



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

André Alcantara de Faria

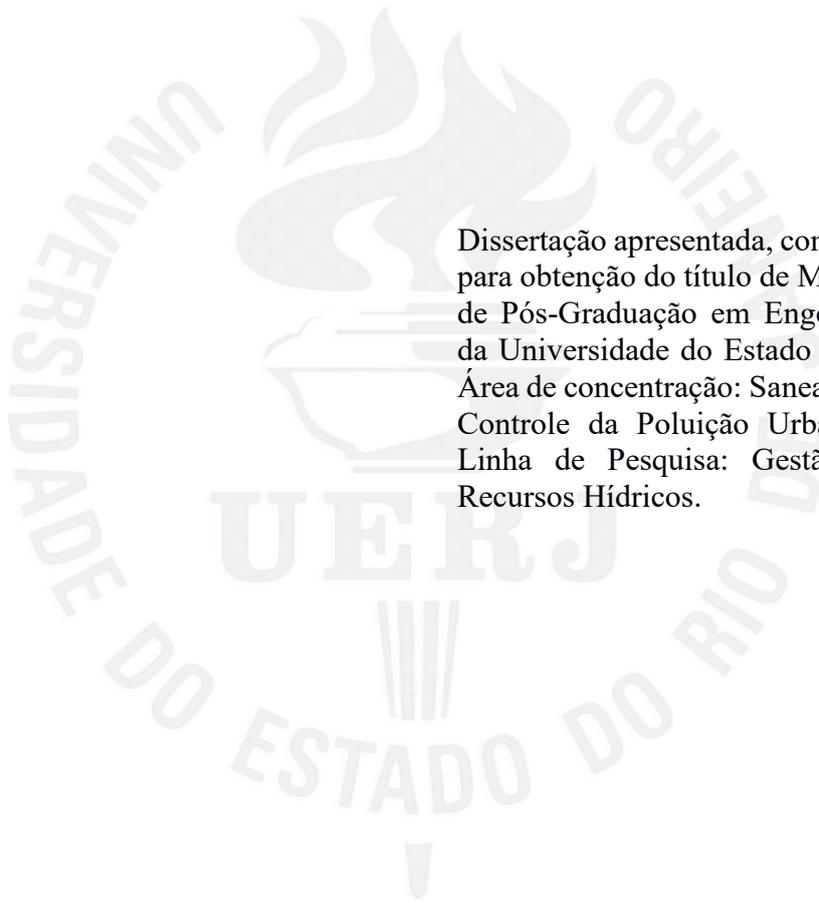
**Análise do potencial de reúso de água para fins não potáveis a partir do
efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos na Região
Metropolitana do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2020

André Alcantara de Faria

Análise do potencial de reúso de água para fins não potáveis a partir do efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial - Linha de Pesquisa: Gestão Sustentável de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. D.Sc. Marcelo Obraczka

Coorientador: Prof. D.Sc. Alfredo Akira Ohnuma Júnior

Rio de Janeiro

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

F224 Faria, André Alcantara de.
Análise do potencial de reúso de água para fins não potáveis a partir do efluente tratado de estações de tratamento de esgotos na região metropolitana do Rio de Janeiro / André Alcantara de Faria. – 2020. 125f.

Orientador: Marcelo Obraczka.
Coorientador: Alfredo Akira Ohnuma Junior.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Água - Reuso - Teses. 3. Água - Estações de tratamento - Teses. 4. Abastecimento de água nas cidades - Teses. 5. Água - Qualidade - Teses. I. Obraczka, Marcelo. II. Ohnuma Junior, Alfredo Akira. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 628.1:628.32

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

André Alcantara de Faria

Análise do potencial de reúso de água para fins não potáveis a partir do efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial - Linha de Pesquisa: Gestão Sustentável de Recursos Hídricos.

Aprovada em

Banca Examinadora:

Prof. D.Sc. Marcelo Obraczka (Orientador)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. D.Sc. Alfredo Akira Ohnuma Júnior (Coorientador)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof^a. D.Sc. Marília Carvalho de Melo
Universidade do Vale do Rio Doce – UninCor

Prof^a. D.Sc. Ana Sílvia Pereira Santos
Faculdade de Engenharia - UERJ

Rio de Janeiro

2020

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa Andréa Faria e aos meus filhos Cecília e Théo, que em todos os sentidos, participaram e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar forças e perseverança, especialmente, nos momentos mais difíceis durante esta jornada.

Aos meus filhos Cecília e Théo que são minhas preciosidades e minha inspiração de vida.

À minha esposa Andréa, guerreira, que sempre me deu muito apoio e incentivo nos momentos mais complicados e pela compreensão nos momentos de estudo. Te amo muito!

Aos meus pais, Teresa e João, pela criação, dedicação e busca pela minha melhor formação pessoal e profissional.

Aos meus irmãos Fábio, João Carlos, João Michel e Joana Júlia pelo carinho e companheirismo.

Aos meus sogros, Victor e Noêmia, pela compreensão e apoio fundamental de cuidar dos netos, especialmente, nos meus momentos de estudo.

Aos meus amigos Diogo e Flávio e colegas do PEAMB pelas palavras de incentivo e motivação nos períodos difíceis e pela felicidade em confraternizar bons momentos de encontros no Loreninha.

Aos meus orientadores Professores Marcelo e Akira, pelo apoio, auxílio técnico ao longo deste trabalho. Pelos conselhos, conhecimentos compartilhados, sugestões, recomendações, incentivo e pelos momentos de descontração no futebol.

Um agradecimento especial aos alunos de iniciação científica Bruno Muricy, Kelly Oliveira, Ana Cecília e Karine Coutinho pela contribuição e apoio técnico.

Ao mestre Luís Carlos Soares da Silva Jr. pelo conhecimento compartilhado.

Aos amigos da CEDAE, pelo incentivo e compreensão, além da disponibilização de dados fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca que mesmo diante das intensas tarefas rotineiras aceitaram o convite e se dedicaram no aperfeiçoamento deste trabalho com seus conhecimentos e habilidades.

Ao Departamento de Engenharia Ambiental (DESMA) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PEAMB) da UERJ, especialmente à Professora Ana Sílvia Santos e o Professor Gandhi Giordano pelos conceitos e conhecimentos apresentados que enriqueceram o trabalho.

RESUMO

FARIA, A. A. de. *Análise do potencial de reúso de água para fins não potáveis a partir do efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. 2020. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

A utilização da água é um fator preponderante no processo de formação das cidades, bem como, no desenvolvimento socioeconômico da população em geral. À medida em que os centros urbanos crescem, a demanda hídrica aumenta. A poluição das principais fontes de água e a recorrente condição de escassez hídrica agravada pelos efeitos das mudanças climáticas como a que ocorreu em 2014 na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) afetaram consideravelmente a disponibilidade hídrica o que propicia a busca por fontes alternativas para atendimento de demandas menos nobres. Este trabalho tem como objetivo analisar o potencial de oferta e demanda da água de reúso para fins não potáveis a partir do efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) na RMRJ. A metodologia consiste na identificação de ETEs cujas características como localização, capacidade instalada de tratamento favorecem na definição dos geradores de água de reúso e no levantamento da localização, tipologia industrial e demanda de água de potenciais consumidores na área de estudo com destaque para as indústrias de transformação, responsáveis pelo terceiro maior uso consuntivo do país, atrás somente da agricultura e do abastecimento urbano. O presente estudo apresenta de forma pioneira um inventário georreferenciado dos potenciais geradores e consumidores na RMRJ, o que demonstra ser uma ferramenta promissora na identificação de regiões/*clusters* de negócio, especialmente, no entorno das ETEs. Pôde ser constatada a existência de grande potencial de geração de água de reúso tendo em vista a capacidade instalada de vazão de efluente secundário. A partir do tratamento estatístico dos dados disponibilizados de efluente tratado das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso das ETEs Alegria e Penha, foi realizada uma comparação dos valores médios obtidos dos parâmetros com a legislação do Estado de São Paulo (2020) e a legislação americana *USEPA* que estabelecem os padrões de qualidade para reúso de água para fins urbanos. Para fins industriais, o efluente tratado e a água de reúso atenderam a NBR 15900 – água para amassamento de concreto, assim como, os padrões recomendados para processos de tamboreamento (etapa da cadeia de fabricação de rolamentos). Além disso, apresentaram resultados satisfatórios quando analisados em observância à especificação recomendada para a utilização da água de reúso em torres de arrefecimento cujo consumo pode chegar a 95% do total de água demandada na indústria de transformação. O reúso de água demonstra potencial e se apresenta como uma fonte alternativa estratégica para fins não potáveis na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Reúso de água; Análise de Potencial; Abastecimento Urbano; Qualidade do Efluente Tratado; Reúso Industrial.

ABSTRACT

FARIA, A. A. de. *Analysis of the potential for water reuse for non-potable purposes from the treated effluent from Wastewater Treatment Plants in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro*. 2020. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

The use of water is a major factor in the process of forming cities, as well as in the socioeconomic development of the population in general. As urban centers grow, water demand increases. The pollution of the main sources of water and the recurrent condition of water scarcity aggravated by the effects of climate change, such as that which occurred in 2014 in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro (MRRJ), considerably affected water availability, which facilitates the search for alternative sources for meeting less noble demands. This work aims to analyze the supply and demand potential of reused water for non-potable purposes from the treated effluent from Wastewater Treatment Plants (WWTP) at MRRJ. The methodology consists in the identification of WWTPs whose characteristics such as location, installed treatment capacity favor the definition of reuse water generators and the survey of the location, industrial typology and demand for water from potential consumers in the study area, with emphasis on the water treatment industries. responsible for the country's third largest consumptive use, behind agriculture and urban supply. This study pioneers a georeferenced inventory of potential generators and consumers at MRRJ, which proves to be a promising tool in the identification of business regions / clusters, especially around the WWTPs. It was possible to verify the existence of a great potential for the generation of reused water in view of the installed capacity of secondary effluent flow. Based on the statistical treatment of the data provided for treated effluent from the Alegria, Penha, Pavuna and Sarapuí WWTPs and the reuse water from the Alegria and Penha WWTPs, a comparison of the average values obtained from the parameters with the legislation of the State of São Paulo (2020) and the USEPA legislation that establish quality standards for water reuse for urban purposes. For industrial purposes, the treated effluent and reused water met NBR 15900 - water for concrete kneading, as well as the recommended standards for tumbling processes (stage of the bearing manufacturing chain). In addition, they presented satisfactory results when analyzed in compliance with the recommended specification for the use of reused water in cooling towers whose consumption can reach 95% of the total water demanded in the transformation industry. The reuse of water shows potential and presents itself as a strategic alternative source for non-potable purposes in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro.

Keywords: Water reuse; Potential Analysis; Urban supply; Quality of Treated Effluent; Industrial Reuse.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Níveis de estresse hídrico no mundo.....	18
Figura 2 – Regiões Hidrográficas do Brasil.	19
Figura 3 - Demanda de água por região geográfica no Brasil.	22
Figura 4 – Total de água retirada e consumida no Brasil – Média anual (%).	22
Figura 5 – Pontos de Índice de Qualidade da Água (IQA) no Brasil.	23
Figura 6 – Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.....	27
Figura 7 – Demandas de água projetadas para 2030 na RMRJ.	28
Figura 8 – Índice de Atendimento de Esgotamento Sanitário nas regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.	29
Figura 9 - Unidades de um típico sistema de abastecimento de água.	31
Figura 10 – Esquema da transposição da bacia do rio Paraíba do Sul para bacia do rio Guandu.....	33
Figura 11 – Relação entre vazão de consumo e disponibilidade hídrica na RMRJ.....	34
Figura 12 – Vazão Anual em relação à média no rio Paraíba do Sul.....	35
Figura 13 – Parcela da população do Brasil, por região, com esgotamento sanitário adequado (%).	36
Figura 14 – Localização de principais ETEs na RMRJ e respectivas áreas de cobertura.	38
Figura 15 – Áreas de prestação de serviços de esgoto da Zona Oeste Mais Saneamento (ZOMS) e da CEDAE na cidade do Rio de Janeiro.	41
Figura 16 – Fluxograma de um sistema de esgotamento sanitário (ETE).....	42
Figura 17 – Distribuição da utilização de água de reúso no mundo de acordo com o uso.....	46
Figura 18 – Vista aérea do Aquapolo, sistema de produção de água de reúso industrial, localizado na cidade de Mauá-SP.	54
Figura 19 – Tomada d’água de caminhão pipa de água de reúso na ETE Penha.	57
Figura 20 – Sistema de abastecimento dos caminhões pipa com água de reúso da ETE Alegria.	58
Figura 21 – Sistema de produção de água de reúso na ETE Deodoro.....	58
Figura 22 – Mapeamento de geradores e consumidores de água de reúso no Município do RJ.....	60
Figura 23 – Linha do tempo da normatização/legislação sobre reúso de águas no Brasil.....	61
Figura 24 – Fluxograma metodológico da pesquisa.....	74

Figura 25 – Mapa georreferenciado das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) elencadas como potenciais geradores e respectivas bacias de esgotamento.	76
Figura 26 – Vista aérea da ETE Alegria, Rio de Janeiro-RJ.....	77
Figura 27 – Vista aérea da ETE Penha, Rio de Janeiro-RJ.....	77
Figura 28 – Vista aérea da ETE Pavuna, Rio de Janeiro-RJ.....	78
Figura 29 – Vista aérea da ETE Sarapuí, Rio de Janeiro-RJ.	79
Figura 30 – Mapa georreferenciado dos geradores e consumidores em potencial de água de reúso das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí por faixas de volume diário demandado...90	
Figura 31 – Mapa georreferenciado dos geradores e consumidores em potencial de água de reúso das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí por tipologia industrial.	91
Figura 32 – Capacidade de produção de efluente tratado (ET) das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e de água de reúso (AR) das ETES Alegria e Penha e Demanda de água das indústrias.	92
Figura 33 – Capacidade de produção de efluente tratado (ET) das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e de água de reúso (AR) das ETES Alegria e Penha e Demanda de água das indústrias dentro do raio de 10 km para cada ETE.	99
Figura 34 – Boxplot de pH para o efluente tratado (ET) das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso (AR) das ETES Alegria e Penha.....	104
Figura 35 – Boxplot de DBO _{5,20} para o efluente tratado (ET) das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí.	105
Figura 36 – Boxplot de SST para o efluente tratado (ET) das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí.....	106
Figura 37 – Boxplot de Turbidez da água de reúso (AR) das ETES Alegria e Penha.	107
Figura 38 – Boxplot de cloro residual da água de reúso (AR) das ETES Alegria e Penha.....	108
Figura 39 – Boxplot de DQO para o efluente tratado (ET) das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí.....	109
Figura 40 – Boxplot de Cloretos para o efluente tratado (ET) das ETES Alegria e Penha.....	110
Figura 41 – Boxplot de Alumínio para o efluente tratado (ET) das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e de água de reúso (AR) das ETES Alegria e Penha.....	111
Figura 42 – Boxplot de Cálcio para a água de reúso (AR) das ETES Alegria e Penha.	112
Figura 43 – Boxplot de Magnésio para a água de reúso (AR) das ETES Alegria e Penha.	113
Figura 44 – Boxplot de Ferro para a água de reúso (AR) das ETES Alegria e Penha e efluente tratado (ET) da ETE Alegria.....	113

Figura 45 – Boxplot de Manganês para o efluente tratado das ETEs Alegria, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha.	114
Figura 46 – Boxplot de Óleos e Graxas para o efluente tratado (ET) das ETEs Penha Sarapuí e Pavuna.	115

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Precipitação e Vazão Média e Disponibilidade Hídrica por Região Hidrográfica no Brasil.....	20
Tabela 2 – Distribuição de consumo de água de acordo com a atividade industrial pelo mundo (%).	25
Tabela 3 – Requisitos de qualidade para a água de uso industrial recomendados em mg/L, exceto para pH e cor, expressos em unidades.	25
Tabela 4 – População Residente nas Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.	28
Tabela 5 – Sistemas de Abastecimento de Água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.	32
Tabela 6 – Qualidade do efluente de diversas tecnologias de tratamento de esgotamento sanitário.	43
Tabela 7 – Principais Modalidades de Reúso de Água e Aplicações Típicas.....	45
Tabela 8 – Estudos de caso sobre reúso de água no mundo.	50
Tabela 9 – Reúso de efluentes no âmbito público e privado no Brasil.....	53
Tabela 10 - Parâmetros do processo de geração da água de reúso do empreendimento Aquapolo.	55
Tabela 11 – Estações de Produção de Água de Reúso da SABESP com volume mensal e tipo de fornecimento.....	56
Tabela 12 – Dados de ETEs do município do Rio de Janeiro.	59
Tabela 13 – Padrões de qualidade para água de reúso da Resolução COEMA N° 02/2017 do Estado do Ceará.....	62
Tabela 14 – Parâmetros de qualidade para uso da água não potável, segundo NBR 16783/2019.	63
Tabela 15 – Padrões de qualidade para água de reúso para fins urbanos da Resolução CONSEMA N° 419/2020 do Estado do Rio Grande do Sul.....	64
Tabela 16 – Parâmetros de qualidade para para reúso urbano da Deliberação Normativa n° 65 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – MG.....	65
Tabela 17 – Padrões de qualidade para as categorias de água de reúso urbano da Resolução Conjunta SES/SIMA n° 01/2020 do estado de São Paulo.	66
Tabela 18 – Compilação dos limites estabelecidos pelas legislações/normativa brasileiras vigentes no que tange ao reúso de água urbano.	67
Tabela 19 - Exemplos de Utilizações possíveis para água de reúso em diversos países.	68

Tabela 20 – Padrões de qualidade mínimos estabelecidos pela USEPA para reúso urbano.	70
Tabela 21 – Padrões de qualidade mínimos estabelecidos pela USEPA para reúso industrial.	71
Tabela 22 – Padrões de qualidade recomendados para água de reúso para torres de arrefecimento.	72
Tabela 23 – Características físicas e químicas da água de tamboreamento na fábrica de rolamentos da cidade de Pune – Índia.	72
Tabela 24 – Padrão de qualidade recomendado para água de amassamento de concreto – NBR 15900.	73
Tabela 25 – Comparação dos parâmetros e limites da legislação e normatização internacionais para água de amassamento de concreto.	73
Tabela 26 – Definição do porte de estabelecimentos segundo o número de empregados.	80
Tabela 27 – Exemplo de estrutura do CNAE com coeficientes de retirada e consumo de água.	82
Tabela 28 – Parâmetros e período de análise do efluente tratado (ET) e da água de reúso (AR) para cada ETE.	84
Tabela 29 – Quantidade de resultados analíticos obtidos por parâmetro do efluente tratado (ET) e da água de reúso (AR) para cada ETE.	85
Tabela 30 – Principais características dos potenciais geradores de água de reúso na RMRJ.	87
Tabela 31 – Quadro resumo das empresas selecionadas por divisão do CNAE 2.0 e tipologia	88
Tabela 32 – Quadro resumo das indústrias por divisão do CNAE 2.0 e tipologia localizadas dentro do raio de 10 km da ETE Alegria.	94
Tabela 33 – Quadro resumo das indústrias por divisão do CNAE 2.0 e tipologia localizadas dentro do raio de 10 km da ETE Penha.	95
Tabela 34 – Quadro resumo das indústrias por divisão do CNAE 2.0 e tipologia localizadas dentro do raio de 10 km da ETE Pavuna.	96
Tabela 35 – Quadro resumo das indústrias por divisão do CNAE 2.0 e tipologia localizadas dentro do raio de 10 km da ETE Sarapuí.	98
Tabela 36 – Comparação da qualidade do efluente tratado (ET) das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso (AR) das ETES Alegria e Penha com legislações pertinentes ao reúso não potável urbano.	100
Tabela 37 – Comparação da qualidade do efluente tratado (ET) das ETES Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso (AR) das ETE Alegria e Penha com parâmetros e valores requisitados para diversas aplicações na indústria.	102

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
COMPERJ	Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPP	Empresa de Pequeno Porte
ERJ	Estado do Rio de Janeiro
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
EMP	Empresa de Médio Porte
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GE	Grandes Empresas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
MBR	<i>Membrane Bio Reactor</i>
ME	Microempresa
MO	Matéria Orgânica
NGWRP	<i>New Goreangab Water Reclamation Plant</i>
OGWRP	<i>Old Goreangab Water Reclamation Plant</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
USEPA	<i>Unites States Environmental Protection Agency</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
1.1 Disponibilidade Hídrica no mundo	18
1.2 Gestão de Recursos Hídricos no Brasil	26
1.2.1 Recursos Hídricos nas Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.....	27
1.3 Sistemas de Abastecimento de Água na RMRJ.....	30
1.4 Sistemas de Esgotamento Sanitário na RMRJ	36
1.4.1 Atuação das Concessionárias na cidade do Rio de Janeiro	39
1.5 Estações de Tratamento de Esgotos.....	42
1.6 Reúso de Efluentes Tratados	44
1.6.1 Aplicação de Reúso de Água no mundo	45
1.6.1.1 Reúso de efluentes sanitários em Regiões Metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro.....	54
1.6.2 Legislação Nacional no contexto de reúso de águas	61
1.6.3 Legislação Internacional no contexto de reúso de águas.....	68
1.6.4 Parâmetros de qualidade da água para reúso em diversas aplicações	71
2. METODOLOGIA.....	74
2.1 Fluxograma metodológico da pesquisa	74
2.2 Identificação dos potenciais geradores de água de reúso	75
2.3 Caracterização de potenciais consumidores de água de reúso na área de estudo.....	79
2.3.1 Levantamento de outorgas de captação e estimativa de consumo dos potenciais consumidores de água de reúso	79
2.3.2 Geração de mapa georreferenciado de potenciais geradores e consumidores de água de reúso.....	82
2.4 Avaliação quantitativa de volume ofertado de efluente tratado e água de reúso das ETEs e demandado pelos potenciais consumidores.....	82
2.5 Avaliação qualitativa da qualidade do efluente tratado e da água de reúso das ETEs em estudo para fins não potáveis	83
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
3.1 Caracterização de potenciais geradores de água de reúso na RMRJ.....	87
3.2 Inventário de potenciais consumidores de água de reúso para fins não potáveis na RMRJ.....	88
3.3 Mapa georreferenciado de potenciais geradores e consumidores de água de reúso para fins não potáveis na RMRJ	89
3.3.1 Avaliação do volume ofertado e demandado considerando a localização das ETEs	92
3.4 Análise da qualidade do efluente tratado e da água de reúso para fins não potáveis	100
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
REFERÊNCIAS	118

INTRODUÇÃO

Problemática e justificativa

A utilização da água é um fator preponderante no processo de formação das cidades, bem como, no desenvolvimento socioeconômico da população em geral. À medida em que os centros urbanos crescem, a demanda hídrica aumenta (ONU, 2019). Segundo o Instituto Trata Brasil (2020), a demanda de água potável no Brasil pode aumentar quase 80% até 2040 diante de mudanças econômicas, demográficas e climáticas.

A poluição das principais fontes de água e a recorrente condição de escassez hídrica agravada pelos efeitos das mudanças climáticas como a que ocorreu em 2014 na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (CAMPOS, 2018) afetaram consideravelmente a disponibilidade hídrica de uma localidade que possui forte dependência de águas que se situam fora do seus limites territoriais (FORMIGA-JOHNSSON, 2015).

No início de 2020, a região metropolitana do Rio de Janeiro passou por uma das maiores crises de abastecimento de água de sua história, atingindo cerca de nove milhões de habitantes (EPSJV/FIOCRUZ, 2020).

Diante deste cenário, campanhas de racionalização e uso consciente da água se tornam imprescindíveis, bem como a utilização de fontes alternativas não convencionais, como a água de chuva e o reúso de água para usos menos nobres (OBRACZKA, 2017). Estas ações convergem com os fundamentos estabelecidos em instrumentos internacionais como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015), assim como, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, 1997) a fim de proporcionar o uso múltiplo das águas por meio da gestão dos recursos hídricos.

Especialmente nas últimas décadas, boa parte das áreas metropolitanas do país conviveu com situações de desabastecimento de água, ocasionados pela escassez hídrica associada a outros aspectos importantes como o consumo crescente e descontrolado de água e uma gestão ineficiente de recursos hídricos (OBRACZKA, 2019).

O reúso de efluentes sanitários já é uma prática corrente em vários países do mundo, principalmente naqueles onde se convive com situações de estresse hídrico, surgindo como uma oportunidade no seu enfrentamento e como alternativa de abastecimento e fonte de água (STEFLOVÁ, 2018).

No Brasil, o emprego de reúso de águas urbanas e industriais é muito restrito ao mundo corporativo. Grandes empreendedores, como Coca-Cola, BRASKEN, PETROBRAS e outros

polos industriais vem utilizando crescentemente o reúso de efluentes em seus processos industriais (OBRACZKA *et al.*, 2017).

Embora se tenha avançado em ações estruturais de implantação de sistemas de regeneração de águas urbanas, originadas de efluentes sanitários e industriais (NUVOLARI, 2011; SILVA *et al.*, 2016; HESPANHOL, 2015; GRAEDEL, 1994; GERTLER, 1995; EHRENFELD e GERTTLER, 1997; CHERTOW, 2004) e de águas pluviais no Brasil (TOMAZ, 2003; MAY, 2009; DORNELLES, TASSI e GOLDENFUM, 2010; MURAKAMI e MORUZZI, 2013; OHNUMA *et al.*, 2014), constata-se uma grande carência nos sistemas de planejamento urbano, quanto à diretrizes/incentivos para implementação do reúso.

No ambiente das operadoras dos sistemas públicos de saneamento, existem experiências em curso mais isoladas e pontuais em Estações de Tratamento de Água (ETA) e, especialmente, nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE). Em processos de reúso de água a partir dos efluentes sanitários nas ETEs, observa-se que o caso mais emblemático atualmente em operação no Brasil é o empreendimento AQUAPOLO em São Paulo, implantado em 2012, com uma vazão estimada atual de 650 L/s. O empreendimento AQUAPOLO consiste de uma parceria público privada (PPP) entre a BRK Ambiental e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Uma parcela do efluente secundário da estação de tratamento de esgotos do ABC é destinada ao AQUAPOLO, onde passa por um processo terciário e, posteriormente ao abastecimento do polo petroquímico do ABC (OLIVEIRA, 2017).

De acordo com Campos (2018), as principais ETE's da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) se encontram a grande distância dos principais pólos consumidores em potencial, os grandes distritos e condomínios industriais situados na região de Santa Cruz e arredores. Segundo Obraczka *et al.* (2017), um dos principais motivos da não implementação do projeto que abasteceria totalmente o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) com água de reúso proveniente da ETE Alegria, foi justamente os vultosos investimentos necessários para viabilizar o sistema adutor.

Na RMRJ, além de projetos concentrados nas empresas, o reúso de efluentes sanitários vem sendo implementado a partir de iniciativas pontuais da Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE), que disponibiliza uma parte do efluente tratado a nível secundário de ETEs, após filtração e cloração (SILVA JR, 2018). A Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB) utiliza o efluente tratado da ETE da Penha para lavagem de ruas, feiras e irrigação de canteiros públicos e outros usos não potáveis similares (ARAUJO *et al.*, 2016)). Há registros de utilização de águas de reúso da ETE Alegria nos canteiros das obras do Porto Maravilha e de grandes empreendimentos imobiliários no RJ,

bem como na limpeza e lavagem de equipamentos de escavação de túneis e valas (SANTOS et al., 2017).

As ações atuais são realizadas de maneira não planejada e não sistêmica, dificultando a implementação do reúso, mesmo em um cenário de insuficiência de abastecimento (SANTOS et al., 2018; OBRACZKA *et al.*, 2017). Estima-se que menos de 0,5% de todo efluente tratado na RMRJ é reutilizado (CAMPOS, 2018). Questões fundamentais, como a carência de uma cultura sobre reúso, bem como, de uma legislação adequada sobre o tema, também se apresentam como relevantes obstáculos à disseminação dessa prática em nossa realidade no Estado do Rio de Janeiro e no Brasil.

Objetivos Geral e Específicos

Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o potencial de reúso de água para fins não potáveis a partir do efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ).

Objetivos Específicos

- Caracterizar os potenciais geradores de água de reúso proveniente de ETEs na RMRJ.
- Caracterizar os potenciais consumidores de água de reúso para fins não potáveis, considerando a localização, a tipologia industrial e a demanda na área de estudo na RMRJ.
- Avaliar quantitativamente a oferta e demanda dos potenciais geradores e consumidores de água de reúso através de uma abordagem georreferenciada.
- Analisar a qualidade do efluente tratado e da água de reúso dos potenciais geradores comparando com limites estabelecidos na legislação/normatização e/ou aplicações específicas para fins não potáveis, especialmente, o reúso urbano e industrial.

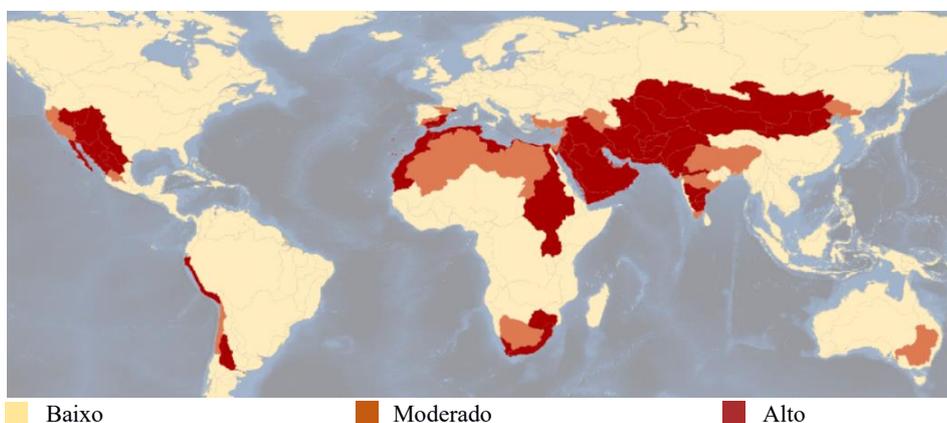
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Disponibilidade Hídrica no mundo

O crescimento populacional, combinado com a industrialização, mudanças no clima, urbanização e a intensificação da agricultura, tem provocado uma crise global no abastecimento de água, principalmente em grandes centros urbanos (OLIVEIRA, 2020; SANTOS *et al.*, 2020; ADHAM, *et al.*, 2019; MUSAYEV, *et al.*, 2018). Com aumento contínuo da demanda global, as projeções para 2050 representam um aumento de 20 a 30% acima do nível atual de uso da água, principalmente devido ao aumento da demanda nos setores industrial e doméstico (BUREK, *et al.*, 2016). Segundo a ONU (2019), mais de 2 bilhões de pessoas vivem em países com alto estresse hídrico. Cerca de 4 bilhões de pessoas, o que representa aproximadamente dois terços da população mundial, sofrem escassez severa de água durante pelo menos um mês do ano (HOEKSTRA *et al.*, 2016). Os níveis de estresse hídrico tendem a continuar aumentando, à medida que a demanda por água cresce e os efeitos das mudanças climáticas se intensificam.

O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (2019) fornece uma visão global de países com níveis diferentes de estresse hídrico (a proporção do total de água doce retirada anualmente por todos os principais setores, incluindo as necessidades ambientais de água, e a quantidade total de recursos renováveis de água doce, expressa em porcentagem). O crescente estresse hídrico indica uso substancial dos recursos hídricos, com maiores impactos na sustentabilidade dos recursos e um potencial crescente de conflitos entre os usuários (ONU, 2019). A Figura 1 apresenta os diferentes níveis de estresse hídrico por países no mundo.

Figura 1 – Níveis de estresse hídrico no mundo.



Fonte: Adaptado – FAO Aquastats, 2020.

Disponibilidade hídrica no Brasil

Com uma concentração de cerca de 12% de todas as reservas de água existentes no planeta, o Brasil é um dos países que possuem a maior disponibilidade de água doce do mundo (OLIVEIRA, 2020). Isso traz um aparente conforto, porém os recursos hídricos estão distribuídos de forma desigual no território, espacial e temporalmente. Esses fatores, somados aos usos intensivos da água pelas diferentes atividades econômicas nas bacias hidrográficas brasileiras e os problemas de qualidade de água decorrentes da poluição hídrica, exigem ações de gestão dos recursos hídricos cada vez mais efetivas (ANA, 2019).

A oferta de água é determinada pela dinâmica hídrica e socioeconômica das bacias, bem como das condições da qualidade da água. A disponibilidade é resultado das características da bacia hidrográfica e pode ser afetada pela presença de infraestrutura hídrica, poluição e eventos críticos relacionados ao clima (ANA, 2017). A Figura 2 ilustra as regiões hidrográficas do Brasil.

Figura 2 – Regiões Hidrográficas do Brasil.



Fonte: ANA, 2019.

Essa distribuição não é uniforme, pois há uma grande variação entre as diferentes regiões brasileiras e os períodos do ano (ANA, 2017). A região Norte, por exemplo, representa cerca de 83% da disponibilidade hídrica superficial do Brasil e reúne apenas 8,6% da população (ANA, 2017 e IBGE, 2017). Por outro lado, as cidades mais populosas e conseqüentemente com maiores demandas por água estão localizadas em outras regiões do Brasil. As cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte estão localizadas na região Sudeste e Brasília, na região Centro-Oeste. Porto Alegre e Curitiba, na região Sul e Salvador, Recife e Fortaleza estão localizadas na região Nordeste (MDIC, 2019).

Em média, cerca de 260.000 m³/s de água escoam pelo território brasileiro (ANA, 2018). Estima-se que a disponibilidade hídrica superficial no Brasil seja em torno de 78.600 m³/s ou 30% da vazão média, sendo que 65.617m³/s correspondem à contribuição da bacia amazônica (ANA, 2017). A disponibilidade hídrica apresentada é uma estimativa da quantidade de água ofertável aos mais diversos usos, que para fins de gestão, considera um determinado nível de garantia. Neste caso, a disponibilidade nos trechos de rio corresponde à vazão Q95 (vazão de permanência com ocorrência em 95% do tempo).

A Tabela 1 apresenta a disponibilidade hídrica, a população, a disponibilidade hídrica específica e nível de estresse hídrico superficial por região hidrográfica do Brasil.

Tabela 1 – Precipitação e Vazão Média e Disponibilidade Hídrica por Região Hidrográfica no Brasil.

Região Hidrográfica	Disponibilidade Hídrica (m ³ /s)	População (milhões de habitantes)	Disponibilidade Hídrica específica (m ³ /hab/ano)	Nível de estresse hídrico superficial (Índice de Falkenmark)
Amazônica	65.617	11 (5%)	191.000	Abundância
Tocantins-Araguaia	3.098	9 (4%)	11.000	Abundância
Paraguai	1.023	3 (2%)	10.000	Abundância
Uruguai	550	4 (2%)	4.000	Confortável
Atlântico Nordeste Ocidental	397	7 (3%)	2.000	Estresse Ocasional
Parnaíba	325	4 (2%)	2.000	Estresse Ocasional
São Francisco	875	16 (7%)	2.000	Estresse Ocasional
Paraná	4.390	66 (32%)	2.000	Estresse Ocasional
Atlântico Leste	271	17 (8%)	1.000	Escassez Crônica
Atlântico Sudeste	1.325	30 (15%)	1.000	Escassez Crônica
Atlântico Sul	513	14 (7%)	1.000	Escassez Crônica
Atlântico Nordeste Oriental	218	26 (13%)	260	Escassez Absoluta
Total da disponibilidade hídrica	78.602	-	-	-
Média da disponibilidade hídrica	6.550	-	-	-
Total da População	-	207	-	-

Fonte: Adaptado de Lima, 2018.

Observa-se que 87% da população brasileira vivem em regiões hidrográficas de estresse ocasional ou crônico e de escassez absoluta, enquanto, somente 13% dos brasileiros ocupam regiões hidrográficas com nível de estresse hídrico superficial de abundância ou confortável (LIMA, 2018).

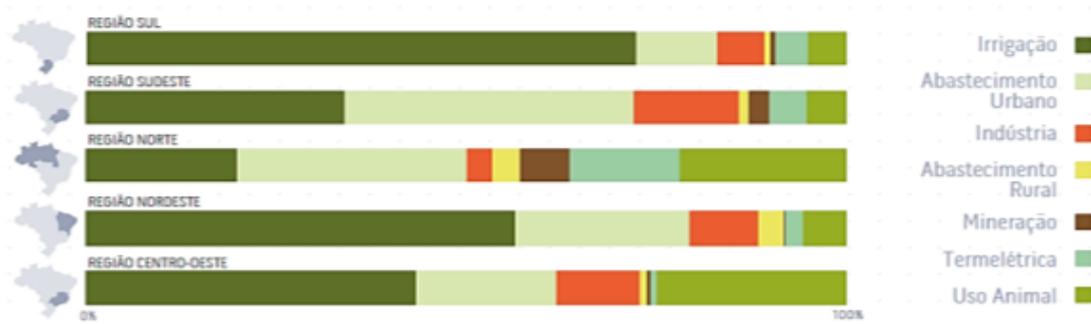
Além das questões de irregularidade na distribuição espacial, o regime fluvial sofre variações ao longo do ano, que estão estreitamente relacionadas ao regime de precipitações. Na maior parte do Brasil, a sazonalidade, com estações secas e chuvosas bem definidas, indica que ao final do período seco podem-se observar vazões muito abaixo da vazão média e, inclusive, ausência de água, definido por cursos d'água intermitentes ou efêmeros, especialmente na região do semi-árido brasileiro. Essa variabilidade das chuvas e vazões também é interanual, gerada pela ocorrência de anos mais secos e outros mais úmidos. Para manter uma maior garantia de água ao longo do tempo, é necessária a utilização de reservatórios ou açudes, capazes de reservar água nos períodos úmidos para ofertar nos períodos mais secos (OLIVEIRA, 2020).

A disponibilidade hídrica pode ser, então, entendida como uma vazão de alta garantia no tempo, ou seja, uma vazão que estará acessível na grande maioria do tempo, mesmo em períodos secos. Com base numa garantia de 95% e excluindo a contribuição da bacia amazônica, a disponibilidade hídrica no Brasil é estimada em torno de 12.000 m³/s ou 22% da vazão média (ANA, 2019).

No semiárido, por exemplo, na maioria dos rios só é possível garantir uma oferta contínua de água com o uso de açudes/reservatórios, uma vez que esses rios naturalmente secam durante os meses de estiagem. Em outras regiões, os reservatórios são utilizados para aumentar a garantia de atendimento às demandas contínuas, como, por exemplo, o abastecimento humano. A recuperação dos volumes desses reservatórios, no entanto, depende do aporte de água dos rios nos períodos úmidos, que, por sua vez, depende prioritariamente do regime pluviométrico (ANA, 2019).

O crescimento das demandas hídricas no Brasil, a partir do aumento da população e das atividades econômicas intensivas em uso de água, contribui para aumento do *stress* hídrico, com o passar dos anos. As regiões mais críticas são a Região Sudeste, onde se destaca o uso da água para abastecimento humano, irrigação e na indústria, e a Região Sul, onde é expressiva a retirada de água para irrigação de grandes lavouras de arroz pelo método de inundação. A Região Nordeste apresenta demanda considerável em relação à sua disponibilidade hídrica (OLIVEIRA, 2020). Essas informações são apresentadas na Figura 3.

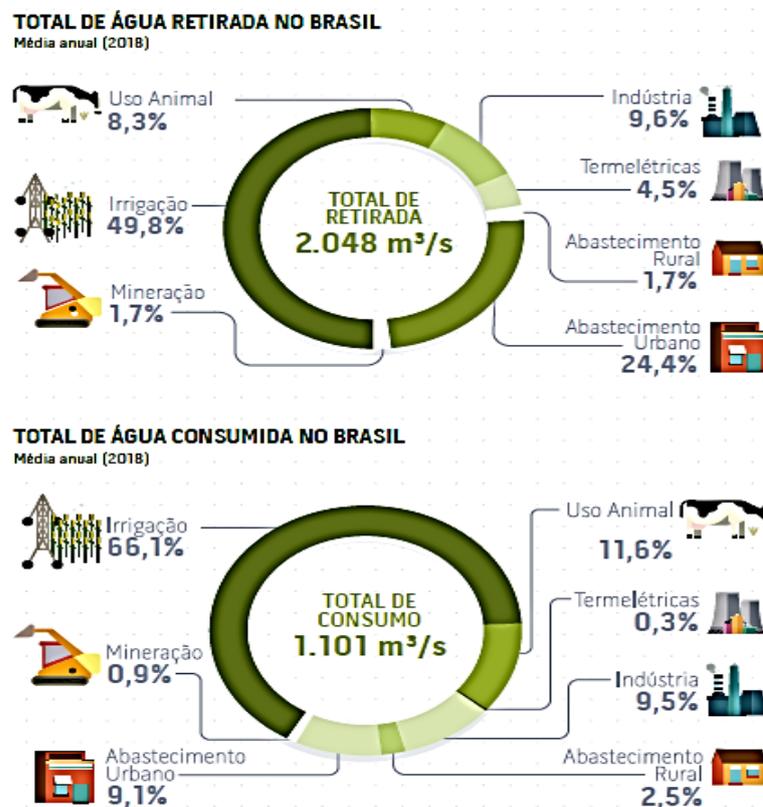
Figura 3 - Demanda de água por região geográfica no Brasil.



Fonte: ANA, 2019.

Segundo dados de estudos setoriais e cadastros de usuários atualizados, conforme a Figura 4, anualmente pela Agência Nacional de Águas (ANA), a água é utilizada no Brasil principalmente para irrigação, abastecimento humano e animal, indústria, geração de energia e mineração. O total de água retirada na média anual é de 2.048 m³/s e o consumido é de 1.101 m³/s (ANA, 2019).

Figura 4 – Total de água retirada e consumida no Brasil – Média anual (%).



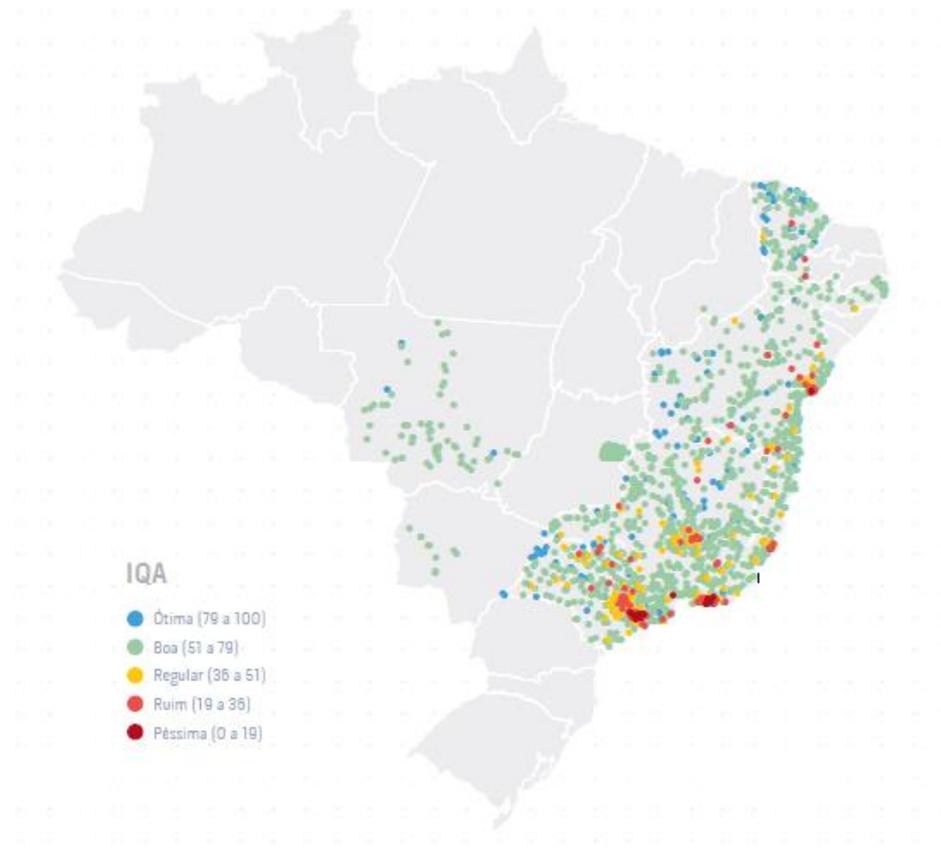
Fonte: ANA, 2019.

Em termos de qualidade das águas, a Agência Nacional de Águas (ANA) adota o Índice de Qualidade das Águas (IQA) composto por nove parâmetros utilizados em avaliações de qualidade de água: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez.

Vários fatores podem contribuir para a melhoria da qualidade da água. Os avanços no controle da poluição hídrica, notadamente por meio do tratamento de esgotos, e o aperfeiçoamento do controle da poluição industrial e das práticas agrícolas, têm acentuada influência sobre a melhora no IQA. Variáveis climáticas, tais como mudanças prolongadas no regime de chuvas e no escoamento superficial, também têm o potencial de afetar a evolução do indicador, para melhor ou para pior (ANA, 2019).

Conforme a Figura 5, pode-se observar que Regiões Metropolitanas, como São Paulo e Rio de Janeiro, apresentam IQA péssimo (0 a 19).

Figura 5 – Pontos de Índice de Qualidade da Água (IQA) no Brasil.



Fonte: ANA, 2019.

Uso da água na Indústria

Na estimativa nacional de usos consuntivos da água, a indústria de transformação representa o terceiro maior uso, atrás do abastecimento humano urbano e da agricultura irrigada (ANA, 2017).

A configuração do setor industrial apresenta disparidade regional uma vez que as indústrias encontram-se irregularmente distribuídas no território nacional. Desta maneira, configuram-se áreas onde a atividade industrial é extremamente concentrada e intensificada em conjunto com bolsões onde a atividade industrial é praticamente inexistente (ANA, 2017).

A maior concentração de indústrias no Brasil está no Sudeste, sobretudo em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, onde há parques industriais modernos e diversificados, com destaque à indústria química e automobilística. No Sul, destacam-se as agroindústrias que focam no beneficiamento e transformação de produtos primários. O perfil da atividade industrial na região Nordeste é vinculado à produção têxtil e ao setor sucroenergético. Norte e Centro-Oeste possuem menor concentração industrial, com maior relevância para as agroindústrias (ANA, 2017).

Nacionalmente os setores mais expressivos, com 60% do valor da produção industrial total são: alimentos e bebidas (21%), derivados de petróleo e biocombustíveis (11%), químicos (10%), veículos automotores (9%) e metalurgia (6%) (ANA, 2017).

A demanda de água na indústria reflete o tipo de produto ou serviço produzido e os processos industriais associados. A intensidade do uso da água depende de fatores, como, o tipo de processo e de produtos, tecnologias empregadas, boas práticas e maturidade da gestão (ANA, 2017).

O uso em torres de resfriamento, a qual pode ser atendida por água de qualidade não potável, é representativo em diversos segmentos industriais, responsável por até 95% da demanda por água em uma planta, a depender da atividade (CNI, 2017)

A distribuição típica de consumo de água pelo mundo, de acordo com a atividade industrial, segundo Van Der Leeden, Troise e Todd (1990 apud MIERZWA; HESPANHOL, 2005) é expressa na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição de consumo de água de acordo com a atividade industrial pelo mundo (%).

Indústria	Distribuição de consumo de água (%)		
	Resfriamento sem contato	Processos e atividades fins	Uso sanitário e outros
Laticínios	53	27	20
Bebidas Maltadas	72	13	15
Têxtil	57	37	6
Celulose e Papel	18	80	2
Produtos Químicos Inorgânicos	83	16	1
Fibras de celuloses sintéticas	69	30	1
Produtos Químicos Orgânicos	91	9	*
Refinaria de Petróleo	95	5	*
Cimento	82	17	1
Aço	56	43	1
Fundição de ferro e aço	34	58	8
Automóveis	28	69	3

Nota: * valores inferiores a 0,5%

Fonte: adaptado de Van Der Leeden, Troise e Todd (1990 apud Mierzwa; Hespanhol, 2005)

Muitos processos produtivos exigem um controle maior nos parâmetros físico-químicos da água, de modo a prevenir riscos adicionais ao processo produtivo. A Tabela 3 apresenta dados sobre requisitos da água para aplicações industriais.

Tabela 3 – Requisitos de qualidade para a água de uso industrial recomendados em mg/L, exceto para pH e cor, expressos em unidades.

Parâmetro	Tipo de Indústria						
	Polpa mecânica	Papel e celulose		Química	Carvão e Petróleo	Têxtil	Cimento
Polpa Química parda		Polpa Química branqueada					
Cobre	-	-	-	-	0,05	0,01	-
Ferro	0,3	1,0	0,1	0,1	1,0	0,1	2,5
Manganês	0,1	0,5	0,05	0,1		0,01	0,5
Cálcio	-	-	20	68	75	-	-
Magnésio	-	12	12	19	30	-	-
Cloreto	1000	200	200	500	300	-	250
Bicarbonato	-	-	-	128	-	-	-
Nitrato	-	-	-	5	-	-	-
Sulfato	-	-	-	100	-	-	-

Parâmetro	Tipo de Indústria						
	Papel e celulose			Química	Carvão e Petróleo	Têxtil	Cimento
Polpa mecânica	Polpa Química parda	Polpa Química branqueada					
Sílica	-	50	50	50	-	-	-
Dureza	-	100	100	250	350	25	35
Alcalinidade	-	-	-	-	125	-	400
SDT	-	-	-	1000	1000	100	600
SST	-	10	10	5	10	5	500
Cor	30	30	10	20	-	5	-
pH	6-10	6-10	6-10	6,2-8,3	6-9	-	6,5-8,5

Fonte: Crook, 1996 (Apud Mierzwa, Hespagnol, 2005)

1.2 Gestão de Recursos Hídricos no Brasil

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída nacionalmente pela Lei Federal nº 9.433/1997, se baseia no atendimento aos usos múltiplos das águas e na gestão por bacias hidrográficas, tendo como um de seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”. O desafio para alcançar esse objetivo tem se apresentado de forma mais premente nas cidades e regiões metropolitanas, onde se verifica uma crescente complexidade para garantir o abastecimento de água às populações urbanas (ANA, 2019).

A sucessão de eventos críticos dos últimos anos, no Brasil e no mundo, tem evidenciado a importância do sistema de gestão de recursos hídricos e a necessidade de investimentos em infraestrutura para garantir a oferta hídrica necessária para o desenvolvimento social e econômico do país (ANA e SNSA/MCidades, 2017).

A interface da gestão de recursos hídricos, com o saneamento nas cidades, no entanto, não se esgota com a garantia do abastecimento de água em quantidade. Na perspectiva das diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos também devem ser considerados os demais componentes do saneamento, em especial aqueles relacionados ao controle da poluição hídrica. A integração entre as políticas, portanto, é essencial para que os objetivos de ambas sejam alcançados (ANA e SNSA/MCidades, 2017).

O novo Marco do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) estabelece como meta alcançar a universalização até 2033, garantindo que 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% à coleta e ao tratamento de esgoto. Além disso, acrescenta à Agência Nacional

de Águas e Saneamento Básico, a competência pela edição das normas de referência para regulação da prestação dos serviços públicos de saneamento básico.

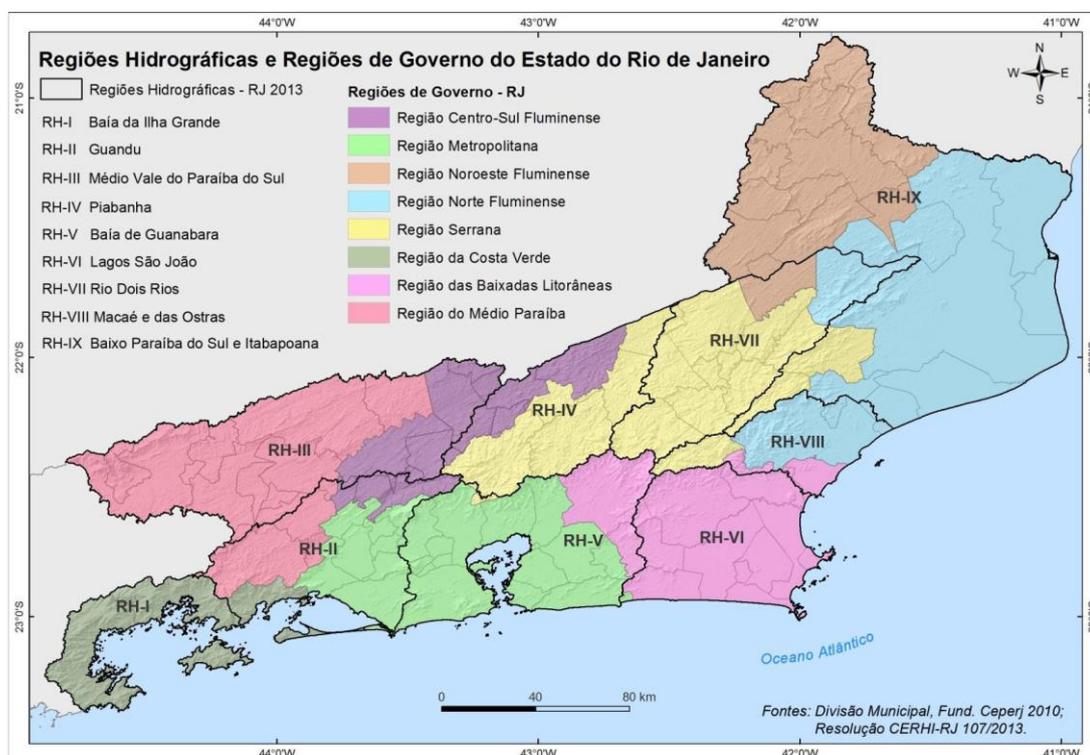
Este novo marco legal abre espaço para os contratos de concessão, possibilita a composição de blocos de municípios que poderão contratar os serviços de saneamento de forma coletiva, bem como, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico (Brasil, 2020).

A múltipla combinação de fatores, peculiares a cada espaço geográfico, que envolvem aspectos fisiográficos, institucionais, socioculturais e econômicos, exige esforços analíticos e metodológicos importantes para o enfrentamento da questão de saneamento, com foco na proteção dos recursos hídricos (ANA e SNSA/MCidades, 2017).

1.2.1 Recursos Hídricos nas Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro

A Resolução nº 107/2013 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI-RJ) divide o estado do Rio de Janeiro em nove Regiões Hidrográficas, conforme Figura 11, cujos nomes indicam as principais bacias hidrográficas.

Figura 6 – Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: PERHI, 2014.

A população também é majoritariamente urbana em todas as Regiões Hidrográficas (superior a 80%) e na RH V (Baía de Guanabara), que abrange a capital e a maior parte da Região Metropolitana, residem 66% da população urbana do estado, conforme apresenta a Tabela 4.

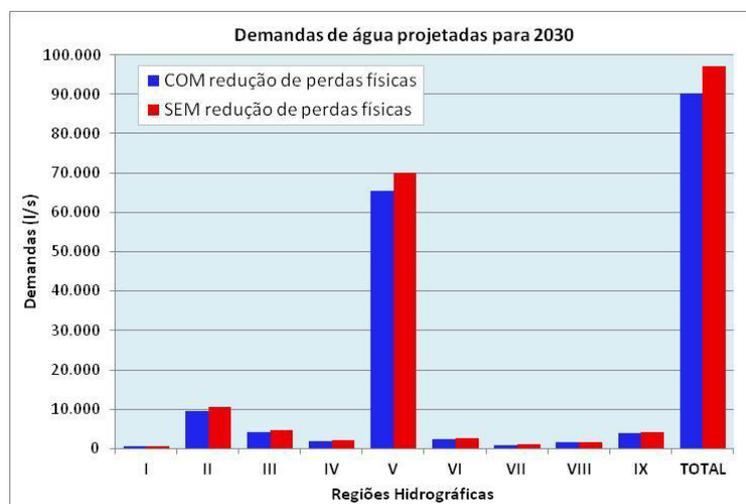
Tabela 4 – População Residente nas Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.

Região Hidrográfica	Nome	Urbana	Rural
I	Baía da Ilha Grande	193.868 (1,3%)	15.667 (2,9%)
II	Guandu	1.831.206 (11,9%)	44.805 (8,7%)
III	Médio Paraíba do Sul	926.107 (6,0%)	52.916 (9,9%)
IV	Piabanha	436.992 (2,8%)	66.980 (12,9%)
V	Baía de Guanabara	10.143.250 (65,9%)	42.840 (8,3%)
VI	Lagos São João	555.765 (3,6%)	81.034 (15,5%)
VII	Rio Dois Rios	269.462 (1,7%)	57.192 (10,9%)
VIII	Macaé e das Ostras	275.957 (1,8%)	16.081 (3,3%)
IX	Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana	768.669 (5,0%)	145.149 (27,6%)
TOTAL		15.401.276	552.664

Fonte: PERHI, 2014.

A Figura 7 resume as demandas projetadas para o ano 2030 na RMRJ, considerando a possibilidade de redução das perdas físicas (perdas estimadas nos sistemas de captação, tratamento e distribuição de água) ao patamar viável de 30%.

Figura 7 – Demandas de água projetadas para 2030 na RMRJ.



Fonte: PERHI, 2014.

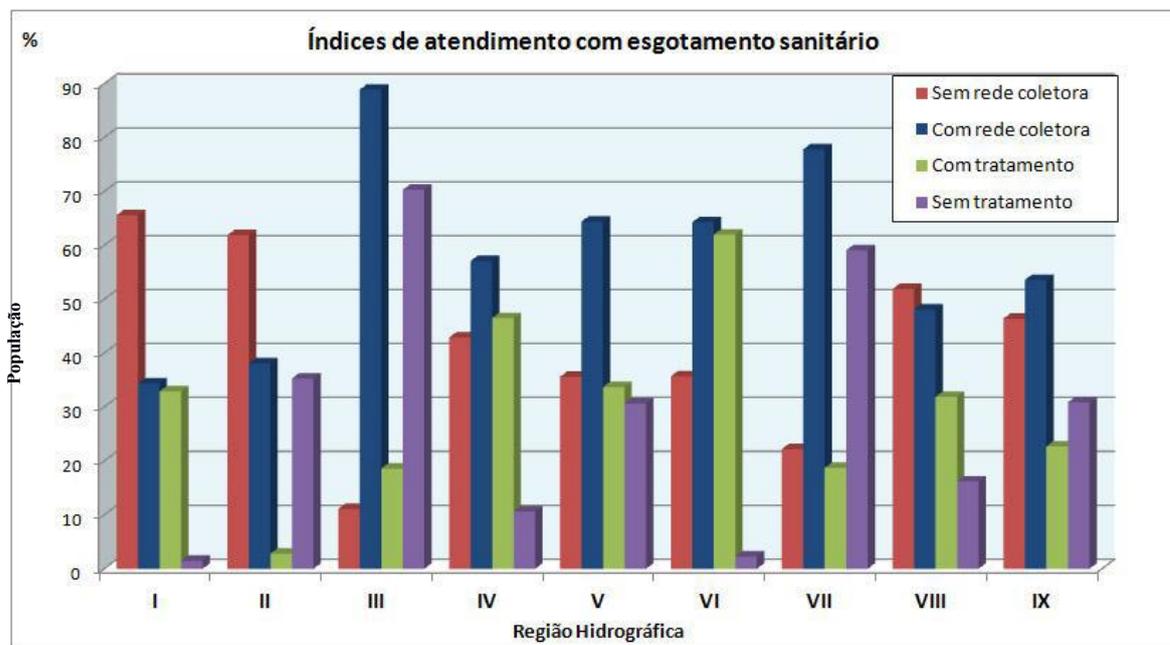
A maior parte da demanda está na RH-V (Baía de Guanabara), onde reside a maioria da população das sedes municipais. A segunda maior demanda, na RH-II (Guandu), reflete o crescente aumento de população urbana dos municípios que fazem parte da Região Metropolitana.

Em termos de sistema de esgotamento sanitário, de acordo com os dados levantados para o PERHI-RJ, a maior parte das Regiões Hidrográficas tem mais de 50% da população atendida com rede coletora de esgotos. As melhores condições de cobertura de rede coletora estão na RH-III (Médio Paraíba do Sul), com 89%, e na RH-VII (Rio Dois Rios), com 78%. As piores estão na RH-I (Baía da Ilha Grande), com 34%, e na RH-II (Guandu), com 38% de atendimento.

Conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (2014), de modo geral, devido à grande população e densidade urbana, com tratamento de esgotos insuficiente, a Região Hidrográfica-V, onde se localiza a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, apresenta parâmetros acima dos limites de enquadramento de corpos hídricos de Classe 2 como: coliformes fecais, fósforo total, DBO, OD e manganês.

A Figura 8 mostra que, apesar de 89% da população da RH-III e 78% da RH-VII terem rede coletora, menos de 20% do esgoto coletado nessas regiões é tratado.

Figura 8 – Índice de Atendimento de Esgotamento Sanitário nas regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.



Fonte: PERHI, 2014.

O melhor índice de tratamento se observa na RH-VI (Lagos São João), com tratamento de 62% do esgoto coletado. O segundo melhor está na RH-IV (Piabanha), com 46,5%.

Entre as duas piores regiões quanto à coleta de esgoto (RH I e II), na RH-II, onde se localiza o principal manancial para captação de água para abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a maior parte do esgoto coletado não é tratado (PERHI, 2014).

A crise hídrica, no geral, tem sido provocada pela degradação da qualidade da água do rio Guandu, causada pelo aumento de despejos de efluentes domésticos e industriais (PAIVA, *et al.*, 2020, EMPINOTTI, *et al.*, 2019).

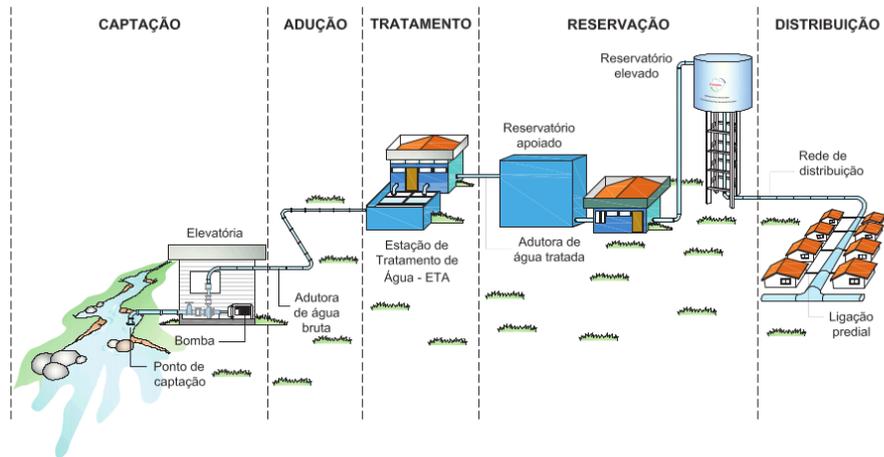
Segundo a CEDAE, foi observada a presença da substância Geosmina em amostras de água do sistema de abastecimento do Guandu. A Geosmina é uma substância orgânica produzida por algas. O fenômeno natural e raro de aumento de algas em mananciais, em função de variações de temperatura, luminosidade e índice pluviométrico, causa o aumento da presença deste composto orgânico, levando a água a apresentar "gosto e cheiro de terra". Casos semelhantes ocorreram no Rio de Janeiro em 2002; em São Paulo, em 2008, e em municípios dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Sul em 2018 (CEDAE, 2020).

1.3 Sistemas de Abastecimento de Água na RMRJ

O sistema de abastecimento de água (SAA) caracteriza-se pela retirada da água de um manancial, adequação da qualidade desta água a fim de torná-la potável para consumo humano e o transporte da água tratada para população. Geralmente o SAA é composto por: manancial, captação, adução, tratamento, reservação, rede de distribuição, estações elevatórias e ramal predial (FUNASA, 2015). A Figura 9 apresenta as unidades de um sistema de abastecimento de água típico.

Um sistema de abastecimento de água pode ser considerado isolado ou integrado. O sistema isolado atende somente um município e é captado em um único manancial. O integrado é captado em mais de um manancial e pode atender um ou mais municípios. O tipo de sistema a ser adotado depende da capacidade de abastecimento do manancial e da demanda de consumo da população atendida (CRUZ, 2018). Segundo a ANA (2010), nas grandes cidades cerca de 70% dos municípios atendidos são abastecidos predominantemente por manancial superficial. Destes, 43% estão ligados ao sistema integrado, representado 80% das demandas de água pela população. Esta estrutura pode variar dependendo da localidade onde sistema será implantado ou até mesmo do tipo de tratamento empregado.

Figura 9 - Unidades de um típico sistema de abastecimento de água.



Fonte: FUNASA, 2015.

No Estado do Rio de Janeiro (ERJ), cerca de 67% das sedes urbanas possuem sistema isolado de abastecimento. Já os 33% restantes das sedes que possuem sistema integrado atendem a maioria da população. Conforme apontado pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI, 2014), 83% da população metropolitana, ou 9,4 milhões de pessoas, são abastecidas pelo Sistema Integrado Guandu/Lajes/Acari.

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro é composta pelos Municípios do Rio de Janeiro, Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Japeri, Magé, Maricá, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica, Tanguá, Itaguaí, Rio Bonito e Cachoeiras de Macacu.

A Tabela 5 apresenta os sistemas de abastecimento de água da RMRJ, informando seus principais mananciais e sedes urbanas atendidas.

Tabela 5 – Sistemas de Abastecimento de Água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Nº	Sistema Produtor	Principais Mananciais	Sedes Urbanas Atendidas
I	Integrado Acari	Nascentes das serras da Bandeira, do Tinguá, do Macuco e do Couto	Belford Roxo, Duque de Caxias, Nova Iguaçu
II	Integrado Guandu	Rio Paraíba do Sul e Pirai (transposição) e Guandu	Beldord Roxo, Duque de Caxias, Japeri, Mesquita, Nilópolis, Nova Iguaçu, Queimados, Rio de Janeiro, São João de Meriti
III	Integrado Imunana-Laranjal	Rios Macuco e Guapiaçu	Itaboraí (apenas água bruta), Niterói, Rio de Janeiro (bairro de Ilha de Paquetá), São Gonçalo
IV	Integrado Ribeirão das Lajes	Ribeirão das Lajes, da bacia do rio Pirai	Itaguaí, Japeri, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, Rio de Janeiro, Seropédica
V	Isolados	Mananciais Superficiais / Mistos	Guapimirim, Magé, Tanguá

Fonte: CRUZ, 2018.

Sistema Produtor Integrado Guandu

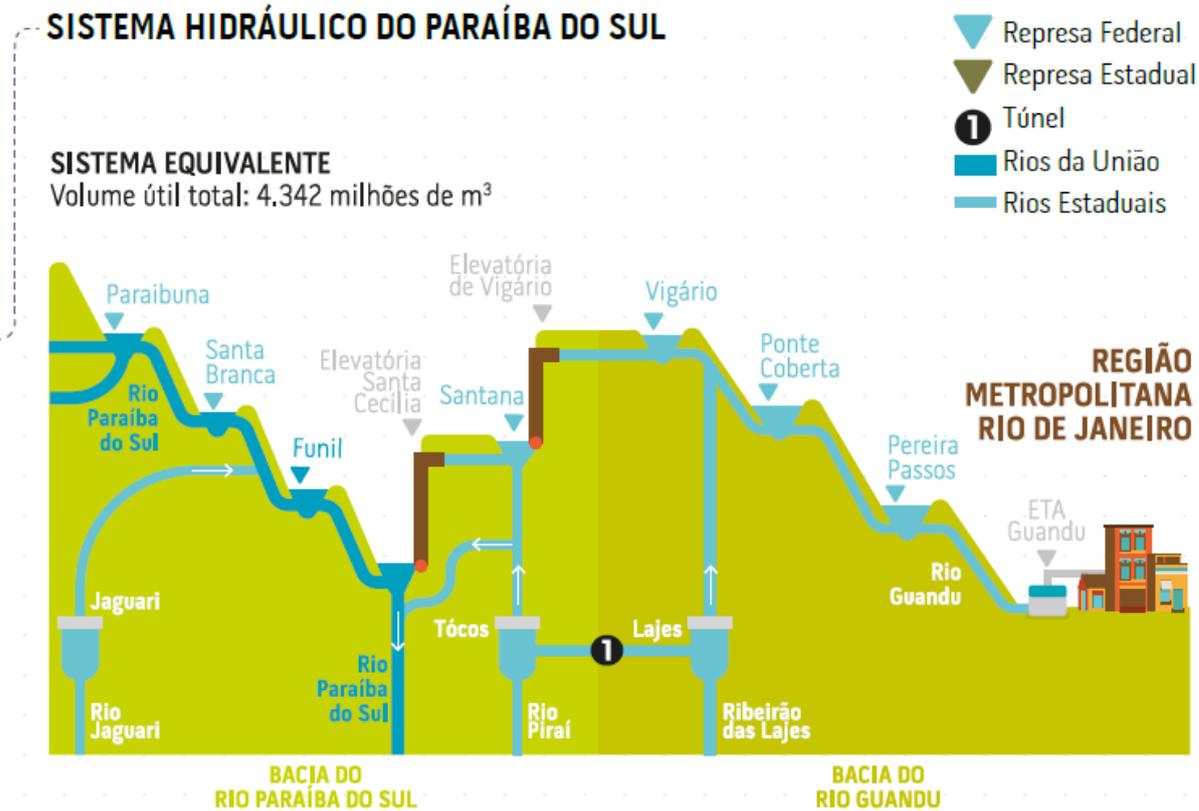
Com capacidade instalada de 45 m³/s, a Estação de Tratamento de Água (ETA) do Guandu, a maior em operação no mundo (WRI, 2018), é responsável pelo abastecimento de cerca de 70% da população e oito municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ, incluindo o município sede do Estado.

O rio Guandu, de pequeno porte em condições naturais, se tornou caudaloso após a transposição das águas dos rios Paraíba do Sul e Pirai, na década de 1950, com o objetivo de produzir energia elétrica e para uso industrial, que proporciona um aumento de mais de sete vezes da vazão média original do rio Guandu (de 25 m³/s para 181 m³/s).

Grande parte dessa vazão é captada para tratamento na ETA GUANDU, e posteriormente aduzida para a RMRJ (CBH GUANDU, 2015; CEDAE, 2017).

A Figura 10 apresenta um esquema ilustrativo hidráulico de transposição do rio Paraíba do Sul até a bacia do rio Guandu, onde há a captação de água bruta na Estação de Tratamento de Água do Guandu, abastecendo a maior parte da população metropolitana.

Figura 10 – Esquema da transposição da bacia do rio Paraíba do Sul para bacia do rio Guandu



Fonte: ANA, 2017.

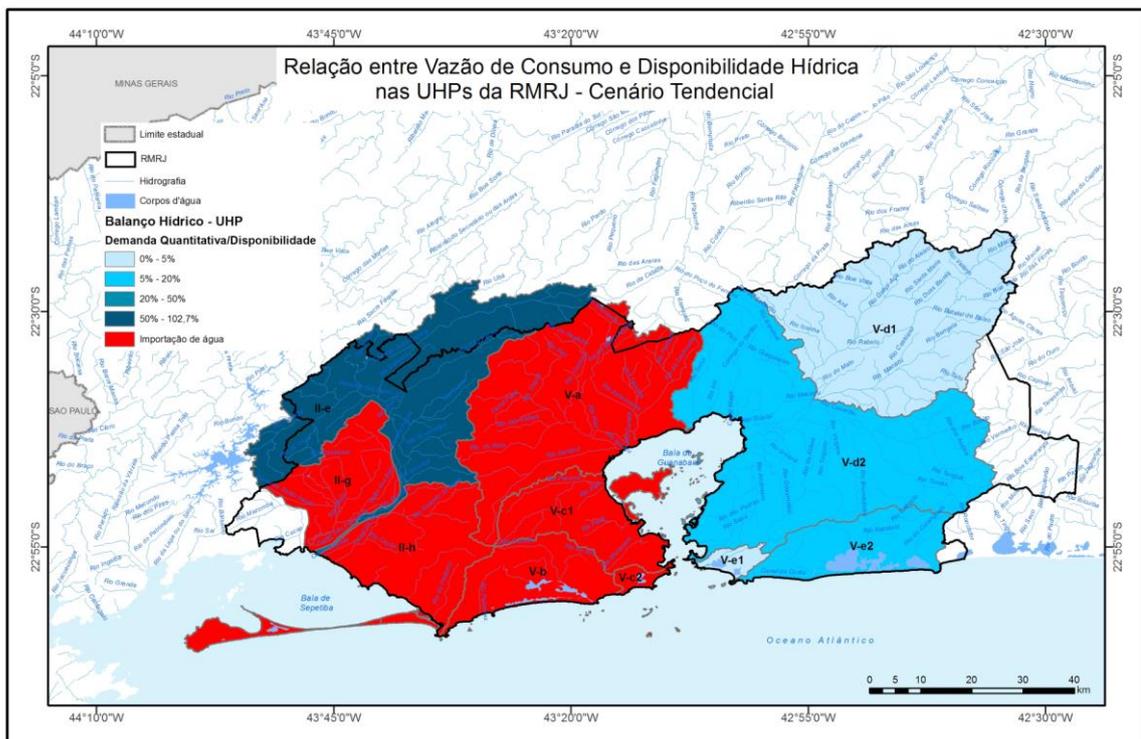
De acordo com Oliveira (2016), considerando somente os trechos da transposição desde o município de Pirai até a ETA Guandu (água bruta) e posteriormente da ETA até o centro do município (água tratada, Sistema Lameirão), são necessárias: a) no 1º trecho, duas elevatórias com 22 grupos moto-bombas de 700 e 900 HP recalçando por meio de cinco adutoras (4 adutoras com diâmetros de 2,5 m e uma de 2,1 m, com extensão de 3,2 km); b) no 2º trecho (Sistema Lameirão), 11 quilômetros de túnel pressurizado da ETA até Elevatória, incluindo 5 bombas de 9.000 e 2 de 4.500 HP, além de um Túnel-canal com seção de 3,50 m x 3,00 m e 35 quilômetros de extensão, ligando a elevatória (Santíssimo) ao reservatório dos Macacos (Jardim Botânico).

O porte/extensão do sistema necessário para captação, transporte, tratamento e distribuição dessa vazão de água implica no favorecimento de maiores perdas como também em elevados custos de implantação, operação e manutenção do sistema. O consumo de energia

somente do Lameirão é de 21.000 MWh, correspondendo a um custo de energia elétrica de R\$ 3,5 milhões/mês (OLIVEIRA, 2016).

A metrópole do Rio de Janeiro caracteriza-se pela forte dependência de mananciais que se situam fora dos limites metropolitanos (FORMIGA-JOHNSON, 2015). A disponibilidade de água em quantidade ou qualidade no seu próprio território não é suficiente para atender à demanda crescente dos seus municípios, conforme Figura 11.

Figura 11 – Relação entre vazão de consumo e disponibilidade hídrica na RMRJ.



Fonte: Integral de Engenharia Ltda/FIRJAN (elaborada a partir dos dados do PERHI, 2014).

Estudos recentes sobre as condições na bacia do rio Guandu (PERHI-RJ, 2014) apontam elevado grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para o atendimento das demandas futuras da RMRJ. Devido à baixa resiliência do rio Paraíba do Sul aos eventos de seca, os reservatórios devem ser operados com o objetivo principal de garantir estoques de água para suprir o abastecimento público (CARNEIRO, 2015).

A forte dependência da Bacia do rio Paraíba do Sul aliada ao aumento populacional característico das grandes metrópoles permite afirmar que existe uma clara vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água na porção oeste da RMRJ o que motiva a busca por fontes hídricas alternativas.

Hidrologicamente, o potencial disponível para o uso da água no estado do RJ é de 30 km³/ano, com uma disponibilidade per capita de cerca de 2,2 mil m³/ano (SETTI *et al.*, 2000).

A disponibilidade hídrica é prejudicada e torna-se ainda mais deficitária à medida que são observadas condições hidrometeorológicas extremas ou anormais, como as observadas no período hidrológico entre os anos 2014 e 2015 (BALASSIANO, 2018).

A Figura 12 apresenta a relação entre a vazão anual e média no rio Paraíba do Sul. Observa-se que nos anos de 2014 e 2015, a bacia do rio Paraíba do Sul experimentou uma severa estiagem o que afetou substancialmente a oferta hídrica do rio Paraíba do Sul e consequentemente as águas transpostas ao rio Guandu.

Figura 12 – Vazão Anual em relação à média no rio Paraíba do Sul.



Fonte: ANA, 2017.

Dados dos últimos 10 anos do Sistema Alerta Rio informam redução de até 55% do volume de chuvas obtido no ano de 2014 (ALERTA RIO, 2015). Segundo o Boletim de Monitoramento (ANA, 2015), cujas informações auxiliam na tomada de decisões para garantir os usos múltiplos dos recursos hídricos para RMRJ, o final do ano 2014 apresentou 2,6% do volume útil observado no reservatório equivalente, correspondendo a uma situação extremamente emergencial.

O resultado foi a incapacidade dos volumes mínimos armazenados de atender os usos múltiplos dos recursos hídricos, especialmente aonde a demanda é alta, como nos casos da região metropolitana do RJ.

Além da vulnerabilidade na disponibilidade hídrica do rio Paraíba do Sul, deve ser considerada a qualidade da água do principal manancial, tendo em vista a poluição dos afluentes do rio Guandu.

A seguir são discutidas uma das principais formas de propiciar a redução da poluição dos corpos hídricos.

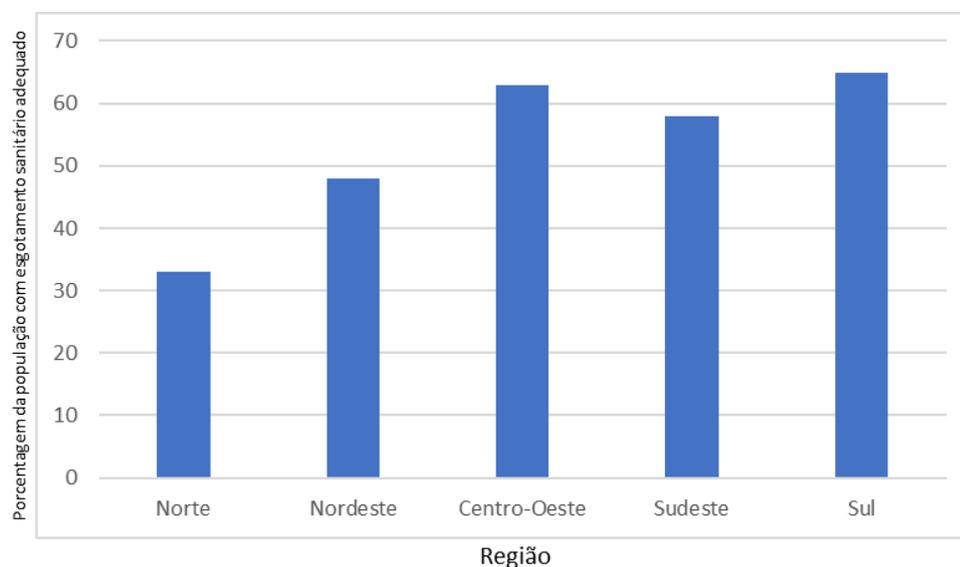
1.4 Sistemas de Esgotamento Sanitário na RMRJ

O esgotamento sanitário é um dos serviços de saneamento que mais necessitam de análises e propostas para o encaminhamento de soluções, principalmente quando relacionado à gestão dos recursos hídricos. O déficit de coleta e tratamento de esgotos nas cidades brasileiras tem resultado em uma parcela significativa de carga poluidora aos corpos d'água, causando implicações negativas aos usos múltiplos dos recursos hídricos (ANA e SNSA/MCidades, 2017).

O déficit de atendimento dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil tem resultado em parcela significativa de esgotos sem tratamento e sem destinação adequada, por vezes dispostos diretamente nos corpos d'água, comprometendo a qualidade das águas para diversos usos, com implicações danosas à saúde pública e ao equilíbrio do meio ambiente (ANA e SNSA/MCidades, 2017).

Parte da população brasileira é provida de esgotamento sanitário adequado, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Parcela da população do Brasil, por região, com esgotamento sanitário adequado (%).



Fonte: Adaptado Atlas Esgotos, 2017.

No Brasil, 43% da população possui esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de fossa séptica (solução individual), ou seja, 55% possuem tratamento considerado adequado; 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento

precário; e 27% não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviço de coleta sanitário (ANA e SNSA/MCidades, 2017).

Na história do estado do Rio de Janeiro é observado um foco de investimentos no setor de abastecimento de água maior do que os investimentos em sistemas de esgotamento municipais (UMCES, 2016).

Grande parte da população urbana e rural, principalmente das periferias e favelas, não são cobertas pelos serviços de esgotamento sanitário. A população de baixa renda na região metropolitana do Rio de Janeiro é estimada em 4 milhões de habitantes que não são adequadamente servidas pelo sistema de esgotamento. Com a falta dos serviços de esgotamento sanitário adequado, a população que vive em condições precárias adversas encontra-se mais exposta diretamente às doenças de veiculação hídrica (COELHO, 2007).

Desde a década de 1970, o desenvolvimento de infra-estrutura para adequar o esgotamento sanitário não acompanhou o crescimento urbano na bacia onde está inserida a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (LIMA, 2006). Algumas obras de saneamento conduzidas não foram suficientes para prevenir a crescente deterioração dos corpos d'água e do próprio espelho d'água da Baía de Guanabara. Entre essas obras, destacam-se a construção das estações de tratamento de esgotos (ETE) de Icarai e da Ilha do Governador, a recuperação da ETE Penha e a construção do emissário submarino de Ipanema nos anos 70 (UMCES, 2016).

Na década de 1980 nenhuma grande obra de saneamento foi observada na região da Baía de Guanabara. Já na década de 90 o governo do Rio de Janeiro assegurou recursos com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e com o Banco Japonês de Cooperação Internacional (JBIC) para desenvolver o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG), com o objetivo primário de atender os principais problemas de saneamento da região. Devido à restrição orçamentária as obras de construção e melhoria das estações de tratamento de esgoto foram priorizadas (LIMA, 2006).

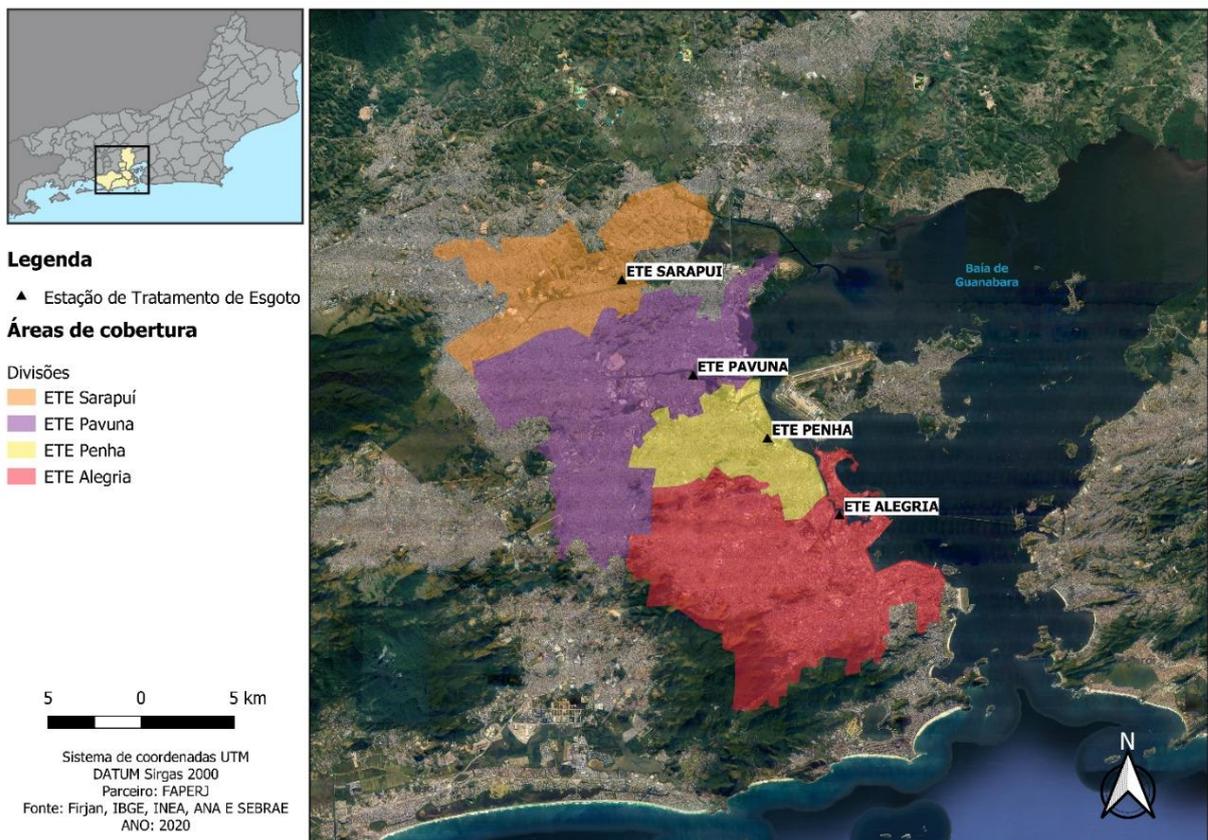
O sistema de esgotamento no Rio de Janeiro e suas redondezas é caracterizado por sistemas antigos, principalmente no que diz respeito à rede de coleta, construídos em regiões que no passado possuíam habitações abrigando poucas famílias. As capacidades destes sistemas com tubulações de diâmetros pequenos começaram a ser ultrapassadas a medida que a região sofreu com a generalizada verticalização das áreas urbanizadas, com a construção de prédios com várias unidades e apartamentos (UMCES, 2016). A impossibilidade de atender o crescente fluxo de esgotos de um contingente populacional superior à população do período anterior que as redes foram dimensionadas, fez-se necessária a construção de conexões de extravasamento

destes sistemas para as galerias de drenagem pluvial e para os canais e rios das bacias de esgotamento (COELHO, 2007).

Atualmente, entre as principais estações de tratamento de esgotos na região da bacia da Baía de Guanabara, operadas pelo estado do Rio de Janeiro pela Companhia Estadual de Esgotos e Água (CEDAE), destacam-se: ETE Alegria, ETE Pavuna, ETE Penha, ETE São Gonçalo, ETE Sarapuí e ETE Ilha do Governador. Há também outras ETEs com capacidades menores operadas pelos municípios.

As estações de tratamento de esgotos Sarapuí, Pavuna, Penha e Alegria, bem como, suas áreas de cobertura bastante representativas na RMRJ podem ser observadas na Figura 14.

Figura 14 – Localização de principais ETEs na RMRJ e respectivas áreas de cobertura.



Fonte: Adaptado de Bielschowsky, 2014.

1.4.1 Atuação das Concessionárias na cidade do Rio de Janeiro

Até 1975, antes da fusão dos antigos Estados da Guanabara e do Rio de Janeiro, a cidade do Rio de Janeiro era abastecida de água e tinha seus esgotos recolhidos e tratados respectivamente pelas autarquias estaduais Empresa de Águas do Estado da Guanabara – Cedag e Empresa de Saneamento da Guanabara – Esag (CEDAE, 2020).

Com a fusão, a Cedag e Esag foi juntada a Companhia de Saneamento do Estado do Rio de Janeiro - Sanerj, esta do antigo Estado do Rio de Janeiro, surgindo a Companhia Estadual de Águas e Esgotos - CEDAE, empresa que deu prosseguimento, por sucessão, aos serviços prestados pela Cedag e Esag (CEDAE, 2020).

Após a promulgação da Constituição de 1988, a Lei Orgânica do Município do Rio de Janeiro avoca a competência de organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário e cita que essa competência será exercida por ele diretamente, através de organismo próprio, ou mediante concessão.

Até 2007, tanto os serviços de abastecimento de água como o de esgotamento sanitário no município do Rio de Janeiro foram prestados exclusivamente pela CEDAE. Nesse ano, celebrou-se convênio entre o Estado do Rio de Janeiro, a CEDAE e o Município do Rio de Janeiro, pelo qual ficou atribuído a este, “por si, por suas entidades ou por terceiros-delegatários do serviço, a gestão do serviço de esgotamento sanitário na Área de Planejamento – 5, a AP5, e manutenção e operação do esgotamento sanitário nas áreas faveladas da Cidade do Rio de Janeiro”. Delegou-se, então, as atividades de operação, expansão e aperfeiçoamento dos serviços de esgotamento sanitário nessas regiões à Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos, pela Subsecretaria de Águas Municipais, antecessora, em funções, da atual Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro, a Rio-Águas (Zahner, 2014).

Em maio de 2012, começa a operar como concessionária responsável pela operação dos serviços de coleta e tratamento de esgoto da AP5 o consórcio privado Foz Águas 5, atual Zona Oeste Mais Saneamento (ZOMS) na primeira Parceria Público-Privada do Rio para saneamento básico e a maior já realizada no país. O contrato entre a empresa e a Prefeitura do Rio de Janeiro é supervisionado e fiscalizado pela Rio-Águas (RIO DE JANEIRO, 2012).

A Companhia Estadual de Águas e Esgotos - CEDAE

A CEDAE é a união por fusão das empresas Cedag, Esag e Sanerj, em decorrência da fusão dos antigos Estados da Guanabara e do Rio de Janeiro, em 1975.

Surge em 1º de agosto daquele ano, como uma sociedade de economia mista estadual que “opera e mantém a captação, tratamento, adução, distribuição das redes de águas, além da coleta, transporte, tratamento e destino final dos esgotos gerados dos municípios conveniados do Estado do Rio de Janeiro”. Atua em 64 municípios fluminenses, abastecendo de água potável mais de 12 milhões de pessoas e coletando e tratando os esgotos da maioria dos municípios do Rio de Janeiro (CEDAE, 2020).

Para o abastecimento de água, a CEDAE capta água em mananciais, realiza seu tratamento, a adução e a distribuição por redes de água potável. Após passar pelos processos de tratamento - tranquilização, floculação, decantação, filtração, clarificação e desinfecção com cloro – a água, captada barrenta e turva, está apta a ser entregue à clientela de forma pura e cristalina, não sem antes, por determinações legais, receber adições monitoradas de ácido fluorsilícico para a fluoretação, importante medida de saúde pública no controle e diminuição de incidências da cárie dentária.

Para o tratamento e destino final dos esgotos dentro de sua área de atuação, a CEDAE possui 8 estações de tratamento de esgotos: as ETEs Barra da Tijuca, Alegria, Penha, Tauá, Paquetá, Pavuna, Sarapuí e São Gonçalo. Excetuando-se a da Barra da Tijuca, as ETEs estão inseridas no Programa de Despoluição da Baía de Guanabara - PDBG - programa que visa melhorar as condições sanitárias e ambientais da Baía de Guanabara e áreas próximas. A maioria das ETEs da CEDAE utilizam o sistema de tratamento secundário de lodos ativados. Nelas são realizadas controles de diversos parâmetros durante o processamento dos esgotos até o lançamento do efluente tratado nos corpos receptores (Zahner, 2014).

A Zona Oeste Mais Saneamento

A concessionária Zona Oeste Mais Saneamento (ZOMS) é a empresa responsável pelos serviços de esgotamento sanitário na Zona Oeste do Rio. O seu escopo de atuação consiste na operação e manutenção do sistema de coleta e tratamento do esgoto doméstico, tendo como meta principal a ampliação da oferta de serviços, por meio do investimento na implantação de redes coletoras, coletores-tronco e estações de tratamento. A concessionária realiza também a gestão comercial da água e do esgoto, que inclui a leitura e emissão de contas, ações de vistoria

para regularização das instalações e verificação de uso regular de água, entre outras. (ZOMS, 2020).

Atua em 22 bairros, situados na Área de Planejamento 5 (que corresponde a 48% de todo o território municipal): Deodoro, Vila Militar, Campo dos Afonsos, Jardim Sulacap, Magalhães Bastos, Realengo, Padre Miguel, Bangu, Vila Kennedy, Gericinó, Senador Camará, Santíssimo, Campo Grande, Senador Vasconcelos, Inhoaíba, Cosmos, Paciência, Santa Cruz, Sepetiba, Guaratiba, Barra de Guaratiba e Pedra de Guaratiba (ZOMS, 2020).

A Figura 15 apresenta as áreas de atuação das prestadoras do serviço de esgotamento na capital fluminense.

Figura 15 – Áreas de prestação de serviços de esgoto da Zona Oeste Mais Saneamento (ZOMS) e da CEDAE na cidade do Rio de Janeiro.



Fonte: Adaptado de Zahner, 2014.

Na AP5, a grande maioria das ETEs existentes são de pequena capacidade, antigas, deficientes e deterioradas. As ETEs da AP5, antes sob a responsabilidade da RioÁguas e repassadas à Zona Oeste Mais Saneamento, são Palmares, Deodoro, Nova Sepetiba 2, Nova Sepetiba 5, Coqueiros e Vila Kennedy (Zahner, 2014)

Pelo contrato assinado com a Prefeitura o Rio de Janeiro, iniciado em maio de 2012 e com duração de 30 anos, a Zona Oeste Mais Saneamento compromete-se a realizar investimentos para a implantação da infra-estrutura de esgotamento sanitário - redes coletoras, coletores-tronco e estações de tratamento - naquela região, construindo e modernizando 11 ETEs.

Em junho de 2012, foi inaugurada a primeira estação de ETE operada pela Zona Oeste Mais Saneamento, a ETE Eng^o Constantino Arruda Pessoa, conhecida também como ETE Deodoro (ZOMS, 2020).

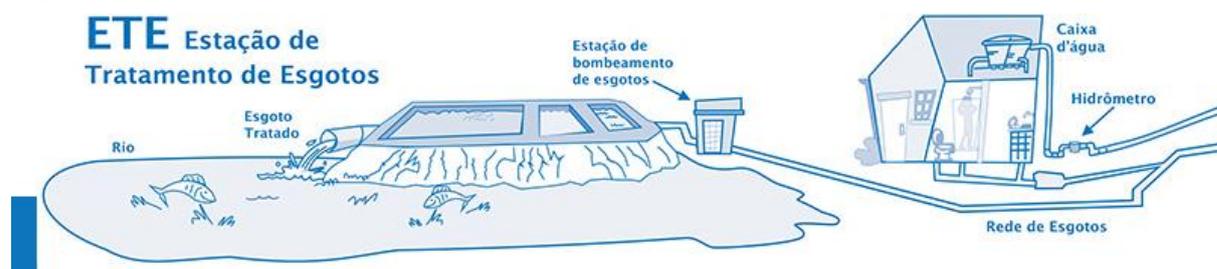
1.5 Estações de Tratamento de Esgotos

Os processos de condicionamento aplicados aos esgotos são comumente denominados processos de tratamento (Jorrdão e Pessoa, 2014). Um sistema de tratamento de esgotos sanitários encaminha seus efluentes para corpos d'água receptores, de maneira direta ou indireta. Segundo von Sperling (2016), a capacidade que estas águas possuem de receber o efluente, bem como a utilização prevista para esse corpo hídrico estabelece o grau de condicionamento a que deverá ser submetido o efluente sanitário, de forma a garantir que o corpo receptor não sofra alterações nos parâmetros de qualidade de água fixados para a região (trecho) e afetada pelo lançamento.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011 é a principal legislação federal que regulamenta o lançamento de efluentes em corpos d'água, podendo existir ainda legislações estaduais mais restritivas, quanto aos parâmetros de lançamento. A Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária – DZ-215.R-4 é uma das legislações mais restritivas em termos de controle de poluição das águas. Já as condições exigidas para a elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgoto sanitário são normatizadas pela NBR 12209/2011.

Segundo Jordão e Pessoa (2014), os processos de tratamento de esgoto são formados por uma série de operações unitárias, empregadas para remover substâncias indesejáveis no efluente final, ou levar suas concentrações a patamares máximos de forma a se tornarem aceitáveis pela legislação pertinente e/ou as demandas de sua destinação. Podem ser divididos nas seguintes etapas: preliminar, primário, secundário e terciária, conforme Figura 16.

Figura 16 – Fluxograma de um sistema de esgotamento sanitário (ETE).



Fonte: CEDAE, 2017.

A Tabela 6 apresenta a qualidade dos efluentes produzidos por diferentes tecnologias de tratamento.

Tabela 6 – Qualidade do efluente de diversas tecnologias de tratamento de esgotamento sanitário.

Sistema	Qualidade média do efluente			
	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	CTer (NMP/100mL)	Ovos helm. (ovo/L)
Lagoa facultativa	50 -80	60 -90	10 ⁶ -10 ⁷	< 1
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	50 -80	60 -90	10 ⁶ -10 ⁷	< 1
Lagoa aerada facultativa	50 -80	60 -90	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
Lagoa aerada mistura completa + lagoa sedimentação	50 -80	40 -60	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	40 -70	50 -80	10 ² -10 ⁴	< 1
Escoamento superficial	30 -70	20 -60	10 ⁴ -10 ⁶	< 1
<i>Wetlands</i> construídos	30 -70	20 -40	10 ⁴ -10 ⁵	< 1
Tanque séptico + filtro anaeróbio	40 -80	30 -60	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
Reator UASB	70 -100	60 -100	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
UASB + Lodos Ativados	20 -50	20 -40	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
UASB + biofiltro aerado submerso	20 -50	20 -40	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
UASB + filtro anaeróbio	40 -80	30 -60	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
UASB + filtro biológico percolador de alta carga	20 -60	20 -40	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
UASB + flotação por ar dissolvido	20 -50	10 -30	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
UASB + lagoas de polimento	40 -70	50 -80	10 ² -10 ⁴	< 1
UASB + lagoa aerada facultativa	50 -80	60 -90	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
UASB + lagoa aerada mist. Compl. + lagoa decant.	50 -80	40 -60	10 ⁶ -10 ⁷	> 1
UASB + escoamento superficial	30 -70	20 -60	10 ⁴ -10 ⁶	< 1
UASB + Lodos Ativados + desinfecção	20 -50	20 -40	< 10 ³	> 1
UASB + biofiltro aerado submerso + desinfecção	20 -50	20 -40	< 10 ³	> 1
Tanque séptico + filtro anaeróbio + filtração terciária + desinfecção	< 10	< 10	0 - 10 ³	< 1
UASB + filtro anaeróbio + filtração terciária + desinfecção	< 10	< 10	0 - 10 ³	< 1
UASB + Lodos Ativados + filtração terciária + desinfecção	< 10	< 10	0 - 10 ³	< 1
UASB + biofiltro aerado submerso + filtração terciária + desinfecção	< 10	< 10	0 - 10 ³	< 1
UASB + filtro biológico percolador de alta carga + filtração terciária + desinfecção	< 10	< 10	0 - 10 ³	< 1
Lodos Ativados + filtração terciária + adsorção carvão ativado + osmose reversa	≤ 1	≤ 1	Não detectáveis	< 1

Nota: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

SST – Sólidos Suspensos Totais

CTer – Coliformes Termotolerantes

Ovos helm. – Ovos de Helmintos

Fonte: Adaptado de Florencio, Bastos e Aisse (2006) e Metcalf e Eddy (2003).

1.6 Reúso de Efluentes Tratados

Incentivados pela crise e crescente escassez de água nos últimos anos, em função do aumento do consumo e dos problemas ambientais como a poluição dos mananciais, o reúso de águas regeneradas pode constituir-se em uma fonte alternativa que aumente a segurança hídrica. Há décadas inúmeros países utilizam o reúso de águas residuárias e/ou de aproveitamento de águas pluviais, e essas fontes alternativas desempenham importante papel socioambiental e econômico (HILSDORF e NETO, 2015).

No que diz respeito à realidade urbana, ressalta-se que incentivos ao reúso e a conservação da água que abastece a cidade são soluções pouco adotadas, mas com potencial de impacto positivo no ciclo urbano hidrológico. O ponto central de mudança de paradigma é que a água utilizada e descartada retorna ao ambiente na forma de esgotos, ao invés de ser localmente tratada e reutilizada (BALASSIANO, 2018).

Segundo o Sistema FIRJAN (2015), a escassez de água é um problema cada vez mais presente nos grandes centros urbanos e industrializados, colocando em risco as metas de desenvolvimento regional e do país. Dessa forma, as empresas estão adotando práticas mais sustentáveis, reduzindo desperdícios, otimizando processos e implementando melhorias operacionais.

No Brasil, o reúso potável indireto (ou “de facto”) é amplamente verificado, ainda que aplicado involuntariamente e de maneira não planejada. Isso ocorre, devido à captação para abastecimento de água em corpos hídricos que receberam o lançamento de efluentes sanitários (industriais ou domésticos) de cidades à montante (OBRACZKA, 2018).

As principais modalidades e aplicações típicas do reúso são para fins potáveis do tipo direto ou indireto e para fins não potáveis como o reúso agrícola, urbano, industrial, recarga de aquífero e melhorias ambientais e recreacionais (INTERÁGUAS, 2016), conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Principais Modalidades de Reúso de Água e Aplicações Típicas.

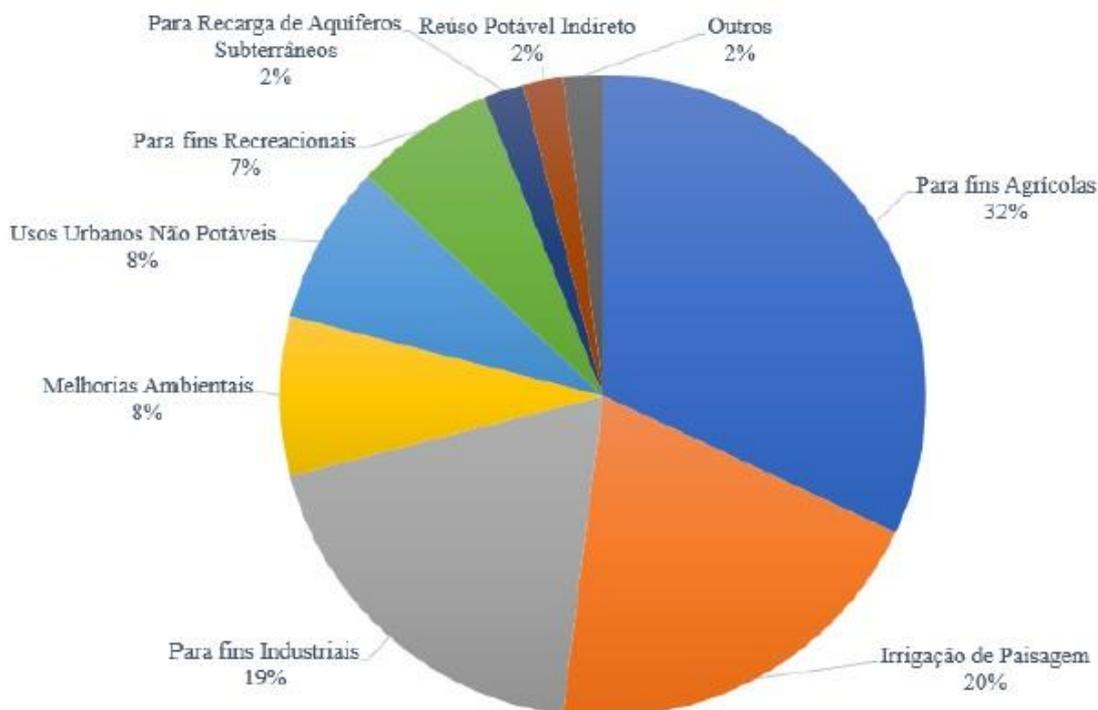
Modalidades Típicas de Reúso de Água		Aplicações Típicas
Não potável	Reúso Agrícola	Irrigação para produção agrícola (culturas forrageiras, hortaliças, vinhas, etc); florestas plantadas.
	Reúso Urbano	Irrigação Paisagística (parques, cemitérios, escolas, centros comerciais, residências, rodoviárias etc); sistemas de ar condicionado; bacias sanitárias em grandes edifícios; desobstrução de rede de esgoto, sistema de combate a incêndio; construção civil; lavagem de veículos.
	Reúso Industrial	Torres de resfriamento, caldeiras, processo, construção civil.
	Melhorias Ambientais e Recreacionais	Aquicultura, lagoas, manutenção de vazão de cursos de água, melhoria de banhado.
	Recarga de aquífero	Controle de intrusão de cunhas salinas, controle de subsidência; recarga de aquífero (não potável).
Potável	Reúso Potável Indireto	Uso para suplementar fontes de água potável (corpos hídricos superficiais ou subterrâneos).
	Reúso Potável Direto	Abastecimento direto da rede de água bruta ou tratada.

Fonte: INTERÁGUAS, 2016.

1.6.1 Aplicação de Reúso de Água no mundo

A distribuição mundial de reúso de águas servidas de acordo com aplicação após tratamento terciário foi estimada pelo relatório *Municipal water reuse markets 2010*, elaborado pela empresa *Global Water Intelligence (GWI)*, e apresentada na Figura 17. Aproximadamente 70% de toda a água consumida pela humanidade destina-se à agricultura (WWAP, 2017), e a utilização de água de reúso para este fim se apresenta com a maior quantidade de iniciativas no mundo (52%, incluindo-se irrigação paisagística), seguida de utilização para fim industrial (19%), que correspondem às atividades humanas mais hidroativas.

Figura 17 – Distribuição da utilização de água de reúso no mundo de acordo com o uso.



Fonte: Modificado de LAUTZE (2014) *apud* GWI (2009).

Na caso da agricultura, uma solução para superar os déficits é utilizar águas que receberam esgoto sanitário, tratado ou simplesmente diluído (NUVOLARI, 2011).

No universo corporativo, seja para fins menos nobres como o uso em caldeiras e torres de resfriamento ou mais nobres como na sua incorporação aos processos industriais, o reúso de água valoriza o produto final, possibilitando inclusive o aporte de incentivos fiscais e ambientais (GIORDANO, 2017).

Diversos países já adotam programas e medidas de escala nacional em reúso de águas servidas. De um modo geral, pode-se afirmar que os países com mais iniciativas no tema são aqueles nos quais a situação hídrica é mais delicada, ou seja, a escassez e a necessidade são os grandes motivadores (BALASSIANO, 2018).

Na Europa, o estresse hídrico afeta 1/3 da população, sobretudo no verão, em bacias hidrográficas do sul (BIO BY DELOITTE, 2015). Países do Oriente Médio, África, Ásia, Oceania e na própria América Latina também se encontram em situação de elevado estresse hídrico, podendo ser incluídas nessa relação regiões do Brasil (LIMA, 2018; ANA, 2017; WRI, 2013).

A seguir são destacados países como Israel, Estados Unidos, Singapura e Namíbia que praticam o reúso de água para diversos fins.

Israel

Localiza-se no Oriente Médio, com mais de dois terços de seu território em região semiárida e com baixíssima pluviosidade média anual inferior a 100 mm/ano, especialmente na parte sul do país (GOLODETS, 2013).

É o país com a maior porcentagem de reúso dos seus esgotos domésticos: 86% de todo o esgoto doméstico são reutilizados para fins de irrigação, segundo a *Israel Water Authority* (Autoridade de Água de Israel) em 2015. A tendência é esta porcentagem crescer, uma vez que medidas continuam sendo adotadas para ampliar a capacidade de reúso.

A demanda hídrica total é da ordem de 2.000 hm³/ano e a disponibilidade hídrica de fontes naturais (superficiais e subterrâneas) é 1.020 hm³/ano (REJWAN, 2011). Adicionalmente às limitações naturais, há um contexto geopolítico sensível entre Israel e os países vizinhos. O tema da água está inclusive presente em acordos de paz como Tratado de Paz (1994) e Acordos de Oslo (1995) firmados no passado, determinando vazões específicas a serem destinadas à Jordânia e às comunidades palestinas na Cisjordânia e em Gaza (SHAMIR, 1998).

A vazão de água de reúso produzida em Israel é de aproximadamente 14,3 m³/s, ou 450 hm³/ano, correspondendo a 40% da demanda total de irrigação (OCDE, 2011).

Ressalta-se que além do reúso de efluentes sanitários, soluções eficientes na gestão hídrica também têm sido implantadas em Israel com resultados significativos, como: dessalinização de água do mar para fins potáveis e não potáveis, correspondendo a 27% do abastecimento total do país, e em média 80% do abastecimento doméstico; irrigação por gotejamento e automação, resultando na maior relação produtividade agrícola por metro cúbico de água irrigada do mundo; controle de perdas no sistema de abastecimento, inferiores a 10%; e captação de águas subterrâneas profundas, atingindo profundidades e recalques da ordem de 1.500 m e 500 m, respectivamente (ISRAEL WATER AUTHORITY, 2015).

O custo médio do reúso de água em Israel foi calculado em US\$ 0,23/m³ (REJWAN, 2011).

EUA

Os Estados Unidos da América (EUA) se destacam na aplicação de tecnologias avançadas para reúso de águas servidas e recuperação energética e de nutrientes dos esgotos. O principal órgão ambiental do país, a *Environmental Protection Agency* (EPA), é responsável por apresentar as exigências legais de qualidade da água de reúso, tendo compilado robusto material técnico reconhecido mundialmente como referência no tema a partir da publicação 2012 *Guidelines for Water Reuse* (Diretrizes para Reúso de Água).

Nos EUA, independente da finalidade, é exigido o mínimo de tratamento secundário para a água de reúso. Cerca de 62% do volume de águas regeneradas municipais é destinada à irrigação, 32% para as indústrias, 5% para recarga subterrânea e os restantes 1% para usos diversos (METCALF e EDDY, 2003).

Um exemplo bem sucedido de implementação do reúso (nesse caso aplicado para irrigação) é o *Irvine Ranch Water District*, na Califórnia. O sistema se tornou operacional em 1967 e nos dias de hoje consegue suprir 28% da demanda por água com reúso (*IRVINE RANCH WATER DISTRICT*, 2016). A distribuição é feita por uma segunda linha de canalizações, transportando a água até os locais onde será utilizada. A água reciclada é usada principalmente para irrigação agrícola e paisagística, incluindo parques, terrenos escolares, campos de golfe e paisagismo. A água reciclada é também utilizada para irrigação de jardim e quintal em lotes residenciais elegíveis. Apesar da irrigação corresponder a maior parte da utilização da água regenerada, ela também é usada em processos industriais, descarga de vaso sanitário em alguns prédios de escritórios e em torres de resfriamento. (*IRVINE RANCH WATER DISTRICT*, 2016).

A cidade de San Diego, no estado da Califórnia, tem implementado reúso potável indireto planejado e não planejado. Segundo o portal da cidade de San Diego, a estação de reúso de águas servidas *North City Water Reclamation Plant* (NCWRP) tem capacidade de produzir cerca de 40,8 hm³/ano, (SAN DIEGO, 2017).

Cerca de 85% da água da cidade é proveniente do Norte da Califórnia e do Rio Colorado, captada a jusante do lançamento de efluentes de cidades como Las Vegas, caracterizando reúso indireto não planejado. O esgoto recebe tratamento avançado por microfiltração e osmose reversa. Metade da água de reúso produzida na NCWRP é artificialmente injetada nos aquíferos, para contenção de intrusão salina; e a outra metade é armazenada em lagoas de percolação, eventualmente atingindo os aquíferos subterrâneos, caracterizando o reúso indireto potável planejado (BALASSIANO, 2018).

A água captada dos aquíferos percorre o processo padrão de tratamento de água. Estima-se que em seis meses a água infiltrada seja efetivamente consumida para fins potáveis (CHO, 2011). Além da NCWRP, há também as estações de reúso de águas servidas de *Point Loma* e *South Bay*.

Singapura

Em Singapura, a água de reúso é utilizada inclusive para fins potáveis, denominada como *NewWater*, sendo produzida a partir do efluente tratado utilizando tecnologia de membranas e desinfecção ultravioleta (ANGELAKIS e GIKA, 2014).

De acordo com Lee e Tan (2016), o sistema pode atender a 40% da demanda total de água de todo o país e estima-se que até 2060 o sistema alcance até 55% desta demanda.

A água de reúso é também encaminhada a clientes industriais através de uma rede de tubulações, sendo utilizada para fins de refrigeração industrial e de edifícios comerciais. Os parâmetros atingidos no tratamento para atendimento das demandas potáveis se enquadram nas Diretrizes para Qualidade da Água Potável exigidas pela Organização Mundial da Saúde - OMS (LEE E TAN, 2016).

Namíbia

O caso da Namíbia chama atenção no que diz respeito ao reúso direto para fins potáveis. O país possui condição hídrica desprivilegiada: mais de 80% do território em áreas desérticas ou semidesérticas, baixa pluviosidade em média de 250 mm/ano; forte incidência solar, ocasionando taxas evaporativas da ordem de 3.600 mm/ano; e não possui rios perenes dentro dos seus 825.000 km². A capital da Namíbia, Windhoek, foi estabelecida sobre vasta disponibilidade de águas subterrâneas, estimada na ordem de milhares de hectômetros cúbicos. No entanto, conforme estudado por Van Der Merwe (2000), estes aquíferos apresentam taxa de recarga natural de 1,73 hm³/ano, bem inferior à demanda da cidade estimada em 21 hm³/ano.

Colocando a crítica situação de Windhoek em perspectiva, em abril de 2013 foram implementadas políticas severas de restrição no consumo hídrico a indústrias como na proibição da instalação de indústrias hidroativas, definidas com consumo de água superior a 100 m³/dia, e a irrigação limitada a 10 m³/hectare/dia (PISANI, 2015).

Em Windhoek, foi observado forte crescimento populacional bem como redução de pluviosidade, resultando em uma grave crise hídrica no ano de 1957. Como saída para a situação

crítica, adotou-se a pioneira prática de reúso potável direto, em operação desde 1968. No ano de 2002, uma nova planta foi implementada com significativos avanços tecnológicos que continuam se aprimorando (PISANI, 2015).

O abastecimento da cidade é atualmente composto por uma mistura entre a água de reúso produzida nas estações de reúso de águas servidas *New Goreangab Water Reclamation Plant* (NGWRP) e *Old Goreangab Water Reclamation Plant* (OGWRP), a água superficial armazenada nas represas de Von Bach, Swakopoort e Omatako, e a água de cinquenta aquíferos subterrâneos. Concomitantemente, é realizada a recarga artificial de aquíferos subterrâneos com esgotos tratados, atingindo profundidades de até 340 m e posterior captação para abastecimento humano (PISANI, 2015).

Em mais de quarenta anos de operação, não foram verificados problemas de saúde relacionados com o reúso na cidade de Windhoek (WWAP, 2017). O sucesso continuado da iniciativa é atribuído a diversos fatores, como: a visão e dedicação dos pioneiros no reúso de águas servidas, a excelente política de informação e campanhas educativas de apoio, a inexistência de problemas de saúde relacionados à água, uma abordagem multibarreiras, uma operação confiável com processos *online* e controle de qualidade da água, e a quase inexistência de alternativas praticáveis (LAHNSTEINER *et al.*, 2013).

A Tabela 8 apresenta casos de reúso de água a partir de efluente tratado de ETEs no mundo.

Tabela 8 – Estudos de caso sobre reúso de água no mundo.

ETE/ Localização	Destinação (tipologia de reúso)	Vazão	Nível de tratamento	Observações
Barcelona / Espanha	Fluxo ecológico, irrigação, <i>Wetlands</i> , barreira contra intrusão salina	3,5 m ³ /s (302400 m ³ /dia)	Tratamento terciário	São produzidas duas qualidades de água: 1- destinada ao fluxo ecológico, irrigação e <i>wetlands</i> ; 2- de melhor qualidade, no qual possui duas etapas adicionais, para a barreira de intrusão de água do mar.
Durban / África do Sul	Industrial	43000 m ³ /dia à 48000 m ³ /dia	Tratamento secundário e Tratamento terciário	O projeto de reúso de Durban demonstrou o potencial econômico do esgoto urbano, conseguindo realizar o tratamento do esgoto doméstico e revender a água para uso industrial, obtendo uma economia de 10% do volume de água utilizado.

ETE/ Localização	Destinação (tipologia de reúso)	Vazão	Nível de tratamento	Observações
Windhoek / Namíbia	Reúso Potável direto	21000 m ³ /dia	Tratamento secundário e terciário	Para minimizar os riscos associados ao reúso potável direto, foi adotado a filosofia de múltiplas barreiras para os parâmetros críticos, bem como barreiras complexas para os compostos orgânicos problemáticos e protozoários patogênicos resistentes. Além disso, mistura-se água proveniente da planta de reúso com água fresca de diferentes origens de modo que no máximo 35% de água potável e água de reúso. O custo operacional da Estação de tratamento da água de reúso situou-se em US\$ 0,77/m ³
Kranji / Singapura	Reúso Potável indireto	10000 m ³ /dia	Tratamento secundário	As tecnologias de membranas associadas em microfiltração ou ultra filtração mais osmose reversa ou tratamento avançado mais ultra filtração, estão ganhando maior importância porque tornam possível o suprimento de água de qualidade físico-química e microbiológica em conformidade com os padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS)
Cidade do México/ México	Reúso potável indireto	14688 m ³ /dia	Tratamento secundário e terciário	O investimento total do projeto será de € 11,5 milhões (US\$13,5 milhões) e as obras deverão durar 16 meses, incluindo 10 meses de construção e 6 meses de operação e manutenção. A Estação de Tratamento de Água de Reúso de Chapultepec é o primeiro processo de <i>Membrane Bio Reactor</i> no México.
Califórnia / Estados Unidos	Reúso potável indireto	15140 m ³ /dia	Tratamento secundário e terciário	Primeiro projeto de Reúso potável indireto do Norte da Califórnia com previsão de iniciar o processo de recarga de aquíferos até o Outono de 2018. Este projeto faz parte de uma iniciativa regional geral para aumentar o número de fontes de abastecimento de água de duas tradicionais para sete fontes que incluem reabastecimento de águas subterrâneas.

Fonte: Obraczka *et al.*, 2017.

Brasil

O Brasil possui algumas iniciativas de reúso de águas servidas, porém ainda não é uma prática adotada em grande escala. As porcentagens de reúso em âmbito nacional ainda são incipientes, subentendendo-se que há ainda um enorme potencial de otimização da gestão hídrica no país (CAMPOS, 2018).

A capacidade de reúso instalada no Brasil foi estimada em 2017 como sendo de aproximadamente 2 m³/s, sendo que apenas 1,6 m³/s seriam realmente reutilizados (ANA, 2017), sendo boa parte devido ao Aquapolo, que trata atualmente 650 L/s provenientes da ETE ABC da SABESP para atender um polo petroquímico situado a cerca de 20 km através de uma adutora de 900 mm (NOBRE, 2013).

É no âmbito das grandes corporações que a prática de águas regeneradas se encontra bem consolidada, devido a: elevados/proibitivos custos da água potável do sistema público, considerando as grandes demandas do setor industrial; maior facilidade de operação e controle de processos, minimizando ou cessando o lançamento de efluentes em corpos d'água, além de reduzir volumes captados em mananciais e; maior autonomia e segurança hídrica (CAMPOS, 2018).

Entre alguns obstáculos importantes que precisam ser ultrapassados está a reduzida disponibilidade de dados e de análises de monitoramento específico de efluente tratado para fins de reúso no RJ (SILVA JUNIOR, 2018).

Historicamente, destacam-se ações a partir de 1992, com a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental de São Paulo (ABES-SP), que apresenta relatório com recomendações para estimular o reúso como uma alternativa ambiental. A ABES-SP congregou ações específicas para a reciclagem da água em indústrias, tendo sido implementadas parcialmente, e com resultados expressivos obtidos (ABIQUIM, 2016).

Financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) no início da década de 2000, o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), “teve por objetivo apoiar o desenvolvimento de pesquisas e o aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias e resíduos sólidos que sejam de fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção e que resultem na melhoria das condições de vida da população brasileira, especialmente as menos favorecidas”.

Em particular, em seus temas 2 (Esgoto) e 5 (Uso Racional de Água e Energia), foi abordado extenso conteúdo a respeito de reúso de águas servidas proveniente de esgotos sanitários tratados no Brasil, desafios enfrentados, tecnologias mais adequadas, segmentado por finalidades do uso e embasamento técnico-científico de parâmetros de qualidade de água de reúso.

A Tabela 9 apresenta uma compilação de dados referentes a exemplos de reúso no país.

Tabela 9 – Reúso de efluentes no âmbito público e privado no Brasil.

Empresa	Tipologia	ETE	Localização	Vazão da ETE (l/s)	Vazão de água de reúso (l/s)	% de reúso	Destinação
Sistema público/concessão - RJ							
<i>CEDAE</i>	Pública	Alegria	Rio de Janeiro, RJ	1.529,1	2,1	0,14	obras Porto Maravilha
<i>CEDAE</i>	Pública	Penha	Rio de Janeiro, RJ	764,6	8,3	1,09	limpeza de redes, vias, equipamentos ETE
<i>Zona Oeste Mais Saneamento</i>	concessionária privada	Deodoro	Rio de Janeiro, RJ	800,0	2,8	0,35	limpeza de redes, vias
<i>PROLAGOS</i>	concessionária privada	Búzios	Búzios, RJ	250,0	0,8	0,32	irrigação campo de golfe
Vazões totais tratadas e de reúso (público e concessão RJ) (l/s)				3.343,7	14,0	0,42	
Porcentagem de Reuso em relação a vazão total tratada, em média (%)					0,4		
Sistema público/concessão - SP							
<i>SABESP</i>	pública	Barueri	São Paulo (SP)	10.042,2	3,0	0,03	
<i>SABESP</i>	pública	Parque Novo Mundo	São Paulo (SP)	2.613,0	60,0	2,30	
<i>SABESP</i>	pública	São Miguel	São Paulo (SP)	947,0	12,0	1,27	
<i>SABESP</i>	pública	Jesus Neto	São Paulo (SP)	250,0	35,0	14,00	
<i>SANASA</i>	publica	Capivari II	Campinas (SP)	72,6	28,9	39,81	
Vazões totais tratadas e de reúso (público e concessão SP) (l/s)				13.924,8	138,9	1,00	
Porcentagem de Reuso em relação à vazão total tratada, em média (%)					1,0		
Parceria público privada para uso industrial							
<i>AQUAPOLO/SABESP</i>	PPP	ABC	São Paulo (SP)	2350,0	650	27,66	uso industrial (caldeiras, torres de resfriamento)
Vazões totais tratadas e de reúso (PPP) (l/s)				2350,0	650	27,66	
Porcentagem de Reuso em relação à vazão total tratada (%)					27,7		
Sistemas privados/corporativos para uso industrial							
<i>CETREL</i>	Privado		Camaçari, BA	972	200	20,58	
<i>RAIZEN</i>	Privado						
<i>SANTISTA</i>	Privado						
<i>FIAT/CHRYSLER</i>	Privado						
<i>ALCOA</i>	Privado			34,7	3,1	9,00	
<i>PETROBRAS</i>	Privado	diversas		6893,4	792,7	11,50	várias plantas industriais
<i>COCACOLA/AMBEV</i>	Privado						
Vazões totais tratadas e de reúso (corporativo para uso industrial) (l/s)				7900,1	995,8	12,61	
Porcentagem de Reuso em relação à vazão total tratada, em média (%)					12,6		
Sistema privado para uso agrícola							
<i>ACTIONSHOP</i>	Privado		C. Macacu, RJ	7,6	variável	1,5	Fertirrigação, culturas de limão e goiaba
Subtotais tratado e reúso (privado para uso agrícola) (l/s)				7,6	variável	1,5	
Porcentagem de Reuso em relação a vazão total tratada (%)					variável	20(1)	
Todos os sistemas avaliados/levantados							
Vazões totais tratadas e de reúso para todas tipologias levantadas(l/s)				27526,2	1798,7	6,53	
Porcentagem de Reuso em relação à vazão total tratada, em média (%)					6,5		

Fonte: Obraczka *et al.*, 2019.

1.6.1.1 Reúso de efluentes sanitários em Regiões Metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro

São Paulo

O Aquapolo é o maior empreendimento para a produção de água de reúso industrial na América do Sul, e quinto maior do planeta. O empreendimento é fruto de parceria entre a BRK Ambiental e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), tendo vazão de projeto igual a 1000 L/s. Dos 2.000 L/s tratados pela ETE ABC, 650 L/s ou 32,5% são destinados a produção de água de reúso para abastecer o Polo Petroquímico da Região do ABC Paulista. A Figura 18 apresenta uma vista deste sistema produtor de água de reúso industrial.

Figura 18 – Vista aérea do Aquapolo, sistema de produção de água de reúso industrial, localizado na cidade de Mauá-SP.



Fonte: FIESP, 2015.

A distribuição da água produzida é feita por meio de uma adutora de 17 km, de São Paulo, passa pelos municípios de São Caetano do Sul e Santo André, até chegar a uma torre de distribuição em Capuava e Mauá, onde fica localizado o Polo. A partir dela, uma rede de distribuição de 3,6 km entrega a água para cada um dos clientes. A adutora foi projetada para permitir derivações, viabilizando o atendimento de futuros clientes ao longo de seu percurso.

Os parâmetros de qualidade de água (Tabela 10), determinados pelo próprio Polo Petroquímico, devem ser alcançados ao final do tratamento, para utilização de água de reúso

para limpeza de torres de resfriamento e caldeiras. O processo de tratamento inclui membrana de ultrafiltração e osmose reversa.

Tabela 10 - Parâmetros do processo de geração da água de reúso do empreendimento Aquapolo.

Parâmetro	Água proveniente do tratamento secundário	Efluente de água industrial	Água potável	Valores médios da água industrial
Ferro (mg/L)	1,5	0,3	0,3	0,16
DBO (mg/L)	30	10	–	< 3
DQO (mg/L)	100	20	–	9,3
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	20	1	1,5	0,8
Fósforo (mg/L)	5	0,5	–	0,3
SST (mg/L)	40	< 5	–	< 5
Surfactantes (mg/L)	5,1	1	0,5	0,29
Óleos e graxas (mg/L)	10	< 5	–	< 5
Sulfetos (mg/L)	0,9	0,1	0,1	< 0,05
Turbidez (NTU)	15	1	1	0,16
Condutividade (µs/cm)	650	500	–	484
pH	5 a 9	6,5 a 7,5	6,0 a 9,5	6,66
Dióxido de cloro residual (mg/L)	–	> 0,2	–	0,5

Fonte: Silva, 2015.

A Tabela 11 apresenta demais Estações de Produção de Água de Reúso operados pela SABESP.

Tabela 11 – Estações de Produção de Água de Reúso da SABESP com volume mensal e tipo de fornecimento.

Estação de Produção de Água de Reúso	Volume mensal (m ³)	Fornecimento
Jesus Neto	117.000	Rede e Caminhão
Barueri	8.000	Rede
Parque Novo Mundo	149.000	Rede e Caminhão
São Miguel	78.000	Caminhão

Fonte: Machado, 2019.

Segundo Machado (2019), a capacidade instalada de produção de água de reúso da SABESP é de 350.000 m³/mês que somada à capacidade do empreendimento Aquapolo totaliza aproximadamente 2.000.000 m³/mês.

Rio de Janeiro

ETE Penha

A ETE Penha está localizada na Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro e é operada pela CEDAE. Segundo Silva Junior (2018), a ETE Penha dispõe de uma capacidade tratamento para água de reúso de 2,1 L/s (181,44 m³/dia), ou aproximadamente, 1,1% do total de esgoto tratado pela estação (CAMPOS, 2018). De acordo com dados obtidos junto à CEDAE, esse sistema possui capacidade de produzir 720 m³/dia de água de reúso.

Segundo Neto e Oliveira (2007) cerca de 313 m³/mês são utilizados internamente para diluição de polímeros, lavagem de centrífugas, lavagem de viaturas e do pátio de trabalho. A COMLURB também utiliza mensalmente cerca de 3.010 m³ de água de reúso, empregada para limpeza urbana (ruas e feiras livres) e desobstrução de galerias. Outros 50 m³/mês são utilizados por outros tipos de viaturas operacionais, totalizando cerca de 3.373 m³/mês (NETO E OLIVEIRA, 2007).

Para ser utilizado como água de reúso o efluente passa por um tanque de filtração, com duas telas plásticas em sucessão, e segue para um tanque de armazenamento, onde é feita a desinfecção com hipoclorito de sódio (ZAHNER FILHO, 2014).

A Figura 219 ilustra a tomada d'água de abastecimento de caminhão-pipa da COMLURB na ETE Penha.

Figura 19 – Tomada d'água de caminhão pipa de água de reúso na ETE Penha.



Fonte: CEDAE, 2015.

ETE Alegria

A ETE Alegria está localizada no bairro do Caju, na Zona Portuária do Rio de Janeiro, sendo também operada/administrada pela CEDAE.

Segundo Silva Junior (2018) dispõe de uma capacidade tratamento para reúso de 2,1 l/s (181,44 m³/dia), que representa, aproximadamente, 0,14% do total de esgoto tratado pela estação. De acordo com a CEDAE, possui capacidade para produzir 720 m³/dia de água de reúso, assim como a ETE Penha.

Utilizando basicamente um sistema de filtração em linha seguido de desinfecção, essa água de reúso foi utilizada no setor de construção civil durante as obras do Porto Maravilha. Porém, após o encerramento das obras não houve uma renovação do contrato entre o Consórcio Porto Novo, responsável pelas obras e a CEDAE, deixando então de ser aproveitada para essa finalidade.

A Figura 20 apresenta a tomada d'água de reúso instalada na ETE Alegria para abastecer os caminhões-pipa. De acordo com os técnicos da ETE e em vistoria do local, pode ser constatado que atualmente o sistema se encontra inoperante, atendendo somente atividades internas.

Figura 20 – Sistema de abastecimento dos caminhões pipa com água de reúso da ETE Alegria.



Fonte: Santos *et al.*, 2017.

ETE Deodoro

Na ETE Deodoro, a água de reúso é proveniente de projeto piloto com capacidade para 240m³/dia e reservação de 40m³ que funciona desde 2015, composto por filtração por pressão em membrana simples, seguida de cloração (Figura 21).

As águas regeneradas são utilizadas pela própria empresa somente para destinações não potáveis e menos nobres como na desobstrução de redes, lavagem de equipamentos, execução de redes por métodos não destrutivos e na diminuição do material particulado, através da umectação em locais de obras para assentamento de redes (PIERONI, 2016).

Figura 21 – Sistema de produção de água de reúso na ETE Deodoro.



Fonte: Obraczka *et al.*, 2017.

A Tabela 12 apresenta uma compilação de dados levantados sobre as ETE de maior porte no município do Rio de Janeiro com tratamento secundário e/ou com reúso.

Tabela 12 – Dados de ETEs do município do Rio de Janeiro.

Fonte geradora (ETE)	Concessionária responsável	Tipo de tratamento Secundário	Vazão média (m ³ /dia)/(l/s)		Destinação das águas de reúso/ano de início de operação
			Projeto	Captação para reúso	
			Operação	Em operação	
ETE Deodoro (RJ)	ZOMS (1)	Lodos ativados por aeração prolongada (3)	86.400/1000(3)(4)	240/2,8	Desobstrução de redes, lavagem de equipamentos e vias/2015
			18.144/230(3) 64.800/750(4)	240/2,8	
ETE Sepetiba (RJ)	ZOMS	Lodos ativados por aeração prolongada	5.184/70	Não há	-
			230/2,7(5)		
ETE Pedra de Guaratiba (RJ)	ZOMS	Reator UASB + biofiltro aerado submerso +decantador secundário	3.456/40	Não há	-
			2.014/23,3(5)		
ETE Vilar Carioca (RJ)	ZOMS	Lodos ativados por batelada	1.115/13	Não há	-
			1.120/13(5)		
ETE Vila Kennedy	ZOMS	Valo de oxidação	3.370/39	Não há	-
			3361/39		
ETE Nova Cidade	ZOMS	Lodos ativados aeração prolongada	2.800/32	Não há	-
			103/1,2(5)		
ETE Santa Cruz (ainda não operacional)	PMRJ/ZOMS	Tratamento secundário	21.600/250	Não há	-
			-		
ETE Alegria (RJ)	CEDAE	Lodos ativados por aeração prolongada	216.000/2.500	720/8,3	Obras do Porto Maravilha; sistema atualmente inoperante/2015
			132.106/1.529	181/2,1	
ETE Penha (RJ)	CEDAE	Lodos ativados por aeração prolongada/Deep Shaft	103.680/1.200	720/8,3	COMLURB; lavagem de veículos e equipamentos da ETE/2007
			66.096/765	112/1,3	
ETE Sarapuí (SJ de Meriti)	CEDAE	Primário quimicamente assistido + Lodos ativados	129.600/1.500	Em projeto	-
			38.880/450		
ETE Pavuna- Meriti (RJ)	CEDAE	Primário quimicamente assistido + Lodos ativados	129.600/1.500	Em projeto	-
			19.080/220		
ETE Ilha do Governador (RJ)	CEDAE	Lodos ativados por aeração prolongada	38.880/450	Não há	-
			31.968/370		
Vazão Total Projeto(A)			72.0085/8.584	1680/19,4	-
Vazão Total Operacional (Efetiva)(B)			359.758/4.163	533/6,2	-
% (A/B)			50		-
% Reuso Projeto/Vazão Operacional Efetiva			0,47 (2)		-
% Reuso Efetivo/Vazão Operacional Efetiva			0,15		-

Notas: (1) ZOMS - Zona Oeste Mais Saneamento. (2) Considerando as vazões operacionais. (3) Vazão antes da entrada em operação da ampliação (Sistema Nereda). (4) Vazão após ampliação (Sistema Nereda). (5) Dados das Declarações de Carga Poluidora de 2014/2015.

Fonte: Obraczka *et al.*, 2019.

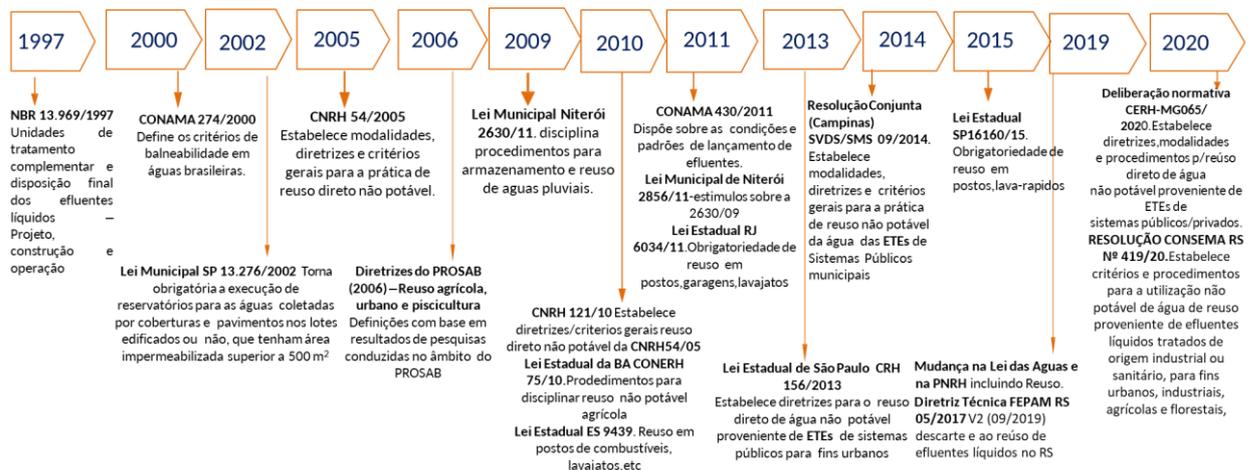
cenário do município do RJ, como no país de uma maneira geral, e que dificultam sua implementação, podem ser citados: (1) Falta de conhecimento e de uma “cultura” de Reúso; (2) Carência de informações e de uma base de dados; (3) Carência de legislação específica e regulamentação, especialmente a nível federal; (4) Ausência de políticas públicas, instrumentos de planejamento e incentivos econômicos e (5) Obstáculos de ordem física, as distâncias entre os principais polos geradores (ETEs de maior porte) e alguns grandes potenciais consumidores da água de reúso no RJ, aliada as restrições de capacidade/escoamento do sistema de caminhões pipa.

1.6.2 Legislação Nacional no contexto de reúso de águas

O Brasil ainda não dispõe de normatização técnica específica para os sistemas de reúso da água. Em geral, são adotados padrões referenciais internacionais ou orientações técnicas de instituições privadas. Este é um fator que dificulta a aplicação desta prática no país.

Na Figura 23, uma compilação dos marcos legais que regulamentam o reúso de águas servidas existente no Brasil é apresentada na linha do tempo para avaliar a evolução da legislação referente ao tema reúso.

Figura 23 – Linha do tempo da normatização/legislação sobre reúso de águas no Brasil



Fonte: Adaptado de Santos, 2016; Giordano, 2018.

Observa-se a publicação/divulgação de recentes legislações estaduais, especialmente no ano de 2020 sobre o reúso de água, conforme é apresentado a seguir:

Resolução COEMA do estado do Ceará nº 02 de 02/02/2017

A Resolução COEMA do estado do Ceará nº 02 de 02/02/2017 dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos receptores e em rede coletora de esgoto, em atendimento aos princípios e respectivos objetivos da Política Nacional de Meio Ambiente (Art. 2º e 3º da Lei nº 6938/1981), bem como, em consonância com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, e Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.

Além disso, essa resolução estabelece diretrizes, critérios e parâmetros específicos para o reúso não potável de água de acordo com as modalidades regulamentadas na resolução.

A Tabela 13 apresenta os padrões de qualidade de água de reúso para fins urbano, agrícolas e florestais, ambientais e de aquicultura.

Tabela 13 – Padrões de qualidade para água de reúso da Resolução COEMA Nº 02/2017 do Estado do Ceará.

Finalidade do reúso	Parâmetros				
	Coliformes Termotolerantes	Ovos de geohelmintos	pH	Condutividade elétrica (CE)	Temperatura
Urbano	Até 5.000 CT/100mL	Até 1 ovo/L	6 a 8,5		-
Agrícolas e Florestais	Não detectável para culturas consumidas cruas. As demais até 1000CT/100 mL	Não detectável para culturas consumidas cruas. As demais até 1000CT/100m L	6 a 8,5	até 3000 µS/cm	-
Ambientais	até 10.000 CT/100mL	Até 1 ovo/L	6 a 8,5	até 3000 µS/cm	-
Aquicultura	até 1000 CT/100mL	Não detectável/L	6 a 8	até 3000 µS/cm	40°C

Fonte: Resolução COEMA Nº 02/2017 do Estado do Ceará.

NBR 16783/2019 – Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações

A NBR 16783/2019 estabelece procedimentos e requisitos para caracterização, dimensionamento, uso, operação e manutenção de sistemas de fontes alternativas de água não potável em edificações com uso residencial, comercial, institucional, de serviços e de lazer.

Os usos não potáveis em edificações, abrangidos pela NBR 16783/2019 são:

- a) descargas de bacias sanitárias e mictórios, independentemente do sistema de acionamento;
- b) lavagem de logradouros, pátios, garagens e áreas externas;
- c) lavagem de veículos;
- d) irrigação para fins paisagísticos;
- e) uso ornamental (fontes, chafarizes, lagos);
- f) sistemas de resfriamento de água;
- g) arrefecimento de telhados.

Os parâmetros de qualidade para uso de água não potável estabelecidos pela NBR são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Parâmetros de qualidade para uso da água não potável, segundo NBR 16783/2019.

Parâmetro	Limite
pH	6 a 9
<i>E. Coli</i>	≤ 200 NMP/100mL
Turbidez	≤ 5 UT
DBO _{5,20}	≤ 20 mgO ₂ /L
Cloro Residual Livre	Mínimo 0,5mg/L – Máximo de 5,0mg/L Recomendável 0,5mg/L – Máximo de 2,0 mg/L
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) ou Condutividade Elétrica	≤ 450 mg/L ou ≤ 3200µS/cm
Carbono Orgânico Total (COT)	< 4 ng/L

Fonte: Resolução NBR 16783/2019.

Resolução CONSEMA do Estado do Rio Grande do Sul n° 419/2020

A Resolução CONSEMA do Estado do Rio Grande do Sul n° 419/2020 estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais. Ou seja, a portaria traz os padrões de qualidade e a forma de monitoramento periódico, conforme finalidade e frequência de uso dessa água.

A água de reúso para fins urbanos é dividida em duas classes de qualidade:

I - Classe A: água de reúso destinada à irrigação paisagística em locais de acesso irrestrito, lavagem de logradouros públicos e lavagem de veículos;

II - Classe B: água de reúso destinada à irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, ao abatimento de poeira, aos usos na construção civil e em estações de tratamento de efluente e à desobstrução de redes de esgoto pluvial e/ou cloacal.

Os parâmetros de padrão de qualidade para reúso de água urbano da Resolução CONSEMA N° 419/2020 são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Padrões de qualidade para água de reúso para fins urbanos da Resolução CONSEMA N° 419/2020 do Estado do Rio Grande do Sul.

Parâmetro	Classe A	Classe B
Coliforme Termotolerante	< 200 NMP/100 mL	< 10 ³ NMP/100 mL
Ovos de helmintos	< 1 ovo/L	Não se aplica
Cloro Residual Total	< 1 mg/L	
Condutividade elétrica	< 3,0 dS/m	

Fonte: Resolução CONSEMA N° 419/2020 do Estado do Rio Grande do Sul

Deliberação Normativa CERH-MG N° 65, de 18 de junho de 2020

A Deliberação Normativa CERH-MG N° 65, de 18 de junho de 2020 estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências.

A Tabela 16 apresenta os padrões de qualidade para reúso na modalidade “urbano” e “industrial”.

Tabela 16 – Parâmetros de qualidade para reuso urbano da Deliberação Normativa nº 65 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – MG.

Categoria	Finalidade	pH	Coliformes Termotolerantes ou E. Coli (NMP/100mL)	Ovos viáveis 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 a 9	$\leq 1 \times 10^3$	≤ 1
Limitado	Lavagem de veículos especiais (tais como aqueles utilizados em coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, coleta seletiva, construção civil, mineração), lavagem externa de trens e aviões, controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto*.	6 a 9	$\leq 1 \times 10^4$	≤ 1

Fonte: Deliberação Normativa nº 65 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – MG.

Esta Deliberação Normativa nº 65 do CERH-MG apresenta também o padrão de qualidade para reuso para fins de operações e processos industriais, construção civil, mineração, processo de produção e demais atividades em suas expertises cuja responsabilidade será do empreendedor, conforme os requisitos de qualidade do processo e as normas de segurança do trabalho urbano.

Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01 de 13 de fevereiro de 2020 do Estado de São Paulo

Esta Resolução disciplina o reuso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas.

Contempla ETEs operadas por empresas públicas ou privadas, que tratam esgotos sanitários, assim considerados os de origem predominantemente doméstica, excluindo ETEs implantadas por estabelecimentos comerciais e industriais.

A água de reúso para fins urbanos abrange exclusivamente as seguintes modalidades:

I - irrigação paisagística;

II - lavagem de logradouros e outros espaços públicos e privados;

III - construção civil;

IV - desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos;

V - lavagem de veículos;

VI - combate a incêndio.

A Tabela 17 apresenta os parâmetros, limites e categorias de reúso da Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020 do estado de São Paulo.

Tabela 17 – Padrões de qualidade para as categorias de água de reúso urbano da Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020 do estado de São Paulo.

Padrões de qualidade	Categorias de reúso	
	Classe A (Uso Irrestrito não potável)	Classe B (Uso Restrito não potável)
pH	6 a 9	6 a 9
DBO _{5,20} (mg/L)	≤ 10	≤ 30
Turbidez (UNT)	≤ 2	-
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	≤ 0,5 mg/L (sistema de filtração por membrana)	≤ 30
Coliforme Termotolerante ou E. coli (UFC/100mL)	Não detectável	≤ 200 UFC/100mL ≤ 120 UFC/100mL
Ovos de helmintos ou Ovos viáveis de Ascaris (Ovo/L)	< 1 < 0,1	1 0,1
Cloro Residual Total (mg/L)	≥ 1 ≥ 0,5 para sistema de filtração por membrana	≥ 1
Giardia e Cryptosporidium (o) cistos/L	Não detectável	-
Cloreto (mg/L)	≤ 106	≤ 350
Condutividade elétrica (dS/m)	≤ 0,7	≤ 3,0
RAS	< 3	3 – 9
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	< 450	< 2000
Boro (mg/L)	≤ 0,7	≤ 2,0

Fonte: Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020 do Estado de São Paulo.

A Tabela 18 mostra uma compilação dos limites máximos definidos pelas legislações brasileiras mais recentes considerando parâmetros comuns no que tange ao reúso de água urbano.

Tabela 18 – Compilação dos limites estabelecidos pelas legislações/normativa brasileiras vigentes no que tange ao reúso de água urbano.

Legislações/Normativas		Parâmetros				
		Coli. Termotolerantes ou E. Coli	Ovos de helmintos	pH	Cloro residual	Condutividade elétrica
Resolução COEMA Nº 2 de 02/02/2017 - Estadual - Ceará		até 5000 CT/100mL	até 1 ovo/L	6 a 9	-	até 3.000 µS/cm
NBR 16783/2019 – uso de fontes alternativas de água não potável em edificações		≤ 200 NMP/100mL	-	6 a 9	Mínimo 0,5 mg/L – Máximo de 5,0 mg/L Recomendável 0,5 mg/L – Máximo de 2,0 mg/L	até 3.200 µS/cm
Resolução Consema Nº 419 de 13/02/2020 - Estadual - Rio Grande do Sul	Classe A (acesso irrestrito) *	< 200 NMP/100 mL	< 1 ovo/L	-	< 1 mg/L	< 3.000 µS/cm
	Classe B (acesso restrito)**	< 10 ³ NMP/100 mL	Não se aplica			
Resolução Conjunta SES/SIMA Nº 01, 13 de Fevereiro de 2020 - Estado de São Paulo	Classe A (acesso irrestrito)	Não detectável	< 1 ovo/L	6 a 9	menor ou igual a 1 mg/L	≤ 700 µS/cm
	Classe B (acesso restrito)	≤ 200 UFC/100mL	1 ovo/L		menor ou igual a 1 mg/L	≤ 3.000 µS/cm
Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídricos- MG, Nº 65 de 18 de Junho de 2020		≤ 1x10 ³ NMP/100mL	≤ 1 ovo/L	6 a 9	-	-

* Reuso de água não potável onde não há restrição quanto ao acesso de pessoas no local onde se destina a água de reúso.

** Reuso de água não potável onde o acesso de pessoas é limitado ou restrito, no local onde se destina a água de reúso

Fonte: O autor, 2020.

A Lei 9.043/20 no Estado do Rio de Janeiro criou o Programa Estadual de Reuso de Efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) para fins industriais.

O principal objetivo é aproveitar as águas de reuso, que representam uma fonte hídrica alternativa para, em parte, satisfazer a demanda crescente nas grandes cidades e minimizar o problema de escassez da água. O programa deverá ser desenvolvido em parceria com a iniciativa privada e o poder público (Rio de Janeiro, 2020).

1.6.3 Legislação Internacional no contexto de reúso de águas

Embora no Brasil o reúso da água seja uma prática relativamente recente, já vem sendo praticado internacionalmente desde o início do século XIX (CUNHA, 2008).

Inicialmente o reúso agrícola era predominante, no entanto com a expansão dos grandes centros e o aumento da escassez hídrica, o reúso de água urbano vem recebendo cada vez mais atenção, se tornando comum em diversos países, como: Israel, Tunísia, Chipre, Jordânia, Arábia Saudita, México, e outros (CUNHA, 2008).

A Tabela 19 apresenta uma compilação de diversos empregos permitidos para a água de reúso, já regulamentados pela legislação vigente de diferentes países.

Tabela 19 - Exemplos de Utilizações possíveis para água de reúso em diversos países.

País/Estado		Destinações previstas para a água de reúso
Estados Unidos	Arizona	Irrigação, processos industriais, recarga do aquífero e pequenos usos em lagos urbanos, fontes e restauração de áreas pantanosas.
	Nevada	Irrigação de campos de golfe, utilização em parques e recreação, recarga do aquífero.
	Colorado	Processos industriais evaporativos e não evaporativos, manutenção de estradas e construção, irrigação paisagística, utilização em zoológicos, irrigação na agricultura para tipos não comestíveis e silvicultura, água para lavagem, lavanderias comerciais, lavagem de veículos, proteção contra incêndio não residencial.
	Califórnia	Irrigação, uso comercial e industrial (resfriamento), energia geotérmica, barreira contra intrusão de água do mar, recarga do aquífero, restauração de sistemas naturais. Potabilização direta e indireta.

País/Estado		Destinações previstas para a água de reúso
	Washington, Oregon e Idaho	Irrigação, resfriamento na produção de eletricidade, limpeza de ruas, recarga do aquífero, processos comerciais e industriais, restauração de áreas pantanosas.
	Flórida	Irrigação de áreas residenciais, campos de golfe, parques e agricultura (com restrições), resfriamento em indústrias, recuperação de áreas pantanosas e recarga do aquífero.
Europa	França	Irrigação de canteiros, campos de golfe, cereais e jardins. Resfriamento industrial.
	Alemanha	Agricultura
	Grécia	Abastecimento de regiões com problemas de escassez e agricultura.
	Itália	Agricultura e uso industrial.
	Portugal	Irrigação, construção de rodovias e lavagem de veículos.
	Reino Unido	Irrigação, lavagem de veículos, resfriamento industrial.
	Espanha	Uso industrial. Abastecimento de regiões com problemas de escassez e agricultura.
Oceania	Austrália	Irrigação de jardins, paisagem, cultivos de alimentos e campos esportivos. Aplicação de água de reúso não potável em ambientes municipais onde o acesso é controlado ou restrito por barreiras. Descarga de vasos sanitários e máquina de lavar roupas.

Fonte: Obraczka *et al*, 2017.

As publicações da Agência Americana de Proteção Ambiental (USEPA) e da Organização Mundial de Saúde (OMS) são frequentemente utilizadas como referência na elaboração de implantação de sistemas de reúso.

Na publicação da USEPA (2012), intitulada “Guidelines for Water Reuse” (ou “Orientações para o reúso de água”), são sugeridos critérios de qualidade da água para reúso urbano, subdividido em reúso urbano para áreas restritas e irrestritas.

O grau de tratamento do efluente varia nessas duas modalidades de reúso urbano: nas áreas onde o acesso da população não é controlado, o efluente precisa passar por um nível de tratamento antes de sua utilização do que nas situações onde o risco de exposição a um grande público é menor (USEPA, 2012).

Nos Estados Unidos da América, a USEPA define diretrizes e padrões como valores gerais a serem adotados como referência e cada estado possui seus próprios regulamentos, estabelecendo padrões para a qualidade das águas de reúso em suas diversas modalidades e os mínimos tratamentos específicos requeridos necessários à sua utilização. Em alguns casos, a lógica se inverte com estados como a Califórnia definindo pioneiramente alguns limites, procedimentos e outros aspectos, com a agência central (USEPA) adotando-os ou aperfeiçoando essas normas.

As Tabelas 20 e 21 apresentam requisitos/padrões de qualidade estabelecidos pela USEPA para reúso urbano e industrial, respectivamente.

Tabela 20 – Padrões de qualidade mínimos estabelecidos pela USEPA para reúso urbano.

Tipo de reúso urbano	Tratamento	Padrões de qualidade	Distância de precaução
Irrestrito	Secundário	6,0 < pH < 9,0	15 m de poços de água potável e 30 m quando localizado em solo poroso
		DBO < 10 mg/L	
		Turbidez < 2 NTU	
		Coliformes fecais não detectáveis	
		Cloro residual mínimo = 1 mg/L Cl ₂	
Restrito	Filtração Desinfecção	6,0 < pH < 9,0	90 m de poços de água potável e 30 m para áreas acessíveis ao público
		DBO < 30 mg/L	
		SST < 30 mg/L	
		Coliformes fecais < 200 NMP/100mL	
		Cloro residual mínimo = 1 mg/L Cl ₂	

Fonte: USEPA, 2012.

Tabela 21 – Padrões de qualidade mínimos estabelecidos pela USEPA para reúso industrial.

Tipo de reúso industrial	Tratamento	Padrões de qualidade	Distância de precaução
Resfriamento sem recirculação	Secundário	6,0 < pH < 9,0	30 m para áreas acessíveis ao público
		DBO < 30 mg/L	
		SST < 30 mg/L	
		Coliformes fecais < 200 NMP/100mL	
		Cloro residual mínimo = 1 mg/L Cl ₂	
Resfriamento de torres com recirculação	Secundário Desinfecção (coagulação química e filtração podem ser necessários)	Variável de acordo com a taxa de recirculação:	30 m para áreas acessíveis ao público. Pode ser reduzido se um alto nível de desinfecção for providenciado
		6,0 < pH < 9,0	
		DBO < 30 mg/L	
		SST < 30 mg/L	
		Coliformes fecais < 200 NMP/100mL	
		Cloro residual mínimo = 1 mg/L Cl ₂	

Fonte: USEPA, 2012.

1.6.4 Parâmetros de qualidade da água para reúso em diversas aplicações

No uso estritamente industrial, os parâmetros de qualidade da água de reúso são definidos basicamente em função da tipologia de sua aplicação e das exigências do processo produtivo, de forma a não afetar os processos fabris e a a qualidade do produto final.

Para a utilização da água em forma de vapor, o grau de qualidade deve ser bastante restritivo, enquanto a utilização da água como fluido de resfriamento requer um grau de qualidade menos restritivo (MARON JUNIOR, 2006).

Uma das principais aplicações do uso da água em indústrias ocorre nos sistemas de torre de arrefecimento. A Tabela 22 apresenta os padrões de qualidade recomendados para água de reúso em torres de arrefecimento, segundo Giordano (2016).

Tabela 22 – Padrões de qualidade recomendados para água de reúso para torres de arrefecimento.

Parâmetro (em mg/l, exceto pH e coliformes fecais)	Limite Recomendado
pH	6,5 – 8,5
Alcalinidade Total	100
Cloretos	100
Condutividade	300
DBO	15
DQO	20
Dureza	100
Sílica	10
Sólidos Dissolvidos Totais	80
Sólidos em Suspensão Totais	10
Sulfato	70
Turbidez	2
Cálcio	25
Magnésio	25
Ferro	0,3
Alumínio	0,2
Manganês	0,1
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	ausência

Fonte: Giordano, 2016.

A fabricação de rolamentos automotivos tem como uma das etapas o processo de tamboreamento que consiste na remoção de rebarbas proveniente do sistema de prensagem com uso de água. A Tabela 23 apresenta as características físico-químicas da água utilizada no processo de tamboreamento no processo produtivo da indústria SKF (fábrica de rolamentos) da cidade de Pune, Índia.

Tabela 23 – Características físicas e químicas da água de tamboreamento na fábrica de rolamentos da cidade de Pune – Índia.

Parâmetro (em mg/l, exceto pH)	Limites
pH	500
Sólidos Suspensos	100
DBO	100
DQO	250
Óleos e Graxas	10
Sólidos Dissolvidos Totais	2100
Sulfatos	1000
Cloretos	600
Fosfato	5
Cianeto	0,2

Parâmetro (em mg/l, exceto pH)	Limites
Cromo Hexavalente	0,1
Cromo Total	2,0
Chumbo	0,1
Oxigênio Dissolvido	5

Fonte: PAWAR, 2005.

A NBR 15900 estabelece os critérios e limites de parâmetros para uso da água para amassamento de concreto, sendo que uma das fontes hídricas é o reúso de água a partir do efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos. A Tabela 24 apresenta os limites recomendados pela NBR 15900.

Tabela 24 – Padrão de qualidade recomendado para água de amassamento de concreto – NBR 15900.

Parâmetro (em mg/l, exceto pH)	Limite Recomendado
pH	>5
Cloretos	< 500
Óxido de Sódio	< 1.500
Açúcares	< 100
Sulfatos	< 2.000
Fosfatos	< 100
Nitratos	< 500
Chumbo	< 100
Zinco	< 100

Fonte: ABNT, 2009.

A Tabela 25 apresenta uma compilação dos limites para parâmetros apresentados nas normas internacionais que dispõem sobre o tema: as americanas (American Concrete Institute – ACI e American Society for Testing Materials – ASTM); a australiana (Australian Standards – AS); a europeia (British Standards European Standard – BS EN); e a indiana (Indian Standards – IS).

Tabela 25 – Comparação dos parâmetros e limites da legislação e normatização internacionais para água de amassamento de concreto.

Norma	IS 3025 * IS 456 **	AS 1379	ASTM C94 *** ASTM 1602 ****	EN 1008
País/Região	Índia	Austrália	Estados Unidos	Europa
pH	>6 **	>5	-	>4
Sulfatos	400 *	<500	< 3.000	<2.000
Sólidos em Suspensão Totais	<2.000 *	-	<50.000 ****	<100
Cloretos	<2.000 * < 500 **	<800	<1.000 ****	<1.000

Nota 1: Todos os limites foram considerados para confecção de concreto armado.

Nota 2: Todos os valores são expressos em mg/L, exceto o pH, que é adimensional.

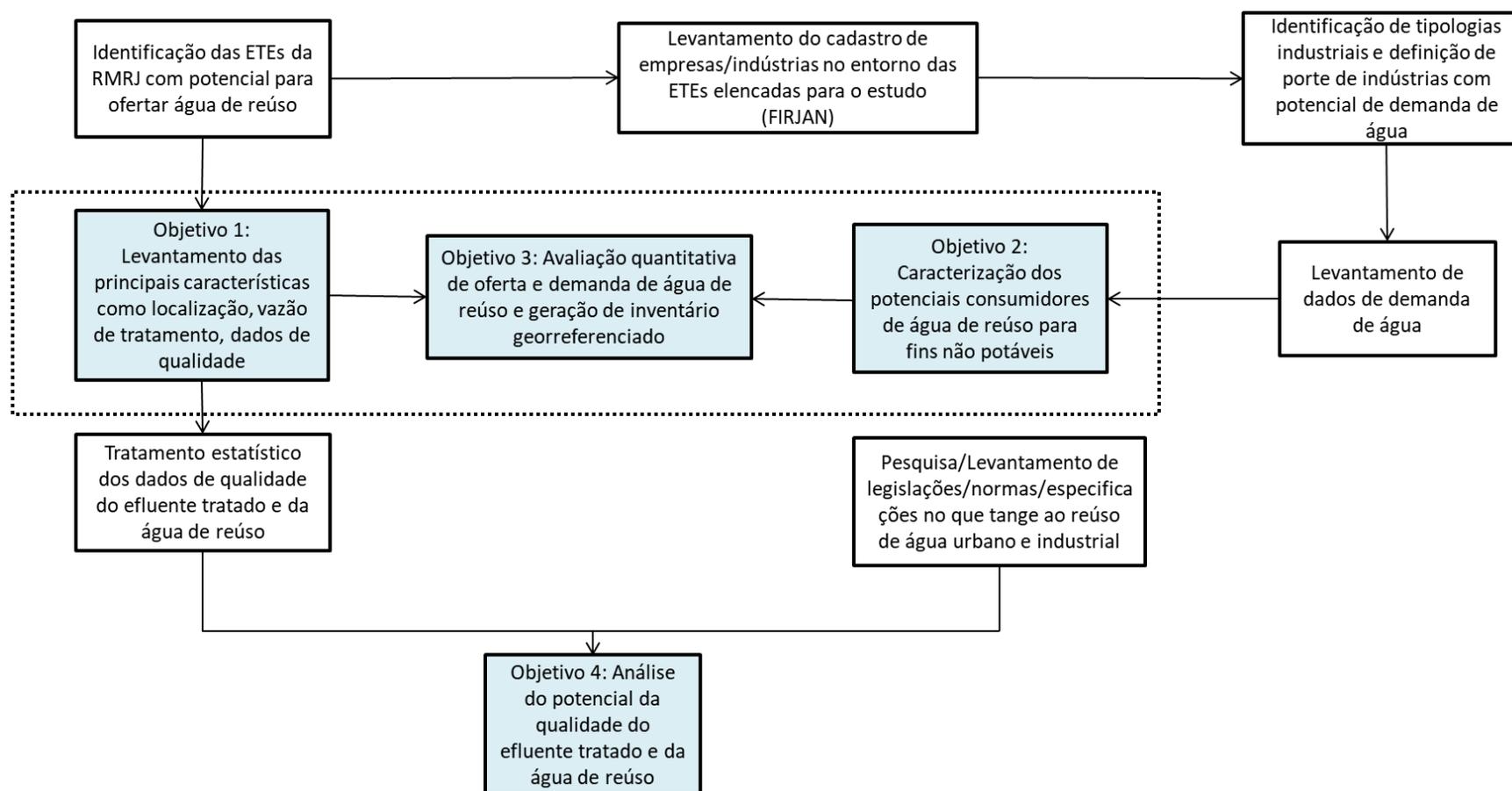
Fonte: Silva Jr. *et al.*, 2020.

2. METODOLOGIA

2.1 Fluxograma metodológico da pesquisa

Na Figura 24 estão dispostas em forma de fluxograma as etapas metodológicas necessárias para atingir os objetivos deste trabalho.

Figura 24 – Fluxograma metodológico da pesquisa.



A metodologia do trabalho iniciou-se com a identificação das ETEs da RMRJ com potencial para ofertar água de reúso. Em seguida, foi realizado um levantamento do cadastro de empresas/indústrias no entorno das ETEs elencadas para o estudo. Com esta base de dados, identificou-se tipologias industriais com potencial de demanda de água. Desta forma, foi possível caracterizar e realizar uma avaliação quantitativa de oferta e demanda de água de reúso na área de estudo.

A partir dos resultados analíticos obtidos de parâmetros do efluente tratado e da água de reúso das ETEs e nas especificações de legislações e normas adotadas neste trabalho, foi realizada uma análise qualitativa.

2.2 Identificação dos potenciais geradores de água de reúso

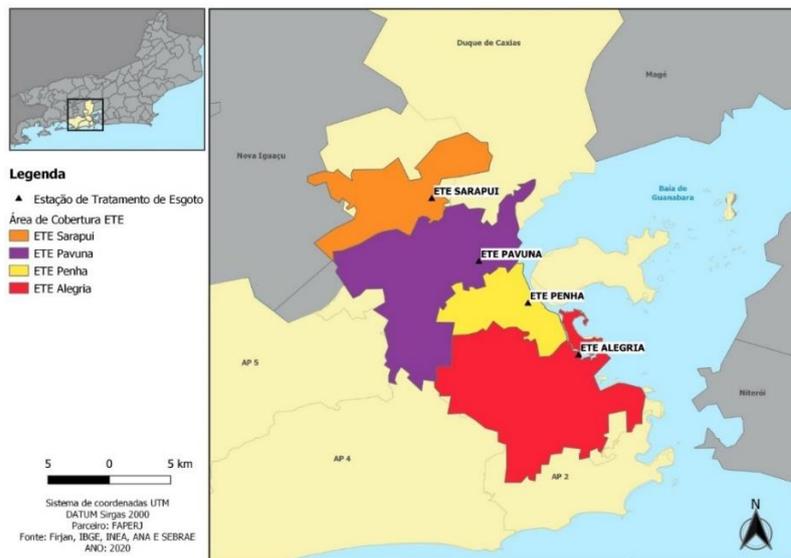
Para definição da área de estudo, foi considerada a localização das principais Estações Tratamento de Esgotos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) que já dispõem ou projetam implementar um sistema de produção de água de reúso em suas unidades.

Desta forma, foram elencadas e definidas como prioritários e potenciais geradores de água de reúso as ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí. Foram levantadas as principais informações dessas unidades a fim de melhor caracterizá-las, incluindo sua localização, vazão e tipo de tratamento dos efluentes domésticos além de informações sobre seus sistemas de reúso.

É importante destacar que durante esta etapa da pesquisa, foram observadas variedades e discrepâncias nas informações relacionadas às vazões de operação das 4 ETEs (BIELSCHOWSKY, 2014; SILVA JUNIOR., 2017; OBRACZKA *et al.*, 2017; TORRES, 2018). Diante disso, foi adotada a capacidade instalada das ETEs no que tange ao tratamento secundário, ou seja, o volume diário que pode ser gerado de efluente tratado e de água de reúso, onde há sistema de produção instalado. Esta informação serviu como premissa para a avaliação quantitativa do potencial de oferta e demanda de água de reúso para fins não potáveis, um dos objetivos do trabalho.

O mapa georreferenciado com a localização e delimitação da bacia de esgotamento das respectivas Estações de Tratamento de Esgotos é apresentado na Figura 25.

Figura 25 – Mapa georreferenciado das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) elencadas como potenciais geradores e respectivas bacias de esgotamento.



Fonte: O autor, 2020.

ETE Alegria

A ETE Alegria é a maior estação de tratamento de esgotos em funcionamento no Estado do Rio de Janeiro e abrange uma área contribuinte de 8.634 hectares. Esta ETE atende às bacias da Alegria, Timbó-Faria, Fundão, São Cristovão, Centro/Mangue, Catumbi e Maré cujo sistema foi planejado para atender uma população de 1,5 milhões de pessoas com capacidade de tratamento diária de 5.000 L/s (PCI, 2003). A estação foi construída dentro do escopo do Plano de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG) e inaugurada em 2009 (BIELSCHOWSKY, 2014). Localiza-se nas coordenadas geográficas 22°52'15"S / 43°13'38"W. A Figura 26 apresenta uma vista aérea da ETE Alegria.

Figura 26 – Vista aérea da ETE Alegria, Rio de Janeiro-RJ.



Fonte: CEDAE, 2015.

ETE Penha

A Estação de Tratamento de Esgotos da Penha foi construída em 1939 e é a mais antiga em funcionamento na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. O processo de tratamento original dessa ETE era a decantação primária com coagulação química. Após diversas etapas de ampliação, a ETE Penha passou a utilizar o processo de tratamento de lodos ativados. Essa estação atende as bacias de esgotamento da Penha e de Irajá, situadas na cidade do Rio de Janeiro (BIELSCHOWSKY, 2014). Localiza-se nas coordenadas geográficas $22^{\circ}49'58''S$ / $43^{\circ}16'05''W$. A Figura 27 apresenta uma vista aérea da ETE Penha.

Figura 27 – Vista aérea da ETE Penha, Rio de Janeiro-RJ



Fonte: CEDAE, 2015.

ETE Pavuna

A Estação de Tratamento de Esgotos da Pavuna foi assim nomeada em virtude de receber os esgotos da bacia do Rio Pavuna. Ela situa-se no bairro de Vigário Geral, a 6 km à montante da foz daquele curso d'água na Baía de Guanabara. A bacia de esgotamento sanitário da ETE Pavuna abrange uma área de 4.730 hectares e cobre os sistemas Pavuna-Meriti 01, Pavuna-Meriti 02, Acari e Rio das Pedras. (BIELSCHOWSKY, 2014 e PSAM, 2015). Localiza-se nas coordenadas geográficas 22°49'09"S / 43°18'26"W. A Figura 28 apresenta uma vista aérea da ETE Pavuna.

Figura 28 – Vista aérea da ETE Pavuna, Rio de Janeiro-RJ



Fonte: CEDAE, 2015.

ETE Sarapuí

A Estação de Tratamento de Esgotos de Sarapuí está localizada às margens do Rio Sarapuí, a 10 km da desembocadura no rio Iguaçu que, por sua vez, tem sua foz na Baía de Guanabara. A bacia de esgotamento sanitário contribuinte à ETE abrange uma área de 6.500 hectares, distribuída em parte dos municípios de Duque de Caxias, Nilópolis, São João de Meriti e Nova Iguaçu, todos pertencentes à Baixada Fluminense (BIELSCHOWSKY, 2014). Localiza-se nas coordenadas geográficas 22°45'22"S / 43°20'43"W. A Figura 329 apresenta uma vista aérea da ETE Sarapuí.

Figura 29 – Vista aérea da ETE Sarapuí, Rio de Janeiro-RJ.



Fonte: CEDAE, 2015.

2.3 Caracterização de potenciais consumidores de água de reúso na área de estudo

Utilizando-se a ferramenta *My Maps* e a partir dos dados do cadastro da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2016), foi extraída a relação de empresas localizadas nos municípios do Rio de Janeiro, Belford Roxo, Duque de Caxias e São João de Meriti a fim de iniciar a identificação das potenciais demandas industriais para as quatro principais ETEs da CEDAE, situadas na RMRJ, que já dispõem ou planejam instalar sistemas de reúso: Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí.

Cabe destacar que o cadastro da FIRJAN abrange os mais diversos setores de atividades, como: comércios a varejo, distribuidoras, transportadoras, agências de viagens, escritórios de arquitetura e demais setores econômicos.

Em seguida, restringiu-se o levantamento de informações a relação de empresas viáveis com base na distância de 10 km a partir da ETEs elencadas, em conformidade com a recomendação das pesquisas de Campos (2018) e Obraczka *et al.* (2019) como raio viável (e mais restritivo) para fornecimento de água de reúso para fins urbanos por caminhão pipa a partir de efluentes domésticos tratados da ETE Alegria.

Estudos similares realizados para a Região Metropolitana de São Paulo também apontam o raio de 10 km a fim de avaliar a viabilidade de distribuição de água de reúso (CNI, 2017).

Somente, no caso do município de Duque de Caxias, foram mapeadas as indústrias mesmo situadas fora do raio de 10 km, tendo em vista a indicação de potencial

demanda/consumo de água industrial, especialmente, os empreendimentos do Complexo da Refinaria de Duque de Caxias (REDUC).

Para determinação das tipologias industriais adotadas no estudo, foi utilizada a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), versão 2.0. A CNAE é ordenada de forma hierarquizada em cinco níveis: seção, divisão, grupo, classe e subclasse. A estrutura completa contempla 21 seções, 87 divisões, 285 grupos, 673 classes e 1.301 subclasses (IBGE, 2020)

Na estimativa nacional de usos consuntivos da água, a indústria de transformação representa o terceiro maior uso, atrás do abastecimento humano e da agricultura irrigada (ANA, 2017).

Desta forma, foi selecionada especificamente a seção C - Indústrias de Transformação, composta por 24 divisões (códigos 10 a 33), e respectivas subdivisões hierárquicas em 103 grupos, 258 classes e 410 subclasses.

As divisões de 10 a 12 não foram consideradas, pois contemplam as indústrias alimentícias e de bebidas, que exigem parâmetros de qualidade de água bastante restritivos em seus respectivos processos (CNI, 2017). Este trabalho considera as indústrias que se situam entre as divisões 13 a 33, excluindo a 18 – Impressão e reprodução de gravações.

O levantamento de dados gerais das indústrias elencadas considerando os critérios adotados permitiu identificar e analisar inconsistências, como: fechamento/inatividade da empresa, carência de informações mínimas, erros nos endereços cadastrados e duplicidades.

Concomitantemente, a fim de se obter uma gama representativa e relevante de potenciais clientes, foram consideradas somente indústrias com 20 funcionários ou mais, ou seja, no mínimo de pequeno porte (EPP), de acordo com a classificação Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE (Tabela 26).

Tabela 26 – Definição do porte de estabelecimentos segundo o número de empregados.

Porte	Comércio e Serviços	Indústria
Microempresa (ME)	Até 9 empregados	Até 19 empregados
Empresa de Pequeno Porte (EPP)	De 10 a 49 empregados	De 20 a 99 empregados
Empresa de médio porte (EMP)	De 50 a 99 empregados	De 100 a 499 empregados
Grandes Empresas (GE)	100 ou mais empregados	500 ou mais empregados

Fonte: SEBRAE, 2013.

Além dessas indústrias de transformação das divisões 13 a 33 e com mais de 20 funcionários, identificou-se na cidade do Rio de Janeiro uma aglomeração de centrais dosadoras de concreto (CDC's) localizadas no bairro do Caju e na região do entorno da Estação de

Tratamento de Esgotos de Alegria, (SILVA JR. e OBRACZKA, 2020). Desta forma, em caráter excepcional, essas 4 empresas foram incluídas no desenvolvimento do trabalho.

2.3.1 Levantamento de outorgas de captação e estimativa de consumo dos potenciais consumidores de água de reúso

Em complemento à identificação e seleção das indústrias como clientes potenciais de águas de reúso para fins não potáveis, foram também apuradas informações específicas sobre o potencial de demanda/consumo de água.

Para isso, foram utilizados os dados de outorgas de captação de água disponíveis em sistemas e bancos de dados do Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2020), órgão gestor de recursos hídricos e recursos ambientais no Estado do Rio de Janeiro.

A partir do levantamento da lista/relação de outorgas na Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara, foram identificadas as outorgas de captação das indústrias localizadas no entorno das ETEs adotadas, limitando-se a área de abrangência com base no raio de 10 km. De maneira análoga, foram também contempladas as outorgas de empreendimentos situados no município de Duque de Caxias, com intuito de incluir as indústrias da REDUC. Das 84 outorgas de captação levantadas, 18 indústrias se enquadravam nos critérios adotados neste trabalho.

Pôde ser observado que uma considerável parcela de indústrias na área de estudo não possui captação/outorga própria de água, sendo, portanto, atendidas por outras fontes de abastecimento como caminhões pipa, aproveitamento de águas pluviais, reúso e/ou mesmo pela rede da concessionária de abastecimento de água.

Para estas indústrias cujas outorgas de captação não foram obtidas durante a pesquisa, realizou-se uma estimativa de demanda de água retirada. Os coeficientes de cálculo de retirada e de consumo multiplicados pelo número de empregados permite obter uma estimativa de volume de água retirado e consumido por dia na indústria, com base na metodologia utilizada e apresentada pela ANA no documento “Água na Indústria: uso e coeficientes técnicos” (ANA, 2017).

A título de exemplo, a Tabela 27 apresenta os coeficientes de retirada e consumo estimado de água para a divisão 13 da estrutura CNAE 2.0 – Fabricação de produtos têxteis, com respectivos grupos e classes. É também discriminada a porcentagem do que é consumido em relação a retirada total de água.

Tabela 27 – Exemplo de estrutura do CNAE com coeficientes de retirada e consumo de água.

Divisão	Grupo	Classe	Denominação	Coeficiente retirada	Coeficiente Consumo	Consumo (%)
				L/empregado.dia		
13			Fabricação de produtos têxteis	-	-	-
	131		Preparação e fiação de fibras têxteis	-	-	-
		13111	Preparação e fiação de fibras de algodão	1.347	263	19,5%
		13120	Preparação e fiação de fibras têxteis naturais, exceto algodão	2.908	567	19,5%
		13138	Fiação de fibras artificiais e sintéticas	6.473	1.262	19,5%
		13146	Fabricação de linhas para costurar e bordar	1.803	351	19,5%
	132		Tecelagem, exceto malha			
		13219	Tecelagem de fios de algodão	1.395	233	16,7%
		13227	Tecelagem de fios de fibras têxteis naturais, exceto algodão	1.319	220	16,7%
		13235	Tecelagem de fios de fibras artificiais e sintéticas	761	127	16,7%
	133		Fabricação de tecidos de malha	2.292	382	16,7%
	134		Acabamentos em fios, tecidos e artefatos têxteis	4.204	791	18,8%
	135		Fabricação de artefatos têxteis, exceto vestuário	594	504	84,8%

Fonte: Adaptado de ANA, 2017.

Para as classes de indústria cujo coeficiente não foi explicitado pela ANA, adotou-se o menor valor do respectivo grupo ou, em último caso, da divisão onde se enquadra a empresa analisada.

A adoção dessa premissa mais conservadora é justificada pelo objetivo do trabalho de analisar a relação entre a oferta de água de reúso e a demanda dos potenciais consumidores.

Para as centrais dosadoras de concreto, foram adotados os consumos de água com base nos dados levantados por Zahner (2014), a partir de dados de consumo de água aferidos para essas concreteiras no primeiro trimestre de 2013.

Para todos os casos, considerou-se que os dados de consumo obtidos/utilizados se referem à água para uso industrial não potável.

2.3.2 Geração de mapa georreferenciado de potenciais geradores e consumidores de água de reúso

A partir das principais informações como tipologia, demanda de água e coordenadas geográficas das indústrias elencadas e das ETEs em estudo, criou-se uma base de dados georreferenciada. Essa base de dados permitiu a geração de mapas apresentando os potenciais geradores e consumidores de água de reúso para fins não potáveis, utilizando a ferramenta *QGIS 3.14.16 'Pi'*.

Para cada tipologia industrial (divisão) foi adotado um símbolo (legenda) específico, dispondo de uma diferenciação por faixas de vazão diária requerida pelos potenciais

consumidores da seguinte forma: a) de 2 a 100 m³/dia; b) entre 100 e 1.000 m³/dia e c) acima de 1.000 m³/dia.

2.4 Avaliação quantitativa de volume ofertado de efluente tratado e água de reúso das ETEs e demandado pelos potenciais consumidores

Com base no levantamento das capacidades instaladas de geração de efluente tratado e de água de reúso das quatro ETE's, foi realizada uma avaliação de atendimento das demandas requeridas de água, considerando a tipologia (divisão) das indústrias elencadas como potenciais consumidores de água de reúso de duas formas. A primeira, mais genérica, contemplando toda a região de estudo, enquanto, que a segunda foi feita de forma mais detalhada, ou seja, considerando cada ETE e a área delimitada no raio de 10 km no seu entorno.

2.5 Avaliação qualitativa do efluente tratado e da água de reúso das ETEs em estudo para fins não potáveis

Com base nas pesquisas/levantamentos de documentação técnica disponível e informações obtidas junto à CEDAE, obtiveram-se os resultados analíticos provenientes do Laboratório de Análises da CEDAE credenciado/certificado junto ao órgão ambiental licenciador (INEA) dos parâmetros físico-químicos e biológicos dos efluentes das ETEs Alegria, Pavuna, Penha e Sarapuí, bem como, da água de reúso produzida nas ETEs Alegria e Penha.

Os dados do efluente proveniente do tratamento secundário das 4 ETEs e da água de reúso da ETE Penha são do período de maio de 2016 a maio de 2019. Os dados da ETE Alegria compreendem o ano de 2016, quando encerrou-se o fornecimento de água de reúso ao Consórcio Porto Maravilha. A Tabela 28 apresenta a relação dos parâmetros obtidos por ETEs, além do período de análise das amostras.

Tabela 28 – Parâmetros e período de análise do efluente tratado (ET) e da água de reúso (AR) para cada ETE.

	ETE Alegria		ETE Penha		ETE Pavuna	ETE Sarapuí
	ET	AR	ET	AR	ET	ET
Período	Maio de 2016 a Maio de 2019	Ano de 2016	Maio de 2016 a Maio de 2019			
pH	X	X	X	X	X	X
DBO _{5,20} (mg/L)	X	-	X	-	X	X
Turbidez (UNT)	-	X	-	X	-	-
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	X	-	X	-	X	X
DQO (mg/L)	X	-	X	-	X	X
Cloretos (mg/L)	X	-	X	-	-	-
Cálcio (mg/L)	-	X	-	X	-	-
Magnésio (mg/L)	-	X	-	X	-	-
Ferro (mg/L)	X	X	-	X	-	-
Alumínio (mg/L)	X	X	X	X	X	X
Manganês (mg/L)	X	X	-	X	X	X
Óleos e Graxas (mg/L)	-	-	X	-	X	X
Sulfatos (mg/L)	X	-	-	-	-	-
Fosfatos (mg/L)	X	-	-	-	-	-
Nitratos (mg/L)	X	-	-	-	X	X
Cianeto Total (mg/L)	X	-	-	-	-	-
Cromo Hexavalente (mg/L)	X	-	-	-	-	-
Cromo Total (mg/L)	X	X	-	X	X	X
Chumbo (mg/L)	X	X	-	X	X	X
Cloro Residual (mg/L)	-	X	-	X	-	-
Boro (mg/L)	X	X	-	X	-	-
Zinco (mg/L)	X	X	-	X	X	X

Nota: ET – Efluente Tratado

AR – Água de Reúso

Fonte: O autor, 2020.

A quantidade de resultados analíticos por parâmetros de efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí, bem como, da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha no período apontado são expressos na Tabela 29.

Tabela 29 – Quantidade de resultados analíticos obtidos por parâmetro do efluente tratado (ET) e da água de reúso (AR) para cada ETE.

	ETE Alegria		ETE Penha		ETE Pavuna	ETE Sarapuí
	ET	AR	ET	AR	ET	ET
	Quantidade de Resultados Analíticos					
pH	161	782	161	209	162	162
DBO _{5,20} (mg/L)	161	-	162	-	162	162
Turbidez (UNT)	-	681	-	232	-	-
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	161	-	162	-	161	157
DQO (mg/L)	161	-	162	-	162	162
Cloretos (mg/L)	66	-	154	-	-	-
Cálcio (mg/L)	-	10	-	157	-	-
Magnésio (mg/L)	-	10	-	157	-	-
Ferro (mg/L)	109	10	-	157	-	-
Alumínio (mg/L)	132	10	152	157	160	160
Manganês (mg/L)	161	10	-	158	160	160
Óleos e Graxas (mg/L)	-	-	160	-	162	161
Sulfatos (mg/L)	62	-	-	-	-	-
Fosfatos (mg/L)	93	-	-	-	-	-
Nitratos (mg/L)	108	-	-	-	107	96
Cianeto Total (mg/L)	109	-	-	-	-	-
Cromo Hexavalente (mg/L)	109	-	-	-	-	-
Cromo Total (mg/L)	51	10	-	136	160	160
Chumbo (mg/L)	160	10	-	136	160	160
Cloro Residual (mg/L)	-	10	-	234	-	-
Boro (mg/L)	109	10	-	136	-	-
Zinco (mg/L)	161	10	-	136	160	160

Nota: ET – Efluente Tratado
AR – Água de Reúso

Fonte: O autor, 2020.

Com estas informações, realizou-se um tratamento estatístico com a geração de valores médios dos resultados analíticos obtidos que permitiu uma comparação da qualidade do efluente tratado e da água de reúso, considerando as legislações, normas e a literatura disponível que estabelecem os limites de parâmetros para a prática do reúso.

Apesar das recentes publicações pelos Estados do Ceará, Minas Gerais e Rio Grande do Sul de legislações no que tange à utilização da água de reúso urbano, a Resolução Conjunta do Estado de São Paulo SES/SIMA N° 01/2020 apresenta maior quantidade de parâmetros a serem cumpridos, assim como a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA).

Desta forma, compilaram-se os limites estabelecidos pelas legislações da Resolução Conjunta do Estado de São Paulo SES/SIMA N° 01/2020 (São Paulo, 2020) e USEPA (2012) comparando-os com os valores dos parâmetros do efluente tratado das ETEs Alegria, Pavuna, Penha e Sarapuí, além da água de reúso das ETEs Alegria e Penha.

Com relação ao emprego de águas regeneradas no setor industrial, foi feita uma comparação da qualidade do efluente tratado das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e a água de reúso das ETEs Alegria e Penha com parâmetros e limites requeridos em legislações, normativas e especificações recomendadas para distintas tipologias industriais como: água de amassamento para concreto, água de reúso para torres de resfriamento e no processo de tamboreamento (etapa de fabricação de rolamentos).

Além disso, o tratamento estatístico dos resultados analíticos possibilitou a geração de *box plot*, ou seja, uma disposição gráfica comparativa que permite visualizar a distribuição e valores discrepantes (*outliers*) dos dados de qualidade obtidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização de potenciais geradores de água de reúso na RMRJ

A Tabela 230 relaciona as Estações de Tratamento de Esgotos de Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí, elencadas para o presente estudo e apresenta a localização, coordenadas geográficas, características relacionadas ao tratamento secundário, bem como, informações sobre o sistema de reúso de água instalados.

Tabela 30 – Principais características dos potenciais geradores de água de reúso na RMRJ.

Fonte geradora (ETE)	Empresa/responsável	Localização	Coordenadas Geográficas	Tipo de tratamento Secundário	Capacidade instalada do tratamento secundário m ³ /dia	Possui sistema de reúso	Tipo de polimento (para reúso)	Capacidade instalada do sistema de água de reúso m ³ /dia
Alegria	CEDAE	Caju, Rio de Janeiro-RJ	22°52'15"S 43°13'38"W	Lodos ativados por aeração prolongada	216.000	Sim	Desinfecção por hipoclorito	1.920
Penha	CEDAE	Penha, Rio de Janeiro-RJ	22°49'58"S 43°16'05"W	Lodos ativados por aeração prolongada	93.830	Sim	Desinfecção por hipoclorito	768
Sarapuí	CEDAE	Belford Roxo - RJ	22°45'22"S 43°20'43"W	Primário quimicamente assistido, Lodos ativados	129.600	Em projeto	-	-
Pavuna Meriti	CEDAE	Pavuna, Rio de Janeiro-RJ	22°49'09"S / 43°18'26"W	Primário quimicamente assistido, Lodos ativados	129.600	Em projeto	-	-

Fonte: Adaptado de Campos, 2018.

Observa-se que existe um enorme potencial para ampliação do sistema de produção de água de reúso de uma maneira geral. Mesmo nas ETEs Alegria e Penha, a capacidade instalada de produção de água de reúso não chega a 1% da vazão total de efluente resultante do tratamento secundário caso a ETE opere com sua capacidade instalada. Considerando as quatro ETEs, a vazão de reúso é ainda mais incipiente, cerca de 0,5%, corroborando com autores como Campos (2018), Bila et al. (2017), Silva Jr (2018) e Obraczka *et al.* (2019).

3.2 Inventário de potenciais consumidores de água de reúso para fins não potáveis na RMRJ

Com base nas premissas adotadas de filtrar as tipologias industriais e a partir das informações obtidas de outorgas de captação e estimativas de consumo com base no número de empregados foi elaborado o quadro resumo contemplando a divisão do CNAE 2.0, incluindo a quantidade de indústrias e vazão diária média requerida por tipologia bem como sua representatividade em relação aos respectivos totais (Tabela 31).

Tabela 31 – Quadro resumo das empresas selecionadas por divisão do CNAE 2.0 e tipologia

N	Divisão CNAE	Tipologia	Número de Indústrias	Porcentagem	Vazão (m ³ /dia)	Porcentagem
1	13	Fabricação de produtos têxteis	23	3%	6.067,2	4%
2	14	Confecção de artigos do vestuário e acessórios	111	15%	8.987,7	7%
3	15	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	9	1%	1.451,6	1%
4	16	Fabricação de produtos de madeira	2	*	8,8	*
5	17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	32	4%	1.108,6	1%
6	19	Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	6	1%	33.355,8	25%
7	20	Fabricação de produtos químicos	79	11%	51.743,6	38%
8	21	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	27	4%	1.838,6	1%
9	22	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	80	11%	1.137,5	1%
10	23	Fabricação de produtos de material plástico	24	3%	3.023,8	2%
11	24	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	16	2%	4.269,7	3%
12	25	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	94	13%	1.640,6	1%
13	26	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	13	2%	154,0	*
14	27	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	13	2%	227,1	*
15	28	Fabricação de máquinas e equipamentos	64	9%	1.679,2	1%
16	29	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	11	2%	74,1	*
17	30	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	7	1%	13.498,5	10%
18	31	Fabricação de móveis	25	3%	107,6	*
19	32	Fabricação de produtos diversos	42	6%	3.303,2	2%
20	33	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	46	6%	1.819,4	1%
21	42	Outras obras de engenharia civil não especificadas anteriormente	3	*	223,2	*
22	43	Outras obras de acabamento da construção	1	*	57,3	*
		TOTAL	728		135.777,0	

Nota: * valores inferiores a 0,5%.

Fonte: o autor, 2020.

Apesar de classificadas com tipologias de indústrias de transformação, verificou-se que determinadas empresas cadastradas pela FIRJAN são de escritórios representantes destas empresas, muitas delas situadas na região central da cidade do Rio de Janeiro. Nessa região há uma predominância de imóveis comerciais cuja demanda é basicamente de água potável e para fins domésticos. Portanto, não foram incluídas nesse inventário.

Em termos de quantidade de indústrias, destacam-se as divisões: 14 – Confecção; 20 – Produtos Químicos (especialmente, produtos petroquímicos / polímeros); 22 – Borracha/Plástico (artefatos de borracha e embalagens de material plástico) e 25 – Produtos de metal (estruturas metálicas, usinagem);

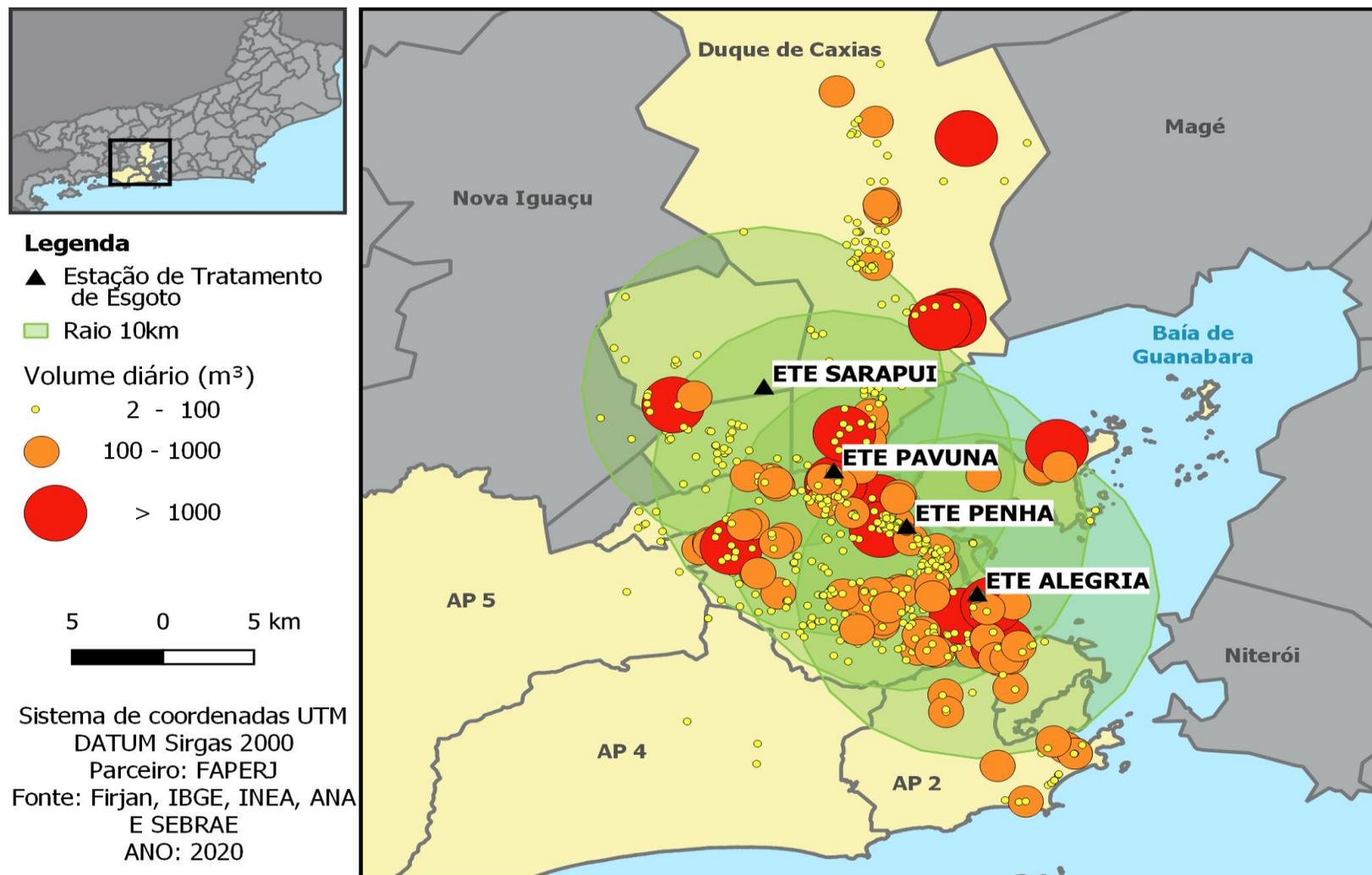
Em termos de vazão demandada, destacam-se: as divisões 19 (Coque e derivados de petróleo) e 20 – Produtos Químicos (especialmente, produtos petroquímicos / polímeros) que representam 63% da demanda requerida na área de estudo da RMRJ.

3.3 Mapa georreferenciado de potenciais geradores e consumidores de água de reúso para fins não potáveis na RMRJ

A compilação das principais informações permitiram a geração de um inventário/mapa georeferenciado dos potenciais geradores e consumidores de água de reúso na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

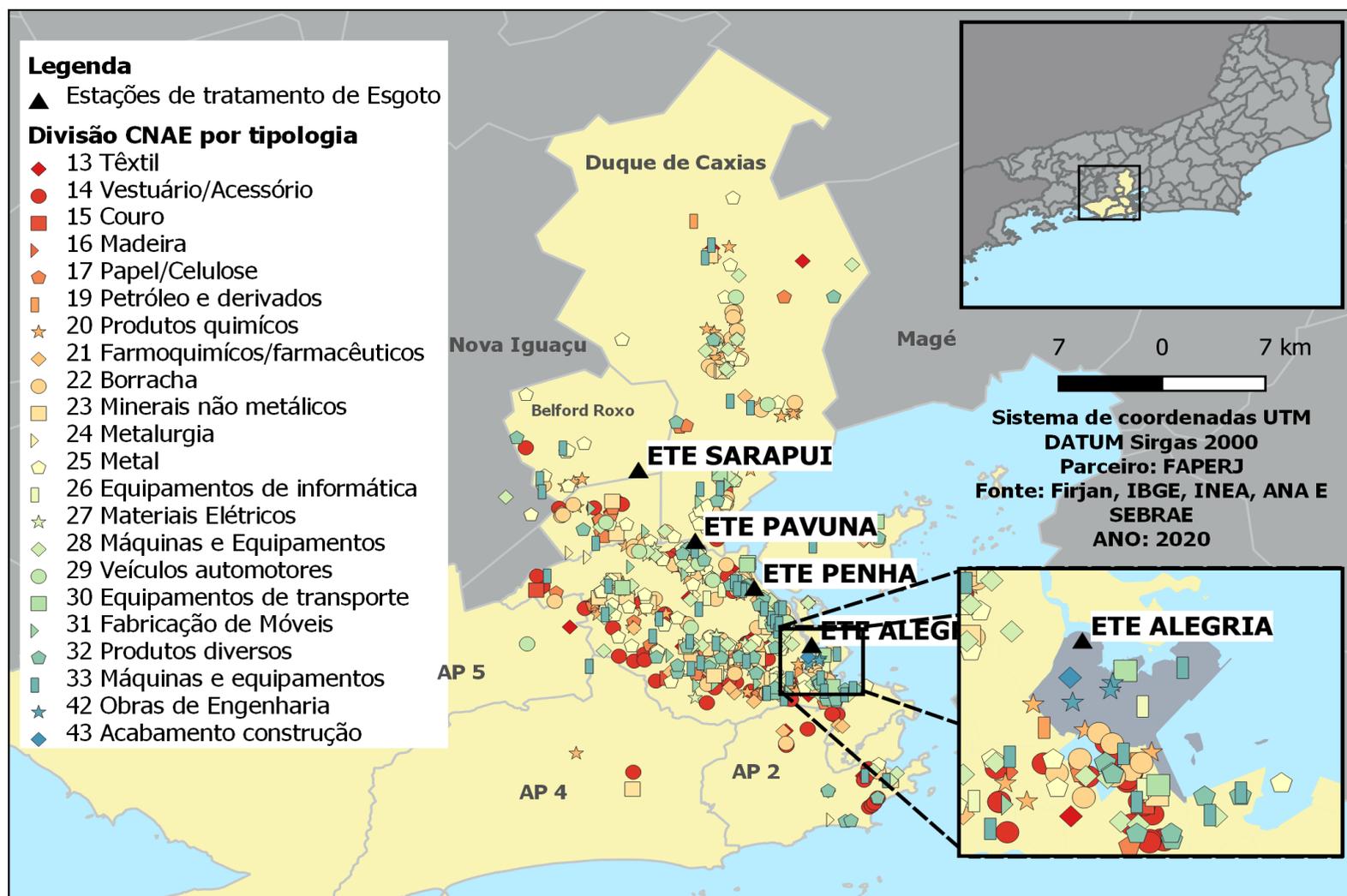
A Figura 30 apresenta a localização georreferenciada dos geradores, bem como, dos consumidores de água de reúso por faixas de volumes diários demandados, enquanto a Figura 31 ilustra a localização georreferenciada por tipologia industrial, destacando-se, a título de exemplo, a região da ETE Alegria no Caju.

Figura 30 – Mapa georreferenciado dos geradores e consumidores em potencial de água de reúso das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí por faixas de volume diário demandado.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 31 – Mapa georreferenciado dos geradores e consumidores em potencial de água de reúso das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí por tipologia industrial.



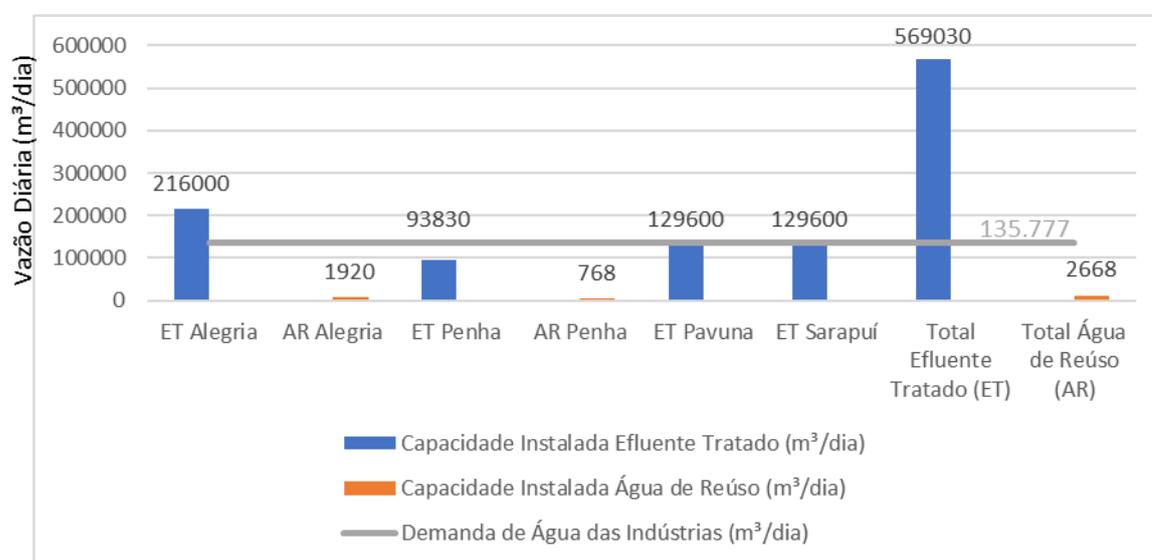
Fonte: O autor, 2020.

Pode ser visualizada a proximidade de inúmeras empresas cadastradas em relação as ETEs priorizadas pelo estudo. Ainda que mais afastadas do potencial gerador mais próximo (ETE Sarapuí), as empresas da REDUC possuem um grande potencial de atendimento tendo em vista suas grandes vazões demandadas. Ainda, segundo Campos (2018), as distâncias viáveis para emprego de água de reuso podem chegar a 30 e 50 km, respectivamente, dependendo de aspectos como vazão de demanda e tarifas de água do sistema convencional e de água de caminhão pipa.

3.3.1 Avaliação do volume ofertado e demandado considerando a localização das ETEs

A Figura 32 apresenta um gráfico com as capacidades instaladas das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí do tratamento secundário, ou seja, que gera o efluente tratado e do sistema de produção de reuso, além do somatório da vazão demandada de água das 728 indústrias.

Figura 32 – Capacidade de produção de efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e de água de reuso (AR) das ETEs Alegria e Penha e Demanda de água das indústrias.



Fonte: O autor, 2020.

Observa-se que a capacidade instalada dos sistemas de água de reuso não é suficiente para atender às demandas dos potenciais consumidores. No entanto, ao avaliar a vazão de esgotos tratados a nível secundário, a ETE Alegria já seria suficiente para suprir toda a demanda por água de reuso requerida pelas 728 indústrias elencadas da área de estudo da RMRJ.

Enquanto a vazão de esgotos tratados das ETEs Pavuna e Sarapuí atenderia, individualmente, a 95% ao volume diário de demanda dessas indústrias.

O somatório da capacidade instalada para geração de efluente tratado das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí teria volume suficiente para atender quatro vezes a demanda de água das indústrias elencadas como potencial consumidoras de água de reúso para fins não potáveis.

Tendo em vista que o reúso de águas residuárias é uma fonte alternativa e estratégica para fins não potáveis (SILVA JR. e OBRACZKA, 2020), essa metodologia permitiu afirmar que há uma possível demanda por água de reúso e essas ETEs deveriam investir nesse nicho.

A Tabela 32 apresenta a quantidade de empreendimentos e vazão diária média requerida das indústrias situadas no raio de 10 km da ETE Alegria por divisão do CNAE 2.0 e tipologia.

Tabela 32 – Quadro resumo das indústrias por divisão do CNAE 2.0 e tipologia localizadas dentro do raio de 10 km da ETE Alegria.

N	Divisão CNAE	Tipologia	Número de Indústrias	Porcentagem	Vazão (m³/dia)	Porcentagem
1	13	Fabricação de produtos têxteis	14	4%	2.317,8	6%
2	14	Confecção de artigos do vestuário e acessórios	71	18%	6.174,1	16%
3	15	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	4	1%	939,9	3%
4	16	Fabricação de produtos de madeira	2	1%	8,8	*
5	17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	14	4%	424,1	1%
6	19	Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	3	1%	807,1	2%
7	20	Fabricação de produtos químicos	28	7%	7.642,6	20%
8	21	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	22	6%	1.489,5	4%
9	22	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	38	10%	281,2	1%
10	23	Fabricação de produtos de material plástico	12	3%	1.859,1	5%
11	24	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	10	3%	2.655,7	7%
12	25	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	37	9%	720,3	2%
13	26	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	12	3%	117,6	*
14	27	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	9	2%	126,8	*
15	28	Fabricação de máquinas e equipamentos	35	9%	1.169,9	3%
16	29	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	5	1%	43,9	*
17	30	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	4	1%	6.337,5	17%
18	31	Fabricação de móveis	16	4%	58,6	*
19	32	Fabricação de produtos diversos	28	7%	2.451,1	7%
20	33	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	27	7%	1.525,1	4%
21	42	Outras obras de engenharia civil não especificadas anteriormente	3	1%	223,2	1%
22	43	Outras obras de acabamento da construção	1	*	57,3	*
		TOTAL	395		37.431,0	

Nota: * valores inferiores a 0,5%.

Fonte: O autor, 2020.

Dentro do raio de 10 km a partir da ETE Alegria, em termos de quantidade de indústrias, destacam-se as divisões: 14 – Confecção; 22 – Borracha/Plástico (artefatos de borracha e embalagens de material plástico); 25 – Produtos de metal (estruturas metálicas, usinagem) e 28

– Fabricação de máquinas e equipamentos. Em termos de vazão demandada, destacam-se: as divisões 14 – Confecção, 20 – Produtos Químicos (especialmente, produtos petroquímicos / polímeros) e 30 - Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores que representam 53% da demanda requerida no entorno da ETE Alegria.

A Tabela 33 apresenta a quantidade de empreendimentos e vazão diária média requerida das indústrias situadas no raio de 10 km da ETE Penha por divisão do CNAE 2.0 e tipologia.

Tabela 33 – Quadro resumo das indústrias por divisão do CNAE 2.0 e tipologia localizadas dentro do raio de 10 km da ETE Penha.

N	Divisão CNAE	Tipologia	Número de Indústrias	Porcentagem	Vazão (m ³ /dia)	Porcentagem
1	13	Fabricação de produtos têxteis	17	3%	2.747,5	5%
2	14	Confecção de artigos do vestuário e acessórios	74	14%	7.632,7	14%
3	15	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	8	2%	1.404,2	3%
4	16	Fabricação de produtos de madeira	2	*	8,8	*
5	17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	18	3%	683,5	1%
6	19	Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	2	*	860,4	2%
7	20	Fabricação de produtos químicos	45	9%	11.458,7	21%
8	21	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	22	4%	1.544,9	3%
9	22	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	56	11%	677,8	1%
10	23	Fabricação de produtos de material plástico	17	3%	2.705,1	5%
11	24	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	11	2%	3.953,9	7%
12	25	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	72	14%	1.327,3	2%
13	26	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	12	2%	117,6	*
14	27	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	11	2%	219,6	*
15	28	Fabricação de máquinas e equipamentos	45	9%	1.420,0	3%
16	29	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	7	1%	51,2	*
17	30	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	7	1%	13.498,5	24%
18	31	Fabricação de móveis	24	5%	105,2	*
19	32	Fabricação de produtos diversos	32	6%	2.940,3	5%
20	33	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	31	6%	1.541,8	3%
21	42	Outras obras de engenharia civil não especificadas anteriormente	3	1%	223,2	*
22	43	Outras obras de acabamento da construção	1	*	57,3	*
		TOTAL	517		55.179,3	

Nota: * valores inferiores a 0,5%.

Fonte: O autor, 2020.

Dentro do raio de 10 km a partir da ETE Penha, em termos de quantidade de indústrias, destacam-se as divisões: 14 – Confeccção; 22 – Borracha/Plástico (artefatos de borracha e embalagens de material plástico) e 25 – Produtos de metal (estruturas metálicas, usinagem);

Em termos de vazão demandada, destacam-se: as divisões 14 – Confeccção, 20 – Produtos Químicos (especialmente, produtos petroquímicos / polímeros) e 30 - Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores que representam 59% da demanda requerida no entorno da ETE Penha.

Interessante destacar também que 517 das 728 indústrias selecionadas pelos critérios adotados para determinação dos potenciais consumidores estão dentro do raio de 10 km a partir da localização da ETE Penha, ou seja, 71%.

A Tabela 34 apresenta a quantidade de empreendimentos e vazão diária média requerida das indústrias situadas no raio de 10 km da ETE Pavuna por divisão do CNAE 2.0 e tipologia.

Tabela 34 – Quadro resumo das indústrias por divisão do CNAE 2.0 e tipologia localizadas dentro do raio de 10 km da ETE Pavuna.

N	Divisão CNAE	Tipologia	Número de Indústrias	Porcentagem	Vazão (m³/dia)	Porcentagem
1	13	Fabricação de produtos têxteis	12	3%	1.877,2	6%
2	14	Confeccção de artigos do vestuário e acessórios	51	12%	6.039,4	19%
3	15	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	6	1%	1.214,7	4%
4	16	Fabricação de produtos de madeira	1	*	3,1	*
5	17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	26	6%	1.016,5	3%
6	19	Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	0	0%	0	0%
7	20	Fabricação de produtos químicos	42	10%	10.594,8	34%
8	21	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	11	3%	575,6	2%
9	22	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	45	10%	587,0	2%
10	23	Fabricação de produtos de material plástico	17	4%	1.829,0	6%
11	24	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	11	3%	2.072,2	7%
12	25	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	70	16%	1.337,5	4%
13	26	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	8	2%	70,8	*
14	27	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	9	2%	198,1	1%
15	28	Fabricação de máquinas e equipamentos	41	10%	1.338,2	4%
16	29	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	8	2%	55,4	0%

N	Divisão CNAE	Tipologia	Número de Indústrias	Porcentagem	Vazão (m³/dia)	Porcentagem
17	30	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	4	1%	726,0	2%
18	31	Fabricação de móveis	18	4%	87,3	*
19	32	Fabricação de produtos diversos	23	5%	1.429,7	5%
20	33	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	27	6%	564,7	2%
21	42	Outras obras de engenharia civil não especificadas anteriormente	0	0%	0	0%
22	43	Outras obras de acabamento da construção	0	0%	0	0%
		TOTAL	430		31.617,3	

Nota: * valores inferiores a 0,5%.

Fonte: O autor, 2020.

Dentro do raio de 10 km a partir da ETE Pavuna, em termos de quantidade de indústrias, destacam-se as divisões: 14 – Confecção e 20 – Produtos Químicos (especialmente, produtos petroquímicos / polímeros) 22 – Borracha/Plástico (artefatos de borracha e embalagens de material plástico), 25 – Produtos de metal (estruturas metálicas, usinagem) e 28 – Fabricação de máquinas e equipamentos;

Em termos de vazão demandada, destacam-se: as divisões 14 – Confecção e 20 – Produtos Químicos (especialmente, produtos petroquímicos / polímeros) que representam 54% da demanda requerida no entorno da ETE Pavuna.

A Tabela 35 apresenta a quantidade de empreendimentos e vazão diária média requerida das indústrias situadas no raio de 10 km da ETE Sarapuú por divisão do CNAE 2.0 e tipologia.

Tabela 35 – Quadro resumo das indústrias por divisão do CNAE 2.0 e tipologia localizadas dentro do raio de 10 km da ETE Sarapuí.

N	Divisão CNAE	Tipologia	Número de Indústrias	Porcentagem	Vazão (m³/dia)	Porcentagem
1	13	Fabricação de produtos têxteis	8	4%	1.768,3	3%
2	14	Confecção de artigos do vestuário e acessórios	19	8%	2.207,8	4%
3	15	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	3	1%	426,4	1%
4	16	Fabricação de produtos de madeira	0	0%	0	0%
5	17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	13	6%	431,2	1%
6	19	Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	1	*	32.208,0	62%
7	20	Fabricação de produtos químicos	29	13%	9.404,8	18%
8	21	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	3	1%	85,5	*
9	22	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	29	13%	471,1	1%
10	23	Fabricação de produtos de material plástico	8	4%	1.017,7	2%
11	24	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	8	4%	1.689,9	3%
12	25	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	51	22%	944,3	2%
13	26	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	0	0%	0	0%
14	27	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	4	2%	138,6	*
15	28	Fabricação de máquinas e equipamentos	19	8%	452,7	1%
16	29	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	4	2%	16,4	*
17	30	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	2	1%	336,0	1%
18	31	Fabricação de móveis	8	4%	46,9	*
19	32	Fabricação de produtos diversos	7	3%	579,3	1%
20	33	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	11	5%	120,4	*
21	42	Outras obras de engenharia civil não especificadas anteriormente	0	0%	0	0%
22	43	Outras obras de acabamento da construção	0	0%	0	0%
		TOTAL	227		52.345,2	

Nota: * valores inferiores a 0,5%.

Fonte: O autor, 2020.

Dentro do raio de 10 km a partir da ETE Sarapuí, em termos de quantidade de indústrias, destacam-se as divisões: 20 – Produtos Químicos (especialmente, produtos petroquímicos / polímeros); 22 – Borracha/Plástico (artefatos de borracha e embalagens de material plástico) e 25 – Produtos de metal (estruturas metálicas, usinagem)

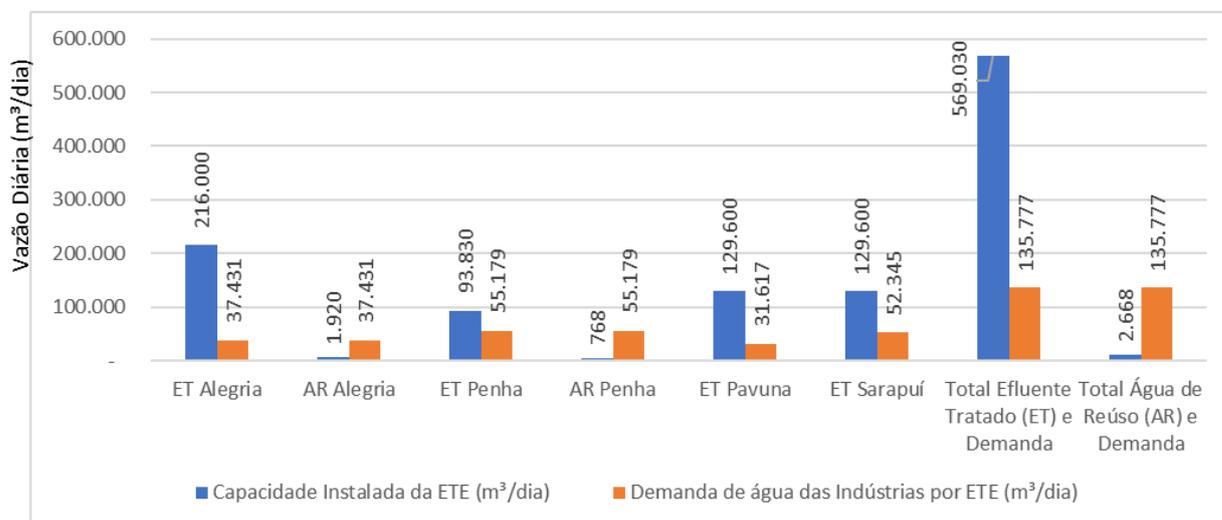
Em termos de vazão demandada, destaca-se a divisão 19 – Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis. Apesar de ter apenas 1 indústria com esta tipologia (divisão), o volume de água requerido representa 62% de toda a demanda no entorno da ETE Sarapuí, ou seja, no raio de 10 km.

Vale destacar também a divisão 20 – Produtos Químicos (especialmente, produtos petroquímicos / polímeros) com 18% do volume total da área delimitada a partir da ETE Sarapuí. Somado à divisão (tipologia industrial) 19, representa 80% do total demandado.

Para esta ETE, observa-se ainda que há a menor quantidade de indústrias (228) comparado com as demais, no entanto o volume demandado de água é bastante representativo.

A Figura 33 apresenta um gráfico com as capacidades instaladas das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí do tratamento secundário, ou seja, que gera o efluente tratado e do sistema de produção de reúso, além do volume demandada pelas indústrias selecionadas como potenciais consumidores de água de reúso no entorno de cada ETE.

Figura 33 – Capacidade de produção de efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e de água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha e Demanda de água das indústrias dentro do raio de 10 km para cada ETE.



Fonte: O autor, 2020.

Apesar da capacidade instalada de água de reúso não suprir as demandas das indústrias situadas no raio de 10 km das ETEs Alegria e Penha, observa-se que as capacidades instaladas de tratamento do efluente secundário da ETE Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí atendem toda a demanda por água de reúso requerida pelas indústrias situadas no entorno de da respectiva ETE.

3.4 Análise da qualidade do efluente tratado e da água de reúso para fins não potáveis

A Tabela 36 permite analisar a qualidade do efluente tratado das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí, bem como, a água de reúso das ETEs Alegria e Penha em comparação com as duas legislações adotadas como parâmetro para o trabalho para reuso urbano não potável: a Resolução Conjunta do Estado de São Paulo SES/SIMA N° 01/2020 e a legislação americana da *USEPA* (2012).

Tabela 36 – Comparação da qualidade do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha com legislações pertinentes ao reúso não potável urbano.

Parâmetros	ETE Alegria		ETE Penha		ETE Pavuna	ETE Sarapuí	Resolução SES/SIMA/2020		USEPA 2012	
	ET	AR	ET	AR	ET	ET	Classe A (Uso Irrestrito não potável)	Classe B (Uso Restrito não potável)	Irrestrito	Restrito
pH	7,40	7,08	6,49	6,76	7,01	7,17	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9
DBO _{5,20} (mg/L)	26,83	-	11,15	-	8,62	6,95	≤ 10	≤ 30	≤ 10	≤ 30
Turbidez (NTU)	-	7,64	-	8,02	-	-	≤ 2	-	< 2	-
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	26,94	-	12,37	-	10,96	9,83	≤ 0,5 (sistema de filtração por membrana)	≤ 30	-	≤ 30
Cloro Residual (mg/L)	-	1,60	-	0,93	-	-	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1
Boro (mg/L)	0,10	0,09	-	0,04	-	-	≤ 0,7	≤ 2	-	-
Cloretos (mg/L)	259,2	-	83,5	-	-	-	≤ 106	≤ 350	-	-

Nota: ET – Efluente Tratado

AR – Água de Reúso

Fonte: O autor, 2020.

Os valores médios de pH apresentam-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução Conjunta do Estado de São Paulo (SES/SIMA N° 01/2020) e *USEPA*. Destaca-se que os valores médios dos parâmetros pH e DBO do efluente tratado (ET) das ETEs Pavuna e Sarapuí atendem a Resolução do Estado de São Paulo (2020), assim como a *USEPA* (2012) para usos irrestritos. Os valores médios do parâmetro sólidos em suspensão totais (SST) do efluente tratado (ET) das ETEs Pavuna e Sarapuí atendem ao limite estabelecido de até 30 mg/L para usos restritos de

ambas as legislações, no entanto, não atende ao limite de até 0,5 mg/L para a classe A (uso irrestrito não potável) da SES/SIMA N° 01/2020.

Os valores médios dos parâmetros pH, DBO, sólidos em suspensão totais do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria e Penha atendem à classe B (uso restrito não potável) da Resolução SES/SIMA N° 01/2020, bem como a legislação americana para uso restrito. Além disso, os resultados do parâmetro cloretos do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria e Penha também atendem à classe B (uso restrito não potável) da Resolução SES/SIMA N° 01/2020, assim como, o valor médio do parâmetro boro do efluente tratado (ET) da ETE Alegria.

Quanto à água de reúso (AR) da ETE Alegria e da ETE Penha, observa-se que os valores médios dos parâmetros pH, cloro residual atendem ambas as legislações sendo que no caso da ETE Penha, o valor médio de cloro residual encontra-se próximo do que é estabelecido (≥ 1 mg/L) pelas legislações. Os resultados do parâmetro Turbidez para a água de reúso (AR) da ETEs Alegria e Penha apresentam-se acima do limite estabelecido de 2 NTU em ambas as legislações para uso irrestrito não potável.

A Tabela 37 apresenta os resultados dos parâmetros analisados do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso da ETE Alegria e Penha em comparação aos limites estabelecidos para aplicações no setor industrial. Para tal, foram consideradas as especificações da utilização da água para torre de resfriamento, no processo de tamboreamento (etapa da fabricação de rolamentos) e para amassamento de concreto, conforme estabelece a NBR 15900 (ABNT, 2009).

Tabela 37 – Comparação da qualidade do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso (AR) das ETE Alegria e Penha com parâmetros e valores requisitados para diversas aplicações na indústria.

Parâmetros	ETE Alegria		ETE Penha		ETE Pavuna	ETE Sarapuí	Especificação para torre de arrefecimento	Tamboreamento – processo de fabricação de rolamentos	NBR 15900 – água para amassamento de concreto
	ET	AR	ET	AR	ET	ET			
pH (upH)	7,40	7,08	6,49	6,76	7,01	7,17	6,5 a 8,5	5,5 a 9,0	≥ 5
DBO _{5,20} (mg/L)	26,83	-	11,15	-	8,62	6,95	15	100	-
Turbidez (UNT)	-	7,64	-	8,02	-	-	2	-	-
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	26,94	-	12,37	-	10,96	9,83	10	100	-
DQO (mg/L)	129,0	-	22,77	-	25,66	20,29	20	250	-
Cloretos (mg/L)	259,2	-	83,5	-	-	-	100	600	< 500*
Cálcio (mg/L)	-	24,95	-	16,78	-	-	25	-	-
Magnésio (mg/L)	-	14,62	-	5,39	-	-	25	-	-
Ferro (mg/L)	0,182**	0,355	-	0,38	-	-	0,3	-	-
Alumínio (mg/L)	0,759	0,348	0,203	0,355	0,291	0,222	0,2	-	-
Manganês (mg/L)	0,03**	0,121	-	0,03	0,081**	0,182**	0,1	-	-
Óleos e Graxas (mg/L)	-	-	6,2	-	4,76	4,3	-	10	-
Sulfatos (mg/L)	63,62	-	-	-	-	-	-	1000	< 2000
Fosfatos (mg/L)	4,64	-	-	-	-	-	-	5	< 100
Nitratos (mg/L)	5,22	-	-	-	13,31	7,4	-	-	< 500
Cianeto Total (mg/L)	< 0,2	-	-	-	-	-	-	0,2	-
Cromo Hexavalente (mg/L)	0,004	-	-	-	-	-	-	0,1	-
Cromo Total (mg/L)	0,003	0,002	-	0,008	0,011	0,004	-	2,0	-
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,008	-	0,007	< 0,008	< 0,005	-	0,1	< 100
Zinco (mg/L)	0,089	0,164	-	0,424	0,088	0,095	-	-	< 100

Nota: * menor valor de cloretos da NBR15900

** valores de ferro e manganês dissolvido (mg/L)

ET – Efluente Tratado

AR – Água de Reúso

Fonte: O autor, 2020.

O efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí, bem como a água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha atendem aos parâmetros e limites estabelecidos na especificação da água para uso no processo de tamboreamento e na NBR – 15900 (ABNT, 2009), como água para amassamento de concreto.

Os resultados atendem aos limites estabelecidos pelas legislações e normatizações internacionais para água de amassamento, segundo Silva Jr. (2020), dos parâmetros pH, sulfatos, sólidos em suspensão totais e cloretos.

A NBR 15900 (ABNT, 2009) especifica requisitos para água de preparo de concreto, indicando que o efluente proveniente do esgoto tratado não é adequado como água de amassamento. Por outro lado, a mesma NBR prevê o reúso de águas provenientes de ETEs, condicionado a aplicações específicas, com qualidade baseada em acordo entre o fornecedor de água e o responsável pela preparação do concreto, devendo também atender aos requisitos gerais da norma.

Quanto às especificações do uso da água em torres de arrefecimento, o efluente tratado (ET) da ETE Sarapuí atende aos limites estabelecidos dos parâmetros: pH (entre 6,5 a 8,5), DBO (15 mg/L), sólidos em suspensão totais (10 mg/L). Os valores ficaram acima dos limites estabelecidos de 20 mg/L para DQO, 0,2 mg/L para Alumínio e 0,1 mg/L para manganês.

O efluente tratado (ET) da ETE Pavuna atende aos limites estabelecidos dos parâmetros: pH (entre 6,5 e 8,5), DBO (15 mg/L) e manganês (0,1 mg/L), no entanto, foram encontrados resultados acima dos limites para Sólidos em Suspensão Totais, DQO, e alumínio, da especificação da água utilizada em torres de arrefecimento.

Quanto à qualidade da água de reúso (AR) da ETE Penha, observa-se que os valores médios atendem aos limites estabelecidos para pH (entre 6,5 e 8,5), cálcio (25 mg/l), magnésio (25 mg/L) e manganês (0,1 mg/L) e os resultados situam-se próximos aos limites especificados para turbidez (2,0 UNT), ferro (0,3 mg/L) e alumínio (0,1 mg/L).

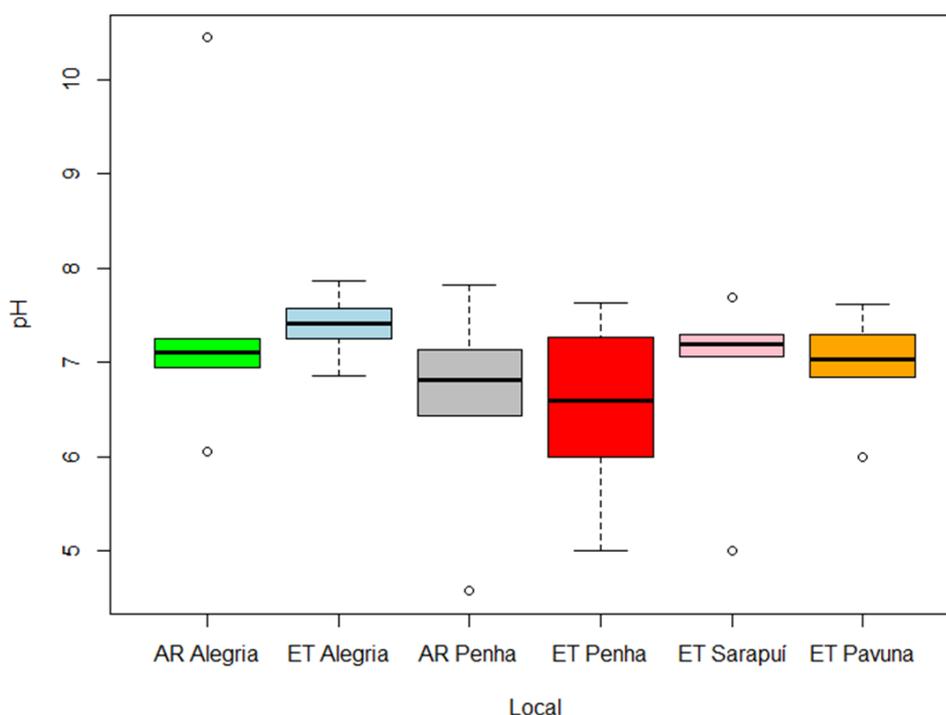
Já os resultados de qualidade da água de reúso (AR) da ETE Alegria atendem o intervalo entre 6,5 e 8,5 de pH, ao limite estabelecido para o cálcio de 25 mg/L, bem como, para o magnésio cujo valor não pode exceder a 25 mg/L. No entanto, a média do resultado de turbidez não atende ao limite estabelecido de 2 UNT.

A Figura 34 apresenta o tratamento estatístico obtido do parâmetro pH para o efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí, além da água de reúso das ETEs Alegria e Penha. Observa-se que o efluente tratado (ET) das ETE Alegria apresenta 100% das amostras com valores de pH entre 6,9 e 7,9, atendendo as legislações que estabelecem os limites para uso urbano não potável da Resolução de São Paulo (2020) e da *USEPA* (2012), bem como,

a especificação para uso em torre de arrefecimento (entre 6,5 e 8,5), processos de tamboreamento (entre 5,5 e 9,0) e os valores recomendados pela NBR 15900 ($\text{pH} \geq 5$). As amostras das ETEs Sarapuí e Pavuna apresentam pontos fora da curva ou afastados da série de dados ou inconsistentes (*outliers*) sendo que o efluente tratado (ET) da ETE Pavuna apresenta resultados entre 5,9 e 7,7. O efluente tratado da ETE Penha apresentou maior amplitude nos resultados de pH quando comparados aos demais, com resultados variando entre 4,9 e 7,7.

As amostras da água de reúso da ETE Alegria apresentaram valores de pH próximos a 7,0 com *outliers* inferior e superior. Já a água de reúso da ETE Penha apresentou valores mais baixos de pH, quando comparados com a ETE Alegria, com aproximadamente 50% das amostras variando entre 6,4 e 7,2 e apresentando ainda *outliers* que excederam o limite inferior das legislações.

Figura 34 – *Boxplot* de pH para o efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha.



Fonte: O autor, 2020.

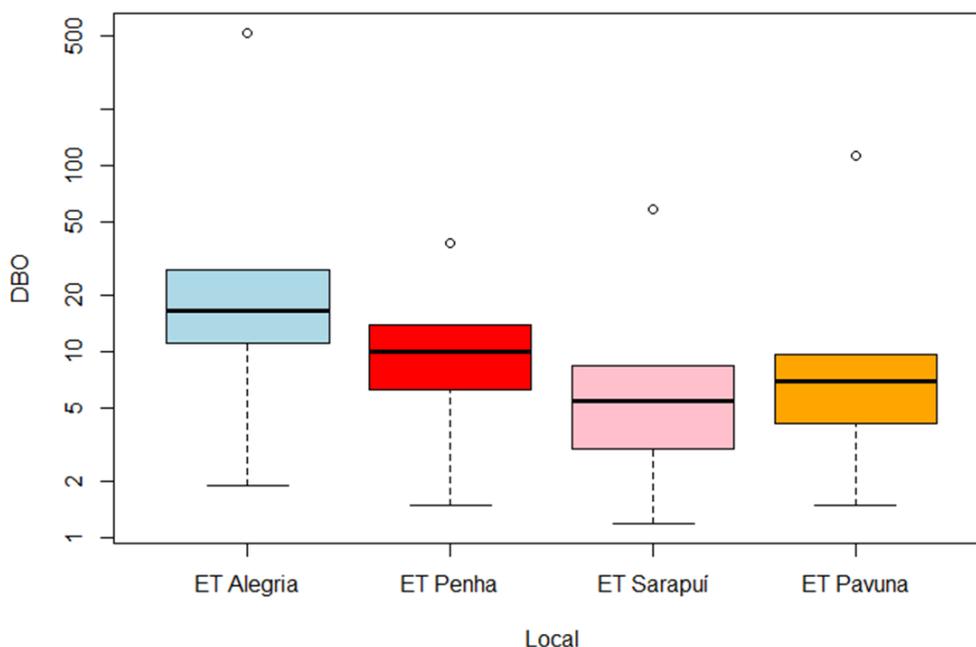
A Figura 35 apresenta os resultados obtidos do parâmetro DBO do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí. Cerca de 75% dos resultados das ETEs Pavuna e Sarapuí situam-se abaixo dos limites estabelecidos para os padrões mais exigentes das

legislações analisadas, ou seja, até 10 mg/L da classe A (uso irrestrito não potável) da Resolução SES/SIMA/2020 do Estado de São Paulo e para uso irrestrito da *USEPA* (2012) e até 30 mg/L no limite estabelecido pela *USEPA* (2012) para reúso de água para fins industriais. No caso da ETE Penha, os resultados atendem para os usos mais exigentes das legislações (até 10 mg/L) no que tange ao reúso urbano para fins não potáveis em 50% dos dados e para uso em torre de arrefecimento (até 15 mg/L), em 75% dos resultados.

Para o uso da água em processos de tamboreamento, todos os resultados das ETes Penha e Sarapuí atendem ao limite estabelecido de 100 mg/L, incluindo os respectivos *outliers*. Para as ETes Pavuna e Sarapuí mais de 75% dos resultados atendem ao limite estabelecido do parâmetro para esta etapa do processo de fabricação de rolamentos.

A ETE Alegria apresentou resultados variados e superiores quando comparados às outras 3 ETes, no entanto 75% dos valores atendem à classe B (uso restrito não-potável) da Resolução SES/SIMA de 2020 e para o uso restrito da *USEPA*, ou seja, até 30 mg/L. Nesta condição, para as ETes Penha, Pavuna e Sarapuí, esse atendimento às legislações é ainda mais favorável.

Figura 35 – *Boxplot* de $DBO_{5,20}$ para o efluente tratado (ET) das ETes Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí.



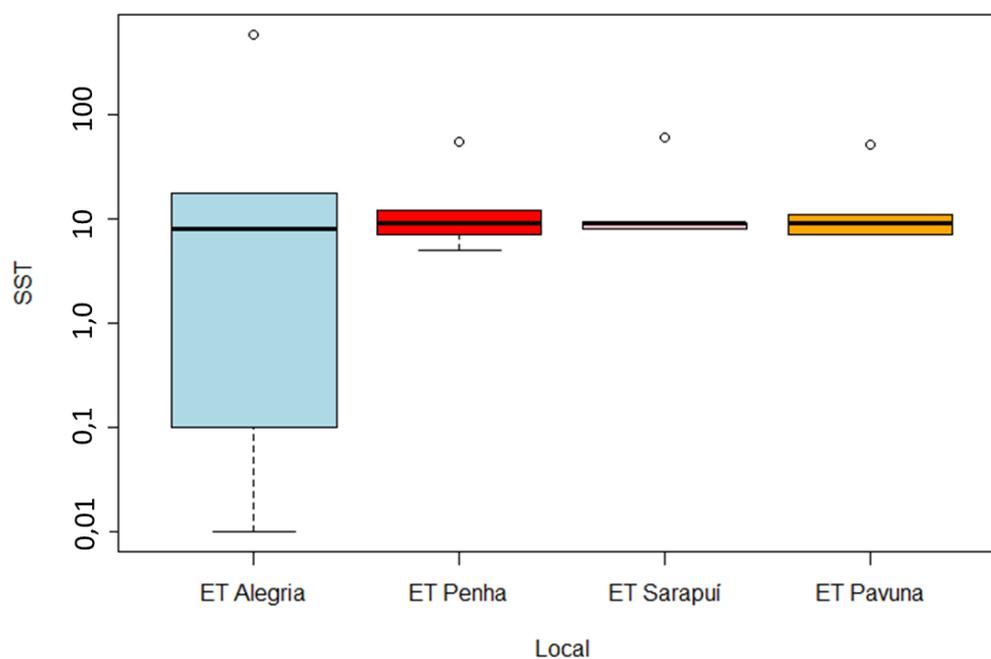
Fonte: O autor, 2020.

A Figura 36 apresenta a estatística dos resultados obtidos de sólidos em suspensão totais (SST) do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí. É possível observar pelo gráfico que cerca de 50% dos resultados das ETEs estão próximos ao limite de 10 mg/L, em atendimento a especificação para torre de arrefecimento. O efluente tratado (ET) das ETEs Penha, Pavuna e Sarapuí apresentam uma concentração dos resultados em 10 mg/L, sendo que todos os resultados atendem ao valor estabelecido pela especificação para utilização da água de reúso em processo de tamboreamento de até 100 mg/L.

Observa-se ainda que, no caso da ETE Alegria, cerca de 75% dos resultados atingem valores até 18 mg/L. No entanto, os resultados são mais variados quando comparados às demais ETEs.

A legislação americana *USEPA* (2012) define padrões de qualidade no que tange ao reúso de água para fins industriais e estabelece para o parâmetro SST o limite até 30 mg/L. Observa-se, que mais de 75% das amostras estão dentro deste limite. Todos os locais avaliados apresentaram *outliers* superiores a 30mg/L.

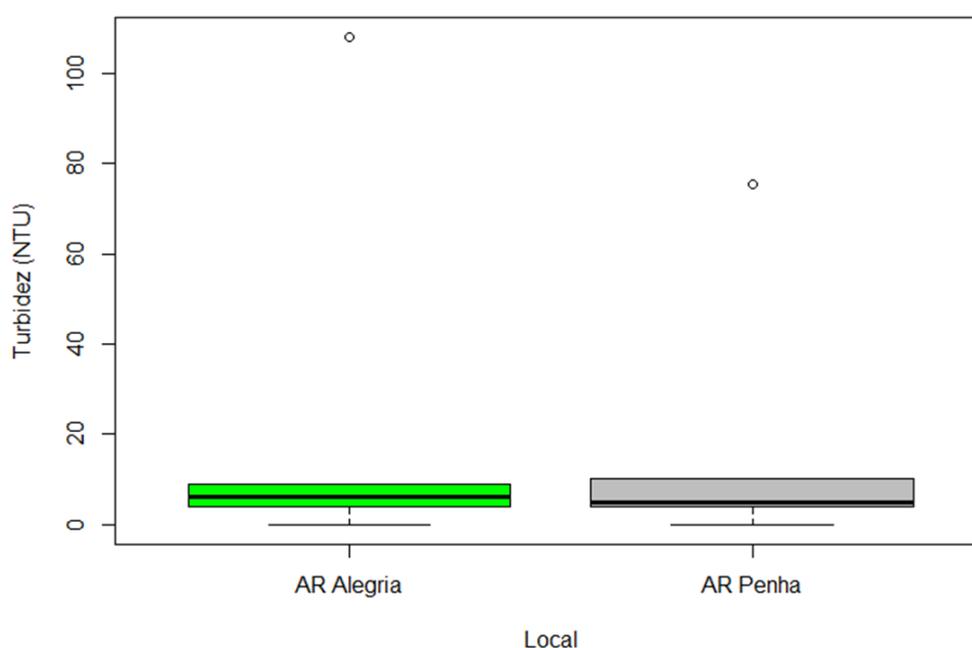
Figura 36 – *Boxplot* de SST para o efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí.



Fonte: O autor, 2020.

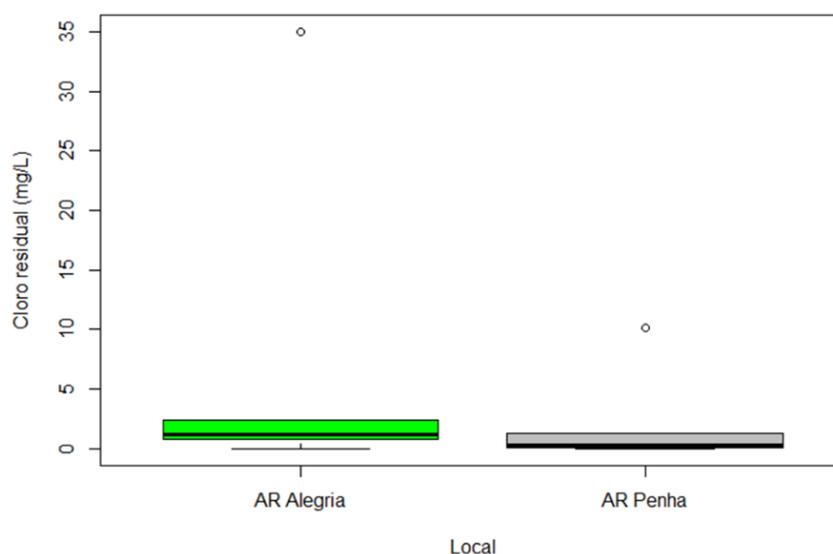
A Figura 37 apresenta os resultados de turbidez da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha. É possível observar uma similaridade nos gráficos que apresentam valores entre 4,0 UNT e 9,0 UNT, no caso da ETE Alegria, e entre 4,0 UNT e 10,0 UNT na ETE Penha. Foram encontrados resultados na barra inferior (25% resultados de menor valor) de ambas as ETEs indicando atenderia aos limites estabelecidos para classe A (uso irrestrito não potável) da Resolução SES/SIMA/2020 do Estado de São Paulo, para uso irrestrito da *USEPA* e da especificação para uso de água em torres de arrefecimento, ou seja, até 2 UNT.

Figura 37 – *Boxplot* de Turbidez da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha.



Fonte: O autor, 2020.

A Figura 38 apresenta os resultados de cloro residual da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha. Os resultados da ETE Alegria apresentam uma concentração maior de valores superiores ao limite inferior estabelecido de 1,0 mg/L para os usos previstos tanto pela Resolução SES/SIMA/2020 do Estado de São Paulo e *USEPA* (2012) em comparação aos resultados apresentados da ETE Penha.

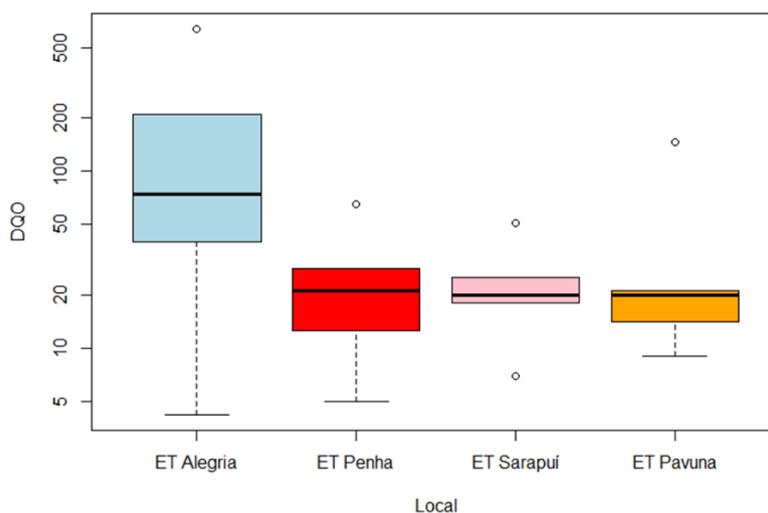
Figura 38 – *Boxplot* de cloro residual da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha.

Fonte: O autor, 2020.

A Figura 39 apresenta os resultados obtidos de Demanda Química de Oxigênio (DQO) do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí. Pelo gráfico, as ETEs Penha, Pavuna e Sarapuí apresentam cerca de 50% dos resultados próximos ao limite de 20 mg/L, em atendimento a especificação para torre de arrefecimento, enquanto para utilização da água de reúso em processo de tamboreamento, todos os resultados destas estão dentro dos limites estabelecidos de 250 mg/L.

Observa-se ainda que, no caso da ETE Alegria, cerca de 75% dos resultados apresentam valores até 200 mg/L, ou seja, abaixo do limite estabelecido para a utilização em processos de tamboreamento. No entanto, os valores são mais variados quando comparados às demais ETEs.

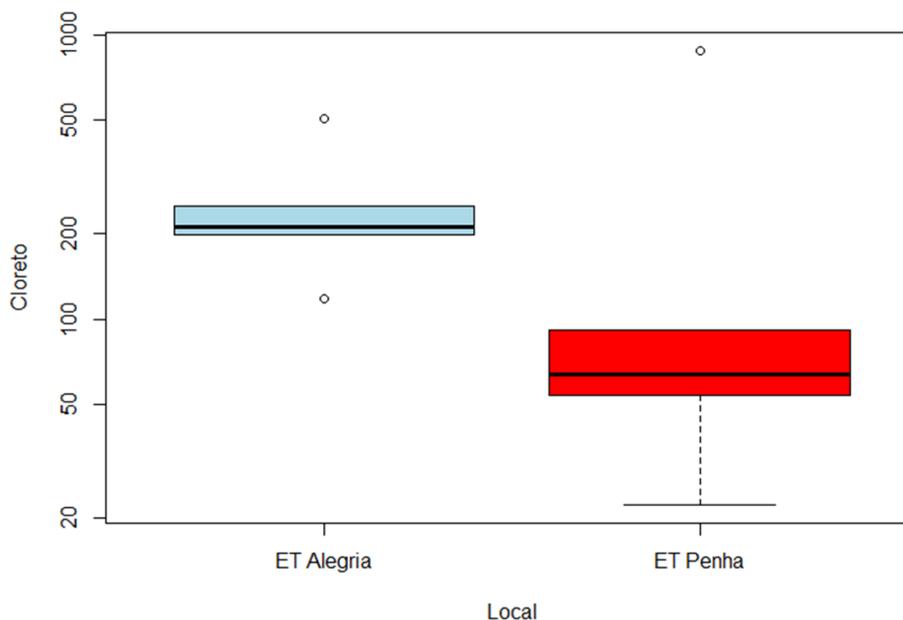
Figura 39 – *Boxplot* de DQO para o efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí.



Fonte: O autor, 2020.

A Figura 40 apresenta a estatística de resultados obtidos do parâmetro Cloretos do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria e Penha. Os resultados da ETE Penha apresentam valores inferiores quando comparados aos da ETE Alegria. Cerca de 75% dos resultados da ETE Penha estão abaixo dos limites estabelecidos na especificação do uso de água para torre de arrefecimento (100 mg/L), bem como da NBR 15900 – Água para amassamento de concreto cujo valor estabelecido é de 500 mg/L e na especificação para processos de tamboreamento (600 mg/L).

Já o efluente tratado (ET) da ETE Alegria apresenta em cerca de 50% dos resultados próximos de 200 mg/L, sendo que todas as amostras situam-se dentro dos limites estabelecidos para usos da água para amassamento de concreto conforme recomendação da NBR 15900 e nos processos de tamboreamento. No entanto, nenhuma amostra apresentou resultado abaixo do especificado para torre de arrefecimento, ou seja, até 100 mg/L.

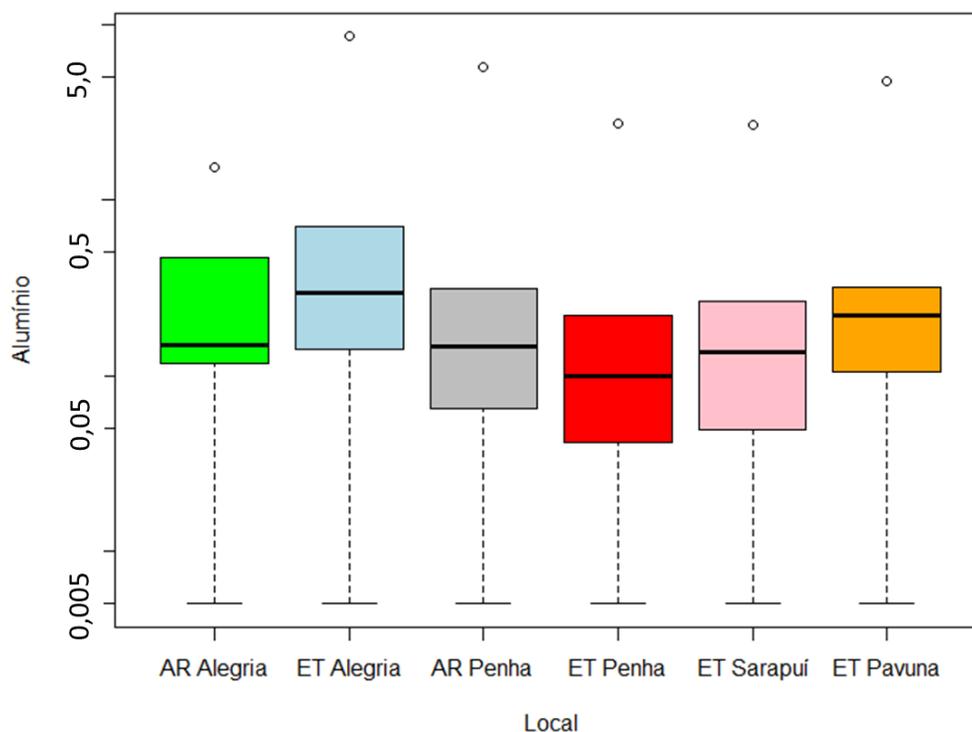
Figura 40 – *Boxplot* de Cloretos para o efluente tratado (ET) das ETEs Alegria e Penha.

Fonte: O autor, 2020.

A Figura 41 apresenta a estatística de resultados obtidos do parâmetro Alumínio do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha. Todos os locais de amostras apresentam *outliers* superior. Observa-se que cerca de 75% dos resultados do efluente tratado da ETE Penha apresentam resultados inferiores ao limite de 0,2 mg/L estabelecido na especificação para torre de arrefecimento.

Cerca de 50% dos resultados de amostras da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha, bem como do efluentes tratado (ET) da ETEs Sarapuí e Pavuna apresentam valores inferiores ao limite de 0,2 mg/L do parâmetro.

Figura 41 – *Boxplot* de Alumínio para o efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e de água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha.

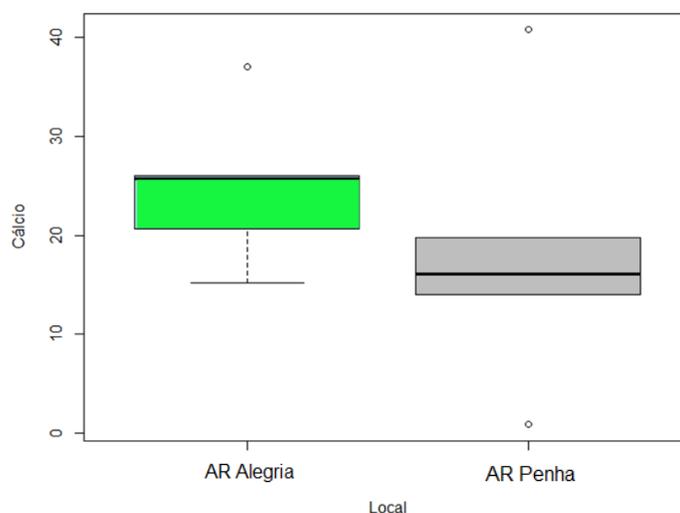


Fonte: O autor, 2020.

A Figura 42 apresenta os resultados obtidos do parâmetro Cálcio da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha. Observa-se que há uma grade concentração dos resultados entre 15 e 20 mg/L na água de reúso (AR) da ETE Penha e que 75% dos seus resultados são inferiores ao limite de 25 mg/L estabelecido na especificação para torre de arrefecimento.

A concentração dos valores deste parâmetro na ETE Penha são inferiores aos da água de reúso (AR) da ETE Alegria. Para esta ETE observa-se, ainda, que a água de reúso (AR) em cerca de 75% dos resultados apresenta valores até 26 mg/L. Ambos os locais apresentam *outliers* superior.

Figura 42 – *Boxplot* de Cálcio para a água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha.

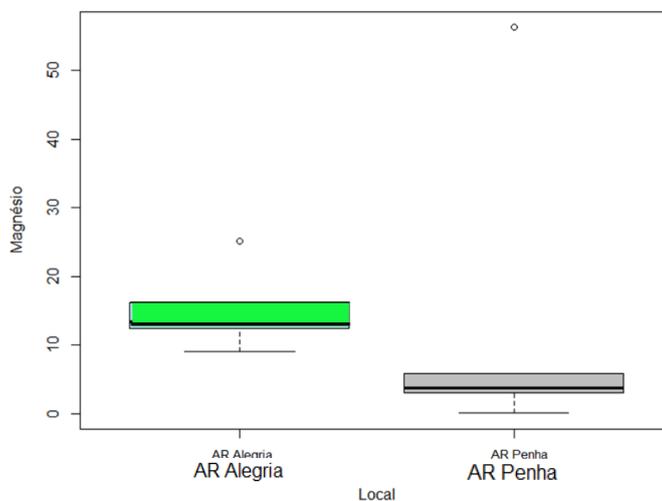


Fonte: O autor, 2020.

A Figura 43 apresenta a estatística de resultados do parâmetro Magnésio da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha. Constata-se que a concentração dos valores da água de reúso (AR) da ETE Penha são inferiores quando comparados com a água de reúso da ETE Alegria. Nota-se que há uma grande representatividade em ambas as ETEs de resultados que se apresentam inferiores ao limite estabelecido para o parâmetro de 25 mg/L para uso em torre de arrefecimento.

Observa-se ainda que na ETE Alegria, os resultados variam entre 9 e 25 mg/L, ambas apresentam *outliers* acima do limite, no entanto na ETE Alegria, no entanto este valor está situado entre 25 e 26 mg/L.

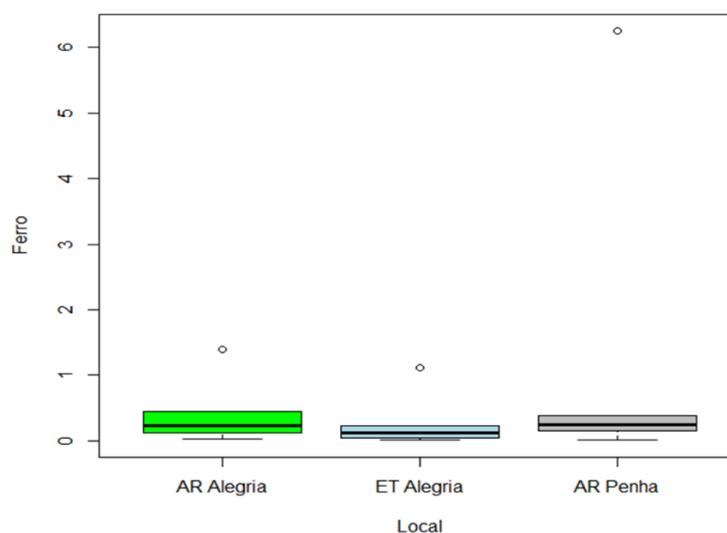
Figura 43 – *Boxplot* de Magnésio para a água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha.



Fonte: O autor, 2020.

A Figura 44 apresenta os resultados obtidos do parâmetro Ferro da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha, bem como, do efluente tratado (ET) da ETE Alegria. Observa-se que a grande concentração dos resultados do efluente tratado (ET) da ETE Alegria e a água de reúso (AR) da ETE Penha são inferiores a 0,3 mg/L, limite estabelecido para o parâmetro na especificação para uso da água em torre de arrefecimento. Já na água de reúso (AR) da ETE Alegria, mais de 50% dos resultados são inferiores ao limite de 0,3 mg/L de ferro.

Figura 44 – *Boxplot* de Ferro para a água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha e efluente tratado (ET) da ETE Alegria.

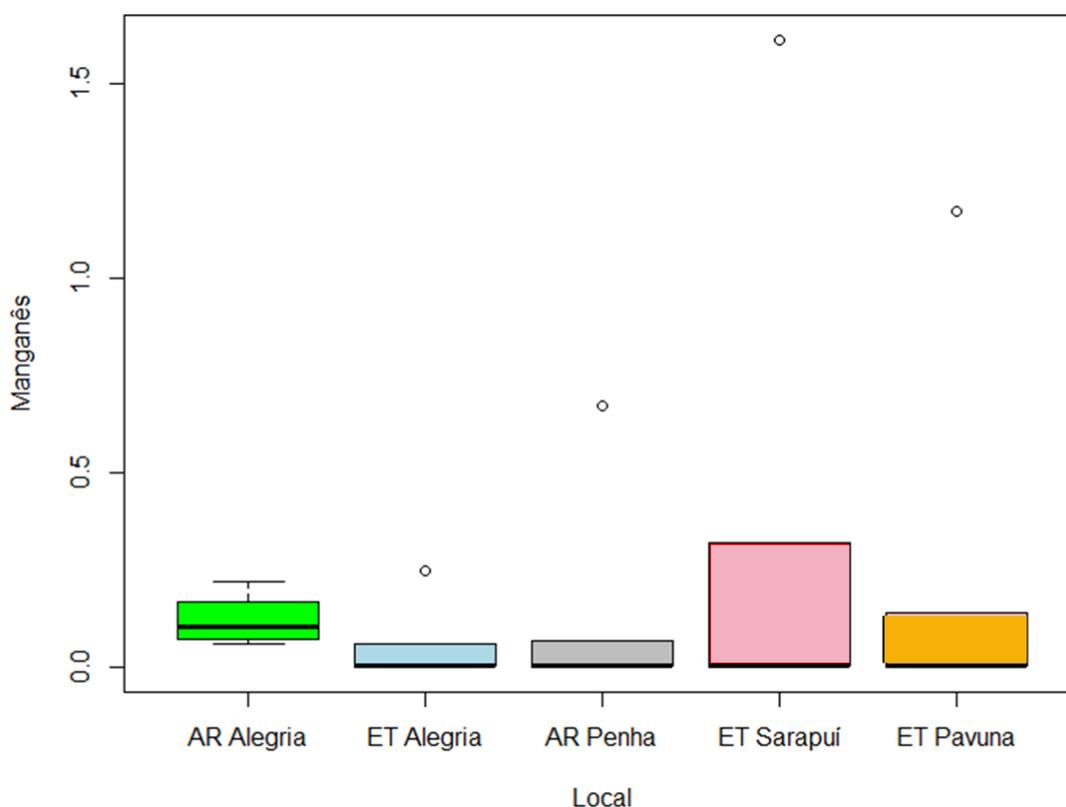


Fonte: O autor, 2020.

A Figura 45 apresenta os resultados obtidos do parâmetro Manganês do efluente tratado (ET) das ETEs Alegria, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha. Constata-se que o efluente tratado (ET) da ETE Alegria e a água de reúso apresentam pouca variabilidade de resultados concentrando-os abaixo de 0,1 mg/L limite estabelecido para utilização da água de reúso em torres de arrefecimento. O efluente tratado (ET) da ETE Sarapuí apresentam maior variabilidade nos resultados, no entanto mais de 50% das amostras estão abaixo de 0,1 mg/L atendendo ao limite estabelecido pela especificação para uso da água em torres de arrefecimento.

Ao contrário dos outros locais, os resultados do efluente tratado (ET) da ETE Alegria não apresentam *outliers* e cerca de 50% dos resultados são inferiores a 0,1 mg/L, valor limite do parâmetro especificado para água em torre de arrefecimento.

Figura 45 – *Boxplot* de Manganês para o efluente tratado das ETEs Alegria, Pavuna e Sarapuí e da água de reúso (AR) das ETEs Alegria e Penha.

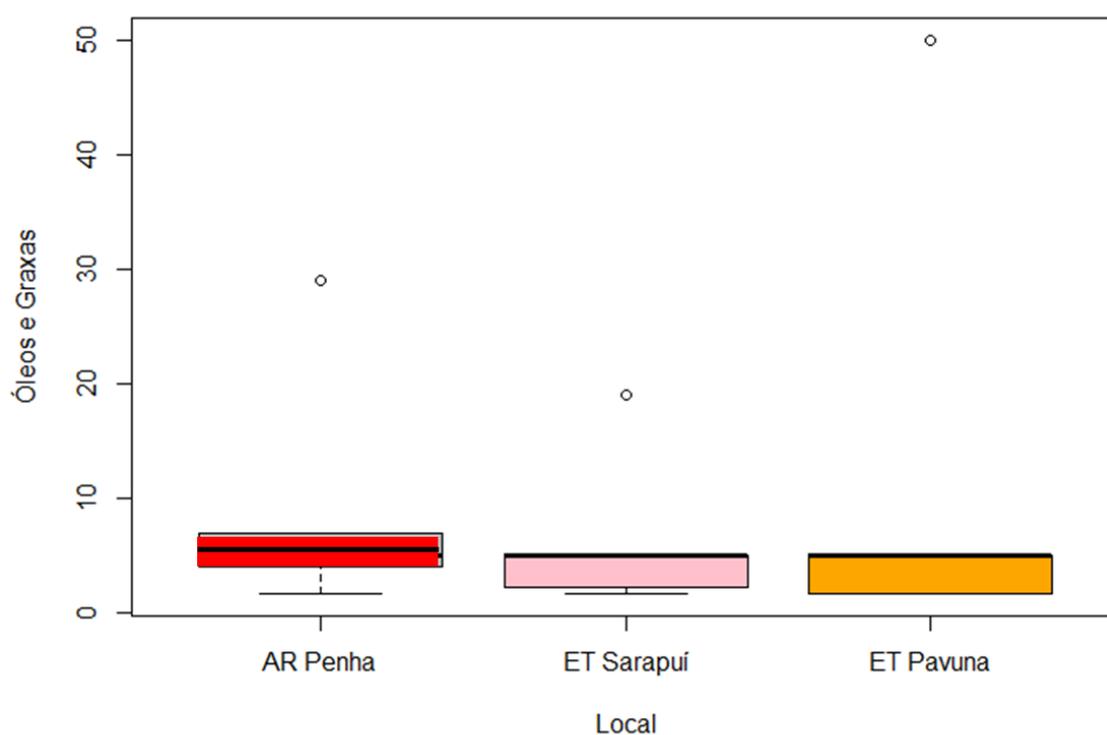


Fonte: O autor, 2020.

A Figura 46 apresenta a estatística dos resultados obtidos do parâmetro Óleos e Graxas do efluente tratado (ET) das ETEs Penha, Pavuna e Sarapuí. Apesar de apresentarem *outliers*,

os resultados para os três locais analisados demonstram o atendimento ao limite estabelecido de 10 mg/L do parâmetro na especificação para uso da água em torres de arrefecimento. O resultados demonstram que a concentração de óleos e graxas no efluente tratado (ET) das ETEs Pavuna e Sarapuí são bem semelhantes, com valores normalmente até 5 mg/L, enquanto na ETE Penha, o efluente tratado chega a atingir 7 mg/L.

Figura 46 – *Boxplot* de Óleos e Graxas para o efluente tratado (ET) das ETEs Penha Sarapuí e Pavuna.



Fonte: O autor, 2020.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho possibilitou caracterizar as Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) de Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí na Região Metropolitana do Rio de Janeiro com potencial para geração de água de reúso, considerando seus principais atributos como localização, capacidade instalada de tratamento secundário e sistema de produção de reúso de água a partir do efluente tratado gerado nas 4 ETEs elencadas.

Com base nas informações disponibilizadas pela CEDAE, foi possível realizar uma caracterização da qualidade do efluente tratado das Estações de Tratamento de Esgotos de Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí, consideradas as principais na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, bem como, a qualidade da água de reúso produzida nas ETEs Alegria e Penha.

Não obstante, a área estudada possui um potencial de oferta e demanda para implementação do reúso de água para fins não potáveis. Pôde ser constatada a existência de grande potencial de geração de água de reúso tendo em vista a grande capacidade instalada de vazão de efluente secundário.

No que diz respeito a demanda geral requerida pela água de reúso, o presente estudo apresentou de forma pioneira um inventário/mapa georreferenciado dos potenciais geradores e consumidores na RMRJ. Foram selecionadas as tipologias industriais que estão dentro do rol de setores econômicos que mais consomem água no país, as denominadas indústrias de transformação. Destacaram-se em termos de quantidade de indústrias as confecções; fabricantes de produtos químicos (especialmente, produtos petroquímicos / polímeros); fabricantes de borracha (artefatos de borracha e embalagens de material plástico) e fabricantes de produtos de metal (estruturas metálicas, usinagem).

As fabricantes de coque, derivados de petróleo e biocombustíveis e as fabricantes de Produtos Químicos (especialmente, produtos petroquímicos / polímeros) representam 64% da demanda requerida na área de estudo.

Este inventário/mapeamento de potenciais geradores e consumidores permite identificar potencialidades/oportunidades de reúso para fins não potáveis para uma determinada região ou *cluster*, considerando o volume demandado pelas indústrias no entorno das ETEs.

No entanto, por se tratar do primeiro levantamento neste sentido na RMRJ e a fim de aprofundar esta análise, recomenda-se que sejam levantadas as vazões de operação do efluente tratado das ETEs, bem como, de demais dados relacionadas ao consumo das indústrias, tendo em vista, que a grande maioria não possui outorgas de captação de água, inferindo-se que sejam

abastecidos por outras fontes como caminhões pipa, aproveitamento de águas pluviais, reúso e/ou ainda pela rede de distribuição de água potável.

O efluente tratado das ETEs Alegria, Penha, Pavuna e Sarapuí e a água de reúso das ETEs Alegria e Penha atenderam aos limites para uso no processo de tamboreamento e para amassamento de concreto conforme NBR – 15900 (ABNT, 2009).

Como proposta, deve-se considerar nos próximos estudos, por exemplo, que determinados processos como torres de arrefecimento, cujo consumo pode chegar a 95% do total de água demandada na indústria de transformação, são comuns na cadeia produtiva de diversas tipologias industriais, o que viabilizaria o fornecimento de uma água de reúso com qualidade específica para atendimento dessas demandas para uma grande gama de indústrias.

No que tange ao reúso urbano para fins não potáveis, observou-se que os valores médios de alguns parâmetros atenderam aos usos restritos nas legislações abordadas. No entanto, a exiguidade de parâmetros disponíveis para uma caracterização mais abrangente é um indicativo da necessidade de maior aprofundamento dos estudos e demonstra que o foco do atual sistema de gestão é o controle ambiental e não o aproveitamento de águas regeneradas.

Cabe destacar que durante o desenvolvimento deste trabalho, constatou-se um aumento de demanda por água de reúso na Companhia (CEDAE) a partir da crise hídrica que ocorreu na Região Sudeste nos anos de 2014 e 2015.

Diante do exposto, pode-se afirmar que o reúso de água demonstra potencial e se apresenta como uma fonte alternativa estratégica para fins não potáveis, tendo em vista, o cenário de recorrente escassez hídrica e poluição de corpos hídricos, especialmente, do principal manancial que atende a Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

- ABIQUIM, 2016, Grupo de Trabalho sobre Recursos Hídricos (GT Água). Manual de gestão eficiente de recursos hídricos. Grupo de Trabalho sobre Recursos Hídricos (GT Água). – São Paulo.
- ADHAM, A.; WESSELING, J.G.; ABED, R.; RIKSEN, M. – Assessing the impact of climate change on Rainwater harvesting in the Oum Zessar watershed in Southeastern Tunisia. *Agricultural Water Management* V. 221, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil). Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental . -- Brasília: ANA, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil). Água na Indústria: Uso e Coeficientes Técnicos. -- Brasília: ANA, 2017.
- ANGELAKIS A. N., BONTOUX L. Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. *Water Policy*, Vol. 3, no. 1, pp. 47-59. 2001.
- ANGELAKIS, A. N.; GIKAS, P. Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. *Water Utility Journal* 8: 67-78, 2014.
- ARAÚJO, B.M., MANHÃES, A.C.S., SANTOS, A.P. Viabilidade Econômica e análise das práticas de reúso dos efluentes das estações de tratamento de esgoto do município do Rio de Janeiro, ETE Alegria e ETE Penha. In: XVII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, XVII SILUBESA, ABES. Florianópolis, SC. Jun/2016.
- ARAÚJO, B. M., SANTOS, A. S. P., SOUZA, F. P. Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso do efluente de ETE para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região Sudeste do Brasil. *Perspectivas Online: exatas & engenharia*, p. 51-61. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS (ABNT). NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS (ABNT). NBR 15900: Água para amassamento do concreto, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS (ABNT). NBR 16783: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações, 2019.

ASTM. ASTM C94 - Standard specification for ready-mixed concrete Philadelphia, 1992.

AUSTRALIA STANDARDS. AS 1379 - Specification and supply of concrete, 2007.

BIELSCHOWSKY, M. C. Modelo de gerenciamento de lodo de Estação de Tratamento de Esgotos: aplicação do caso da Baía da Baía de Guanabara. 2014. Dissertação – Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BILA, D. M.; OHNUMA JR, A. A; SANTOS, A. S. P.; OBRACZKA, M. Evaluation of Potential Routes for Wastewater Reuse Management in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. 11th IWA International Conference on Water Reclamation and Water Reuse. Anais...Long Beach, California: IWA, 2017

BRASIL. Lei Federal nº 14.026 de 15 de julho de 2020. Novo Marco do Saneamento. 2020.

BRITISH STANDARDS; STANDARDS, E. BS EN 1008 - Mixing water for concrete.Brussels, 2002.

BUREK, P.; SATO, Y.; FISCHER, G.; KAHIL, M.T.; SCHERZER, A.; NAVA, L.F.; WADA, Y. (2016) - Water Futures and Solution – Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper. IIASA, Laxenburg, Austria: WP-16-006.

CAMPINAS. Resolução Conjunta SVDS/SMS Nº 09/2014.

CAMPOS, A. M. S. Aproveitamento de efluente tratado proveniente da ETE Alegria para reúso em áreas urbanas. Rio de Janeiro, 2018. Projeto final de graduação em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2018.

CBH GUANDU. Plano de contingência para abastecimento de água (Guandu) – Resumo Executivo. Relatório Final (Produto P6). Londrina, 2015.

CEARÁ. Resolução COEMA Nº 02/2017 do Estado do Ceará. 2017.

COELHO, V. Baía de Guanabara: Uma história de agressão ambiental. Rio de Janeiro: Casa da Palavra, 2007. 278p.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS – Origem da Companhia – Disponível em <<https://www.cedae.com.br/origem>>. Acesso em 23 de setembro de 2020.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS – Nota de esclarecimento – Disponível em <<https://www.cedae.com.br/Noticias/detalhe/nota-de-esclarecimento/id/393>>. Acesso em 23 de setembro de 2020.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS – CEDAE. Relatório de Sustentabilidade 2017. Relatório. Rio de Janeiro, 2017.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS – CEDAE. III Micro Congresso da CEDAE. Rio de Janeiro, nov. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. Reúso de Efluentes: Metodologia para análise do potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial. 2017

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução no. 54, de 28 de Novembro de 2005.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução no 121, de 16 de dezembro de 2010.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE SÃO PAULO. Deliberação CRH nº 156, de 11 de dez. de 2013.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CONERH) RESOLUÇÃO nº. 75, de 29 de julho de 2010.

CRUZ, C. L. B. M. da. Estudo sobre a viabilidade de incorporação do lodo de estação de tratamento de água no substrato para produção de espécies nativas da Mata Atlântica (Brasil). 2018. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

CUNHA, V. D. O Reúso da Água e suas Possibilidades na RMSP. 2008. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola, São Paulo.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J.A. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol 15, n.2 Abr/Jun 2010, 59-68.

EMPINOTTI, V.L.; BUDDS, J.; AVERSA, M. Governance and water security: The role of the water institutional framework in the 2013–15 water crisis in São Paulo, Brazil. V. 98. Jan, 2019.

ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE JOAQUIM VENÂNCIO – FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ – Geosmina: a ponta do iceberg – Fevereiro, 2020 Disponível em <<http://www.epsjv.fiocruz.br/noticias/reportagem/geosmina-a-ponta-do-iceberg>>. Acesso em 23 de setembro de 2020.

EUROPEAN COMMISSION, Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. 2014. Publications Office of the European Union, Luxemburgo.

FAO – Aquastat, 2020, Global spatial database on water and agriculture Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/aquamaps/en/> . Acesso em: 15 de setembro 2020.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – FIRJAN. Cadastro Industrial do Estado do Rio de Janeiro 2015/2016. Rio de Janeiro, 2016.

FORMIGA-JOHNSON, R. M.; BRITTO, A. L.; CARNEIRO, P. R. F. – Abastecimento público e escassez hidrossocial na Metrópole do Rio de Janeiro, 2015

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). Manual de saneamento. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2007.

GIORDANO, G, 2016. Conservação e reúso de água. ABES/ES - Capítulo Nacional da AIDIS, Espírito Santo.

GONÇALVES, A. B. D., LÊU A. A.M., BANDEIRA, A. P. N. BRITO, M. G. S. L., BATISTA, S. Produção de Concreto Utilizando Efluente Tratado Por Lagoas de Estabilização na Região Metropolitana do Cariri (Ceará-Brasil). In 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Natal, jun. 2019.

HAAK, L., SUNDARAM, V., WARNER, R., PERI, L., PAGILLA, K. Sustainability assessment for potable reuse in Reno, NV. In: 11th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse. Long Beach, California. jul. 2017.

HESPANHOL, I. A. Inexorabilidade do Reúso Potável Direto. Revista DAE, nº 198, volume 63 p 63-82, 2015.

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K., ALDAYA, M.M. e MEKONNEN, M.M. The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London, UK. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – Comissão Nacional de Classificação (CONCLA) – Disponível em <https://concla.ibge.gov.br/busca-online-ctnae.html?view=estrutura>. Acesso em 22 de setembro de 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE – INEA-Fundação Coppetec. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Relatório final. 2014.

INSTITUTO TRATA BRASIL – Demanda Futura por Água Tratada nas Cidades Brasileiras – 2017 a 2040. Agosto 2020.

INTEGRAL DE ENGENHARIA LTDA/FIRJAN. Avaliação da segurança hídrica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Relatório Final: Diretrizes para o aumento da segurança hídrica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, maio de 2015.

ISRAEL WATER AUTHORITY, 2015, Water Sector in Israel IWRM Model. Disponível em: <<http://www.water.gov.il/Hebrew/ProfessionalInfoAndData/2012/02-Israel%20Water%20Sector%20-%20IWRM%20Model.pdf>>. Acesso em: 18 de Agosto de 2020.

JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ, Ed. ABES, 2014.

JORDÃO, E. P.; SANTOS, A. S. Reuso de Águas Servidas: Aula 02 – Normas e Padrões para Reuso de Águas Servidas. ABES, seção RS.

JORDÃO, E.P.& VOLSCHAN JR., I. Tratamento de Esgotos Sanitários em empreendimentos habitacionais da Caixa. 1. ed. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2009.

KUCCHE, K.J., JAMKAR, S. S., SADGIR, P. A. Quality of water for making concrete: A review of literature. *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 5, Iss. 1, jan. 2015.

LAHNSTEINER, J.; D. PISANI, P.; MENGE, J.; ESTERHUIZEN, J., 2013, More than 40 years of direct potable reuse experience in Windhoek. In: Lazarova, V.; Asano, T.; Bahri, A.; Anderson; J. *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*. London, IWA Publishing.

LEE, H.; TAN, T. P.; Singapore's experience with reclaimed water: NEWater. *International Journal of Water Resources Development*, Volume 32, 2016 - Issue 4: Water reuse policies for potable use.

LIMA, E. P. C.; *Water and Industry: Experiences and Challenges*. 1ª ed. 2018.

LIMA, E. *Qualidade de água da Baía de Guanabara e saneamento: uma abordagem sistêmica*. UFRJ. Rio de Janeiro, 2006. 183p. Tese de Doutorado

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.A.; SELUCHI, M.E.; CUARTAS, A.; ALVES, L.M.; MEDIONDO, E.M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, n. 106, 2015, p.31-44.

MACHADO, FLÁVIO. 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – CBESA – 16 a 19/06/2019. Natal-RN - Apresentação: Reúso de Efluentes na composição da matriz hídrica da Região Metropolitana de São Paulo. 2019.

METCALF, L., EDDY, H. P, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th ed., New York, Ed. McGraw - Hill.

METCALF, L., EDDY, H. P, 2015. *Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos*. 2015

MINAS GERAIS. *Deliberação Normativa CERH-MG N° 65*, de 18 de junho de 2020.

MURAKAMI, M.F.; MORUZZI, R.M. Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento de água pluvial empregando a filtração direta por meio de filtro de pressão e amigo natural de milho como coagulante primário. *Ciência & Engenharia*. Vol. 22(2). P. 37-45, Dez-2013.

MUSAYEV, S.; BURGESS, E.; MELLOR, J. – A global performance assessment of Rainwater harvesting under climate change. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 13, n.1, p. 62-70, 2018.

NETO, J. N. V.; OLIVEIRA, J. R. C. Desafios e perspectivas do reúso de esgotos sanitários em áreas urbanas: O projeto da ETE Penha – CEDAE. Rio de Janeiro: CEDAE, 26 mar 2008. 27 p. Relatório técnico.

NITEROI. *Lei Municipal de Niterói n° 2.856/2011*.

NUVOLARI, A. *Esgoto sanitário, coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola*. Editora Bluncher. 2a ed. 2003.

OBRACZKA, M.; CAMPOS, A. M. S.; SILVA, D. R.; ALVES, S. R.; FERREIRA, G. S. Estado da Arte E Perspectivas De Reuso de Efluente de Tratamento Secundário de Esgotos Sanitários na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Congresso ABES FENASAN 2017. São Paulo.

OBRACZKA, M.; CAMPOS, A.M.S.; FARIA, A.A.; SILVA, D.R. aproveitamento de efluente tratado proveniente da ETE Alegria para reúso em áreas urbanas. In: 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal. jun. 2019.

OBRACZKA, M.; SILVA, D. R.; CAMPOS, A. S., (2019), “Reuso de efluentes de tratamento secundário como alternativa de fonte de abastecimento de água no município do Rio de Janeiro”, *Sistemas & Gestão*, Vol. 14, No. 3, pp. 291-309, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1392>

OHNUMA JR., A.A.; et al. Qualidade de Águas Pluviais em regime de first-flush. In: X Encontro Nacional de Águas Urbanas. São Paulo-SP. Set-2014.

OLIVEIRA, E. F.de, 2016. Sistemas de abastecimento de água do da Cidade do Rio de Janeiro, com ênfase no GUANDU. CEDAE/Apresentação para a SEARJ. Disponível em <<https://www.searj.org.br/pdf/Guandu/ApresentacaoparaaSEAERJ.pdf>> Acesso em 15 de setembro de 2020.

OLIVEIRA, F.G.; Análise da viabilidade de um sistema de aproveitamento de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro. 2020. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento da Água das Nações Unidas. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – Água Potável e Saneamento – Disponível em <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>>. Acesso em 23 de setembro de 2020.

PAIVA, A.C.E.; NASCIMENTO, N.; RODRIGUEZ, D.A.; TOMASELLA, J.; CARRIELLO, F.; REZENDE, F.S. Urban expansion and its impact on water security: The case of the Paraíba do Sul River Basin, São Paulo, Brazil. *Science of the Total Environment*. V. 720. Jun, 2020.

PISANI, P. D., 2015. Direct Potable water reuse in Windhoek: It’s history and it’s future. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=a-rm66HPZ7E>> Acesso em 18 de Agosto de 2020.

POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, Lei nº 9433 de 08 de janeiro de 1997

REJWAN, A., 2011, The State of Israel: National Water Efficiency Report. Israel Water Authority, Ministry of National Infrastructures, Planning Department, Israel.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 9.043 de 02 de outubro de 2020. Cria o Programa Estadual de reúso de efluentes das Estações de Tratamento de Esgotos – ETES, para fins industriais. 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução CONSEMA do Estado do Rio Grande do Sul nº 419/2020.

SÃO PAULO. Lei nº 16.160 de 13 de abril de 2015. São Paulo, 13 de abr 2015.

SÃO PAULO. Resolução conjunta SES/SMA/SSRH nº 1 de 28 de junho de 2017. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 29 jun 2017. Seção I, p. 41/42.

SÃO PAULO. Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01 de 13 de fevereiro de 2020 do Estado de São Paulo. 2020.

SANTOS, A. S. P. et al. Capacidade de reúso de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul. Revista SEMIOSES: Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade, Rio de Janeiro, v.12, n. 13, p. 16-33, 2018. Disponível em <<http://revistas.unisuam.edu.br/index.php/semioses/article/view/133/39>>. Acesso em: setembro de 2020.

SILVA, K.C., SANTOS, R.A., SANTOS, A.S.P. Estudo sobre a Atual Situação de Reuso de Águas Servidas Tratadas no Brasil e no Mundo. In: XVII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária. Florianópolis, SC. 06 a 09 de junho, 2016.

SILVA JUNIOR, L. C. S. Panorama do reúso de efluentes nas estações de tratamento de esgotos nas concessionárias de saneamento da Região Sudeste. ARTIGO CBESA. 2019.

SILVA JR., L.C.S.; OBRACZKA, M. Reúso de Efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto no Beneficiamento de Concreto. MIX Sustentável, [S.l.], v. 6, n. 4, p. 85-92, ago. 2020.

STEFLOVÁ, M.; KOOP, S.; ELELMAN, R.; VINYOLES, R.; VAN LEEUWEN, K. Governing Non-Potable Water-Reuse to Alleviate Water Stress: The Case of Sabadell, Spain. 2018.

TORRES, E. T. (2018), Avanços da Despoluição Hídrica na RHBG no Estado do Rio de Janeiro, Instituto Baía de Guanabara, disponível <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/643861-0/4226416/80AvancosdaDespoluicaoHidricanaRHBGnoEstadodoRiodeJaneiro.pdf> (acesso em 22 set. 2020).

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar Editora. 180 p. 2003.

TSIMAS, S., ZERVAKI, M. Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants", Management of Environmental Quality: An International Journal, Vol. 22, Iss 1 pp. 7-17. 2017.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012. Guidelines for Water Reuse, 2012.

UNIVERSITY OF MARYLAND CENTER FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE – UMCES. Disponível em <https://www.umces.edu/sites/default/files/Saneamento_Sanitation.pdf> Acesso em 23 de setembro de 2020.

VAN DER MERWE, B.F., 2000. Integrated water resource management in Windhoek, Namibia. Water Supply, 18(1), 376 –380.

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

VON SPERLING, M. Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos - Volume 2, 2ª Edição. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

VIEIRA NETTO J.N. e OLIVEIRA J.R.C., 2008. Desafios e Perspectivas do Reuso de esgotos sanitários em áreas urbanas: o projeto da ETE Penha – CEDAE.

WRI, 2018 – Infraestrutura natural para água no Sistema Guandu, Rio de Janeiro. Disponível em <<https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/InfraestruturaNaturalGuanduRJ.pdf>>. Acesso em 09 de dezembro de 2020.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2017, The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO.

ZAHNER FILHO, E. Água de reúso: estudo para fornecimento como água de amassamento. Niterói, 2014. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, 2014.

ZONA OESTE MAIS SANEAMENTO – ZOMS. Disponível em <<https://www.zonaostemais.com.br/quem-somos/quem-somos/>>. Acesso em 23 de setembro de 2020.