negra em Natal - RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. 2005. Campo Grande. **Anais** [..]. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. Disponível em:<[MELHORIA DA QUALIDADE DA GUA TRATADA E AUMENTO DA CAPACIDADE DE ETAS ATRAVS DA ESCOLHA ADEQUADA DE COAGULANTES E AUXILIARES, EM GUAS COM ALCALINIDADE ALTA. \(ufc.br\)](#)>. Acesso em 27 abr. 2022.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 13969 de. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em:<[13969 \(acquasana.com.br\)](#)>. Acesso em 01 mai. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas de Esgoto**. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas de Esgoto**. 2020.

ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS. Impacto ambiental relevante na sub-bacia do rio Riachão, Norte de Minas Gerais. 2010. Disponível em:<[Atlas Digital das Águas de Minas \(ufv.br\)](#)>. Acesso em 08 abr. 2022.

Burek, P. et al. (2016). Water Futures and Solution - Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper. IIASA, Laxenburg, Austria: WP-16-006. Disponível em: [WP-16-006.pdf \(iiasa.ac.at\)](#). Acesso em 03 mai. 2022.

BARROSO, L. B., WOLFF, D. B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 3, p. 225-236, 2011. Disponível em:<[Microsoft Word – artigo17.doc \(researchgate.net\)](#)>. Acesso em 23 mai. 2022.

BARROS, K. K.; NASCIMENTO, C. W. A.; FLORENCIO, L. Nematode suppression and growth stimulation in corn plants (*Zea mays* L.) irrigated with domestic effluent. **Water Science and Technology**. v. 66, p. 681-688, 2012. Disponível em: <[wst.2012.230.pdf](#)>. Acesso em 04 abr. 2022.

BERTOSSI, Ana Paula Almeida. Influência da aplicação de águas residuárias sobre a infiltração de água no solo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 5, p. 24, 2013. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7404601>

BEZERRA, R. M. C. de M. et al. DESEMPENHO DE UM REATOR SEQUENCIAL EM BATELADA AERÓBIO NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO VISANDO O REUSO NÃO POTÁVEL. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 20. 2017. **Anais [...]**. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. Disponível em:<[Microsoft Word - Artigo aer<sup>3</sup>bio - reuso.docx \(abrh.s3.amazonaws.com\)](#)>. Acesso em 25 mai. 2022.

BUTTS, K. H. The strategic importance of water. 1997. **The US Army War College Quarterly: Parameters**, v. 27, n. 1. Disponível em: <[The Strategic Importance of Water \(armywarcollege.edu\)](#)>. Acesso em 02 mai. 2022.

BOIM, J. M. MODELAGEM SEMI-ANALÍTICA PARA INCRUSTAÇÃO DE SULFATO DE BÁRIO EM RESERVATÓRIOS HETEROGÊNEOS. **Tese** (Mestre em Engenharia de Reservatório e de Exploração de Petróleo) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF, MACAÉ – RJ, 2003. Disponível em: [\\_cp022680.pdf \(livrosgratis.com.br\)](#).

BORGES, A. S. ABORDAGEM SOCIOHIDROGEOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DOS USOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM COMUNIDADES RURAIS. 94 P. 2021. **Dissertação** (Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Ilha Solteira, 2021. Disponível em:<[borges\\_as\\_me\\_ilha.pdf \(unesp.br\)](#)>. Acesso em 02 mai. 2022.

BRASIL. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reuso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 31, 28 nov. 2005a. Seção 1, p. 31-36.

BRASIL. Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 42, 16 dez. 2010. Seção 1, p. 42-45.

CASTRO, C. N. **Gestão das Águas: Experiências Internacional e Brasileira**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília. 2012. 86p. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1132/1/TD\\_1744.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1132/1/TD_1744.pdf)>. Acesso em 03 abr. 2022.

CEARÁ. Lei nº 16.033, de 20 de junho de 2016. Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do Estado do Ceará. Fortaleza: **Diário Oficial do Estado**, 22 jun. 2016.

CEARÁ. Resolução COEMA nº 2/2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Fortaleza: **Diário Oficial do Estado**, 21 fev. 2017.

CETESB. **Apêndice E: Índices de Qualidades das Águas**. Disponível em: <[Apendice-E-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf \(cetesb.sp.gov.br\)](http://cetesb.sp.gov.br/Apendice-E-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf)>. Acesso em 15 mai. 2022.

CETESB. **Produção mais Limpa: Casos de Sucesso**. 2002. Disponível em: <[CASO 7 \(cetesb.sp.gov.br\)](http://cetesb.sp.gov.br/CASO_7)>. Acesso em 21 mai. 2022.

CETREL. **Água**. 2019. Disponível em: <[Água - CETREL S/A](http://agua-cetrel.com.br)>. Acesso em 21 mai. 2022.

PETROBRAS. **Fatos e Dados: Refinarias da Petrobras em São Paulo reutilizam quase 11 bilhões de litros de água por ano**. 2021. Disponível em: <[Petrobras - Fatos e Dados - Refinarias da Petrobras em São Paulo reutilizam quase 11 bilhões de litros de água por ano](http://petrobras.com.br/Petrobras-Fatos-e-Dados-Refinarias-da-Petrobras-em-Sao-Paulo-reutilizam-quase-11-bilhoes-de-litros-de-agua-por-ano)>. Acesso em 21 mai. 2022.

COELHO, D. A. et al. Avaliação da qualidade microbiológica de águas minerais comercializadas em supermercados da cidade de Alfenas, MG. **Hig. aliment**, p. 88-92, 2007.

CUBA, R. da S. et al. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, vol. 10, 13p. , 2015. DOI: 10.4136/ ambi-agua.1575. Disponível em: <[SciELO - Brasil - Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface](#)  
[Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface](#)>. Acesso em 06 abr. 2022.

CLIMATE-DATA. **Clima Santo Antônio do Amparo**. 2022. Disponível em: < [Clima Santo Antônio do Amparo: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Santo Antônio do Amparo - Climate-Data.org](#)>. Acesso em 15 mai. 2022.

DAGG, M. J., RAÇA, G. A. Biological effects of Mississippi River nitrogen on the northern gulf of Mexico—a review and synthesis. **Journal of Marine Systems**, v. 43, Issues 3-4, p. 133-152, 2003. DOI: <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jmarsys.2003.09.002>.

DEL PORTO, David; STEINFELD, Carol. The composting toilet system book: a practical guide to choosing, planning and maintaining composting toilet systems. Massachusetts: The Center for Ecological Pollution Prevention, 2000. 235 p.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Basic Information about Water Reuse. 2022. Disponível em:<[Basic Information about Water Reuse | US EPA](#)>. Acesso em 25 abr.. 2022.

ESTADOS UNIDOS (EUA). **Regulation nº 84 Reclaimed Water Control Regulation Colorado**: Department of Public Health and Environment. 2017. Disponível em:<[Code of Colorado Regulations \(state.co.us\)](#)>. Acesso em 25 abr. 2022.

ESPAÑA. **Real Decreto 1620/2007**, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Disponível em:<[BOE.es - BOE-A-2007-21092 Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.](#)>. Acesso em 26 abr. 2022.



FILHO, J. L. Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil. 1987. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

FRANCO, G. de M. ESTUDO DA MICROBIOTA ASSOCIADA A TORRES DE RESFRIAMENTO DE UMA REFINARIA DE PETRÓLEO. Orientadora: Profa. Dra. Vera Lúcia dos Santos. **Monografia** (Especialista em Microbiologia Ambiental e Industrial) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2013. Disponível em:<[monografia\\_gabriela\\_de\\_melo\\_franco.pdf \(ufmg.br\)](#)>. Acesso em 21 mai. 2022.

FRÓES, C. M. B; HAMDAN, M. J. Os desafios da gestão de recursos hídricos em região de escassez e conflito pelo uso da água no estado de Minas Gerais: o caso do rio Riachão. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. Resumos. João Pessoa: ABRH, 2005. CD-Rom.

FEITOSA, T. Qualidade de frutos de melancia produzidos com reúso de água de esgoto doméstico tratado. **Revista Tecnologia**, v. 30, n. 1, p. 53-60, 2009. Disponível em:<[Qualidade de frutos de melancia produzidos com reúso de água de esgoto doméstico tratado | Revista Tecnologia \(unifor.br\)](#)>. Acesso em 23 mai. 2022.

GARCIA, G. de O. ALTERAÇÕES QUÍMICAS, FÍSICAS E MOBILIDADE DE ÍONS NO SOLO DECORRENTES DA APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA LAVAGEM E DESPOLPA DE FRUTOS DO CAFEEIRO CONILON. 101 p. 2003. **Tese** (Título de “Magister Scientiae”) – Universidade Federal de Viçosa. Disponível em:<[Untitled \(ufv.br\)](#)>. Acesso em 22 abr. 2022.

GASSERT, F. et al. **Water Stress by Country**. World Resources Institute: Washington, DC, 2013. Disponível em: <[Water Stress by Country | World Resources Institute \(wri.org\)](#)>. Acesso em 28 abr. 2022.

GOHRINGER, S. S. USO URBANO NÃO POTÁVEL DE EFLUENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO. ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE CAMPO LARGO – PR. 216 p. 2006. **Dissertação** (Mestre em Gestão Urbana, Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, Pontifícia Universidade Católica do Paraná) - PONTIFÍCIA

UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ, CURITIBA, 2016. Disponível em: [cp013949.pdf \(livrosgratis.com.br\)](http://cp013949.pdf(livrosgratis.com.br)).

GIAFFERIS, G. P. Avaliação do potencial de reuso agrícola do efluente de uma estação de tratamento de esgoto com alagados construídos. 102 p. 2011. **Tese** (Doutor em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu. Disponível em:<[Avaliação do potencial de reuso agrícola do efluente de uma estação de tratamento de esgoto com alagados construídos \(unesp.br\)](http://Avaliação do potencial de reuso agrícola do efluente de uma estação de tratamento de esgoto com alagados construídos (unesp.br))>. Acesso em 28 abr. 2022.

FUKASAWA, B. N., MIERZWA, J. C. Identification of water reuse potential in Metropolitan Regions using the Analytic Hierarchy Process. **Elsevier**. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100064>.

FUKASAWA, B. N. Proposta de Modelos de Suporte à Decisão no Planejamento de Reúso de Água. 227 p. 2021. **Dissertação** (Mestre em Engenharia) - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, 2021.

GREENHALGH, S., SAUER, A. **Awakening the dead zone: an investment for agriculture, water quality, and climate change**. World Resources Institute, 2003. Disponível em:<[WRI Hypoxia-redesign.pmd](http://WRI Hypoxia-redesign.pmd)>. Acesso em 17 mai. 2022.

Google Earth. Website. Disponível em: <<http://Earth.google.com/>>, 2023.

Hardan, A; AL-ANI, A. N. Improvement of soil structure by using date and sugar beet waste products. In: EMERSON, W.W.; BOND, R. D.; DEXTER, A. R. (Ed.) Modification of soil structure. New York: Jon Wiley e Sons, 1978. 435 p.

HENDGES, L. T.; ANTES, B. dos S.; TONES, A. R. M. Reúso da água na agricultura: a realidade brasileira e experiências internacionais. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 9, n. 23, p. 94-109, 2018. Disponível em:<[Reúso da água na agricultura: a realidade brasileira e experiências internacionais | Thomas Hendges | Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia \(utfpr.edu.br\)](http://Reúso da água na agricultura: a realidade brasileira e experiências internacionais | Thomas Hendges | Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia (utfpr.edu.br))>. Acesso em 25 abr. 2022.

HESPANHOL, I. et al. **Manual de Conservação e Reúso de Água na Indústria**. Rio de Janeiro, 38p, 2007. Disponível em: <[NT00035102.pdf \(sebrae.com.br\)](#)>. Acesso em 20 mai. 2022.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7 n. 4, p. 75-95, 2002. Disponível em:<[2371239d0aaf41e014681d6d437c79e7\\_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf \(amazonaws.com\)](#)>. Acesso em 06 abr. 2022.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos avançados**, v. 22, p. 131-158, 2008. Disponível em:<[Ivanildo.indd \(scielo.br\)](#)>. Acesso em 18 mai. 2022.

IGAM. Portal dos Comitês: Instituto Mineiro de Gestão das Água – IGAM. **GD2 – CBH Vertentes do Rio Grande**. Disponível em: <[GD2 - CBH Vertentes do Rio Grande \(igam.mg.gov.br\)](#)>. Acesso em 15 de mai. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017**: Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário. 2017. Disponível em:<[liv101734.pdf \(ibge.gov.br\)](#)>. Acesso em 15 de mai. 2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Acesso à água nas regiões Norte e Nordeste do Brasil: Desafios e perspectivas. São Paulo, 2018. Disponível em: [https://tratabrasil.org.br/images/estudos/acesso-agua/tratabrasil\\_relatorio\\_v3\\_A.pdf](https://tratabrasil.org.br/images/estudos/acesso-agua/tratabrasil_relatorio_v3_A.pdf). Acesso em 04 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Santo Antônio do Amparo**: Área da Unidade Territorial. 2022. Disponível em:< [IBGE | Cidades@ | Minas Gerais | Santo Antônio do Amparo | Panorama](#)>. Acesso em 15 de mai. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Santo Antônio do Amparo**: Índice de Desenvolvimento Humano. 2010. Disponível em:< [IBGE | Cidades@ | Minas Gerais | Santo Antônio do Amparo | Pesquisa | Índice de Desenvolvimento Humano | IDH](#)>. Acesso em 15 de mai. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Santo Antônio do Amparo**: População no último censo. 2010. Disponível em:< [IBGE | Cidades@ | Minas Gerais | Santo Antônio do Amparo | Panorama](#)>. Acesso em 15 de mai. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Santo Antônio do Amparo**: Produto Interno Bruto per capita. 2010. Disponível em:< [IBGE | Cidades@ | Minas Gerais | Santo Antônio do Amparo | Pesquisa | Índice de Desenvolvimento Humano | IDH](#)>. Acesso em 15 de mai. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Santo Antônio do Amparo**: Valor Adicionado Bruto. 2020. Disponível em:<[IBGE | Cidades@ | Minas Gerais | Santo Antônio do Amparo | Pesquisa | Produto Interno Bruto dos Municípios | PIB a preços correntes](#)>. Acesso em 15 mai. 2022.

ISRAEL. Lei nº 5719 de 1959. Lei das águas. 1959.

KRONVANG, B. et al. Diffuse nutrient losses in Denmark. **Water Science and Technology**, v. 39, Issue 4-5, p. 81-88, 1996. Disponível em:<[Diffuse nutrient losses in Denmark - ScienceDirect](#)>. Acesso em 11 mai. 2022.

Krusche AV, Martinelli LA, Victoria RL, Bernardes M, Camargo PB, Ballester MV, Trumbore SE (2002) Composition of particulate and dissolved organic matter in a disturbed watershed of southeast Brazil (Piracicaba River Basin); *Water Res.*; 36; 2743-2752.

LIMA, E. P. da C. **Água e Indústria**: experiências e desafios. 1ª. ed. Brasília. 2018. Disponível em: <[Livro\\_Agua\\_01.indd \(www.gov.br\)](#)>. Acesso em 20 mai. 2022.

AQUAPOLO. **Quem somos**. 2022. Disponível em:<[Quem Somos | GS Inima Aquapolo](#)>. Acesso em 20 mai. 2022.

MADDOCKS, A.; SHIAO, T.; MANN, S. A. **Três Mapas que Ajudam a Explicar a Crise da Água em São Paulo, Brasil**. 2014. Disponível em:<[Três Mapas que Ajudam a Explicar a Crise da Água em São Paulo, Brasil | World Resources Institute \(wri.org\)](#)>. Acesso em 29 abr. 2022.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise Hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geosp** - Espaço e Tempo (Online), v. 19, n. 3, p. 485-494, 2016. ISSN 2179-0892. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2015.100879>. Disponível em:<[Vista do Crise Hídrica em São Paulo em 2014: Seca e Desmatamento \(usp.br\)](#)>. Acesso em 08 abr. 2022.

Matos, A. T.; Brasil, M. S.; Fonseca, S. P. P. Aproveitamento de efluentes líquidos domésticos e agroindustriais na agricultura. In: Encontro de Preservação de Mananciais da Zona da Mata Mineira, 3, 2003, Viçosa. Anais... Viçosa: ABES-MG, ABAS-MG, DEA/UFV, 2003. p.25-79.

MEEES et al. Removal of organic matter and nutrients from slaughterhouse wastewater by using Eichhornia crassipes and evaluation of the generated biomass composting. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.466-473, jul./set. 2009. Disponível em:<[SciELO - Brasil - Removal of organic matter and nutrients from slaughterhouse wastewater by using Eichhornia crassipes and evaluation of the generated biomass composting Removal of organic matter and nutrients from slaughterhouse wastewater by using Eichhornia crassipes and evaluation of the generated biomass composting](#)>. Acesso em 11 mai. 2022.

MONTEGGIA, L. O. et al. avaliação da produtividade das culturas do milho (Zea mays) e da aveia preta (Avena sp) irrigados com efluente sanitários de diferentes tratamentos. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte-MG. Anais [...]. ABES, 2007, p.1-7.

MOTTA, M. B. Estudo de Caso de Água como uma Alternativa à Escassez Hídrica em uma Indústria Petroquímica. Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Luciane Pimentel Costa Monteiro. 2021. 95 p. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Federal Fluminense, 2021. Disponível em:<[TCCMARCELLE\\_220505\\_231941.pdf](#)>. Acesso em 04 abr. 2022.

MOTA, S. Água: Controle do desperdício e reúso. **Água e desenvolvimento sustentável no Semi-Árido**, p. 53, 2002. Disponível em:<[Agua-sociedade-e-natureza-desenvolvimento-cientifico-e-gestao-de-aguas.pdf \(researchgate.net\)](#)>. Acesso em 18 mai. 2022.

MOURA, P. J. et al. Água de Reúso: Uma alternativa sustentável para o Brasil. **Eng Sanit Ambient**, v.25 n.6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201>

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa CERH-MG Nº 08, de 21 de novembro de 2022. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, p. 8, 08 de dez. 2022.

NAMÍBIA. **Water Resources Management Act. 11.** 2013. Namíbia: Government Gazette of the Republic of Namibia. Disponível em:<[5367.pdf \(lac.org.na\)](#)>. Acesso em 25 abr. 2022.

OLIVEIRA, R. A. et al. INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA NA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE UM SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.263-267, 2000. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. Disponível em:<[Sem título-5 \(scielo.br\)](#)>. Acesso em 22 abr. 2022.

OBRACZKA, M. et al. Reuso de efluentes de tratamento secundário como alternativa de fonte de abastecimento de água no município do Rio de Janeiro. **Sistemas & Gestão**, v. 14, n. 3, p. 291, 2019. DOI: 10.20985/1980-5160.2019.v14n3.1392. Disponível em: <[6\\_1392\\_PT.indd \(tratamentodeagua.com.br\)](#)>. Acesso em 24 de mai. 2022.

ORON, G. et al. Greywater use in Israel and worldwide: standards and prospects. **Water research**, v. 58, p. 92-101, 2014. Disponível em:<[Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects - ScienceDirect](#)>. Acesso em 26 abr. 2022.

**Our World in Data. Global freshwater use over the long-run.** Disponível em: <[Global freshwater use over the long-run \(ourworldindata.org\)](#)>. Acesso em 03 mai. 2022.

PARANÁ. Lei nº 20448 de 17 de dezembro de 2020. Dispõe sobre o uso responsável de água no Estado do Paraná e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, 30 dez. 2020.

PASQUALETTO, A. et al. Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. **Informe Gepec**, v. 26, n. 1, p. 46-61, jan./jun. 2022. DOI: 10.48078/igepec.v26i1.27755.

PETROBRAS. **Fatos e Dados:** Petrobras economiza R\$35,8 milhões com reúso de água em 2019. 2020. Disponível em:< [Petrobras - Fatos e Dados - Petrobras economiza R\\$ 35,8 milhões com reúso de água em 2019](#)>. Acesso em 15 mai. 2022.

RAÍZEN. **Programa Raízen para Conservação e Reuso de Águas**. 12º Prêmio de Conservação e Reuso de Água FIESP Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. 2017. Disponível em:<[Programa Raízen de Conservação e Reuso de Águas \(wordpress.com\)](#)>. Acesso em 21 mai. 2022.

RIBEIRO, N. U. F. Diagnóstico da Qualidade da Água do Rio Paraná em Aparecida do Taboado - MS. 83 p. 2021. **Dissertação** (Mestre em Engenharia Civil, na área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2021. Disponível em:<[ribeiro\\_nuf\\_me\\_ilha.pdf \(unesp.br\)](#)>. Acesso em 16 mai. 2022.

REZENDE, A. A . P. FERTIRRIGAÇÃO DO EUCALIPTO COM EFLUENTE TRATADO DE FÁBRICA DE CELULOSE KRAFT BRANQUEADA. 174 p., 2003. **Tese** (Doctor Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa. Disponível em:<[Microsoft Word - Pag 35-62.doc \(ufv.br\)](#)>. Acesso em 21 abr. 2022.

ROLLEMBERG, S. L., SOBRAL, F. M. Avaliação do potencial de reuso de água em Fortaleza-CE. **Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, Brasil, v. 10, n. 2, p. 147-158, 2016. ISSN: 1982-5528. Disponível em:<[AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUA EM FORTALEZA-CE | REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA \(ufc.br\)](#)>. Acesso em 24 de mai. 2022.

SÃO PAULO. Resolução Conjunta SES/SIMA Nº 01, de 13 de fevereiro de 2020. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 14 de fev. 2020. Seção I, p. 47-48.

SANTOS, D. C. dos, MOLINOWSKI A. Programa de conservação de água no meio urbano: Uma aplicação enfocando o reúso da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.171-175, 2005 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp171-175>.

SEMAD. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Sistema Integrado de Informação Ambiental**. Disponível em: < [SIAM - Sistema Integrado de Informação Ambiental](#)>. Acesso em 15 mai. 2022.

SILVA, A. C. R. da. CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES TRATADOS EM ESTAÇÕES COMPACTAS PARA REÚSO DIRETO NÃO POTÁVEL URBANO EM MACEIÓ/AL. 94 p. 2018. **Dissertação** (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018. Disponível em:<[Caracterização dos efluentes tratados em estações compactas para reuso direto não potável urbano em Maceió.pdf \(ufal.br\)](#)>. Acesso em 25 mai. 2022.

SILVA, B. T. da, JUNIOR, F. das C. G. da S., SILVA, M. A. M. Desenvolvimento de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth e *Amburana cearensis* (Fr. All) AC Smith. irrigadas com esgoto doméstico tratado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 1173-1179, 2021. Disponível em:<[SciELO - Brasil - Desenvolvimento de mudas de <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth e <i>Amburana cearensis</i> \(Fr. All\) A.C Smith. irrigadas com esgoto doméstico tratado](#)>. Acesso em 26 mai. 2022.

SILVA, V. F. da. Tratamento anaeróbio de o anaeróbio de esgoto doméstico para fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.186-190, 2005. Disponível em:<[194.02 V1 \(scielo.br\)](#)>. Acesso em 27 mai. 2022.

SILVA, J. F. A.; PEREIRA, R. G.. Panorama global da distribuição e uso de água doce. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.3, p.263-280, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0023>

SODRÉ, F.F., GRASSI, M.T. Changes in Copper Speciation and Geochemical Fate in Freshwaters Following Sewage Discharges. **Water Air Soil Pollut**, p. 103–112, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-006-9158-2>.

SODRÉ, F. F. **Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle**. Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental (AQQUA), Instituto de Química, Universidade de Brasília. Brasília, DF. v. 1. P 9-16, 2012. Disponível em:<[\(Microsoft Word - Artigo Polui\347\343o Difusa v3\) \(researchgate.net\)](#)>. Acesso 15 mai. 2022.

SOUZA, C. F. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reúso agrícola. **Rev. Ambient. Água**, v. 10, n. 3, Taubaté, 2015. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1549>.

SOUZA, B. R. de, PACHECO, C. S. G. R., SANTOS, R. P. dos. **Reúso de Águas Residuárias: Uma Breve Revisão de Literatura. Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente: Avanços, Retrocessos e Novas Perspectivas**, v. 2. p. 510-524, 2022. DOI: 10.37885/220107207.

SNIRH. **Atlas Água: Mananciais e Sistemas**. Disponível em: <[ATLAS ÁGUAS \(snirh.gov.br\)](http://snirh.gov.br)>. Acesso em 15 de mai. 2022.

SNIS. **Painel de Saneamento: Mapa de Indicadores de Água**. Disponível em: [Indicadores da coleta \(mdr.gov.br\)](http://indicadores.da.coleta.mdr.gov.br). Acesso em 15. mai. 2022.

TELLES, D.D.; COSTA, R.P. **Reuso de Água**. 2 ed. Porto Alegre: Blucher, 2013.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. REUSE OF EFFLUENTS: METHODS OF WASTEWATER TREATMENT AND HEALTH SAFEGUARDS. Geneva. 1973. Disponível em: [WHO\\_TRS\\_517.pdf;jsessionid=D0666E0840AE5FA4452C1183C5FA4B7D](http://www.who.int/trs/517.pdf?jsessionid=D0666E0840AE5FA4452C1183C5FA4B7D).

TUNÍSIA. NT 106.03 de 1989: Standard for the use of treated wastewater in agriculture. 1989.

UNESCO. RELATÓRIO MUNDIAL DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS 2019. **Não deixe ninguém para trás**. Colombella, Perugia, Itália: UNESCO, 2019. Disponível em:<[Relat--rio-mundial-das-Na---es-UNidas-sobre-desenvolvimento-dos-recursos-h--dricos-2019--n--o-deixar-ningu--m-para-tr--s-fatos-e-dados---UNESCO-Digital-Library.pdf\(tratabrasil.org.br\)](http://relat-rio-mundial-das-na-es-UNidas-sobre-desenvolvimento-dos-recursos-h-dricos-2019-n-o-deixar-ningu-m-para-tr-s-fatos-e-dados-UNESCO-Digital-Library.pdf(tratabrasil.org.br))>. Acesso em 03 mai. 2022.

UNIÃO EUROPEIA. Lei nº 59/2005. Aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Directiva nº 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. **Diário da República**, I Serie A, n. 249, 29 dez. 2005. Disponível em:<[Água - Portal oficial da Ordem dos Engenheiros Região Norte - OERN](http://www.legisla.gov.pt/agua-portal-oficial-da-ordem-dos-engenheiros-regiao-norte-oern)>. Acesso em 26 abr. 2022.

VALENTE, J. P. S., PADILHA, P. M., SILVA, A. M. M. da. Contribuição da cidade de Botucatu - SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita.

**Eclética Química**, v. 22, p. 31-48, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-46701997000100004>.

VERVIER, P. et al. Spatial changes in the modalities of N and P inputs in a rural river network. **Water research**, v. 33, n. 1, p. 95-104, 1999. Disponível em: <[Spatial changes in the modalities of N and P inputs in a rural river network - ScienceDirect](#)>. Acesso em 10 mai. 2022.

VIDAL, L. A. ESTUDO SOBRE AS INCRUSTAÇÕES INORGÂNICAS NOS CAMPOS DE PETRÓLEO. Orientador: Prof. Dr. João Queiroz. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharel em Engenharia de Petróleo) - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - ESCOLA DE ENGENHARIA, Niterói, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <[Monografia LeonardoVidal.pdf;jsessionid=A330F3C6FE5847E75B8D3DAA4E2A56F8 \(uff.br\)](#)>. Acesso em 21 mai. 2022.

Vieira, G.H, 2006. Análise e comparação dos métodos de decisão multicritério AHP Clássico e Multiplicativo, **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil.

Von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2.ed. Belo Horizonte: DESA, 1996. 243p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4º ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

Williams MR, Filoso S, Martinelli LA, Lara LB, Camargo PB (2001) Precipitation and river water chemistry of the Piracicaba River basin, southeast Brazil; J. Environ. Qual.; 30; 967-9.

WESTERHOFF, G. P. , 1984. Un update of researsch needs dor water reuse. In: Water Reuse Symposium, 3º Proceedings. San Diego, Califórnia. USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse**. 2004. Disponível em: <[US EPA Guidelines for Water Reuse](#)>. Acesso em 17 mai. 2022.

WRI BRASIL. **Ranking mostra onde há maior risco de faltar água no Brasil e no mundo.** 2019. Disponível em:<[Ranking mostra onde há maior risco de faltar água no Brasil e no mundo | WRI Brasil](#)>. Acesso em 29 abr. 2022.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programm). **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019:** Não deixe ninguém para trás. Disponível em: <[Relat--rio-mundial-das-Na----es-Unidas-sobre-desenvolvimento-dos-recursos-h--dricos-2019--n--o-deixar-ningu--m-para-tr--s--fatos-e-dados---UNESCO-Digital-Library.pdf \(tratabrasil.org.br\)](#)>. Acesso em 17 mai. 2022.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programm). **The United Nations World Water Development Report 2016:** Water and Jobs. Paris: UNESCO, 2017.